

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN



Proyecto de fin de Máster

**PLANIFICACIÓN DE UNA RED DE CUARTA GENERACIÓN
MÓVIL LTE EN LA REGIÓN DE MURCIA CON LA
HERRAMIENTA RADIOGIS.**

AUTOR: Gabriel Enrique Paulino Johnson

TUTOR: Juan Pascual García

Julio 2013

Autor	Gabriel E. Paulino Johnson
E-Mail del Autor	<u>gepj18@gmail.com</u>
Director(es)	Juan Pascual García
E-Mail del director	<u>juan.pascual@upct.es</u>
Título de PFM	PLANIFICACIÓN DE UNA RED DE CUARTA GENERACIÓN MÓVIL LTE EN LA REGIÓN DE MURCIA CON LA HERRAMIENTA RADIOGIS.

Resumen

En la siguiente memoria tratamos de explicar las características de la cuarta generación de telefonía móvil LTE. En la misma nos basamos en la situación actual en la que se encuentra esta tecnología de comunicaciones en los diferentes países, pero nos enfocamos especialmente en España. Basado en los conocimientos adquiridos mediante las investigaciones realizadas en este trabajo de fin de máster, planificaremos la instalación de un sistema 4G LTE en la zona urbana de la ciudad de Murcia utilizando la herramienta RadioGIS.

Observamos que dentro de las características de la tecnología de 4º generación LTE está una mayor velocidad de transferencia de datos hasta de 100Mbps, esto debido a un mayor ancho de banda en el espectro de hasta 20MHz. En España compañías como Vodafone, Orange y Yoigo, comenzaran a brindar este servicio ofreciéndoles a sus clientes esta ventaja. En enfoque de esta memoria es utilizar las concesiones otorgadas a la empresa Vodafone y simular lo que sería su implementación en la zona urbana de la ciudad de Murcia.

Titulación	Máster Universitario en Tecnologías de la Información y Comunicaciones
Departamento	Departamento de Tecnologías de la Información y Comunicaciones
Fecha de presentación	Julio-2013

INTRODUCCION.....	5
1. COMUNICACIONES MOVILES: Historia y evolución de los sistemas de comunicaciones móviles.....	7
1.1 Sistema de telefonías móviles (celulares).....	7
1.2 Evolución de la telefonía Móvil (celulares).....	7
2. SISTEMA DE COMUNICACIONES MÓVILES <i>Long Term Evolution</i> (LTE).....	10
2.1 Arquitectura general del sistema LTE.....	11
2.2 Red de acceso UMTS evolucionada: E-UTRAN. El Node B Evolucionado: eNodoB.....	12
2.3 Red troncal de paquetes evolucionada: EPC.....	14
2.3.1 <i>MME (Mobility Management Entity)</i>	14
2.3.2 <i>SGW (Serving Gateway): Servicio de entrada y salida al exterior</i>	15
2.3.3 <i>PDN GW (Packet Data Network Gateway)</i>	15
2.3.4 <i>HSS (Home Subscriber Service): Servicio de suscripción local</i>	16
2.4 Sub-sistema de multimedia IP (IMS).....	16
2.5 Equipos de usuario: UE.....	17
2.6 Capa física y tecnologías del sistema LTE:.....	18
2.6.1 <i>Características principales de la interfaz radio en LTE</i>	18
2.6.2 <i>Técnica de acceso al medio: OFDMA y SC-FDMA</i>	19
2.6.3 <i>Canales de LTE</i>	22
2.6.4 <i>Técnica MIMO</i>	23

3.	DESPLIEGUE DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES LTE MUNDO Y EN ESPAÑA.....	24
3.1	Normalización de las Telecomunicaciones.....	24
3.2	LTE en el Mundo.....	26
3.3	LTE en España.....	29
	3.3.1 <i>Concesiones de las bandas de frecuencia para la LTE: 1800MHz y 2600MHz.....</i>	<i>30</i>
	3.3.2 <i>Dividiendo Digital y la Banda de 800MHz en España.....</i>	<i>34</i>
	3.3.3 <i>Primeras pruebas con LTE en el país.....</i>	<i>34</i>
	3.3.4 <i>Sistema LTE en la región de Murcia.....</i>	<i>37</i>
4.	APRENDIZAJE DE LA HERRAMIENTA RADIOGIS.....	40
5.	DISEÑO DE UN SISTEMA MOVIL LTE EN RADIOGIS.....	43
5.1	Despliegue de la Red LTE en la Región de Murcia.....	43
5.2	Estudio del tráfico ofrecido por los usuarios.....	45
5.3	Cálculo del número de eNodoB.....	51
5.4	Análisis de la cobertura mediante Radio GIS: ubicación de los eNodoB en la banda 1800MHz.....	56
5.5	Análisis de la cobertura mediante Radio GIS: ubicación de los eNodoB en la banda 2600MHz.....	69
6.	CONCLUSIONES.....	80
7.	REFERENCIAS.....	82

Con el paso de los años los sistemas de comunicaciones móviles han presentado cambios para mejorar su rendimiento. Desde los años 70 del siglo XX se han sucedido diferentes Generaciones de Sistemas de Comunicaciones Móviles. La 4ª generación es la más reciente y moderna y el estándar conocido como LTE es el más extendido en esta generación. Basado en este estándar realizaremos la implementación que les presentaremos en la siguiente memoria.

La 4ª generación presenta mejoras tales como, un mayor ancho de banda (hasta 20 MHz), baja latencia y velocidades pico de transferencia de datos de 100Mbps en enlace descendente y 50Mbps en el enlace ascendente. LTE utiliza OFDMA (Multiplexación por División Ortogonal de Frecuencia) como tecnología de acceso a radio para que la señal tenga una mayor eficiencia espectral y mayor robustez. Con el fin de ofrecer a los operadores flexibilidad en el despliegue de la red, el sistema LTE soporta escalabilidad en el ancho de banda tanto en el modo de duplexado FDD y TDD.

Todas estas características que ofrece la 4ª generación permitirán a los operadores dar servicio al creciente número de usuarios de telefonía móvil así como satisfacer la demanda de servicios que requieren de una gran cantidad de datos para funcionar correctamente. Por esto, muchos proveedores de servicios móviles en muchos países comenzaron a ofrecer LTE a sus clientes.

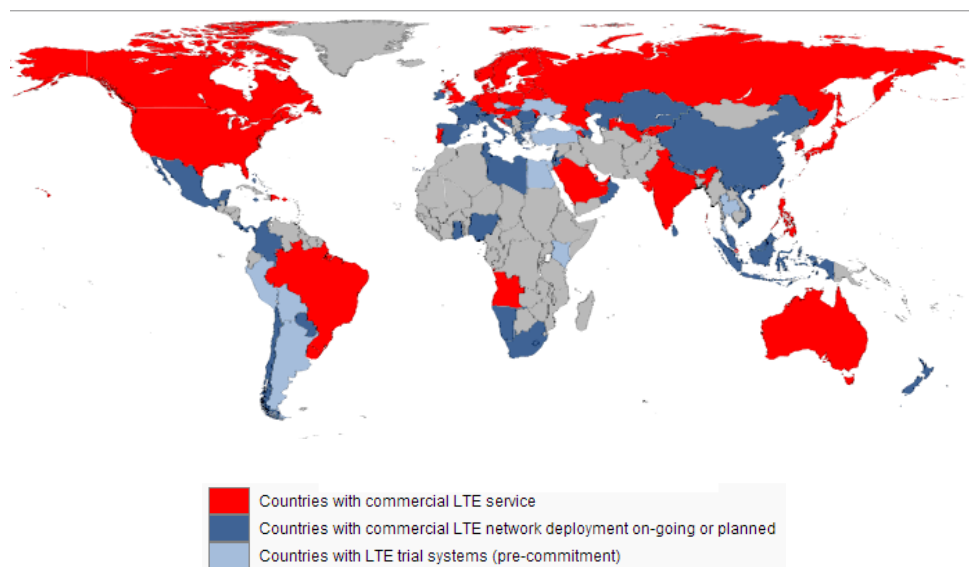


Figura 1. Desarrollo de servicio LTE en 2013 [1].

La Figura 1 muestra los países donde se está desarrollando y comercializando la nueva tecnología móvil para el 23 de abril del 2013 [1].

La tecnología móvil de cuarta generación en España ha sido puesta en marcha en este verano. Proveedores como Yoigo, Orange y Vodafone ya han anunciado los planes que le ofrecerán a los usuarios que tengan el equipo móvil con acceso a esta tecnología. Las bandas de frecuencias que van a utilizar estas compañías para ofrecer el servicio LTE son las bandas de 1800MHz, 2600MHz y 800MHz. Sin embargo, la banda de los 800MHz no se ha podido utilizar porque la misma está se usa para la transmisión de la televisión digital terrestre (TDT).

Debido al crecimiento exponencial que ha tenido la utilización de teléfonos inteligentes en España y por lo tanto el acceso a la banda ancha móvil, hemos decidido realizar el siguiente proyecto. En el trabajo que desarrollamos a continuación, se llevará a cabo la planificación de un sistema de LTE en la ciudad de Murcia. Para ello primero realizaremos un estudio sobre el tráfico ofrecido por un usuario de tipo medio. También verificaremos la cantidad de suscriptores que están registrados en la compañía Vodafone, para saber a cuantos usuarios en total cubriremos con nuestra implementación. Gracias a la herramienta de planificación RadioGIS, también podremos observar en qué lugares de la ciudad tendremos mejor cobertura de potencia para una mayor velocidad para la transferencia de datos.

Nuestra memoria está compuesta de una visión global de los sistemas de comunicaciones móviles, de la definición y las características de los principales elementos de la tecnología 4G LTE, del estado actual de ésta en el mundo y específicamente en España, un breve resumen del funcionamiento de la herramienta de simulación RadioGIS y por último los parámetros reales para la realización de la implementación en la zona urbana de la ciudad en Murcia.

1. COMUNICACIONES MÓVILES: Historia y evolución de los sistemas de comunicaciones móviles

1.1 Sistema de telefonías móviles (celulares).

El servicio de telefonía móvil, “MTS” por su siglas en inglés, es un tipo de servicio de radio donde los teléfonos móviles conectan a las personas con el sistema de telefonía pública conmutada (PSTN), a otros teléfonos móviles o a otros sistemas o redes de comunicación (tales como el Internet).

Las redes celulares consisten en estaciones base celular, oficinas de conmutación de telefonía móvil (OCTM) y dispositivos de comunicación móviles. Cada estación base contiene un transceptor de radio y un controlador que proporciona comunicación de radio a las unidades móviles situadas en su célula. Las células se disponen en un patrón celular con el fin de proporcionar una cobertura celular local, regional o nacional. Los enlaces de llamadas OCTM se unen usando el cobre tradicional, fibra óptica o la tecnología de microondas y actúan como un centro de intercambio de llamadas o comunicaciones de datos que permite a los usuarios realizar llamadas en los sistemas públicos de telefonía local y larga distancia.

Los dispositivos de comunicaciones móviles consisten en teléfonos de mano, teléfonos de automóviles, computadoras portátiles, asistentes digitales personales y dispositivos de recolección de datos portátiles. Cuando estas unidades móviles se comunican con la red, los usuarios deben registrarse en el sistema. La mayoría de las compañías tienen acuerdos con otros proveedores para permitir el movimiento a los usuarios. Esta capacidad para conectarse a otros operadores se denomina “roaming”.

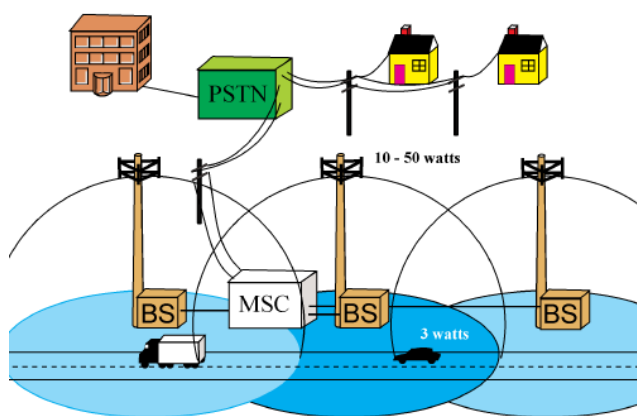
La comunicación entre la estación base y los móviles se define por un estándar denominado “Common air interface” (CAI). En este interfaz existen como mínimo existen cuatro canales diferentes. Los canales usados para la transmisión de voz desde la estación base a los móviles se llaman “Forward Voice Channels” (FVC) y los canales utilizados en la transmisión de voz en sentido contrario, desde el móvil hacia la estación base se denominan “Reverse Voice Channels” (RVC). Los otros dos canales son canales de control y se denominan “Forward Control Channels” (FCC) y “Reverse Control Channels” (RCC). Estos también se llaman canales de establecimiento (set up channels) ya que son utilizados en los establecimientos de llamadas.

1.2 Evolución de la telefonía móvil (telefonía celular).

Los primeros sistemas de comunicaciones móviles utilizaban la modulación analógica FM, eran por tanto sistemas analógicos, y datan de los años 40 del siglo XX. En los años 70 del siglo XX nacieron en USA los primeros sistemas celulares dando lugar a la Primera Generación de sistemas de comunicaciones móviles (1G).

Sin embargo, según cuenta el autor Keiko Tanaka en [2], que no es hasta agosto del año 1981 cuando Suecia instala su primer sistema celular analógico, para ser el pionero dentro de los países europeos. En esta fecha se creó el “Nordic Mobile Telephone” (NMT), que operaba en las bandas de frecuencia 450MHz y 900MHz. Asimismo, para el año 1985 ya se había desarrollado el Sistema de Comunicación de Total Acceso (TACS), desarrollado y creado por Reino Unido.

Los problemas de incompatibilidad entre los sistemas analógicos que existían en Europa dieron inicio a la creación de la tecnología digital de 2ª generación llamada “Sistema de Comunicación Global” GSM [3]. En 1991 la primera red GSM (Radiolinja) se puso en marcha en Finlandia. Esta tecnología es utilizada en una variedad de frecuencias; 900 MHz, 1800 MHz y 1900 MHz, pero la banda de 900MHz era utilizada en el continente europeo por las tecnología analógica, por lo que los sistemas 1G se cerraron rápidamente para liberar ancho de banda suficiente para los sistemas 2G. Las principales regiones geográficas adoptaron diferentes sistemas digitales de segunda generación (2G), con diferentes técnicas de acceso al medio: “Time Division Multiple Access (TDMA)” en Europa, TDMA y “Code Division Multiple Access” (CDMA) en América del Norte.



Basic Cellular System

Figura 2. Sistema básico celular [3].

En el continente europeo solo se subastaron 6 licencias de bandas de frecuencias para GSM, luego las otras licencias (sobre las 90), se asignaron con el concepto de “primero que llegue el primero que se sirve” esa licencia. Por otra parte, la segunda generación introdujo una nueva variante de la comunicación llamado SMS o mensajes de texto. Fue inicialmente disponible sólo en redes GSM, pero con el tiempo se extendió en todas las redes digitales. El primer mensaje SMS máquina generado fue lanzado en el Reino Unido el 03 de diciembre 1992, seguido en 1993 por el primer SMS de persona a persona enviado en Finlandia.

Por otro lado, la Unión Europea ha hecho unos significativos avances en su mercado de comunicaciones móviles desde que introdujo GSM a principios de 1990. En términos de su tamaño del mercado, las tasas de penetración, precios y entorno competitivo, la UE es de hecho el líder mundial en este sector, debido a la introducción de soportar el “roaming”.

A medida que el uso del teléfonos móviles 2G se hizo más generalizado y la gente comenzó a utilizarlos en la vida cotidiana, se hizo evidente que la demanda de datos (por ejemplo, acceso a navegar por internet) estaba creciendo. Además, la experiencia de los servicios de banda ancha fija mostró también que habría una creciente demanda de mayores velocidades de datos. La tecnología 2G no estaba ni de lejos a la altura, por lo que la industria comenzó a trabajar en la próxima generación de la tecnología conocida como 3G. A nivel mundial, una serie de organizaciones trabajaron juntas por una ejecución coordinada de los sistemas 3G, incluida la UIT y la Asociación de Proyectos de Tercera Generación (3GPP). El sistema de comunicaciones móviles 3G, también conocida como Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT)-2000, es definido por un conjunto de normas mundiales de la UIT. La versión europea de las IMT-2000 es Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS).

La primera red de prueba pre-comercial con 3G fue lanzada por la NTT DoCoMo en Japón en la región de Tokio, en mayo de 2001 [3]. La NTT DoCoMo lanzó la primera red 3G comercial el 1 de octubre de 2000, con uso de la tecnología WCDMA. Pero no fue hasta el 2002 cuando los servicios de la tercera generación comenzaron a operar en Europa.

A mediados de la década pasada, una evolución de la tecnología 3G se estaba desarrollando, la llamada “High-Speed Downlink Packet Access” (HSDPA), esta era una mejora de la 3G para el sentido descendente. Posteriormente se desarrolló la misma mejora pero en el sentido ascendente, conocida como “High-Speed Uplink Packet Access” (HSUPA). Finalmente la unión de estas mejoras dan inicio al protocolo de comunicaciones de telefonía móvil de la familia de acceso a paquetes de alta velocidad (HSPA), también nombrada 3.5G, 3G o 3G+ turbo, lo que permite que las redes basadas en el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) tengan una mayor velocidad de transferencia de datos.

Para el año 2009, se hizo evidente que en algún momento, las redes 3G se saturarían por el crecimiento de las aplicaciones intensivas de banda ancha como transmisión de medios en tiempo real (videos). En consecuencia, la industria comenzó a buscar tecnologías adecuadas para el desarrollo de la cuarta generación, con la promesa de mejoras tales en la velocidad, que ésta alcanzaría un valor hasta 10 veces mayor que las velocidades de las versiones de 3G existentes. Las dos primeras tecnologías disponibles en el mercado facturadas como 4G eran el estándar WiMAX (ofrecido en los EE.UU. por Sprint) y el estándar “Long Term Evolution” (LTE), ofrecido por primera vez en Escandinavia por vía de TeliaSonera.

El ancho de banda consumido aumentó exponencialmente a medida que los usuarios solicitaron nuevos servicios de tasas de transmisión elevadas. Cuantos más usuarios empiezan a utilizar estos servicios, se necesitan más estaciones base para aumentar el ancho de banda compartido. Este problema que se presenta con las limitaciones de la tecnología aplicada en la Tercera Generación pretende ser resuelta con la Cuarta, que pueden alcanzar un ancho de banda de 100Mbps que permiten aplicaciones de voz y datos que se ejecutarán 50 veces más rápido que el 3G. Esta capacidad permitirá una mayor transmisión en tiempo real y otras experiencias virtuales en el dispositivo móvil.

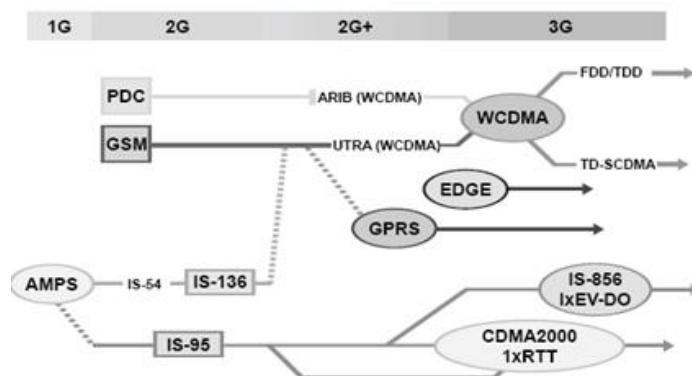


Figura 3. Generación celular y sus tecnologías [4].

2. SISTEMA DE COMUNICACIONES MOVILES *Long Term Evolution (LTE)*.

La asociación de proyectos de tercera generación (3GPP) ha abordado el problema del crecimiento de los usuarios móviles desarrollando el estándar LTE. Este contiene una interfaz radio denominada E-UTRAN (UMTS Evolucionada). El estándar LTE también emplea como técnica de acceso al medio la tecnología OFDMA. LTE basa todas las comunicaciones en conmutación de paquetes en IP, incluyendo la voz (VoIP). Esta arquitectura completa se denomina como 3GPP EPS. Debemos tener en cuenta que la interfaz aire LTE es un sucesor de las tecnologías de la red GSM / EDGE y UMTS / HSxPA pero tiene la capacidad de soportar anchos de banda más grandes que 5MHz, y la arquitectura de red EPS considera la reducción de los elementos a nivel de red en comparación con HSPA.

Los objetivos de LTE incluyen una capa física de la interfaz radioeléctrica para soportar la transmisión con un ancho de banda de hasta 20MHz, junto con los nuevos esquemas de transmisión y avanzadas tecnologías multi-antena.

La perspectiva de LTE para la movilidad considera un rendimiento óptimo para velocidades 0-15 km/h. LTE fue diseñado para garantizar un alto rendimiento entre 15 y 120 km/h, todavía se espera mantener el rendimiento a velocidades de entre 120 y 350 km/h incluso de hasta 500 km/h en algunas bandas de frecuencia. Se espera que LTE soporte servicios de voz y calidad de servicio en tiempo real sin interrupción. Como se puede ver, las velocidades de móviles por encima de 350 Km/h son principalmente para

los trenes. El criterio de calidad típico es el funcionamiento ininterrumpido por debajo de 120 km/h en vehículos y velocidades peatonales.

LTE performance metrics

Peak data rate	DL/UL: 100/50 Mbps for 20 MHz
Full mobility	Up to 500 km/h
Latency in control/user plane	<100 ms (idle to active)/<5 ms
Capacity	>200 users per cell (5 MHz)
Cell sizes	5–100 km
Spectrum	1.25, 2.5, 5, 10,15, and 20 MHz

Figura 4. Rendimiento de LTE [5].

2.1 Arquitectura general del sistema LTE.

La estructura EPS comprende los núcleos de red de paquetes evolucionados (EPC) y una red de acceso UMTS Evolucionada “*Evolved Universal Terrestrial Radio Access*” (E-UTRAN), como se ve en la Figura 5. El EPC se comunica entre sí y con E-UTRAN. El EPC contiene una entidad de gestión móvil (MME) y un Sistema de Evolución de la arquitectura de puerta de enlace (SGW), junto con una puerta de enlace de red de datos en paquetes (PDN GW). El E-UTRAN contiene exclusivamente las estaciones base que se denominan eNodoB o eNB. El eNodoB es una fusión de los RNS y los NodoB de UMTS, donde el equipo de usuario (UE) se comunica con eNB y los eNBs se comunican entre sí y con los EPC. Generalmente la comunicación entre el UE y el eNodoB es uno-a-uno pero hay uno-a-muchas comunicaciones entre los eNB, MME, y la SGW.

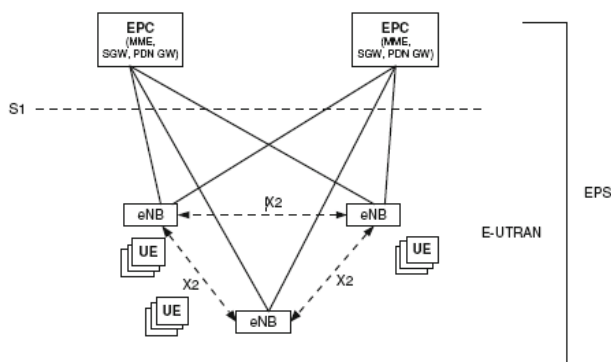


Figura 5. Arquitectura de LTE [5].

2.2 Red de acceso UMTS evolucionada: E-UTRAN. El NodoB Evolucionado: eNodoB.

El E-UTRAN es la interfaz radio que comunica al usuario con la estación base utilizando el canal radio. Todas las funciones y protocolos que se necesitan para realizar el envío de datos y controlar la interfaz se implementan en la eNodoB.

La E-UTRAN se compone de eNodoB, que es la estación base de LTE y responsable de proporcionar el E-UTRA plano de usuario y plano de control. Las eNodoB poseen, entre otras, las funciones de una estación base. Estos están conectadas entre con el fin de proporcionar las siguientes funciones:

- La transferencia de datos de usuario con el fin de proporcionar una capacidad a través de la E-UTRAN entre la interfaz aérea (LTE-Uu) y S1.
- Cifrado y descifrado con el fin de proteger los datos transmitidos a través del aire contra terceros no autorizados. La clave para el cifrado y descifrado se deriva a través de la señalización o información de la sesión-dependiente.
- Funciones de control de movilidad:
 - **Handover**, gestiona el interfaz de radio por mediciones, este es usado para mantener la calidad de servicio solicitada por EPC. Cada área de cobertura celular tiene uno o varios transmisores y receptores que se comunican con el móvil.
 - **Paging**, es un proceso para utilizado para alertar a los dispositivos móviles cuando están recibiendo una llamada o mensaje.
 - El posicionamiento está siendo diseñado actualmente para proporcionar información de ubicación física para la UE.
- Coordinación de la interferencia entre celdas: con el fin de reducir la interferencia entre celdas. Esto es parte de la función multicelular RRM que considera toda la información de varias celdas.
- El equilibrio de carga: para hacer la distribución uniforme de la carga y mantener las probabilidades de llamadas caídas en el mínimo. El balanceo de carga puede dar lugar a la entrega o selección de célula.
- Función de distribución para los mensajes NAS con el fin de transferir los mensajes de forma transparente para el protocolo de RRC y S1-AP.

- Función de selección de nodo NAS con el fin de seleccionar el MME / S-GW para UE.
- Sincronización con el fin de mantener sincronizados los distintos nodos dentro de la red.
- Función de actualización de la localización del usuario.

El NodoB evolucionado (eNodoB), es la única entidad en la RAN evolucionada (E-UTRAN) que interactúa con los equipos de usuario (UE) a través de la interfaz LTE-UE. El eNodoB acoge las capas PHY, MAC, control de radio enlace (RLC), y el protocolo de control de capas de datos por paquetes (PDCP). El eNodoB puede soportar el modo FDD, el modo TDD, o la operación de modo dual con el modelo de protocolo como se muestra en la Figura 6. El eNodoB, comunicará también a la EPC a través de la interfaz S1-flex como se ve en la Figura 6.

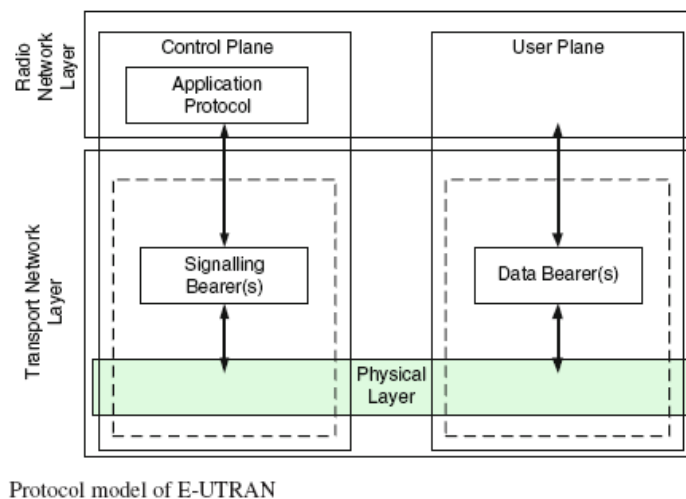
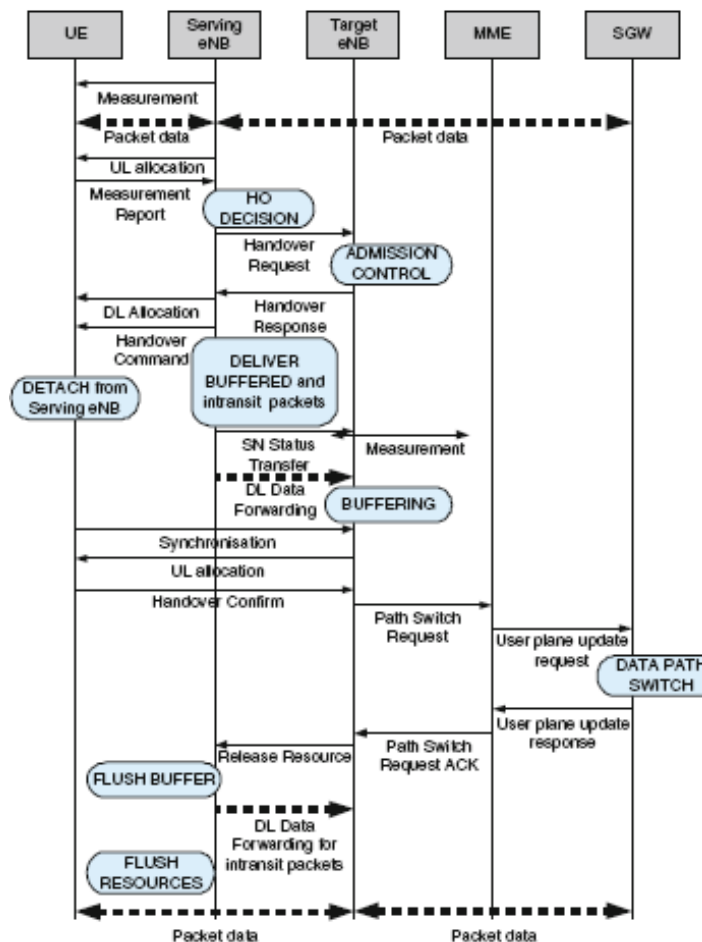


Figura 6. Protocolos en E-UTRAN [5].

Como ya se comentó previamente los eNodoB están interconectados entre sí con la interfaz X2 para apoyar el traspaso de llamada (“handover”) como se ve en la Figura 7.



Handover through X2 interface

Figura 7. Handover a través de la interfaz X2 [5].

2.3 Red troncal de paquetes evolucionada: EPC.

El núcleo de la red troncal EPC está formado por tres entidades de red: el **MME** (Mobility Management Entity), el **S-GW** (Serving Gateway) y el **P-GW** (Packet Data Network Gateway) que junto a la base de datos principal del sistema denominada **HSS** (Home Subscriber Server), constituyen los elementos principales para la prestación del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados al sistema a través de la red de acceso E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC [5].

2.3.1 MME (Mobility Management Entity).

Los protocolos para la gestión de la movilidad y la gestión de sesiones se llevan a cabo en el MME a través del protocolo NAS. La MME posee las siguientes funciones:

- Selección de SAE GW para un UE en la entrada de la red.
- Realización de intra-LTE handover.
- “Paging” - distribución de mensajes a eNBs.

- Entrega de gestión de claves de seguridad.
- Proporcionar movilidad en estado de reposo.
- Control SAE portador - de / activación.
- Cifrado y protección de la integridad de los NAS de señalización.
- La asignación de identificadores temporales a los UE.
- Manipulación de la movilidad a otras redes de acceso 3GPP o no-3GPP.
- Terminación de la interfaz S6a hacia la casa cuando HSS UE vaga.
- Apoyar la interceptación legal.

2.3.2 SGW (Serving Gateway): Servicio de entrada y salida al exterior.

Es responsable de proporcionar enrutamiento y reenvío de paquetes de datos de usuario con la interfaz S1-U. El SGW se conecta al PDN GW con interfaz S5 y recibe instrucciones desde el MME a través de la interfaz S11. El SGW se hace responsable de las rutas de datos y se encarga de la compresión de encabezado IP, cifrado del flujo de datos de usuario, la terminación de los paquetes de U-avión por razones de paginación, y el cambio de plano U para apoyar la movilidad de UE.

Las características principales son:

- Proporciona un punto de anclaje en la red EPC con respecto a la movilidad del terminal entre eNBs.
- La funcionalidad de anclaje también se aplica a la gestión de la movilidad con las otras redes de acceso del 3GPP (UMTS y GSM).
- Almacenamiento temporal de los paquetes IP de los usuarios en caso de que los terminales se encuentren en modo idle.
- Encaminamiento del tráfico de usuario. Esta entidad albergará la información y funciones de encaminamiento necesarias para dirigir el tráfico de subida hacia la pasarela P-GW que corresponda y el tráfico de bajada hacia el eNodoB.

2.3.3 PDN GW (Packet Data Network Gateway).

La PDN GW es la encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas. Por lo tanto, un paquete IP generado en la red LTE resulta “invisible” en la red externa, a través de la entidad P-GW, que hace de pasarela entre una red y otra. Un usuario tiene asignada como mínimo un P-GW desde su registro en la red LTE.

Típicamente, la P-GW asigna la dirección IP al UE, y el UE que utiliza para comunicarse con otros hosts IP en redes externas, por ejemplo, la Internet. La dirección IP se asigna siempre cuando el UE solicita una conexión PDN, lo que ocurre por lo menos

cuando el UE se conecta a la red, y puede suceder posteriormente, cuando se necesita una nueva conectividad PDN. El P-GW se encarga de hacer el DHCP y entrega la dirección IP a UE.

2.3.4 HSS (Home Subscriber Service): Servicio de suscripción local.

Es la base de datos principal que almacena los datos de todos los usuarios de la red. La información almacenada es tanto lo relativo a la suscripción del usuario como lo necesario para la operatividad de la red. Esta base de datos es consultada y modificada desde las diferentes entidades de red encargadas de prestar los servicios de conectividad o servicios finales (desde el MME de red troncal EPC y también desde servidores de control del subsistema IMS). La información almacenada en la HSS que podemos encontrar es: identificadores universales del usuario, identificadores de servicio, información de seguridad y cifrado, información relacionada con la ubicación de un usuario en la red, etc. El HSS se estandarizó en 3GPP R5 en base a la integración de dos entidades definidas en redes GSM y que se denominan HLR y AuC, a las que se les han añadido funcionalidades adicionales necesarias para soportar el acceso y la operativa del sistema LTE.

2.4 Sub-sistema de multimedia IP (IMS).

Es un subsistema que proporciona los mecanismos de control necesarios para la prestación de servicios de comunicación multimedia que están basados en la utilización del protocolo IP a los usuarios de la red LTE [6].

La idea es desplegar una infraestructura constituida por una serie de elementos (servidores, base de datos, pasarelas) que se comunicarán entre sí mediante una serie de protocolos, la mayoría estándares del IETF, y que nos permiten ofrecer servicios de voz y video sobre IP, videoconferencia, mensajería instantánea, etc. El acceso a estos servicios por parte de los terminales de usuario se realiza a través de los servicios de conectividad que ofrece la red LTE. La prestación de estos servicios por parte del IMS pretende sustituir a medio-largo plazo los servicios equivalentes ofrecidos actualmente en modo circuito.

El modelo de prestación de servicio en base al subsistema IMS se estructura en tres capas: transporte, control y aplicación.

- Capa de transporte: representa la infraestructura de red IP, que depende de la tecnología de acceso, que nos proporciona el encaminamiento de los flujos IP entre terminales y demás elementos de la red.
- Capa de control: aquí se ubican los elementos especializados en la gestión de sesiones, como los servidores SIP, así como otros elementos específicos para la interacción con redes telefónicas convencionales (pasarelas VoIP, controladores, etc.).

- Capa de aplicación: en esta capa residen los servidores de aplicación que albergan la lógica y datos asociados a los diferentes servicios proporcionados a través de IMS. En esta capa también se presentan elementos ligados a otras plataformas de servicios como redes inteligentes.

2.5 Equipos de usuario: UE.

El equipo de usuario es el equipo que permite a los usuarios del sistema LTE acceder a los servicios de la red LTE a través de la interfaz radio. La arquitectura funcional de un equipo de usuario en el sistema LTE es la misma que en su momento se definió para los sistemas GSM y que se adaptó posteriormente para UMTS. El equipo de usuario (User Equipment, UE) contiene dos elementos básicos: un módulo de suscripción del usuario (SIM/USIM) y el equipo móvil propiamente dicho (Mobile Equipment, ME). Adicionalmente, las funciones del equipo móvil se agrupan en dos entidades funcionales: la terminación móvil (Mobile Terminal, MT) y el equipo terminal (Terminal Equipment, TE). A continuación se describen cada uno de ellos [7].

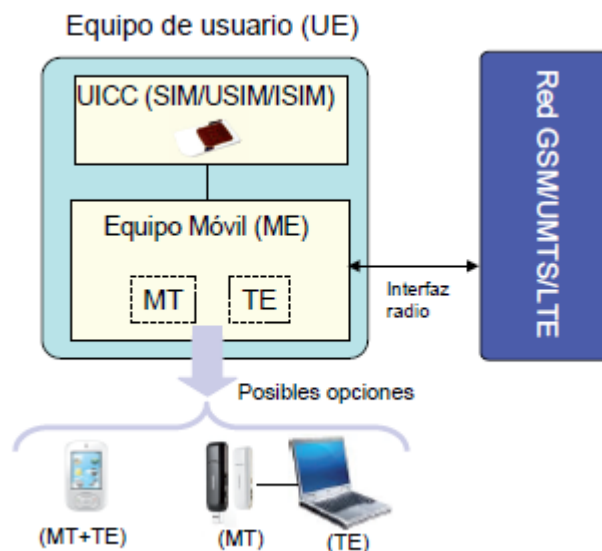


Figura 8. Equipos de usuarios [7].

El módulo de suscripción de usuario se materializa mediante el uso de una tarjeta inteligente (UICC) que contiene la aplicación que gestiona los datos de suscripción de los usuarios a las redes 3GPP. La aplicación utilizada para acceder a redes GSM se denomina SIM (Subscriber Identity Module), mientras que para el acceso a redes UMTS se conoce como UMTS SIM (USIM).

A continuación definimos todos estos elementos.

- Módulo de suscripción de usuario: La SIM/USIM está asociada a un usuario y por tanto es quien le identifica dentro de la red independientemente del

equipo móvil utilizado. La separación entre SIM y ME facilita que un usuario pueda cambiar de terminal sin necesidad de cambiar de identidad, de SIM.

- El equipo móvil (ME): en este se integran las funciones propias de comunicación con la red celular, así como las funciones adicionales que permiten la interacción del usuario con los servicios que ofrece la red.

Además de las aplicaciones SIM y USIM, la tarjeta UICC puede contener también una aplicación denominada ISIM (IP Multimedia Services Identity Module) para almacenar los datos necesarios para la operación de los servicios IMS.

2.6 Capa física y tecnologías del sistema LTE.

La capa física de LTE se caracteriza por asignar recursos dinámicamente en lugar de tener recursos dedicados reservados para cada usuario. La capa física de un sistema de acceso de radio tiene un papel clave en la definición de la capacidad resultante y se convierte en un punto focal cuando se comparan diferentes sistemas para el rendimiento esperado. Por supuesto, un sistema competitivo requiere una capa de protocolo eficiente para asegurar un buen rendimiento.

La capa física ha sido diseñada para realizar las siguientes funciones:

- Detección de errores en el canal de transporte e indicación a las capas superiores.
- Mapear los símbolos codificados a canales físicos.
- Ponderación de energía de los canales físicos.
- Modulación y de modulación.
- Sincronización de frecuencia y tiempo.
- Medidas de radio características y la indicación a las capas superiores.
- Aplicación de la técnica multi-antena “Multiple Input-Multiple Output” (MIMO).
- Procesamiento de RF.

La capa física está basada en OFDMA con un prefijo cíclico en enlace descendente y en SC-FDMA con un prefijo cíclico en el enlace ascendente. Los modos de duplexación son tres: dúplex FDD, half dúplex FDD y TDD.

2.6.1. Características principales de la interfaz radio en LTE.

Los componentes básicos de la interfaz de radio LTE son la clave de su alto rendimiento. Estos componentes o características son: Flexibilidad de espectro, en términos de bandas de frecuencia variable, anchos de banda y operación FDD y TDD. Gracias a estas características LTE hace apto para casi cualquier espectro disponible.

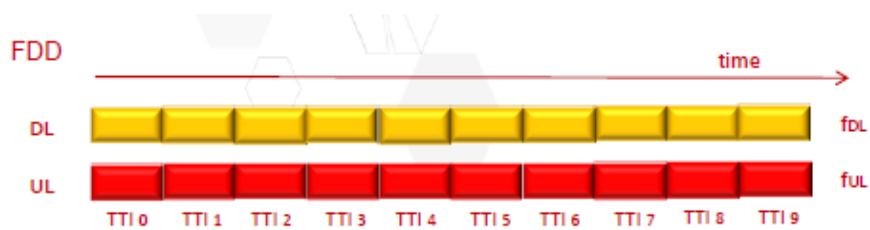


Figura 9. Trama en FDD [8].

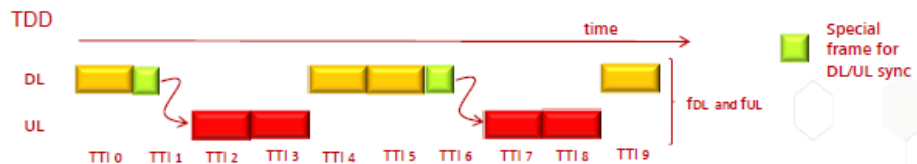


Figura 10. Trama en TDD [8].

En LTE-FDD existe una trama en la banda del enlace ascendente y otra trama del enlace descendente, mientras que, en LTE-TDD una única trama dividida en sub-tramas para el enlace ascendente y otras para el enlace descendente

Dependiendo de los aspectos reglamentarios en las distintas áreas geográficas, el espectro radioeléctrico para las comunicaciones móviles está disponible en diferentes bandas de frecuencia en diferentes anchos de banda, y se presenta como dos: espectro pareado (FDD) y espectro no pareado (TDD). Una de las características clave de acceso de radio LTE es la flexibilidad en la ocupación del espectro.

2.6.2. Técnica de acceso al medio: OFDMA y SC-FDMA.

La técnica de transmisión OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) constituye un mecanismo de transmisión multi-portadora, que consiste en multiplexar un conjunto de símbolos de una determinada modulación (QPSK o QAM) sobre un conjunto de subportadoras. Gracias a las propiedades de ortogonalidad de dichas subportadoras, es posible efectuar la transmisión simultánea de todos los símbolos manteniendo la capacidad de separación de los mismos en recepción (ver Figura 11).

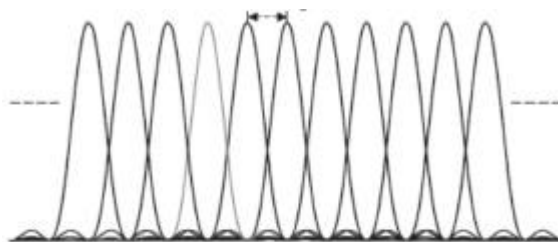


Figura 11. Multiplexación de la frecuencia en OFDM.

En la Figura 12 podemos observar que OFDM basa su transmisión en el uso de la Transformada Rápida Inversa de Fourier (TRIF) y la Transformada Rápida de Fourier (TRF) para la recepción. Mediante estas operaciones se puede obtener de forma sencilla la señal en el dominio de la frecuencia y en el dominio del tiempo. La TRF lleva la señal en el dominio del tiempo hacia el dominio de la frecuencia, mientras que la TRIF hace el proceso inverso.

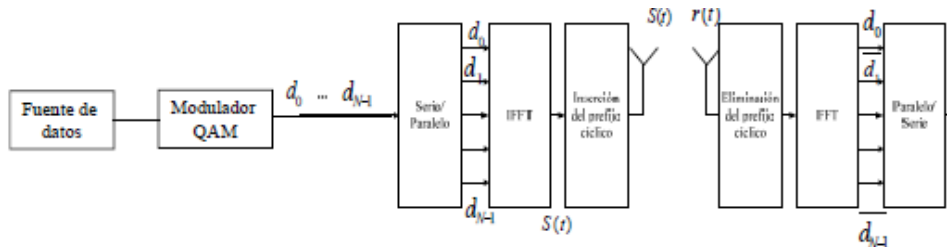


Figura 12. Esquema de OFDM en Tx y Rx.

En OFDM, debido a la utilización de una ventana de coseno alzado en el dominio de la frecuencia es necesario reservar un periodo de guarda en el comienzo de cada símbolo. Si no se emplease dicho tiempo de guarda, existiría interferencia entre símbolos como se puede deducir de la Figura 13. Este periodo de guarda se aprovecha para insertar la parte final de cada símbolo; esta inserción permite la ecualización de la señal recibida en el dominio de la frecuencia. Esta ecualización es muy sencilla y es una de las razones que posibilitan el empleo de anchos de banda elevados, mucho mayores que los utilizados en UMTS. El CP (prefijo cíclico) también sirve para ordenar los paquetes recibidos en el extremo receptor. Hay diferentes tipos de CP, es decir, CP corto y largo.

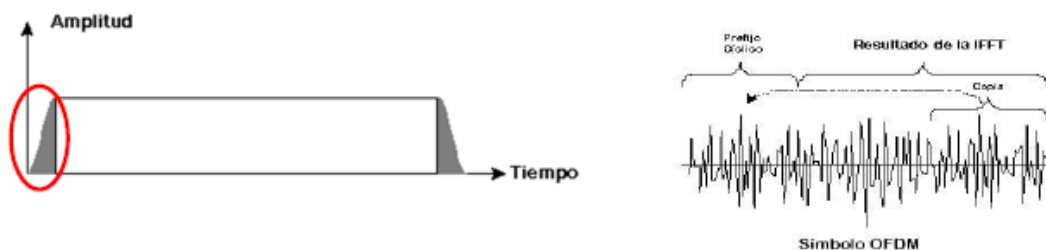


Figura 13. Prefijo Cíclico

En el enlace descendente en LTE, el prefijo cíclico corto se transmite con 7 símbolos OFDM en una única ranura de tiempo es decir, 0,5 ms y se utiliza para la transmisión de unidifusión, mientras que el prefijo cíclico largo tiene 6 símbolos OFDM y la duración es de 16,67 ms y se utiliza para la transmisión de multidifusión.

La 4G LTE se utiliza las técnicas de transmisión OFDMA para el enlace descendente y SC-OFDMA para el ascendente. La tecnología, OFDMA, es muy similar a la OFDM, sin embargo, OFDMA, considera la posibilidad de que los diferentes símbolos

modulados sobre las subportadoras pertenezcan a usuarios distintos. De esta forma es posible acomodar varias transmisiones simultáneamente de diferente flujo de información al viajar en subportadoras diferentes.

En la Figura 14, observamos que esta técnica de acceso al medio soporta tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia a diferentes usuarios al mismo tiempo, esto es debido a que a cada usuario se le asigna una cantidad de recursos de bloques en un intervalo de tiempo y en una fracción de frecuencia. En la sección siguiente ahondaremos en esta parte.

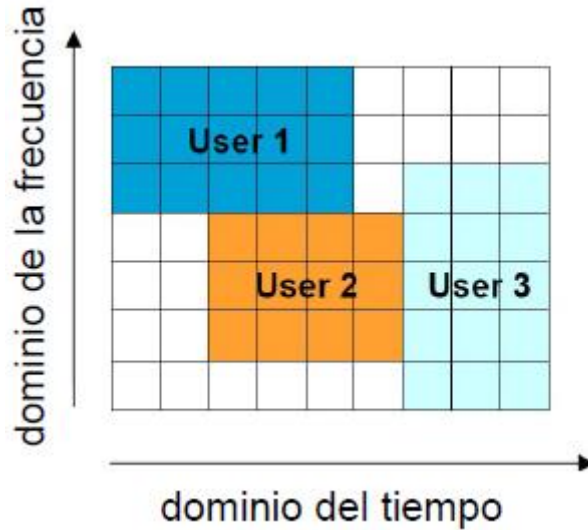


Figura 14. Comportamiento del OFDMA.

La Figura 15, observamos que LTE le asigna a cada equipo de usuario una cantidad de recursos en un tiempo específicos, cada recurso cuenta con 1 sub-trama, esta a su vez contiene 2 slots, cada uno con una duración de 0,5ms y con 7 símbolos de OFDM. Cada canal es 1 recurso de bloque, el cual contiene 12 subportadoras, las mismas están separadas entre sí a 15KHz, lo que le da a un bloque de recurso un ancho de banda de 180KHz. Utilizaremos estos principios de LTE para los cálculos en nuestra implementación, para determinar qué recursos posee un usuario y por tanto a qué velocidades de datos puede optar.

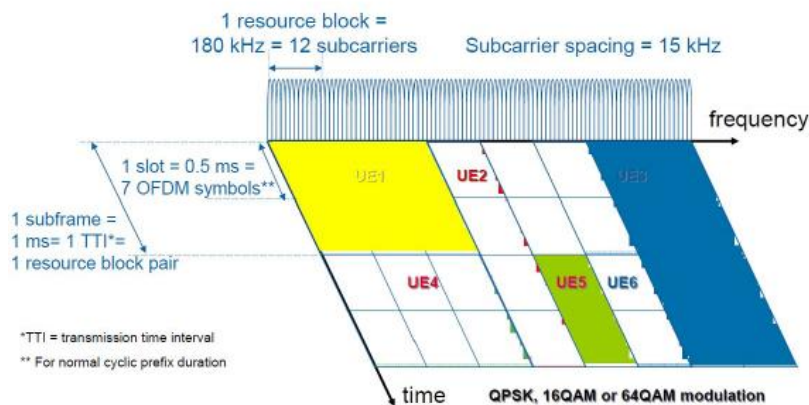


Figura 15. Canales en LTE.

La técnica de acceso múltiple SC-OFDMA, efectúa una pre-codificación de los símbolos a transmitir previa al proceso de transmisión OFDM, lo que permite reducir las variaciones en la potencia instantánea. Esta característica de esta técnica de acceso es la que permite que el 3GPP la escoja para el enlace ascendente, ya que los UE, van a necesitar menos potencia al transmitir.

Las diferencias en OFDMA y SC-FDMA son:

- Los datos de cada usuario se distribuyen entre todas las subportadoras asignadas a ese usuario. Esta operación es posible en la transmisión gracias a una Transformada de Fourier Discreta previa a la Transformada de Fourier Inversa. En recepción se realiza la operación inversa a la anterior.
- Otra diferencia es en la transmisión de señales de control. OFDMA utiliza portadoras de 7 símbolos OFDM en un intervalo de tiempo para la transmisión de datos, mientras SC-OFDMA, dos bloques cortos son reservados para llevar la señal piloto y 6 bloques para la transmisión de datos.

2.6.3 Canales de LTE

Cada canal de transporte se caracteriza por el procesamiento de los canales físicos correspondientes. La capa física tiene que ser capaz de proporcionar la asignación dinámica de recursos tanto para la variación en el tipo de datos y para la división de recursos entre los diferentes usuarios. En la Figura 16 se muestran los canales de transporte y sus relaciones con los canales físicos.

El canal físico utilizado para enviar la información de usuario en el enlace ascendente es el PUSCH. Ese canal sólo se activa cuando este tiene algo que transmitir en el enlace ascendente, por esto este canal PUSCH lleva el “Uplink Shared Channel”.

En el caso del canal lógico de radiodifusión (BCCH), y dependiendo del tipo de información a transmitir, dicho canal puede transmitirse utilizando bien el canal de transporte de radiodifusión (BCH), bien el canal compartido (DL-SCH). También es importante subrayar que dicho canal de transporte compartido (DL-SCH) se utiliza no sólo para transportar datos de usuario (DTCH) sino también señalización común (CCCH) y dedicada (DCCH). Ello es así ya que a diferencia de los sistemas de comunicaciones móviles previos, el sistema LTE no define canales físicos ni de transporte dedicados. En otras palabras, sólo cuando el usuario tiene datos o señalización a recibir o bien la red necesita enviar información de control común, se activa el canal compartido y por lo tanto no se desperdician recursos manteniendo activos canales dedicados que no siempre se utilizan.

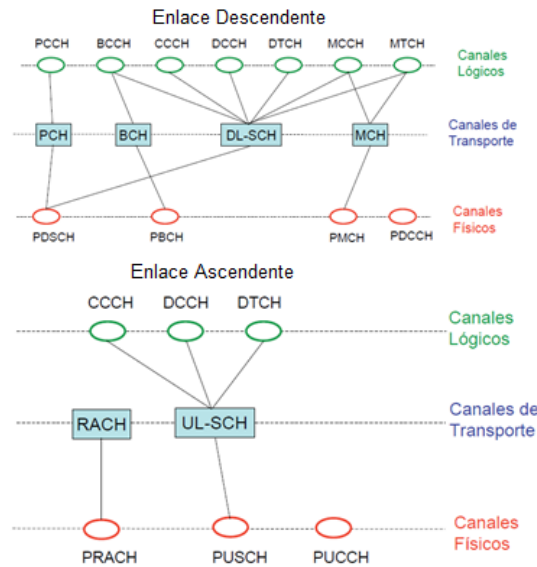


Figura 16. Relación entre los canales lógicos, de transporte y físicos en los diferentes enlaces.

2.6.4. Técnica MIMO.

El uso de técnicas de transmisión de múltiples antenas en sistemas de comunicaciones móviles mejora el rendimiento del sistema, las capacidades de servicio, o ambos. En el sistema LTE se pueden emplear múltiples antes de dos modos diferentes: aplicando técnicas de diversidad y aplicando MIMO que consiste en la transmisión de múltiples flujos de información (basado en el uso de pre-codificador) incluyendo la formación de haz como un caso especial [9].

La técnica de diversidad se puede emplear para lograr una buena cobertura (por ejemplo, en las células grandes o para apoyar a tasas de datos más altas en las fronteras de células). La capa física de LTE puede emplear múltiples transceptores en la estación base con el fin de mejorar robustez y velocidad de datos.

La técnica MIMO se puede aplicar con diferentes configuraciones de antenas en transmisión y recepción. En LTE se pueden emplear las configuraciones 1×1 , 2×2 , 3×2 o 4×2 . En todos los casos el número máximo de palabras de código es 2, independientemente del número de antenas de transmisión, ya que hay un máximo de dos antenas de recepción. Si los canales en el enlace ascendente de dos móviles son ortogonales la técnica MIMO se puede emplear en modo multiusuario, en este modo los dos usuarios móviles comparten los mismos recursos de tiempo y frecuencia. Este último modo se muestra en la Figura 14.

Cuando las condiciones del canal son favorables (SNR elevada), se pueden transmitir hasta cuatro flujos de datos, produciendo en paralelo hasta 300 Mbps en un ancho de banda de 20MHz. Cuando las condiciones del canal son menos favorables, se utilizan un menor número de flujos paralelos. Las múltiples se utilizan en parte en un

esquema de transmisión de formación de haz que mejora la calidad de recepción en general y, como consecuencia, la capacidad del sistema y la cobertura.

Hasta ahora hemos visto que la demanda de mayores velocidades de datos a una mejor calidad del servicio se ve desafiada por la escasez de recursos radio utilizables y por los desvanecimientos en el canal móvil. La utilización de múltiples antenas en el receptor y el transmisor es una de las técnicas clave que mejora notablemente la velocidad de datos de mayor alcance sin consumir ancho de banda o potencia de transmisión extra.

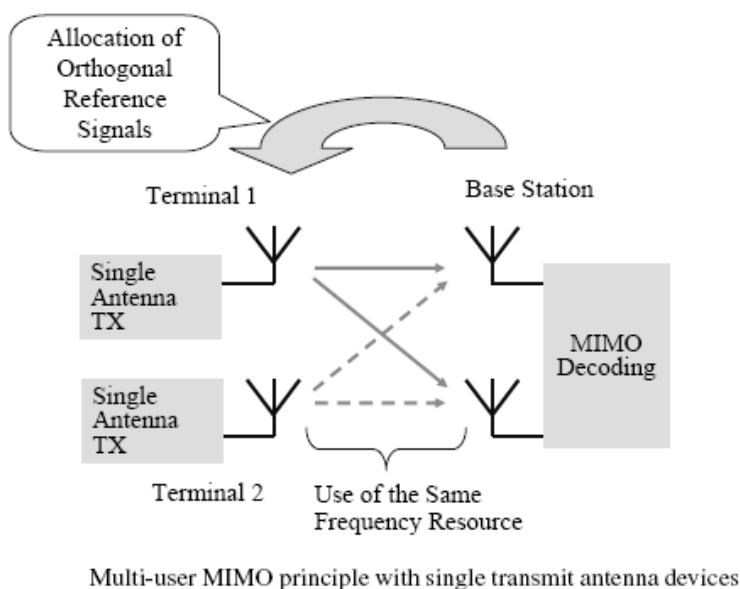


Figura 17. Transmisión MIMO.

3. DESPLIEGUE DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES MOVILES LTE MUNDO Y EN ESPANA.

3.1 Normalización de las Telecomunicaciones

El estándar LTE ha sido desarrollado por el 3GPP y se especifica en la serie de documentos Release 8, con pequeñas mejoras descritas en la versión 9. La estandarización 3GPP abarca arquitectura radio, red básica y de servicios. El proyecto fue establecido en diciembre de 1998 y no se debe confundir con la tercera Generation Partnership Project 2 (3GPP2), que fija las normas de otra tecnología 3G basado en IS-95 (CDMA), comúnmente conocido como CDMA2000.

La 3GPP ha realizado varias versiones de normas del estándar LTE como se ve en la Figura 18. Cada versión incluye cientos de normas individuales, cada uno de los cuales puede haber pasado por muchas revisiones.

El sistema LTE al igual que cualquier sistema de comunicaciones móviles ocupa una banda de frecuencias determinada. El organismo dedicado a la asignación de bandas es la

Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Este es el organismo especializado en telecomunicaciones de la ONU (Organización de las Naciones Unidas), encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras. Ahora es conocido como UIT-R y su principal función es regular la mayor parte del espectro radioeléctrico.

Version ^[5]	Released ^[6]	Info
Phase 1	1992	GSM Features
Phase 2	1995	GSM Features, EFR Codec,
Release 96	1997 Q1	GSM Features, 14.4 kbit/s User Data Rate,
Release 97	1998 Q1	GSM Features, GPRS
Release 98	1999 Q1	GSM Features, AMR, EDGE, GPRS for PCS1900
Release 99	2000 Q1	Specified the first UMTS 3G networks, incorporating a CDMA air interface ^[7]
Release 4	2001 Q2	Originally called the Release 2000 - added features including an all-IP Core Network ^[8]
Release 5	2002 Q1	Introduced IMS and HSDPA ^[9]
Release 6	2004 Q4	Integrated operation with Wireless LAN networks and adds HSUPA, MBMS, enhancements to IMS such as Push to Talk over Cellular (PoC), GAN ^[10]
Release 7	2007 Q4	Focuses on decreasing latency, improvements to QoS and real-time applications such as VoIP. ^[11] This specification also focus on HSPA+ (High Speed Packet Access Evolution), SIM high-speed protocol and contactless front-end interface (Near Field Communication enabling operators to deliver contactless services like Mobile Payments), EDGE Evolution.
Release 8	2008 Q4	First LTE release. All-IP Network (SAE). New OFDMA, FDE and MIMO based radio interface, not backwards compatible with previous CDMA interfaces. Dual-Cell HSDPA.
Release 9	2009 Q4	SAES Enhancements, WiMAX and LTE/UMTS Interoperability. Dual-Cell HSDPA with MIMO, Dual-Cell HSUPA.
Release 10	2011 Q1	LTE Advanced fulfilling IMT Advanced 4G requirements. Backwards compatible with release 8 (LTE). Multi-Cell HSDPA (4 carriers).
Release 11	2012 Q3	Advanced IP Interconnection of Services. Service layer interconnection between national operators/carriers as well as third party application providers.
Release 12	Planned to 2014 Q2	Content still open (as of October 2012).

Figura 18. Versiones de la 3GPP [10]

3.2 LTE en el Mundo.

En algunos países ya se han asignado las bandas del espectro donde va a emitir la nueva tecnología de 4G LTE. En las Figuras 19 y 20 observamos un panorama de las ciudades en América y en el mundo respectivamente donde ya se está en funcionamiento la nueva tecnología móvil.



Figura 19. LTE en AMERICA [11].



Figura 20. LTE en el Mundo [11].

Las mayorías de las ciudades de los grandes países del mundo ya tienen el servicio LTE al alcance del público. En algunos países se establecieron medidas para ofrecerlo al público.

Observemos el panorama de algunos países sobre su estado actual con la nueva tecnología móvil en las diferentes regiones del mundo [12].

- **Bélgica:** El Instituto Belga de Correos y Telecomunicaciones celebró una subasta de espectro 4G para la banda de 2,6GHz a finales de noviembre de 2011.
- **Polonia:** En septiembre de 2010 utilizaron el 1800MHz para ofrecer LTE. El Gobierno, por su parte, también subastó las bandas de 800MHz y 2,6GHz.
- **Portugal:** El regulador, Anacom, estaba planeando en junio de 2011, la subasta de hasta seis bandas aptas para servicios 4G (450MHz, 800MHz, 900MHz, 1800MHz, 2,1GHz y 2,6GHz), con la esperanza de reunir al menos 450 millones de euros.
- **Reino Unido:** El Reino Unido subastó espectro en los 800MHz y 2,6GHz en el 2012, mientras tanto, a diferencia de otros países europeos,

se está permitiendo a los operadores de 2G utilizar la banda de 900MHz para las ofertas de 3G.

- **Hong Kong, China:** La subasta 4G (90MHz de espectro pareado en la banda de 2,6GHz) se completó a principios de 2009. Las tres propuestas ganadoras fueron evaluadas en un total de 196,9 millones de dólares estadounidenses que se tradujo en 0.31 dólares por MHz. El regulador, conocido como OFT la Oficina de la Autoridad de Telecomunicaciones, señaló que el volumen de tráfico de datos móviles se multiplicó 189 por ciento entre diciembre de 2009 diciembre de 2010, esto debido a la implementación de la 4G LTE.
- **Argentina:** El Ministerio de Comunicaciones anunció planes para subastar espectro en la banda de 830-879MHz y 1890-1985MHz en la segunda mitad de 2011. Los precios mínimos de licitación para el espectro se establecieron entre USD 600,000 y 6 millones, dependiendo del área de servicio y la banda del espectro. Los proveedores están obligados a publicar un depósito de USD 1,3 millones y el compromiso de construir la cobertura de las áreas dentro de los cinco años. Al menos el 30 por ciento de los equipos de la red debe ser de los proveedores locales en Argentina.
- **Brasil:** Anatel, el regulador nacional de telecomunicaciones, anunció planes en 2010 para subastar varias bandas de Broadband Wireless Access (BWA). Dirigiéndose a la banda de 2,5 GHz, el objetivo era hacer que esta banda esté disponible a tiempo para la Copa Mundial de fútbol 2014 a celebrarse en el país. Mientras tanto, Anatel también anunció planes para llevar a cabo una " súper subasta " de 165 licencias en cinco grupos diferentes: 800MHz, 900MHz, 180MHz y 2100MHz.
- **Canada:** En agosto de 2009, Industry Canada subastó 282 licencias en su servicio (AWS) Subasta Avanzada Inalámbrica, del espectro en la banda de 2GHz. Quince empresas ganaron acceso a 105MHz de espectro, pagando un total colectivo de 4,3 mil millones de dólares canadienses (2,7 millones de euros). El resultado fue de cuatro veces más de lo que el gobierno había predicho.
- **Estados Unidos:** En Estados Unidos ya se habían vendido grandes bloques de espectro en la banda AWS y en la banda de dividendo digital de 700MHz para el año 2008. Sin embargo, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) a principios de 2010, observó la necesidad de reasignar los otros 500MHz del espectro para el desarrollo continuo de la BWA en el Congreso de EE.UU y el Poder Ejecutivo están explorando activamente varias bandas adicionales para la reasignación, incluido el 1755-1850MHz y una parte de la banda de 1675-1710MHz, entre otros.

- Con los países **africanos** siguen disfrutando de un rápido crecimiento de los servicios móviles de 2G, la aceleración de los servicios 3G y 4G ha sido un poco más lento que en otros mercados más saturados. Uganda puso varias bandas disponibles para la evolución de los servicios de 3G, aunque no llevó a cabo una subasta. La Comisión de Comunicaciones de Uganda (UCC), inició el proceso mediante la realización de un análisis comparativo internacional, y haciendo referencia a las normas internacionales, para determinar cuánto espectro disponible debe haber para cada posible operador. Safaricom, una empresa de telecomunicaciones en Oriente y África Central, comenzó a montar una red 4G en octubre de 2010. A Huawei se le dio el contrato y la red fue configurada para ser totalmente comercial a finales del Q1 de 2011.

3.3 LTE en España.

La Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones autorizó en España tres anchos de banda para 4G, concretamente las bandas de 800MHz, 1800MHz y 2600MHz. Según esto, los operadores y vendedores (Vodafone, Movistar, France Telecom, Huawei, Ericsson, etc.) empezarán a experimentar y a invertir sus recursos en dichas frecuencias. Sin embargo, existe un problema de utilización de LTE para la banda de 800MHz, ya que, esta banda en España es justo una de las bandas que se están utilizando la TDT (Televisión Digital Terrestre) en estos momentos. Esta banda de frecuencia conocida como el dividendo digital es codiciada por los operadores, ya que esta tiene menores pérdidas de propagación y menores requisitos de inversión para ofrecer la nueva cobertura LTE.

France Telecom y Xfera móvil han comprometido unas inversiones de 733 millones de euros, una cifra muy superior a los 186 millones de euros exigidos por el gobierno español. La resolución de ambos concursos y el importante volumen de inversiones comprometidas permiten cumplir los objetivos para los que se convocaron, en particular, los de incrementar la competencia en el mercado de las comunicaciones móviles, promover la realización de inversiones en infraestructuras, impulsar la mayor extensión de la cobertura de los servicios de comunicaciones electrónicas, generalizar la aplicación de los principios de neutralidad tecnológica y de servicios en el uso del espectro radioeléctrico y, en definitiva, impulsar el desarrollo de la Sociedad Digital.

Sin embargo, existían algunos problemas antes que esta red pudiera operar. Uno de ellos es el espectro radio eléctrico. Como indicamos anteriormente la banda de los 800MHz está siendo ocupada por la TDT, la 2600MHz está libre pero no tiene el alcance deseable, además que es más costoso invertir desde cero en ella. Mientras que la banda 1800MHz no representa un problema pero ya está ocupada por los servicios 3G y 2G.

3.3.1 Concesiones de las bandas de frecuencia para la LTE: 1800MHz y 2600MHz.

En la siguiente tabla se muestran las bandas de frecuencias en la que van a operar los servicios LTE en todo el territorio español.

Frecuencia (MHz)	F. de Subida(MHz)	F. de Bajada(MHz)
2600	2500-2570	2620-2690
1800	1710-1785	1805-1880
800	832-862	791-821

Tabla1. Frecuencia para LTE en España [13].

Titular	Bloque	Bajada	Subida	Ámbito de utilización
XFERA MOVILES SA (YOIGO)	2x5 MHz	1845,1 - 1850,1 MHz	1750,1 - 1755,1 MHz	TODO EL TERRITORIO NACIONAL
XFERA MOVILES SA (YOIGO)	2x5 MHz	1850,1 - 1855,1 MHz	1755,1 - 1760,1 MHz	TODO EL TERRITORIO NACIONAL
XFERA MOVILES SA (YOIGO)	2x5 MHz	1855,1 - 1859,9 MHz	1760,1 - 1764,9 MHz	TODO EL TERRITORIO NACIONAL
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x20 MHz	1825,1 - 1845,1 MHz	1730,1 - 1750,1 MHz	TODO EL TERRITORIO NACIONAL
FRANCE TELECOM ESPAÑA, SAU	2x20 MHz	1859,9 - 1879,9 MHz	1764,9 - 1784,9 MHz	TODO EL TERRITORIO NACIONAL
TELEFONICA MOVILES ESPAÑA, S.A.U	2x20 MHz	1805,1 - 1825,1 MHz	1710,1 - 1730,1 MHz	TODO EL TERRITORIO NACIONAL

Tabla 2 Resultado de concesión en la banda 1800MHz [13].

La Tabla 2 muestra el resultado de la concesión en la banda 1800MHz, como podemos observar las compañías podrán operar 4G LTE en todo el territorio nacional.

De acuerdo con el Real Decreto 458/2011, de 1 de abril, la banda de frecuencias de 2,6GHz está destinada a la prestación de servicios de comunicaciones electrónicas, bajo el principio de neutralidad tecnológica y de servicios [14]. Los titulares de derechos de uso, porciones de espectro y ámbito geográfico (nacional o territorio de la Comunidad Autónoma o Ciudad Autónoma indicada), actualmente en vigor en esta banda de frecuencias son los siguientes:

- Cable Europa, S.A.U (ONO) 2560 a 2570 MHz y 2680 a 2690 MHz (2x10 MHz FDD) Cantabria, Cataluña, Valencia, Madrid, Murcia, Navarra, La Rioja, Ceuta y Melilla.
- Consorcio de Telecomunicaciones Avanzadas, S.A. 2595 a 2605 MHz (10 MHz TDD) Murcia.
- Euskaltel, S.A. 2560 a 2570 MHz y 2680 a 2690 MHz (2X10 MHz FDD) País Vasco y 2595 a 2605 MHz (10 MHz TDD) País vasco.
- France Telecom España, S.A.U. 2520 a 2540 MHz y 2640 a 2660 MHz (2x20 MHz FDD) nacional y 2605 a 2615 MHz (10 MHz TDD) nacional.
- Jazz Telecom, S.A.U. 2560 a 2570 MHz y 2680 a 2690 MHz (2x10 MHz FDD) Andalucía, Illes Balears y Canarias.
- R Cable Telecomunicaciones Galicia, S.A. 2560 a 2570 MHz y 2680 a 2690 MHz (2x10 MHz FDD) Galicia y 2595 a 2605 MHz (10 MHz TDD, Galicia).
- Telecable Asturias S.A.U. 2560 a 2570 MHz y 2680 a 2690 MHz (2x10 MHz FDD) Asturias y 2595 a 2605 MHz (10 MHz TDD) Asturias.
- Telecom Castilla la Mancha, S.A. 2560 a 2570 MHz y 2680 a 2690 MHz (2x10 MHz FDD) Castilla-La Mancha.
- Telefónica Móviles España, S.A.U. 2500 a 2520 MHz y 2620 a 2640 MHz (2x20 MHz FDD) nacional.
- Vodafone España S.A.U. 2540 a 2560 MHz y 2660 a 2680 MHz (2x20 MHz FDD) nacional y 2575 a 2595 MHz (20 MHz TDD) nacional.

La siguiente tabla muestra el resultado de la concesión en la banda 2600MHz.

Titular	Bloque	Bajada	Subida	Ámbito de utilización
JAZZ TELECOM SA	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	ANDALUCIA
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	ANDALUCIA
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	ARAGÓN
JAZZ TELECOM SA	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	CANARIAS
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	CANARIAS
CABLEEUROPA, S.A.U	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	CANTABRIA
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	CANTABRIA

VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	CASTILLA Y LEÓN
TELECOM CASTILLA LA MANCHA SA	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	CASTILLA-LA MANCHA
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	CASTILLA-LA MANCHA
CABLEUROPA, S.A.U.	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	CATALUÑA
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	CATALUÑA
CABLEUROPA, S.A.U.	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	CEUTA
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	CEUTA
CABLEUROPA, S.A.U.	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	COMUNIDAD DE MADRID
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	COMUNIDAD DE MADRID
CABLEUROPA, S.A.U.	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA
CABLEUROPA, S.A.U.	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	COMUNIDAD VALENCIANA
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	COMUNIDAD VALENCIANA
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	EXTREMADURA
R CABLE Y TELECOMUNICACIONES GALICIA SA	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	GALICIA
R CABLE Y TELECOMUNICACIONES GALICIA SA	2x5 MHz		2595 - 2605 Mhz	GALICIA
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	GALICIA
JAZZ TELECOM SA	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	ILLES BALEARS
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	ILLES BALEARS
CABLEUROPA, S.A.U.	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	LA RIOJA
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	LA RIOJA
CABLEUROPA, S.A.U.	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	MELILLA
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	MELILLA
EUSKALTEL SA	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	PAÍS VASCO
EUSKALTEL SA	2x5 MHz		2595 - 2605 Mhz	PAÍS VASCO
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	PAÍS VASCO
TELECABLE DE ASTURIAS S.A.	2x5 MHz		2595 - 2605 Mhz	PRINCIPADO DE ASTURIAS

TELECABLE DE ASTURIAS SA	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	PRINCIPADO DE ASTURIAS
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	PRINCIPADO DE ASTURIAS
CABLEEUROPA, S.A.U. (ONO)	2x10 MHz	2680 - 2690 Mhz	2560 - 2570 Mhz	REGIÓN DE MURCIA
CONSORCIO DE TELECOMUNICACIONES AVANZADAS, SA	2x5 MHz		2595 - 2605 Mhz	REGIÓN DE MURCIA
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2675 - 2680 Mhz	2555 - 2560 Mhz	REGIÓN DE MURCIA
FRANCE TELECOM ESPAÑA, SAU	2x10 MHz	2650 - 2660 Mhz	2530 - 2540 Mhz	TODO EL TERRITORIO NACIONAL
FRANCE TELECOM ESPAÑA, SAU	2x10 MHz	2640 - 2650 Mhz	2520 - 2530 Mhz	TODO EL TERRITORIO NACIONAL
TELEFONICA MOVILES ESPAÑA, S.A.U.	2x10 MHz	2630 - 2640 Mhz	2510 - 2520 Mhz	TODO EL TERRITORIO NACIONAL
TELEFONICA MOVILES ESPAÑA, S.A.U.	2x10 MHz	2620 - 2630 Mhz	2500 - 2510 Mhz	TODO EL TERRITORIO NACIONAL
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2670 - 2675 Mhz	2550 - 2555 Mhz	TODO EL TERRITORIO NACIONAL
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2665 - 2670 Mhz	2545 - 2550 Mhz	TODO EL TERRITORIO NACIONAL
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x5 MHz	2660 - 2665 Mhz	2540 - 2545 Mhz	TODO EL TERRITORIO NACIONAL

Tabla 3. Resultado de la concesión en la banda 2600MHz [15].

3.3.2 Dividiendo Digital y la Banda de 800MHz en España.

En España el plan de la Televisión Digital Terrestre data del año 1998, la necesidad de que la televisión digital coexistiera con la televisión analógica por mucho tiempo, obligó a la utilización de canales que hoy forman parte del dividendo digital. Para esa fecha no estaba previsto utilizar esa parte del espectro para otra cosa que no fueran los servicios de radio difusión de TDT. Sin embargo, la UIT tenía en sus planes reservar esta banda de frecuencia (800MHz), para la nueva tecnología móvil 4G LTE [16].

La transmisión de la televisión analógica tuvo su fin el 3 de abril del 2010, a esto se conoció como “El apagón Analógico”. Tras este acontecimiento quedaron disponibles las numerosas frecuencias utilizadas con carácter provincial y local en las emisiones analógicas.

El llamado "dividendo digital" establece a partir del 1 de enero de 2015 la reserva de las frecuencias entre 794 y 862MHz, los canales 61 a 69, para otros servicios de comunicaciones. Esto supone trasladar la mayoría de las emisiones de TDT actuales, reajustando toda la red de emisores y obligando a los usuarios a modificar nuevamente la configuración de sus antenas. Esta banda tiene un gran potencial para el suministro de un amplio rango en movilidad, ya que las señales inalámbricas en esta banda tienen mejores propiedades de propagación y penetración en interiores de edificios y mejor rendimiento que otras bandas superiores.

La ley 2/2011, en su artículo 54 prevé que la banda de frecuencia de 790-892MHz se destine principalmente para el servicio avanzado de comunicaciones móviles. Según esta ley, la banda deberá quedar libre para 2 de enero del 2015. Para esto el gobierno Español mediante su Ministerio de Industria, Turismo y Comercio estableció el “PLAN MARCO DE ACTUACIONES PARA LIBERACION DE DIVIDIENDO DIGITAL” [16].

3.3.3 Primeras pruebas con LTE en el país.

Vodafone España, una de las grandes proveedoras de servicio telefónico, ya ha anunciado la disponibilidad de su servicio 4G. La oferta comercial de Vodafone 4G podrá ser contratada en 7 ciudades: Barcelona, Bilbao, Madrid, Málaga, Palma de Mallorca, Sevilla y Valencia.

El despliegue inicial de 4G se ha realizado sobre las frecuencias de 1800 y 2600MHz. No obstante, el despliegue posterior se agilizará cuando se libere la banda de frecuencias de 800MHz, lo que optimizará la eficiencia y mejorará la cobertura en el interior de los edificios. Por tanto, para facilitar el despliegue y hacer llegar estos

servicios de última generación a la mayor parte de la población española es necesaria la liberación de dichas frecuencias.

La cobertura de 4G LTE de Vodafone en Madrid y Barcelona es la siguiente;

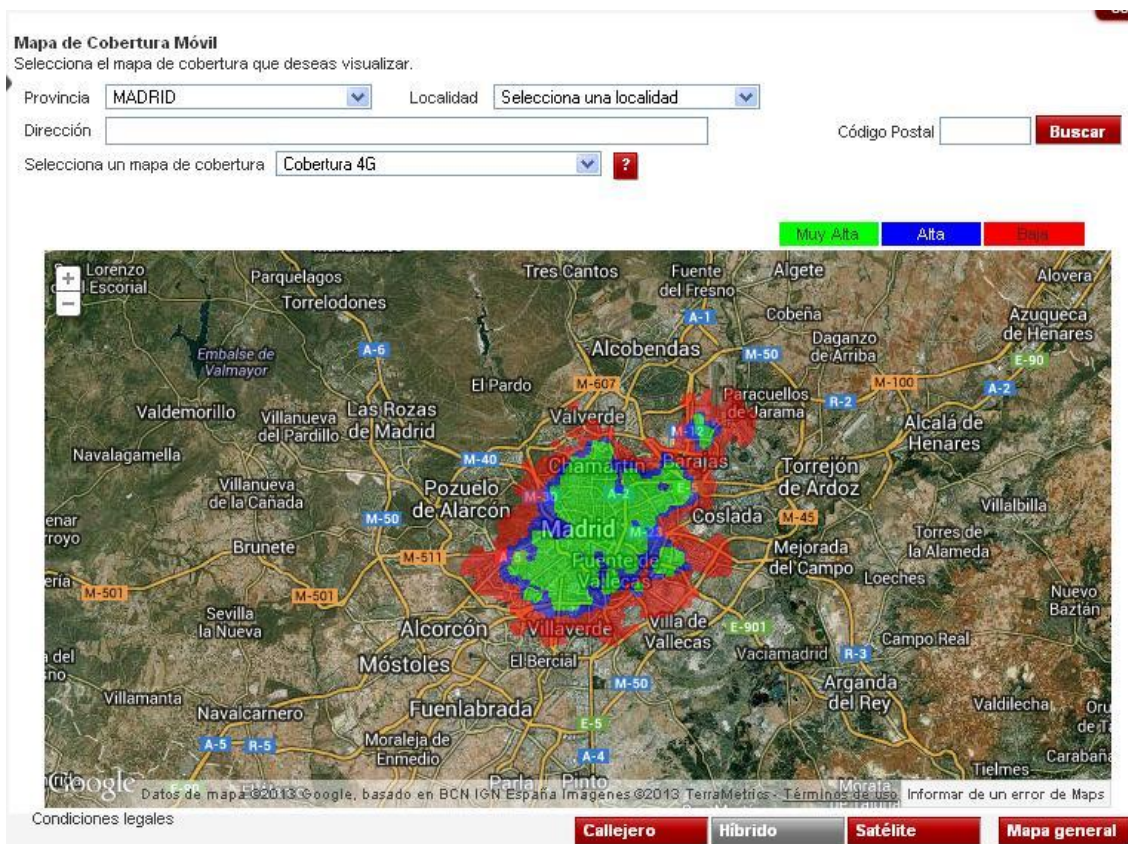


Figura 21. Cobertura Vodafone en la ciudad de Madrid [17].

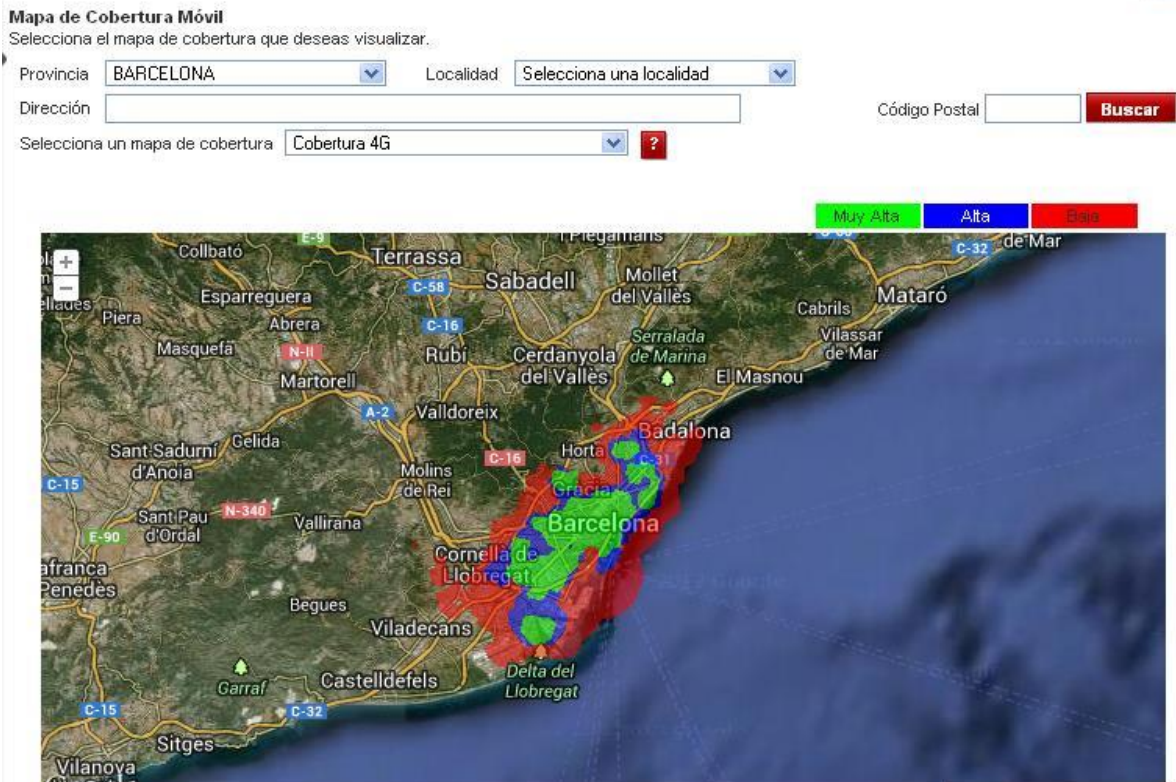


Figura 22. Cobertura Vodafone en la ciudad de Barcelona [17].

En las Figuras 21 y 22 observamos que la nueva red de Vodafone solo es operable en los centros de las 2 principales ciudades de España (la fuente no indica en que banda operará esta nueva red LTE). Por otra parte la compañía proveedora de servicios móvil, Telefónica, está trabajando a marchas forzadas para construir sus redes 4G LTE. Lo quedó claro en el “Mobile World Congress”, en Barcelona, donde se mostró la primera experiencia real de conectividad de LTE de esta compañía. Aunque no se han alcanzado los límites de 3G, el operador español ya tiene sus miras puestas en la próxima etapa [18].

No solo estas grandes compañías han hechos sus pruebas en LTE, también la cuarta compañía móvil con red propia en España ha dado a conocer todos los detalles sobre su red 4G LTE. La cobertura 4G LTE de Yoigo estará disponible en toda España y no sólo en zonas urbanas. Todas las antenas de Yoigo están adaptadas a LTE. Ericsson se encargará de la construcción de la red LTE de Yoigo, para el 18 de julio en la Comunidad de Madrid y para 37% del país estará brindando este servicio durante el 2013 y el 75% a final de 2014 [19].



Figura 23. Despliegue de la red 4G de Yoigo por fases [19].

3.3.4 Sistema LTE en la región de Murcia.

España es el país de la región europea con el mayor porcentaje de usuarios con teléfonos móvil inteligentes. Según estudio realizado por la empresa de ComeScore el porcentaje es de un 63% como lo muestra la Figura 24.

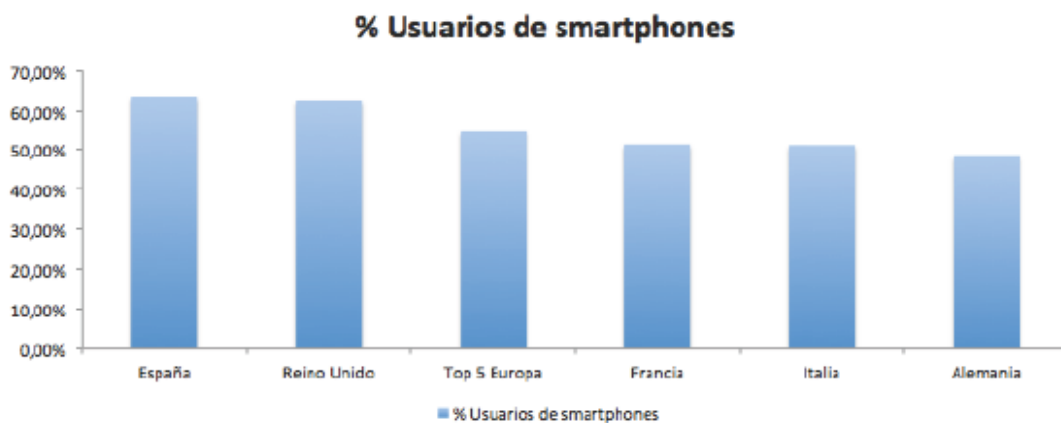


Figura 24. Porcentaje de usuarios con teléfonos inteligente en los países europeos [20].

Debido a la gran demanda de alta velocidad en la descarga y compartimiento de datos, existe un gran interés en instalar el sistema comunicación móvil 4G LTE en España. Sin embargo, las grandes compañías que proveerán este servicio inicialmente se enfocarán en las grandes ciudades del país, especialmente Madrid y Barcelona. Nosotros enfocaremos nuestra implementación de la red LTE en la zona urbana de la ciudad de Murcia. Para esto utilizaremos los datos de concesión anteriormente mostrado para dicha región. También tomaremos en cuenta la cantidad de personas que en la actualidad residen en la zona urbana de Murcia, y por último la cantidad de suscriptores con el que cuenta la compañía proveedora Vodafone en la región.

Según las concesiones mostradas en la sección 3.3.1 vemos que las compañías que podrán operar dentro de la región son; Cableuropa, S.A.U. (ONO), Vodafone España, S.A, en las bandas 2600MHz. Sin embargo dentro de las licitaciones las compañías France Telecom España, Telefónica Móviles España y Vodafone España S.A. tienen licencias para operar en todo el territorio nacional dentro de esta banda. En la banda de 1800MHz, las empresas Xfera Móviles (Yoigo), Vodafone España, France Telecom España y Telefónica Móviles España podrán brindar el servicio LTE dentro de España en esta banda de frecuencias.

Para nuestra planificación tomaremos las frecuencias otorgadas a la compañía telefónica Vodafone España, tanto en la banda de 1800MHz como para la de 2600MHz. Esto implica que el ancho de banda total del sistema en estas bandas será de 20 MHz tal como se puede observar en las Tabla 4 y Tabla 5.

Para la banda de 2600MHz utilizaremos la siguiente Tabla:

Titular	Bloque	Bajada	Subida	Ámbito de utilización
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x20 MHZ	2660-2680MHz	2540-2560MHz	TODO EL TERRITORIO NACIONAL

Tabla 4. Ancho de banda asignado a Vodafone en Murcia para el servicio de 4G en la banda de 2600 MHz.

Mientras que para la banda de 1800MHz utilizaremos la siguiente:

Titular	Bloque	Bajada	Subida	Ámbito de utilización
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	2x20 MHz	1825,1 - 1845,1 MHz	1730,1 - 1750,1 MHz	TODO EL TERRITORIO NACIONAL

Tabla 5. Ancho de banda asignado a Vodafone en Murcia para el servicio de 4G en la banda de 1800 MHz.

Top broadband economies, early 2011

Economy	Active mobile-broadband subscriptions per 100 inhabitants*
Korea (Rep.)	91.0
Japan	87.8
Sweden	84.0
Australia	82.7
Finland	78.1
Hong Kong, China	74.5
Portugal	72.5
Luxembourg	72.1
Singapore	69.7
Austria	67.4
New Zealand	66.2
United Kingdom	56.0
Spain	55.7
Denmark	54.7
United States	54.0
Ireland	47.3

Note: Excludes economies with populations below 100'000
 Source: ITU World Telecommunication/ICT Indicators database
 * Data provided by Wireless Intelligence

Figura 25. Suscriptores a internet móvil por cada 100 habitantes [21].

La Figura 25 muestra que en el 2011, casi 56 personas de cada 100 tenían acceso a internet móvil en España, este dato lo aplicaremos a la ciudad de Murcia y además supondremos que tienen equipos móviles hábiles para soportar la conexión 4G LTE.

Las Grandes Áreas Urbanas y sus municipios (ordenadas por población)					2012	
GRANDES ÁREAS URBANAS	Municipios	Nº de municipios	Superficie 2011 (km ²)	Población 2011	Densidad 2011 (Hab./km ²)	% Población (1)
ÁREA URBANA DE MURCIA						
	Murcia	10	1.230,9	643.854	523	2,00
	Molina de Segura		886,0	442.203	499	68,68
	Alcantarilla		169,5	66.775	394	10,37
	Torres de Cotillas, Las		16,2	41.568	2.560	6,46
	Archena		38,8	21.443	553	3,33
	Santomera		16,4	18.083	1.103	2,81
	Beniel		44,2	15.649	354	2,43
	Ceutí		10,1	11.068	1.100	1,72
	Alguazas		10,3	10.729	1.047	1,67
	Lorquí		23,7	9.288	391	1,44
			15,8	7.048	447	1,09

Figura 26. Población total en la zona urbana de Murcia para 2011 [22].

En la Figura 26 tenemos en detalle la población del área urbana de Murcia, en base a este dato vamos a planificar nuestra simulación. Si trasladamos los datos de la Figura 25 a la zona urbana de Murcia entonces tendríamos **247,634** personas tienen acceso a internet vía móvil.

4. LA HERRAMIENTA DE CÁLCULO DE COBERTURAS: RADIOGIS.

La herramienta RadioGIS sirve para calcular la cobertura radioeléctrica de sistemas de radiocomunicaciones como GSM, UMTS, TETRA, LMDS, MMDS, Radio digital, TDT, WiFi, etc.

Esta herramienta permite, mediante coordenadas, crear los emplazamientos necesarios para diseñar un sistema de comunicación.

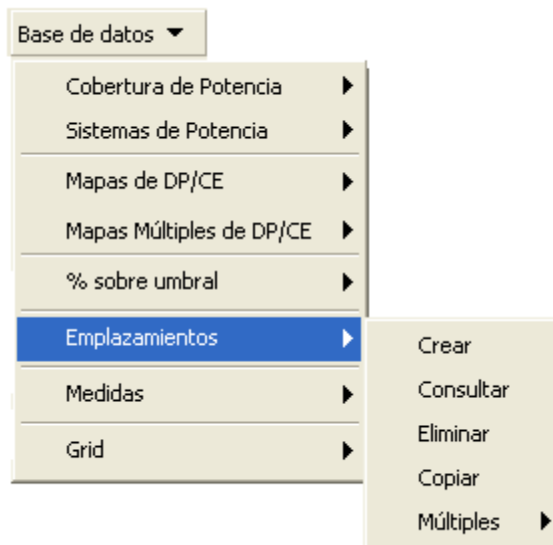


Figura 27. Crear Emplazamientos en RadioGIS.

Para calcular la cobertura de potencia de un sistema de comunicación, el sistema permite colocar parámetros de transmisión y de recepción como muestran las figuras siguientes:

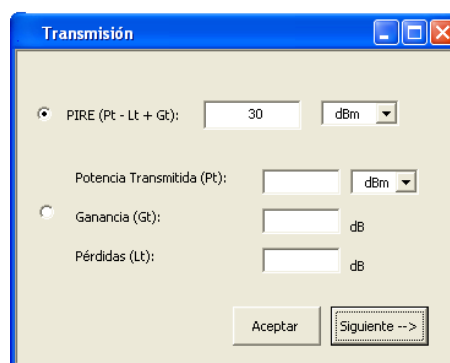


Figura 28. Parámetros de Transmisión en RadioGIS.



Figura 29. Parámetros de recepción en RadioGIS.

Dentro de los parámetros de la antena RadioGIS nos permite colocar la altura con relación al suelo en metros, escoger el diagrama de radiación que tendrá la misma ya sea isotrópica, omnidireccional o sectorizada. También podemos manejar los ángulos de acimut (0° , 359°) y de elevación (-90° , 90°). Lo mismo nos permite hacer con la estación móvil.

Dentro de los parámetros comunes que tenemos en un enlace el sistema nos brinda la facilidad de seleccionar la frecuencia de transmisión que deseamos utilizar en Hz, KHz, MHz y GHz. Así mismo, podemos seleccionar el modelo de propagación que queremos utilizar en nuestra estudio.

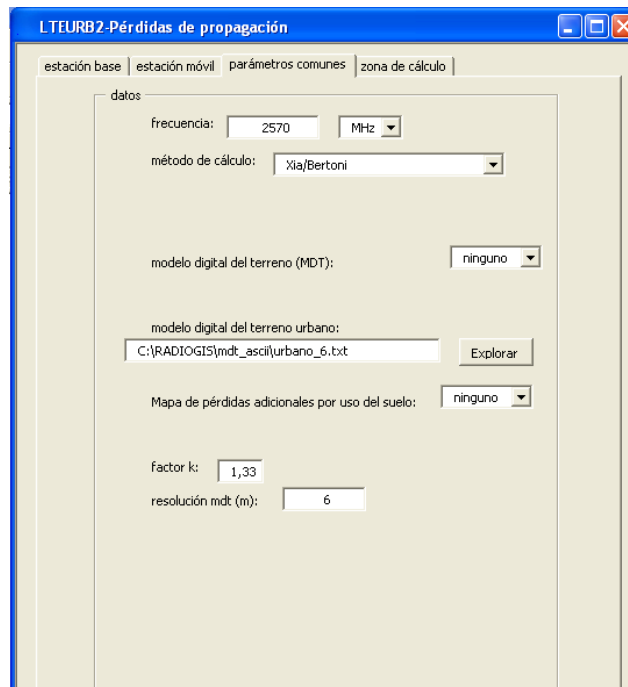


Figura 30. Parámetros para la propagación.

RadioGIS nos permite también calcular el sistema de potencia conjunto de varias coberturas ya calculadas. Sabiendo el valor de potencia de cada estación base en cada punto, tenemos la opción de saber cuál es el mejor servidor al cual se puede conectar nuestra estación móvil. El cálculo del área de cobertura y de mejor servidor se realiza sobre el enlace más desfavorable.

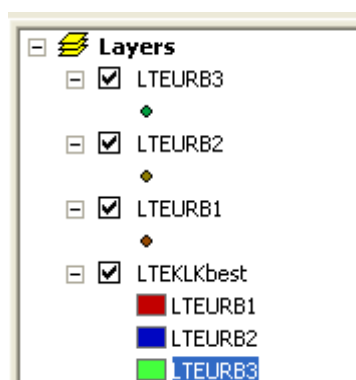
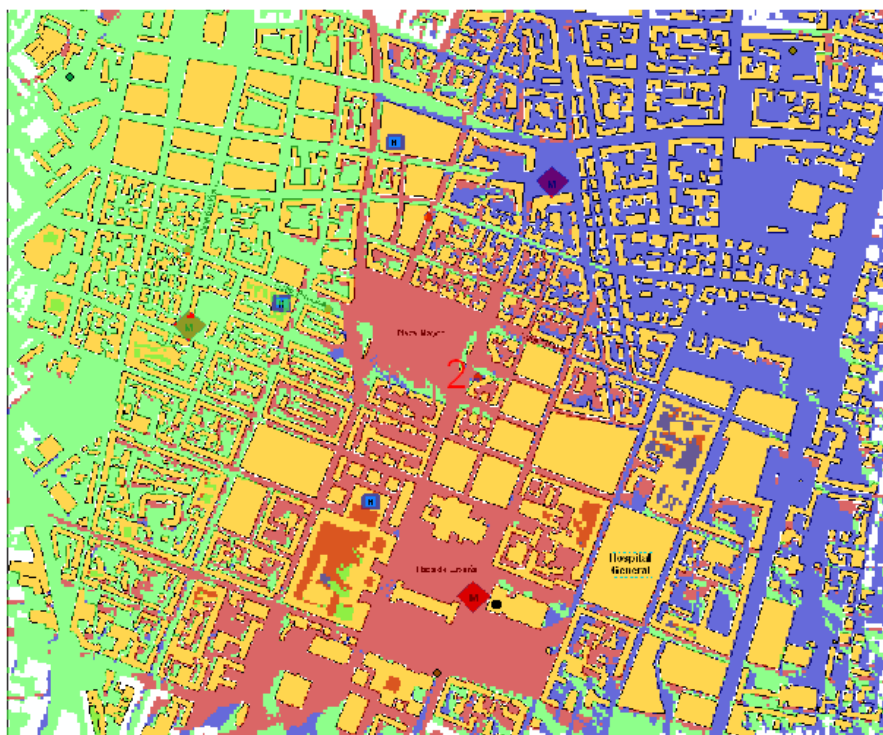


Figura 31. Mapa de mejor servidor en RadioGIS.

5. DISEÑO DE UN SISTEMA MOVIL LTE EN RADIOGIS.

5.1 Despliegue de la Red LTE en la Región de Murcia.

Para comenzar nuestra implementación lo primero que vamos a tomar en consideración cuál es el enlace más desfavorable (ascendente y descendente) para nuestro sistema. Para esto debemos tener en cuenta algunos factores.

La siguiente Tabla muestra los parámetros de la antena específicos que utilizamos para la creación de nuestro enlace para las bandas 2600MHz y 1800MHz.

Antena para 2.6MHz	
Vendedor	RFS
Antena	APXVMM13A-C
Ganancia(dBi)	18.5dBi
Rango de Frecuencia(MHz)	2496-2700
Angulo Horizontal	63 grados
Angulo Vertical	5.5 grados
Polarización	Doble polarización +-45
Impedancia	50 Omhs
Max PIRE	270 Watts

Tabla 6. Parámetros de la Antena LTE en la banda de 2.6 GHz [23].

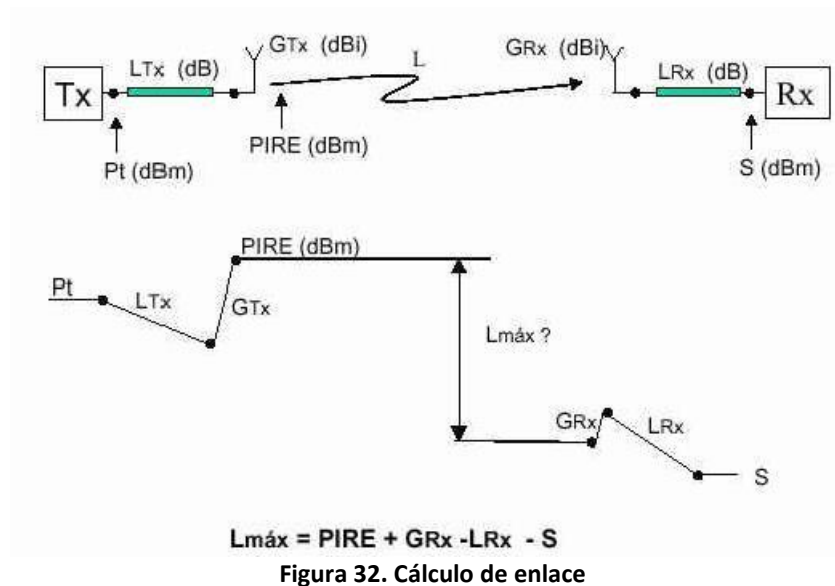
Antena para 1.800MHz	
Vendedor	RFS
Antena	APXVLL13-C
Ganancia(dBi)	17.1 dBi
Rango de Frecuencia(MHz)	1710-1880
Angulo Horizontal	67 grados
Angulo Vertical	7.8 grados
Polarización	Doble polarización +-45
Impedancia	50 Omhs
Max PIRE	300 Watts

Tabla 7. Parámetros de la Antena LTE en la banda de 1800 MHz [23].

Otros parámetros que utilizaremos para nuestra implementación son:

Parámetros	Descendente (eNodoB a UE)	Ascendente (UE a eNodoB)
Sensibilidad	-103 dBm	-106 dBm
Potencia Tx	2W	10 W
Pérdida en Tx	0	0
Ganancia en Rx	0	17 dBi
Ganancia en Tx	17 dBi	0 dBi
PIRE	57 dBm	33 dBm

Tabla 8. Parámetros del enlace.



Con los valores de la Tabla 8 buscaremos la pérdida máxima de cada enlace con la fórmula: $L_{max} \text{ (dB)} = PIRE \text{ (dBm)} + GR_x \text{ (dBi)} - LR_x \text{ (dB)} - S \text{ (dBm)}$.

Así, para el enlace descendente (eNodoB a UE) obtenemos:

$$L_{max} \text{ (dB)} = 57 \text{ dBm} + 0 \text{ dB} - 0 \text{ dB} - (-103 \text{ dBm}) = \mathbf{160 \text{ dBm}}$$

Para el enlace **ascendente** (UE a eNodoB) obtenemos:

$$L_{max} \text{ (dB)} = 33 \text{ dBm} - 0 \text{ dB} + 0 \text{ dBi} + 17 \text{ dBi} - 0 \text{ dB} - (-106 \text{ dBm}) = \mathbf{156 \text{ dBm}}$$

Como podemos observar el enlace ascendente es el menos favorable, o sea, el que menos pérdidas compensa. Nuestra implementación se basará en este tipo de enlace por tanto las frecuencias que utilizaremos serán:

- Rango de frecuencia para 2600MHz otorgado a Vodafone para enlace ascendente = **2540MHz -2560MHz**.

- Rango de frecuencia para 1800MHz otorgado a Vodafone para enlace ascendente = **1730.1MHz - 1750.1MHz**.

Lo modelos de propagación que utilizaremos para cada banda de frecuencia son: **COST 231** para la banda de 1800MHz y **Xia-Bertoni** para la banda de 2600MHz.

5.2 Estudio del tráfico ofrecido por los usuarios y capacidad del sistema.

Para calcular nuestro número de eNodoB, tenemos que tomar en cuenta varios factores, uno de ellos es la cantidad de datos que necesita un usuario en la red LTE, para esto hemos realizado varios estudios. Hemos verificado cuánto datos consume cada una de las aplicaciones más usadas por los usuarios en sus teléfonos móviles inteligentes. Esta tarea sirve para conocer cuántos datos consume un usuario estándar al mes. La compañía Vodafone ofrece a sus nuevos usuarios de 4G una cantidad de 10 GBytes mensuales.

Sin embargo, la gran mayoría de los usuarios de internet móvil no llega a consumir 5 Giga Bytes de datos en un mes, ya que las principales aplicaciones utilizadas por los teléfonos inteligentes tienen un consumo de baja consideración [24,25]. Pero con el aumento de velocidad que ofrece la 4G, los usuarios incrementarán el uso de algunas aplicaciones como son, establecer comunicaciones por video conferencia y ver videos en vivo online. A continuación le mostramos el consumo que conlleva el uso de cada aplicación en los móviles.

- Una video llamada en Skype de alta calidad consume 3.6MB por hora.
- Enviar un correo electrónico solo de texto consume alrededor de 10 KB.
- Enviar un correo electrónico con archivo normal adjuntado 300KB.
- Visitar una página Web dependiendo de la página consume cerca de 400 KB.
- Escuchar música online, 60 MB/hora.
- Descargar una canción de 210 segundos con un velocidad de 192 Kbps, consume 7MB.
- Establecer un video llamada en 4G, 350MB por hora.
- Descargar una foto de alta resolución, 3MB.
- Colocar una foto en una red social, 350KB.

Aplicaciones como Skype, Viber, entre otras, son de las más usadas para el uso de video llamadas.

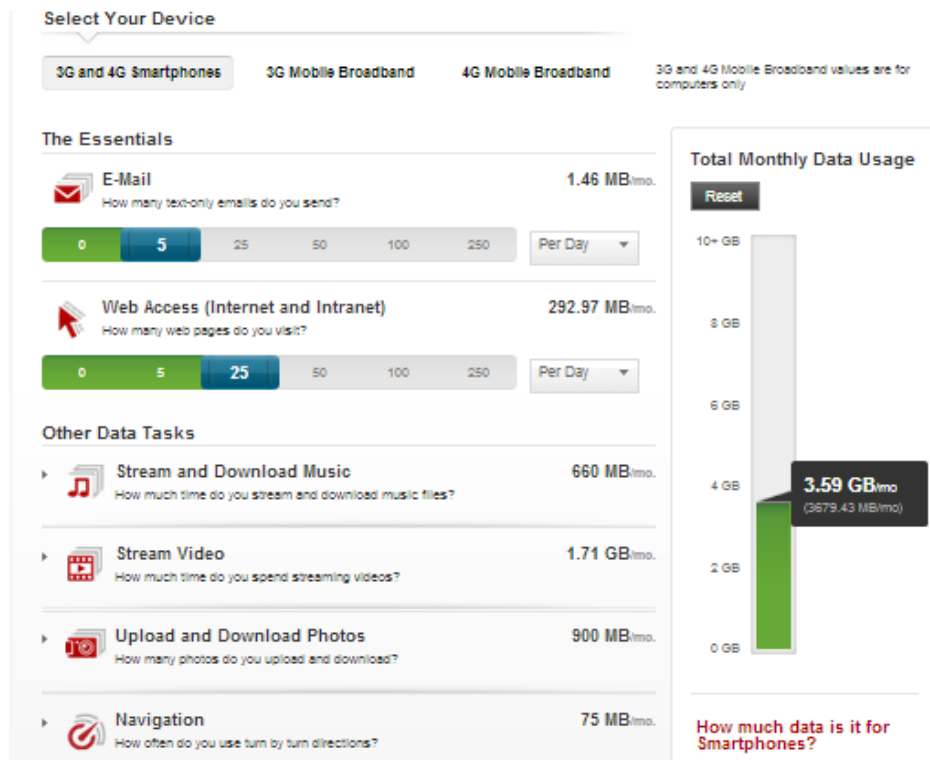


Figura 33. Verizon Wireless: medición de consumo de aplicaciones en teléfonos móviles [25].

Para la realización de nuestra planificación vamos a asumir que cada usuario consumirá un promedio de 5GB por mes, por otra parte, no tomaremos en cuenta los canales de voz ya que por la poca cantidad de canales físicos que consume la voz, solo planificando el consumo de datos, nuestros eNodoB serán más que suficientes para suplir las necesidades de la voz. Es decir, las aplicaciones de datos son las que impondrán un número mínimo de eNodoB.

A continuación explicaremos el proceso para saber la velocidad máxima de transferencia en cada ancho de banda de LTE. Este cálculo sirve para saber la máxima cantidad de recursos de bloques de que dispondremos para nuestro sistema en la ciudad de Murcia.

Para calcular la velocidad pico de transferencia en el sistema de 4ª generación LTE debemos partir desde la cantidad más pequeña de recursos que se pueden asignar a un usuario que no es otra que el bloque de recurso (BR). Un bloque de recurso contiene 12 subportadoras, cada una de ella separadas entre sí por 15KHz de ancho de banda. Por ende, 1 RB tiene un ancho de banda de $12 \times 15\text{KHz} = 180\text{KHz}$, como explicamos anteriormente en la sección 2.7.2.

Por otra parte, el 10% del ancho de banda en LTE se utiliza para el “guard band” (banda de guarda); esta banda de guarda se emplea en todos los anchos de banda excepto en el de 1.4MHz. Si tenemos en cuenta la banda de guarda para el ancho de banda de 20MHz tendremos un ancho de banda efectivo de 18MHz. Dividiendo los 18MHz entre el ancho de banda de un bloque de recursos de 180KHz tendríamos: $18\text{MHz}/180\text{KHz} = 100$ recursos de bloque para los 20 MHz de ancho de banda. El número de símbolos (QPSK o QAM) que contiene cada banda de LTE por segundo es igual a la cantidad de bloques de recursos multiplicado por el número de subportadoras por bloque de recurso (12), multiplicado a su vez por el número de símbolos OFDM en un slot (7) y la cantidad de slots por unidad de tiempo (1 slot en 2 ms). Es decir, la cantidad de bloques de recursos x 12 subportadoras/símbolo OFDM x 7 símbolos en OFDM en un bloque de recursos /slot x 2 Slots/ms = 168 símbolos en un bloque de recursos por ms.

Si llevamos esto a la cantidad de subportadoras que tiene el ancho de banda de 20MHz que contiene 100 BR, tendremos entonces:

100×12 subportadoras x 7 símbolo en OFDM x 2 Slots = 16800 símbolos por ms.

Si a estos símbolos le agregamos los métodos de modulación que utiliza la 4G LTE que son QPSK (2 bits/símbolos), 16QAM (4 bits/símbolos) y 64QAM (6 bits/símbolos), tendremos entonces los siguientes valores de transferencias de datos;

- QPSK = 2 bits/símbolo x 16800 símbolos/ms = 33600 bits/ms
- 16QAM = 4 bits/símbolo x 16800 símbolos/ms = 67200 bits/ms
- 64QAM = 6 bits/símbolo x 16800 símbolos/ms = 100800 bits/ms

Para llevarlos a segundos multiplicamos cada valor por 1000

- QPSK = 33600 bits/ms * (1000 ms/s) = 33.6 Mbits/s
- 16QAM = 67200 bits/ms * (1000 ms/s) = 67.2 Mbit/s
- 64QAM = 100800 bits/ms * (1000 ms/s) = 100.8 Mbits/s

En la siguiente Tabla mostraremos los valores de transferencia de pico utilizando la fórmula anteriormente mostrada. Hay que tener en cuenta que estos valores de transferencia son valores brutos. Posteriormente, veremos que existen ciertos parámetros que reducen estas tasas.

Modulación	MIMO	Bits/Símbolo	BW/BR 1,4MHz/6	BW/BR 3MHz/10	BW/BR 5MHz/20	BW/BR 10MHz/50	BW/BR 15MHz/75	BW/BR 20 MHz/100
QPSK	NO	2	2,016	5,04	8,4	16,8	25,2	33,6
16QAM	NO	4	4,032	10,08	16,8	33,6	50,4	67,2
64QAM	NO	6	6,048	15,12	25,2	50,4	75,6	100,8
QPSK	2x2	4	4,032	10,08	16,8	33,6	50,4	67,2
16QAM	2x2	8	8,064	20,16	33,6	67,2	100,8	134,4

64QAM	2x2	12	12,096	30,24	50,4	100,8	151,2	201,6
QPSK	4x4	8	8,064	20,16	33,6	67,2	100,8	134,4
16QAM	4x4	16	16,128	40,32	67,2	134,4	201,6	268,8
64QAM	4x4	24	24,192	60,48	100,8	201,6	302,4	403,2

Tabla 9. Velocidad de pico (bruta) en Mbit/s sin asumir el % de codificación por modulación ni el 25% de “overhead”.

A continuación calcularemos la tasa neta a partir de las tasas brutas mostradas en la Tabla 9. La tasa neta es la tasa final que recibe el usuario en sus aplicaciones. Tenemos dos factores que reducen la tasa de transferencia bruta. En primer lugar la tasa es reducida por la necesidad de señalización y control. Como se explicó en la sección 2.7.3 existen una serie de canales de control y señalización. Estos canales son necesarios para establecer y mantener la comunicación pero consumen recursos que reducen la tasa final de usuario. A este factor de reducción se le conoce con el nombre de “overhead” o sobrecarga. En segundo lugar, la tasa bruta es reducida por la disminución de la calidad de la señal recibida. Si la señal a ruido es elevada o existen desvanecimientos profundos se deberán añadir más bits de corrección de errores o simplemente se tendrá que reducir la tasa neta para evitar errores en la comunicación. En [6] la cantidad de “overhead” considerada es:

- Canal de control de enlace descendente físico (PDCCH) que toma un símbolo de cada 14 símbolos. Esa es la asignación de PDCCH mínima posible. Es suficiente cuando se considera la tasa de bits máxima de un solo usuario. La sobrecarga de control resultante es 7,1% ($= 1/14$).
- Las señales de referencia de enlace descendente (RS) dependen de la configuración de la antena. La transmisión sin MIMO utiliza 2 RS de cada 14 en cada tercera subportadoras, 2×2 MIMO toma 4 símbolos y 4×4 MIMO toma 6 símbolos. La sobrecarga varía entre 4,8% y 14,3%. Los RS se solapan parcialmente con el PDCCH y la superposición se tiene en cuenta.
- Se tienen en consideración otros símbolos del enlace descendente: señal de sincronización, PBCH, PCFICH y el PHICH. La sobrecarga depende el ancho de banda que van desde menos de 1% a 20 MHz aproximadamente 9% a 1,4 MHz.
- El PUCCH no se incluye en el cálculo. PUCCH reduciría un poco la velocidad de datos de enlace ascendente.
- Las señales de referencia de subida toman 1 Símbolo de cada 7 símbolos que resulta en una sobrecarga del 14,3% ($= 1/7$).

Otro factor a tener en cuenta para medir reducción de la tasa de transferencia bruta en un determinado ancho de banda en LTE es la disminución de la calidad de la señal. Dicha disminución se mide con el parámetro CQI (“Channel Quality

Indicator”). El CQI señala la modulación máxima posible y la codificación de canal aceptable. El CQI puede tomar un valor discreto de entre 0 y 15. El índice 0 muestra que el equipo de usuario no recibe una señal LTE aprovechable y el canal es inutilizable.

El equipo de usuario puede enviar el valor de CQI a la estación base por medio de dos formas distintas:

- Periódica, utilizando los canales PUCCH o PUSCH.
- Aperiódica, utilizando el canal PUSCH. En este caso la estación base exigirá explícitamente al equipo de usuario el envío de un informe CQI.

Índice CQI	Modulación	Tasa de código meta	lmcs
0	Fuera de alcance	Fuera de alcance	DTX
1	QPSK	0,0762	0
2	QPSK	0,1172	0
3	QPSK	0,1885	2
4	QPSK	0,3008	4
5	QPSK	0,4385	6
6	QPSK	0,5879	8
7	16QAM	0,3691	11
8	16QAM	0,4785	13
9	16QAM	0,6016	16
10	64QAM	0,4551	18
11	64QAM	0,5537	21
12	64QAM	0,6504	23
13	64QAM	0,7539	25
14	64QAM	0,8525	27
15	64QAM	0,9258	28

Figura 34. Tabla de índice CQI para LTE [26].

La Figura 34 muestra el índice de identificador de canal de calidad (CQI). Para nuestra planificación utilizaremos los valores de CQI 4, 8 y 13. Para incluir la reducción en la tasa bruta por “overhead” y debida a la disminución de la calidad de la señal, vamos a aplicar a nuestros cálculos un nuevo valor de bits/símbolo en cada modulación.

En la Tabla 10 se muestran estos nuevos valores. Por ejemplo, en QPSK los 2 bits por símbolo multiplicados por 0.3008, que es la tasa de código del índice de CQI 4, da como resultado 0.6016 bits/símbolos netos. Este mismo cálculo lo utilizamos para los otros dos tipos de modulación en LTE.

Modulación	Bits/Símbolo	Índice CQI	Tasa de Código	Eficiencia (Bit/Símbolo)
QPSK	2	4	0,3008	0,6016
16QAM	4	8	0,4785	1,914
64QAM	6	13	0,7539	4,5234

Tabla 10. Eficiencia para las modulaciones QPSK, 16QAM y 64QAM medida en bits/símbolo.

			BW/BR	BW/B R	BW/B R	BW/BR	BW/BR	BW/BR
Modulación	MIMO	Eficiencia Bit/símbolo	1,4 MHz/6	3 MHz/15	5 MHz/25	10 MHz/50	15 MHz/75	20 MHz/100
QPSK	NO	0.6016	0.6064128	1.516032	2.52672	5.05344	7.58016	10.10688
16QAM	NO	1.914	1.929312	4.82328	8.0388	16.0776	24.1164	32.1552
64QAM	NO	4.5234	4.5595872	11.398968	18.99828	37.99656	56.99484	75.99312
QPSK	2x2	1.2032	1.2128256	3.032064	5.05344	10.10688	15.16032	20.21376
16QAM	2x2	3.828	3.858624	9.64656	16.0776	32.1552	48.2328	64.3104
64QAM	2x2	9.0468	9.1191744	22.797936	37.99656	75.99312	113.98968	151.98624
QPSK	4x4	2.4064	2.4256512	6.064128	10.10688	20.21376	30.32064	40.42752
16QAM	4x4	7.656	7.717248	19.29312	32.1552	64.3104	96.4656	128.6208
64QAM	4x4	18.0936	18.2383488	45.595872	75.99312	151.98624	227.97936	303.97248

Tabla 11. Velocidad pico eficiente con los diferentes tipos de modulación.

En la Tabla 11 podemos ver los nuevos resultados de transferencia de datos en cada tipo de modulación. Con cada valor de índice CQI seleccionado anteriormente (4, 8 y 13), multiplicado por los bits/símbolo de cada tipo de modulación (QPSK, 16QAM y 64QAM), se obtienen los nuevos valores de de transferencia neta que se ofrece a los usuarios.

En la Tabla 11 observamos los nuevos valores de transferencia neta de datos. Estos valores se obtienen aplicando la misma fórmula empleada para conseguir las tasas de transferencia bruta. La única diferencia estriba en que ahora se emplean los bits/símbolos mostrados en la Tabla 10, que corresponden a bits/símbolo que van a ser empleados por el usuario. La operación empleada es la siguiente: bits/símbolos correspondientes a cada CQI x número de RB x 12 subportadoras en 1 RB x 7 símbolos OFDM x 2 slots en 1 ms. El valor resultante se divide entre 1000 ms/segundo para obtener la tasa neta final. El valor resultante lo expresamos en Megabits por segundo. Para obtener las tasas de transferencia cuando se emplea MIMO se ha empleado un valor de bits/símbolo igual al valor de bits/símbolo correspondiente a la modulación multiplicado por el número de número de antenas (2 en MIMO 2x2 y 4 en MIMO 4x4).

5.3 Cálculo del número de eNodoB.

Tradicionalmente, en todo sistema celular hay que mitigar las interferencias entre estaciones base co-canal, que son aquellas que comparten las mismas frecuencias. Para ello las células se agrupan en “clusters” o grupos de modo que el ancho de banda total del sistema o el número de canales se distribuye entre las células de cada grupo. De esta forma, las células que comparten canales poseen una cierta separación espacial por lo que la interferencia co-canal resulta disminuida. Sin embargo, en LTE los recursos radio pueden ser reutilizados entre células adyacentes gracias a la técnica del “scheduling”. En esta técnica los recursos asignados a un usuario dependen de los recursos asignados a los usuarios de la célula adyacente. De este modo se pueden asignar los mismos recursos a dos usuarios situados en dos células limítrofes siempre y cuando la ubicación de cada usuario minimice la interferencia co-canal. Para aplicar correctamente la técnica de “scheduling” es necesario conocer el canal móvil de cada usuario y la ubicación de éste. Como en nuestra planificación vamos a tratar con un número reducido de usuarios, tal como se verá más adelante, supondremos que se puede aplicar la técnica de “scheduling” en nuestro sistema LTE. Además, vamos a utilizar eNodos B sectorizados lo cual reduciría todavía en mayor medida la interferencia co-canal. En concreto, en nuestra implementación utilizaremos la sectorización triple, por lo tanto vamos a dividir los 20MHz totales, asignados a cada eNodoB, en 6MHz en dos sectores o celdas y 8MHz en otro sector o celda como muestra la Figura 35.

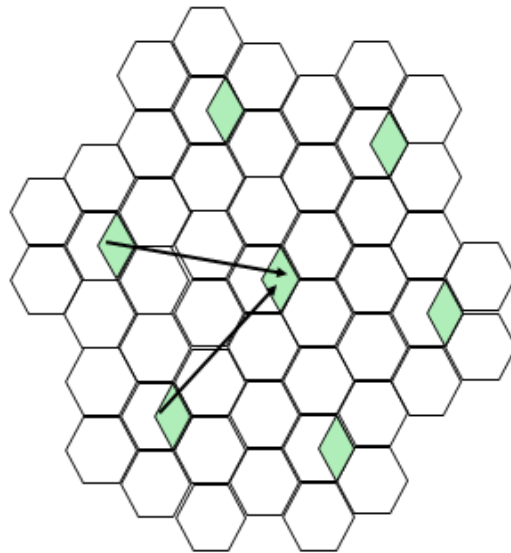


Figura 35. Reutilización de Frecuencia en LTE.

A continuación deberemos aplicar el procedimiento explicado en la sección anterior para calcular las tasas de transferencia netas tanto para el ancho de 6 MHz como para el ancho de 8 MHz en todas las modulaciones estudiadas: QPSK sin MIMO, 64QAM sin MIMO y 16QAM con MIMO 2x2.

Aplicando lo explicado en la sección 5.1 si utilizamos el 10% correspondiente para banda de guarda en el ancho de 6MHz tendríamos un ancho de banda eficiente de 5.4MHz. Dividiendo ese ancho de banda entre 180KHz tendremos un valor de 30 bloques de recurso para el ancho de banda de 6MHz. Aplicando el mismo procedimiento para los 8MHz tendríamos un total de 40 recursos de bloque. La Tabla 12 muestra los valores de transferencia de bajada que utilizaremos en cada celda.

				BW/BR	BW/BR
Modulación	Índice CQI	Bits/símbolo eficiente	MIMO	6 MHz/30	8 MHz/40
QPSK	4	0.6016	NO	3.032064	4.042752
16QAM	8	3.828	2x2	19.29312	25.72416
64QAM	13	4.5234	NO	22.797936	30.397248

Tabla 12. Valores de transferencia neta de datos para nuestra implementación en Mbits/s.

Para calcular el número de usuarios en cada eNodeB (recordemos que cada usuario demanda 5 GB en un mes) hay que calcular la capacidad total de cada celda. La Tabla siguiente muestra la capacidad en Giga Bytes que tendrá cada célula de nuestros eNodeB. Cada eNodeB posee tres sectores y en cada sector tendremos una célula.

Para nuestro cálculo convertiremos cada valor obtenido en la Tabla 12 de Mega bits por segundo a GigaBytes por segundo, para ello cada valor se divide entre $(1024 \times 8) = 8192$. A continuación se obtiene la cantidad de GigaBytes en una hora, multiplicando el valor obtenido anteriormente por 3600. A continuación, asumimos que en la hora pico de carga se consumirá el 50% del total de la capacidad del eNodeB, por lo tanto multiplicamos en valor resultante por este porcentaje. Teniendo este resultado, asumimos que la hora pico ocupará el 15% de la carga diaria, así dividimos el resultado anterior por 15% de modo que obtenemos la cantidad de GigaBytes en un día. Por último, obtenemos la carga total de una celda en un mes multiplicando la carga de un día por 30.

En las tablas 13-21 mostraremos la cantidad de eNodeB que tendríamos que utilizar para brindar 5GB a la población con acceso a internet móvil en la ciudad de Murcia, utilizando los tipos de modulación en LTE (QPSK, 16QAM con MIMO 2x2 y 64QAM).

Modulación QPSK en 6MHz	
De Mbits/s a GB/s/Hz/celda	0.000370125 GB/Hz/Celda de 6MHz
De Segundo a hora /celda	1.33245 GB/H/Celda
Carga en hora pico = 50% de capacidad total/hora/celda	0.67 GB/H/Celda en hora pico
La hora pico ocupa el 15% del consumo diario	4.47GB/H/Celda por día
Llevar a consumo mensual	134.1 GB/Mes/Celda

Tabla 13. Cantidad de Giga Bytes servidos en un mes en una celda de 6MHz con QPSK sin MIMO.

Modulación QPSK en 8MHz	
De MBits/s a GB/s/Hz/celda	0.00049355 GB/s/Celda de 6MHz
De Segundo a hora /celda	1.7766 GB/Hora/ Celda
Carga en hora pico = 50% de capacidad total/hora/celda	0.8883 GB/H/ Celda en hora pico
La hora pico ocupa el 15% del consumo diario	5.922 GB/H/ Celda por día
Llevar a consumo mensual	177.66 GB/Mes/ Celda

Tabla 14. Cantidad de Giga Byte servidos en un mes en una celda de 8MHz con QPSK sin MIMO.

Como cada eNodoB está compuesto por dos celdas de 6MHz y una de 8MHz de ancho de banda entonces tendríamos que sumar la cantidad de Giga Byte de cada una de las celdas para obtener la cantidad de GigaBytes en cada eNodoB. Haciendo el cociente entre la cantidad de GigaBytes de cada eNodoB entre 5 GB obtendremos el número de usuarios en cada eNodoB.

Modulación QPSK sin MIMO	
Consumo mensual de Gbytes	445.86 GB por Sector/Mensual
Ofreciendo 5GB a cada usuario	89 personas con 5 GB por Mes

Tabla 15. Cantidad de usuarios por eNodoB.

Tomando estos valores mostrados anteriormente vemos que utilizando la modulación QPSK sin MIMO podríamos servir 5 GB mensualmente a 89 usuarios. Trasladando esto a la cantidad de personas en la zona urbana de Murcia que utilizan internet en teléfonos inteligentes (247,634 personas según la sección 3.3.4) para suplir esta necesidad tendríamos que instalar **2.783 estaciones eNodoB**.

Para la modulación 16QAM con MIMO 2x2:

Modulación 16QAM en 6MHz con MIMO 2x2	
De MBits/s a GB/s/Hz/celda	0,002355 GB/s/Celda de 6MHz
De Segundo a hora /celda	8.4784 GB/Hora/Celda
Carga en hora pico = 50% de capacidad total/hora/celda	4.2392 GB/H/Celda en hora pico
La hora pico ocupa el 15% del consumo diario	28.2614 GB/H/Celda por día
Llevar a consumo mensual	847.8421 GB/Mes/ Celda

Tabla 16. Cantidad de Giga Byte servidos en un mes en una celda de 6MHz 16QAM con MIMO 2x2.

Modulación 16QAM en 8MHz con MIMO 2x2	
De MBits/s a GB/s/Hz/celda	0,003140 GB/s/Celda de 8MHz
De Segundo a hora /celda	11.3045 GB/Hora/Celda

Carga en hora pico = 50% de capacidad total/hora/celda	5.6522 GB/H/Celda en hora pico
La hora pico ocupa el 15% del consumo diario	37.6818 GB/H/Celda por día
Llevar a consumo mensual	1130.4562 GB/Mes/ Celda

Tabla 17. Cantidad de Giga Byte servidos en un mes en una celda de 8MHz con 16QAM con MIMO 2x2.

Modulación 16QAM con MIMO 2x2	
Consumo mensual de Gbytes	2826.1404 GB por eNodo B/Mensual
Ofreciendo 5GB a cada usuario	565 usuarios con 5 GB por Mes

Tabla 18. Cantidad de usuarios por eNodoB, con modulación 16QAM con MIMO 2x2.

Para esta modulación 16QAM con la técnica MIMO 2x2 tendríamos que instalar **439 eNodoB** para suplir las necesidades de data de los usuarios de la zona urbana de Murcia.

Para la modulación 64QAM sin la técnica MIMO tenemos las siguientes tablas:

Modulación 64QAM en 6MHz	
De MBits/s a GB/s/Hz/celda	0.002782 GB/s/Celda de 6MHz
De Segundo a hora /celda	10.0186 GB/Hora/Celda
Carga en hora pico = 50% de capacidad total/hora/celda	5.0093 GB/H/Celda en hora pico
La hora pico ocupa el 15% del consumo diario	33.3954 GB/H/Celda por día
Llevar a consumo mensual	1001.8624 GB/Mes/Celda

Tabla 19. Cantidad de Giga Byte soportado mensual de la celda de 6MHz con 64QAM sin MIMO.

Modulación 64QAM en 8MHz	
De Bitsps a GB/s/Hz/celda	0.003710 GB/s/ Celda de 6MHz
De Segundo a hora /celda	13.3581 GB/Hora/ Celda
Carga en hora pico = 50% de capacidad total/hora/celda	6.6790 GB/H/ Celda en hora pico
La hora pico ocupa el 15% del consumo diario	44.5272 GB/H/ Celda por día
Llevar a consumo mensual	1335.81656GB/Mes/ Celda

Tabla 20. Cantidad de Giga Byte soportado mensual de la celda de 8MHz con 64QAM sin multiantena.

Modulación 64QAM sin MIMO	
Consumo mensual de Gbytes	3339.6 GB por eNodoB/Mensual
Ofreciendo 5GB a cada usuario	668 usuarios con 5 GB por Mes

Tabla 21. Cantidad de usuarios por eNodoB a 5GB en Modulación 64QAM sin MIMO.

Para esta modulación 64QAM sin arreglo de antena MIMO tendríamos que instalar

371 eNodoB para suplir las necesidades de data de los usuarios de la zona urbana de Murcia.

Para el cálculo previo escogimos la cantidad de 5 Giga Byte, pero como sabemos, no todos los usuarios están en disposición de adquirir esta cantidad disponible de descarga de datos. Además, con el número de usuarios tomado anteriormente no se podría emplear la técnica de “scheduling”. Por ello, para nuestro análisis de cobertura utilizaremos los datos de [28], el cual nos indica que la compañía Vodafone ocupa el 23.6% del mercado de telefonía móvil pospago en la región de Murcia.



Figura 36. Cuotas de mercado de telefonía móvil pospago en el año 2011 [28].

Si trasladamos este dato porcentual a las 247,634.00 personas que tienen acceso a internet móvil en la ciudad de Murcia, tendríamos que Vodafone ofrecerá los servicios a 59,432.00 suscriptores. En nuestro análisis consideraremos que solo el 10% de los suscriptores de Vodafone contratará los servicios 4G LTE ofrecido por esta. Con esto planificaremos nuestra simulación en RadioGIS para suplir los servicios a 5,943.00 personas.

Para saber cuántos eNodoB se necesitan instalar para cubrir los 6000 suscriptores realizamos los mismos cálculos que en las tablas anteriores. Para nuestra implementación y simulación utilizaremos las modulaciones 16QAM con MIMO 2x2 y modulación de 64QAM sin MIMO. Con modulación QPSK no la utilizaremos, debido a que para cubrir al 10% de los suscriptores de Vodafone necesitaríamos 68 eNodoB, lo cual es una cantidad muy elevada.

Con la instalación de 1 eNodoB trabajando con la modulación 16QAM con MIMO 2x2 podremos suplir con 5 GigaByte mensualmente a 565 usuarios. Dividiendo 6000 usuarios en total entre 565 usuarios por cada eNodoB, tendremos que instalar **11 eNodoB**. Para la modulación con 64QAM sin MIMO en 1 eNodoB podremos brindar los 5 Giga Byte a 668 usuarios, si dividimos los 6000 suscriptores entre 668 usuarios por cada eNodoB, tendremos que con **9 eNodoB** supliríamos los 5 GigaByte a los 6000 posibles suscriptores de 4G LTE.

5.4 Análisis de la cobertura mediante RadioGIS: ubicación de los eNodoB en la banda 1800MHz.

Los parámetros de enlace expuesto en la sección 5.1 son lo que utilizaremos para simular nuestra cobertura de potencia con la herramienta RadioGIS. Cada uno de nuestros eNodoB estará colocado en un emplazamiento estratégico donde pueda brindar la mayor cobertura y así mismo evitar la interferencia con otros eNodoB del sistema. En nuestra estrategia también vamos a tratar de evitar el solapamiento entre señales de las diferentes celdas de cada eNodoB.

Dentro de las tareas que realizaremos para esta simulación están;

1. Colocación de los eNodoB en cada emplazamiento.
2. Calcular la cobertura de potencia de cada celda.
3. Calcular el sistema de potencia de nuestra cobertura completa. Considerando todos los eNodoB.
4. Obtención del mejor servidor en cada punto de la zona urbana de Murcia según la potencia recibida por el terminal.

Cada uno de nuestros emplazamientos cuenta con tres celdas 2 de ellas con un ancho de banda de 6MHz y la otra con 8MHz de ancho de banda. Las coordenadas de los emplazamientos que instalaremos para cubrir la zona urbana de Murcia y a los 5,943 usuarios con la modulación 64QAM sin MIMO son los siguientes:

Sector	Coordenada x(M)	Coordenada y(m)
SITE1	3690572	5338828
SITE2	3691309	5338811
SITE3	3692079	5338818
SITE4	3690559	5338343
SITE5	3691319	5338390
SITE6	3692116	5338367
SITE7	3690542	5337741
SITE8	3691373	5337842
SITE9	3692150	5337748

Tabla 22. Coordenadas de los eNodoB en RadioGIS.

Los parámetros de cada celda de nuestros eNodoB son los siguientes;

Sector 1							
Celdas	PIRE(dBm)	Gr(dBi)	Sensibilidad(dBm)	Acimut(º)	Elevación (º)	Frecuencia(MHz)	Altura(m)
Celda1	33	17	-106	0	-45	1730	40
Celda2	33	17	-106	100	-45	1736	40
Celda3	30	17	-106	200	-45	1742	40
Sector 2							
Celdas	PIRE(dBm)	Gr(dBi)	Sensibilidad(dBm)	Acimut(º)	Elevación (º)	Frecuencia(MHz)	Altura(m)
Celda1	33	17	-106	0	-45	1742	40
Celda2	33	17	-106	100	-45	1736	40
Celda3	33	17	-106	200	-45	1730	40
Sector 3							
Celdas	PIRE(dBm)	Gr(dBi)	Sensibilidad(dBm)	Acimut(º)	Elevación (º)	Frecuencia(MHz)	Altura(m)
Celda1	25	17	-106	0	-45	1730	40
Celda2	33	17	-106	100	-45	1736	40
Celda3	33	17	-106	200	-45	1742	40
Sector 4							
Celdas	PIRE(dBm)	Gr(dBi)	Sensibilidad(dBm)	Acimut(º)	Elevación (º)	Frecuencia(MHz)	Altura(m)
Celda1	30	17	-106	0	-45	1730	40
Celda2	33	17	-106	100	-45	1742	40
Celda3	33	17	-106	200	-45	1736	40
Sector 5							
Celdas	PIRE(dBm)	Gr(dBi)	Sensibilidad(dBm)	Acimut(º)	Elevación (º)	Frecuencia(MHz)	Altura(m)
Celda1	33	17	-106	0	-45	1742	40
Celda2	33	17	-106	100	-45	1730	40
Celda3	30	17	-106	200	-45	1736	40
Sector 6							
Celdas	PIRE(dBm)	Gr(dBi)	Sensibilidad(dBm)	Acimut(º)	Elevación (º)	Frecuencia(MHz)	Altura(m)
Celda1	33	17	-106	0	-45	1730	40
Celda2	33	17	-106	100	-45	1742	40
Celda3	30	17	-106	200	-45	1736	40
Sector 7							
Celdas	PIRE(dBm)	Gr(dBi)	Sensibilidad(dBm)	Acimut(º)	Elevación (º)	Frecuencia(MHz)	Altura(m)
Celda1	33	17	-106	0	-45	1730	40
Celda2	33	17	-106	100	-45	1742	40
Celda3	30	17	-106	200	-45	1736	40
Sector 8							
Celdas	PIRE(dBm)	Gr(dBi)	Sensibilidad(dBm)	Acimut(º)	Elevación (º)	Frecuencia(MHz)	Altura(m)

Celda1	33	17	-106	0	-45	1742	40
Celda2	33	17	-106	100	-45	1736	40
Celda3	30	17	-106	200	-45	1730	40
Sector 9							
Celdas	PIRE(dBm)	Gr(dBi)	Sensibilidad(dBm)	Acimut(°)	Elevación (°)	Frecuencia(MHz)	Altura(m)
Celda1	33	17	-106	0	-45	1730	40
Celda2	33	17	-106	100	-45	1736	40
Celda3	30	17	-106	200	-45	1742	40

Tabla 23. Parámetros utilizados en nuestra simulación de cada celda de nuestros eNodeB.

Como se aprecia en la anterior tabla, el cálculo de coberturas se realiza con el enlace ascendente ya que es el más desfavorable. En cambio, en los cálculos para determinar el número de eNodeB hemos empleado la velocidad de bajada ya que cada usuario demanda muchas más cantidad de bits en ese sentido que en sentido ascendente.

A continuación se muestran las simulaciones de la cobertura de cada uno de los eNodeB. En la banda de 1800 MHz se ha empleado el modelo de propagación COST-231 ya que este modelo de propagación ha sido utilizado en esta banda con éxito.

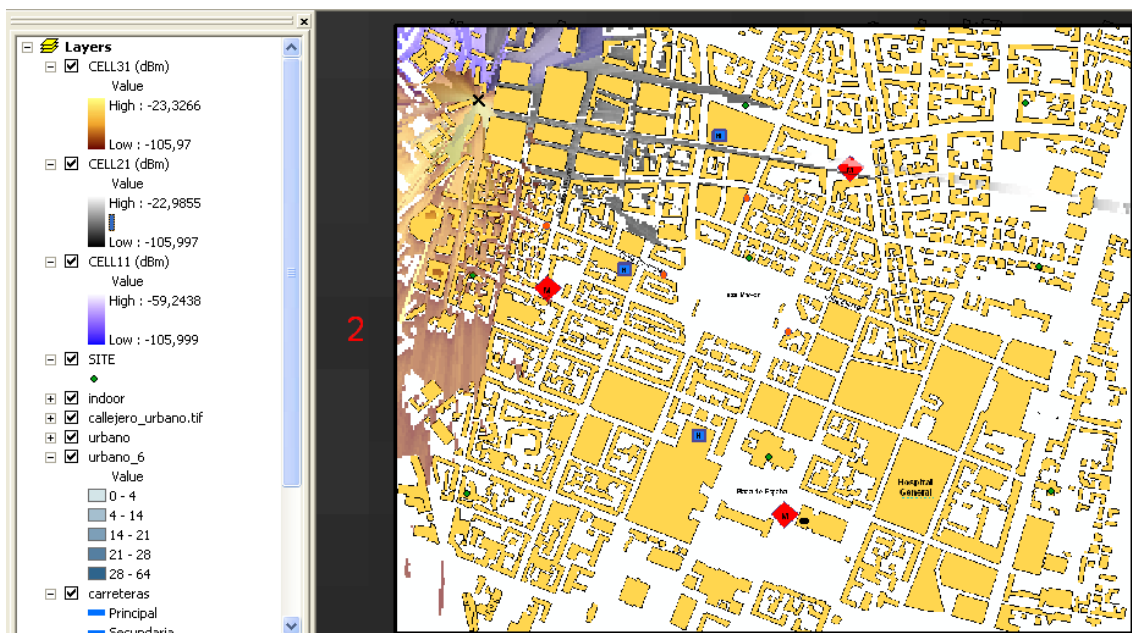


Figura 37. Cobertura de potencia del eNodeB 1 en 64QAM con COST-231.

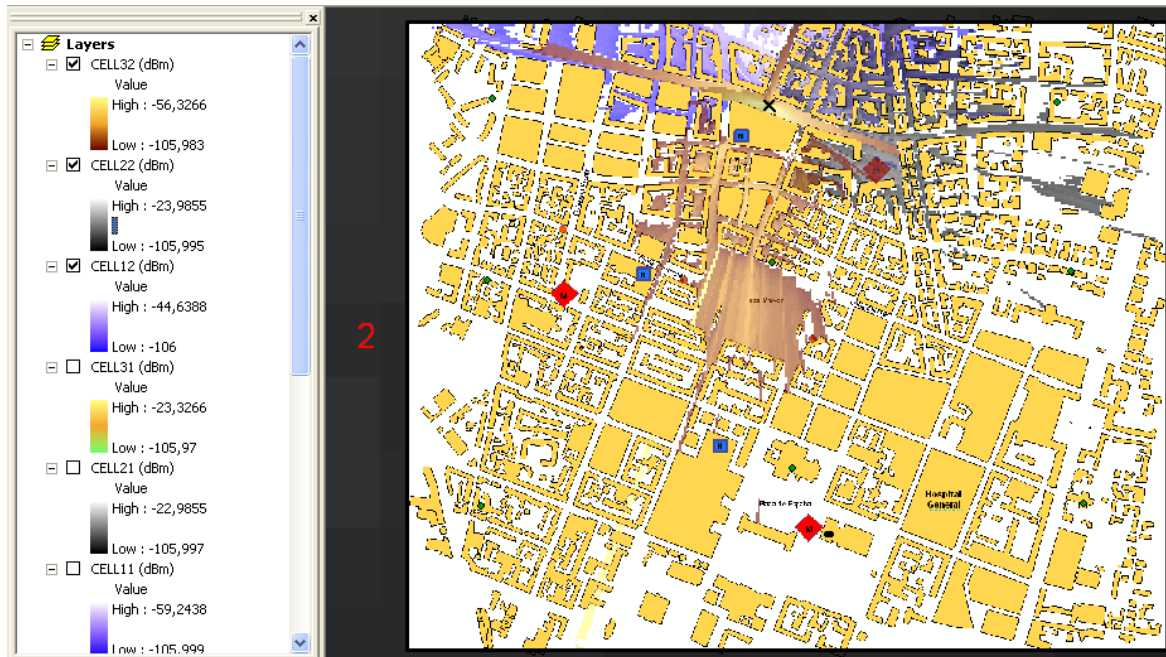


Figura 38. Cobertura de potencia del eNodeB 2 en 64QAM con COST-231.

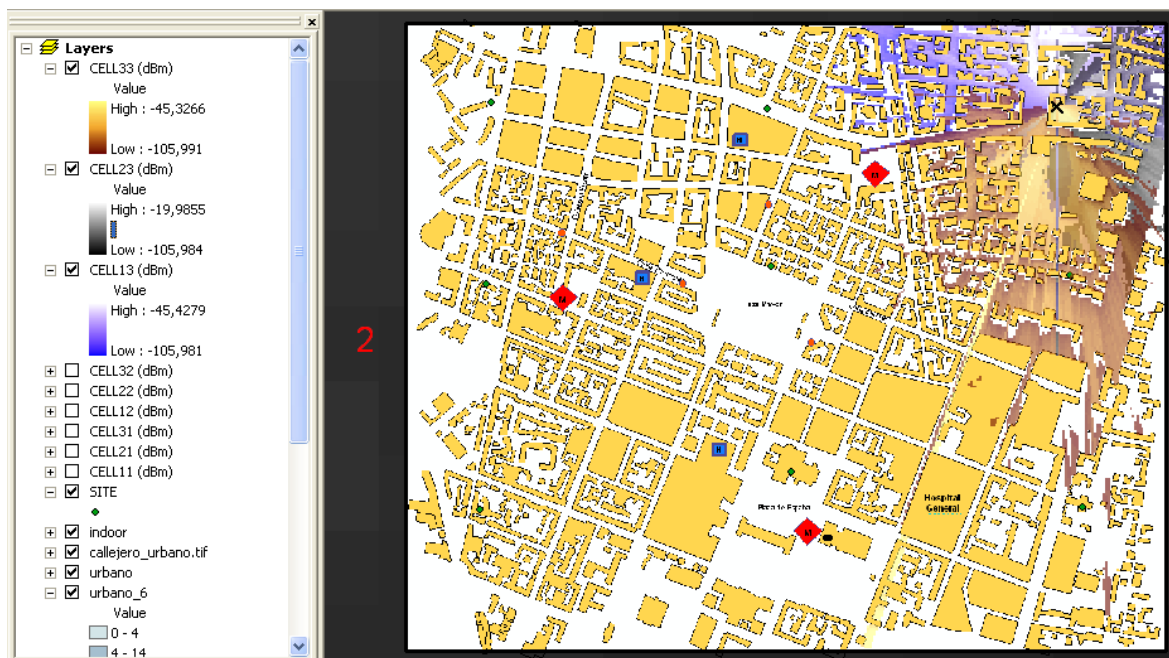


Figura 39. Cobertura de potencia del eNodeB 3 en 64QAM con COST-231.

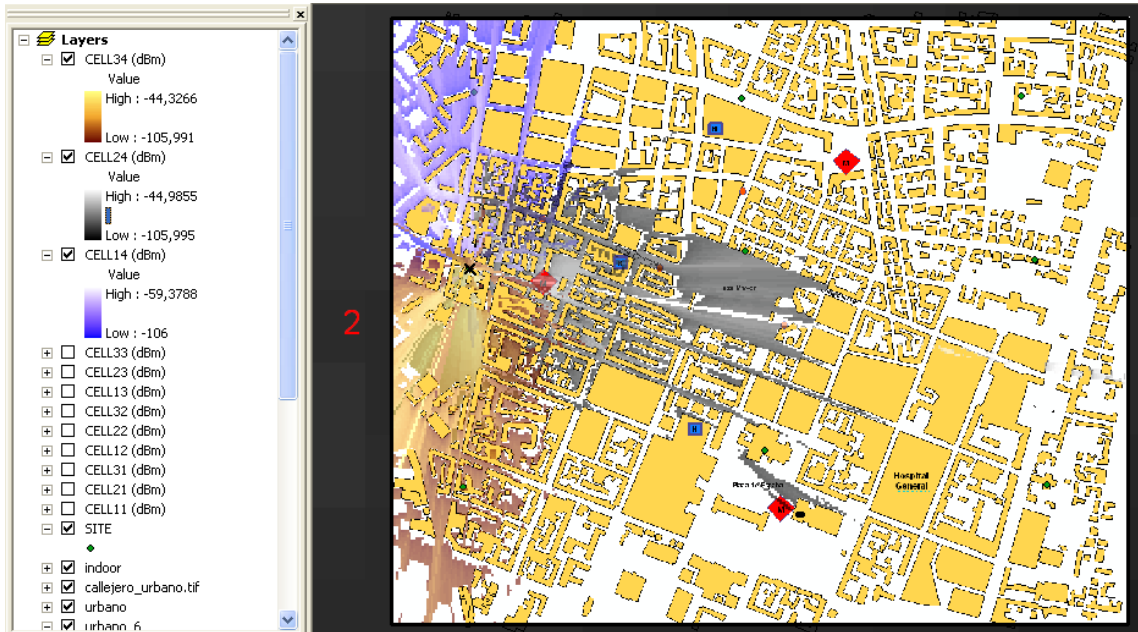


Figura 40. Cobertura de potencia del eNodeB 4 en 64QAM con COST-231.

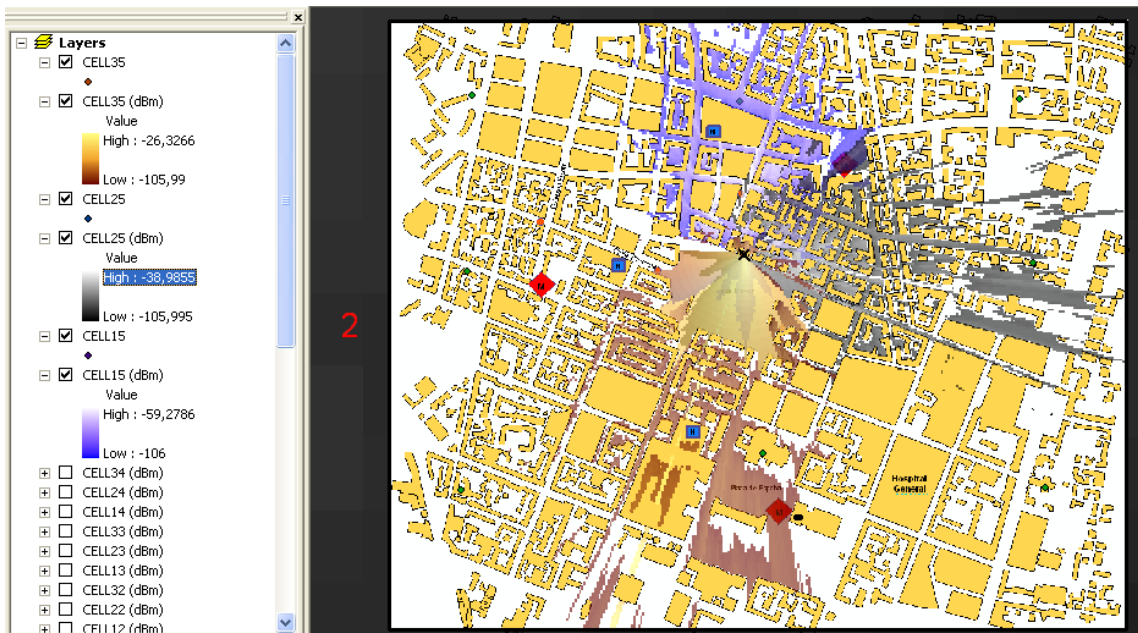


Figura 41. Cobertura de potencia del eNodeB 5 en 64QAM con COST-231.

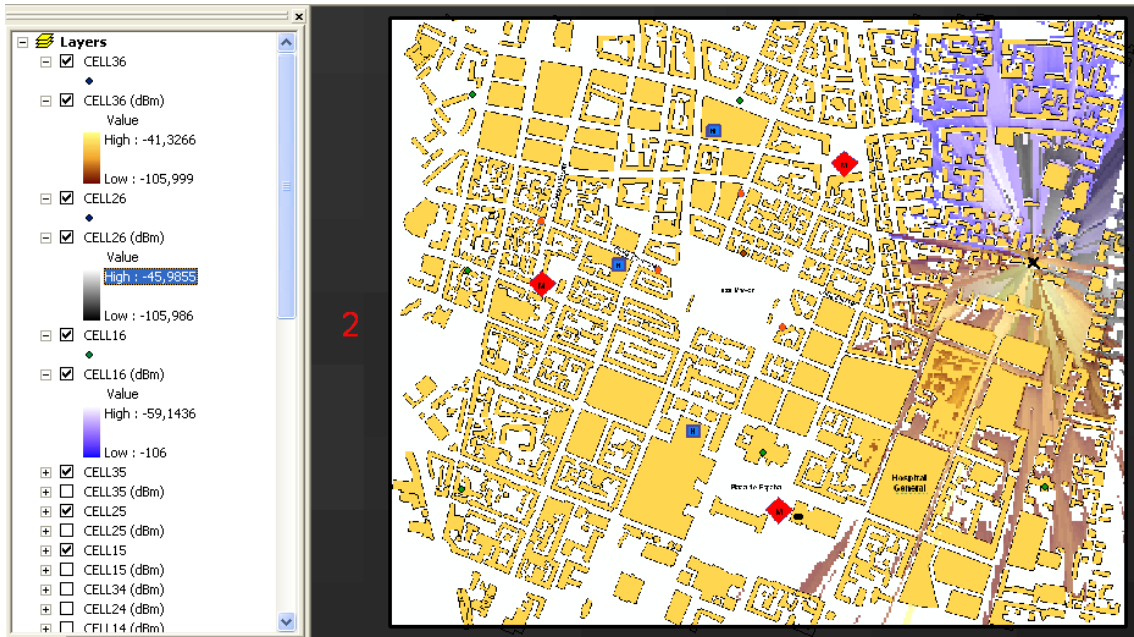


Figura 42. Cobertura de potencia del eNodeB 6 en 64QAM con COST-231

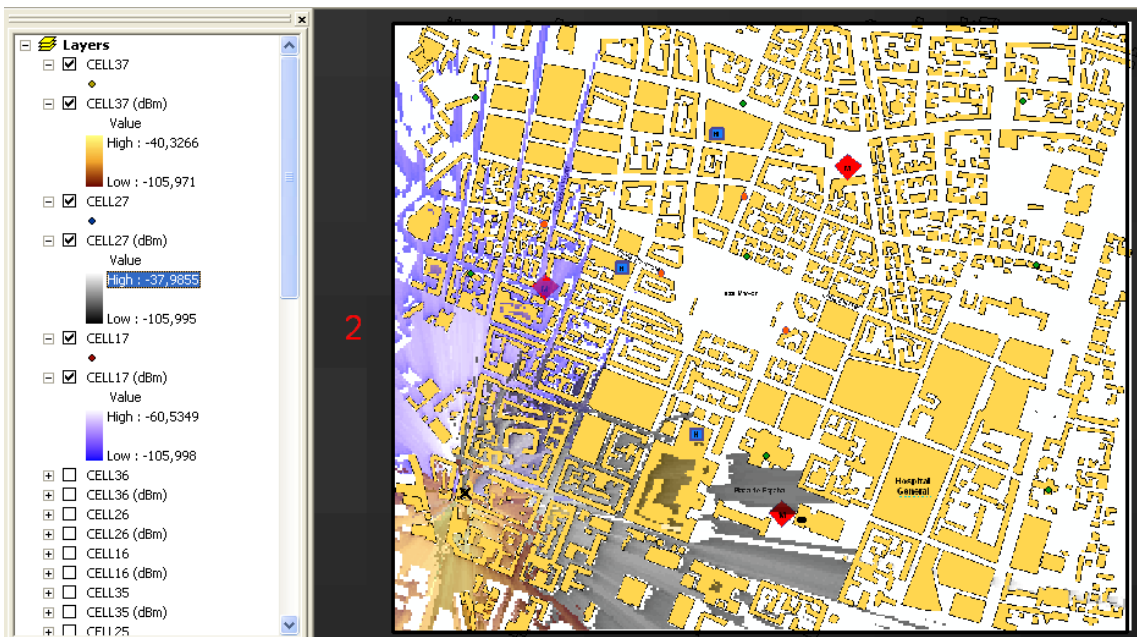


Figura 43. Cobertura de potencia del eNodeB 7 en 64QAM con COST-231.

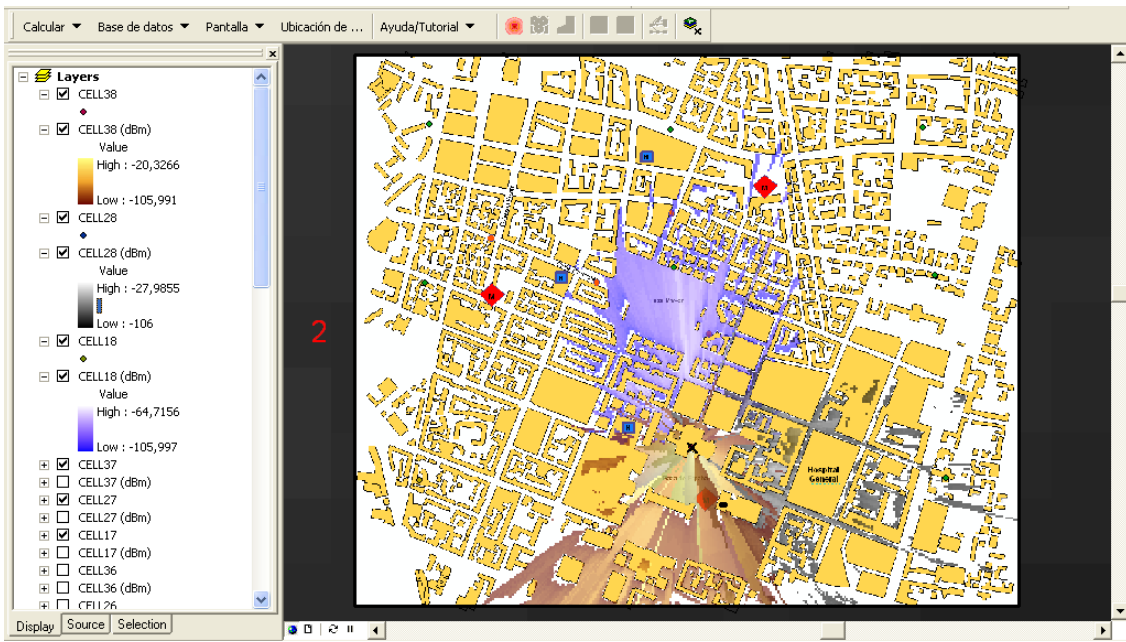


Figura 44. Cobertura de potencia del eNodeB 8 en 64QAM con COST-231.

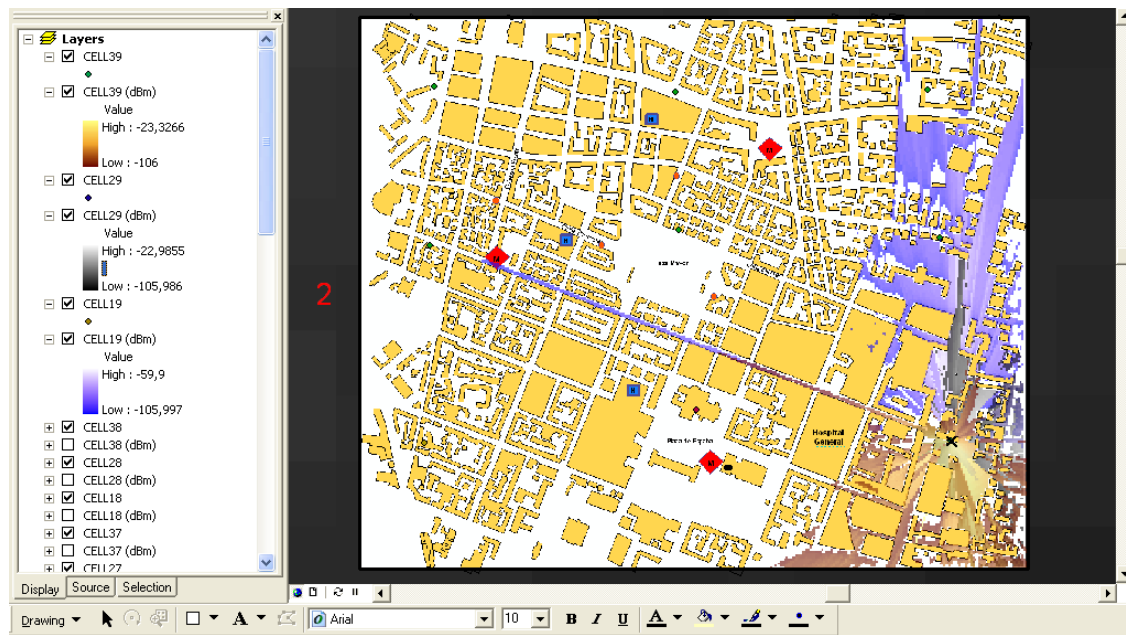


Figura 45. Cobertura de potencia del eNodeB 9 en 64QAM con COST-231.

A continuación se muestra el sistema de cobertura de potencia para los 9 eNodoB anteriores. En este mapa de cobertura se observa, para cada punto de la ciudad, la potencia alcanzada por el eNodoB al que se conectaría un móvil situado en ese punto.

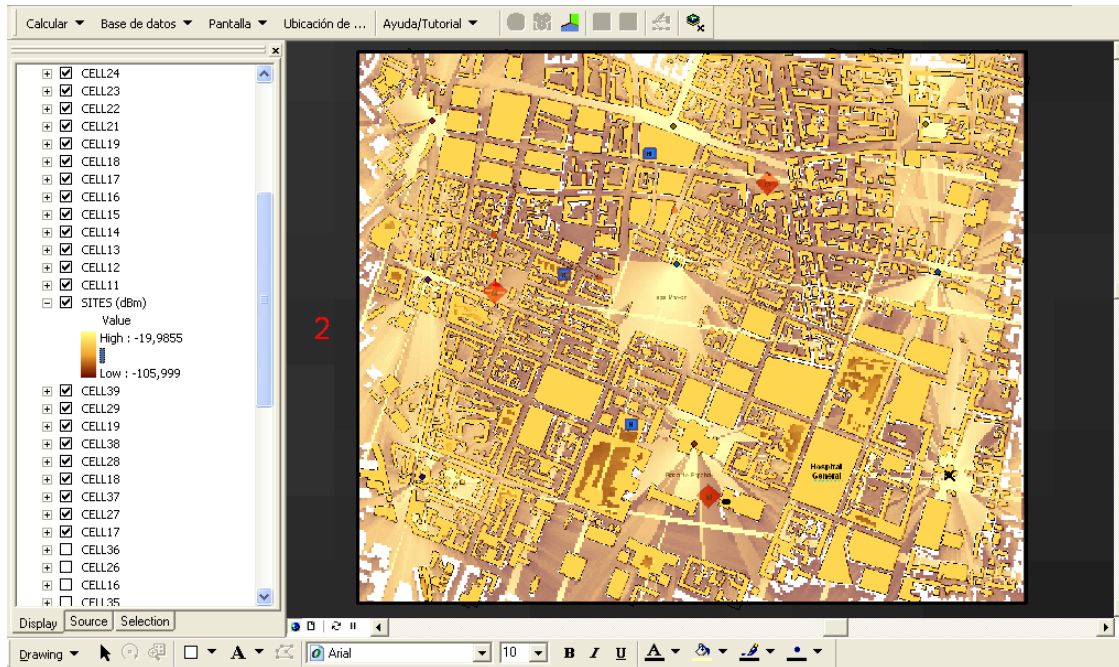


Figura 46. Sistema de cobertura de potencia para la Banda de frecuencia de 1800MHz con modulación 64QAM utilizando COST-231.

En la siguiente figura se muestra el mapa de mejor servidor para los 9 eNodoB en la banda de 1800MHz. En este mapa se muestra para cada punto, el eNodoB al que se conectaría, es decir, aquel eNodoB que recibe más potencia (recordemos que estamos analizando el enlace ascendente).

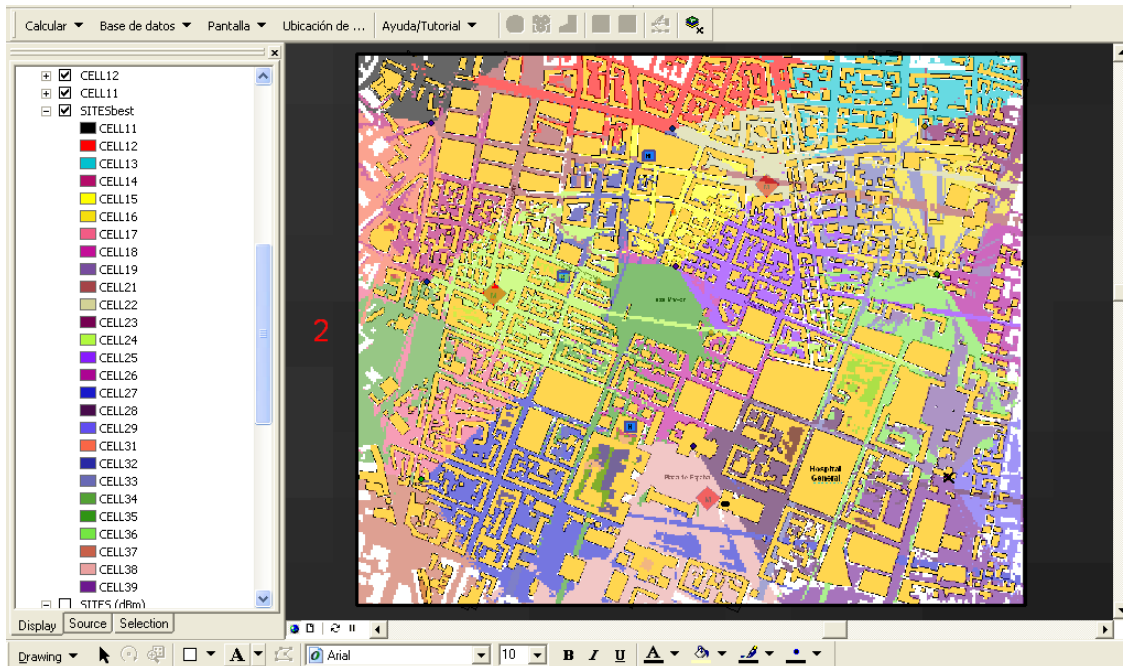


Figura 47. Mapa de Mejor servidor para la banda de frecuencia de 1800MHz con modulación 64QAM con COST-231.

A continuación mostraremos la cantidad porcentual de zona que cubriremos con nuestro sistema implementado. Para calcular esta cantidad recurrimos a la opción de RadioGIS de cálculo de % sobre Umbral. Para que la simulación sea lo más realista posible aplicamos un margen de desvanecimiento de 7dB, de este modo el valor de nuestro umbral quedaría en: $-106\text{dBm} + 7\text{dB} = -99\text{dBm}$.

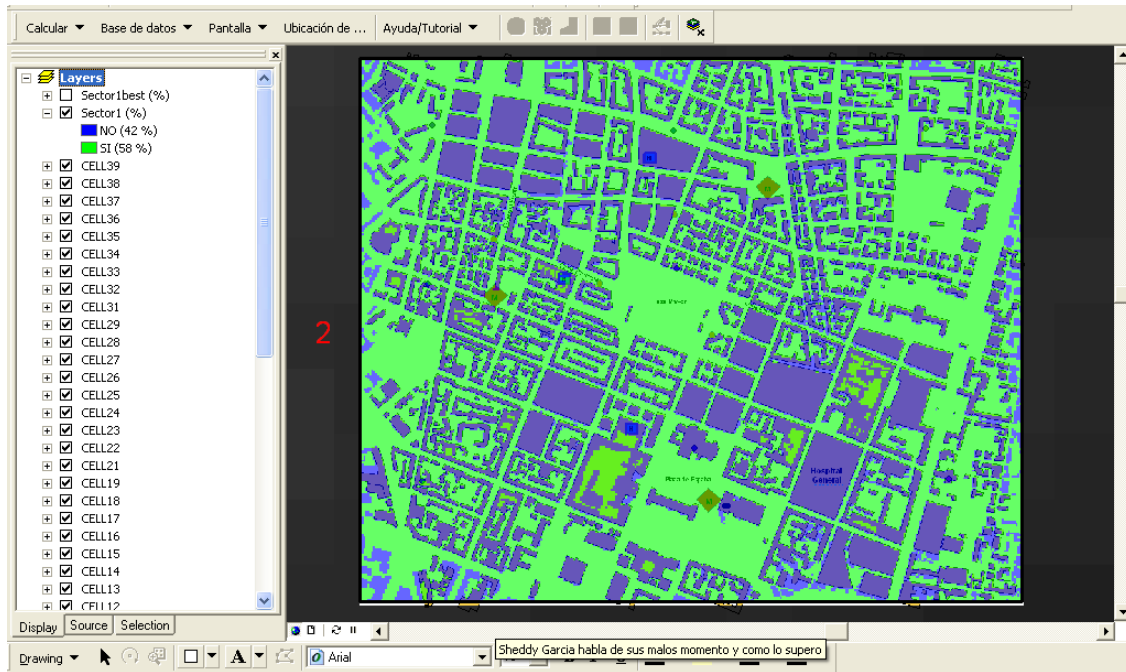


Figura 48. Mapa de porcentaje de cobertura para la banda de frecuencia de 1800MHz con modulación 64QAM con COST-231.

Observamos en la Figura 48 que nuestro sistema cubre todas las calles de la ciudad, sin embargo, en los interiores de los edificios en sistema RadioGIS no presenta cobertura en esta simulación. Sin embargo, sabemos que en la mayoría del interior de los edificios tendríamos cobertura ya que las paredes de las viviendas no poseen un gran grosor.

Para nuestra simulación en la modulación de 16QAM con una antena MIMO 2x2 colocamos 2 eNodoB más como indicamos en la sección 5.3. Con 11 emplazamientos trabajando con este tipo de modulación podremos cubrir los 6000 usuarios propuestos.

Las coordenadas de los emplazamientos para el nuevo sistema:

Sectores	Coordenada x(m)	Coordenada
SITE1	3690572	5338828
SITE2	3691309	5338811
SITE3	3692079	5338818
SITE4	3690559	5338343
SITE5	3691319	5338390
SITE6	3692116	5338367
SITE7	3690542	5337741
SITE8	3691373	5337842
SITE9	3692150	5337748
SITE10	3690820	5338081
SITE11	3691792	5338514

Tabla 24. Coordenadas de los emplazamientos para la cobertura con modulación 16QAM con MIMO 2x2.

Los parámetros de cada una de las celdas de nuestros nuevos eNodoB son los siguientes;

Celda							
Celdas	PIRE(dBm)	Gr(dBi)	Sensibilidad(dBm)	Acimut(º)	Elevación (º)	Frecuencia(MHz)	Altura(m)
Celda1	33	17	-106	0	-45	1730	40
Celda2	33	17	-106	90	-45	1736	40
Celda3	30	17	-106	180	-45	1742	40
Celda							
Celdas	PIRE(dBm)	Gr(dBi)	Sensibilidad(dBm)	Acimut(º)	Elevación (º)	Frecuencia(MHz)	Altura(m)
Celda1	33	17	-106	0	-45	1742	40
Celda2	33	17	-106	90	-45	1736	40
Celda3	30	17	-106	180	-45	1730	40

Tabla 25. Nuevos eNodoB instalado para trabajar con la modulación 16QAM con MIMO 2x2.

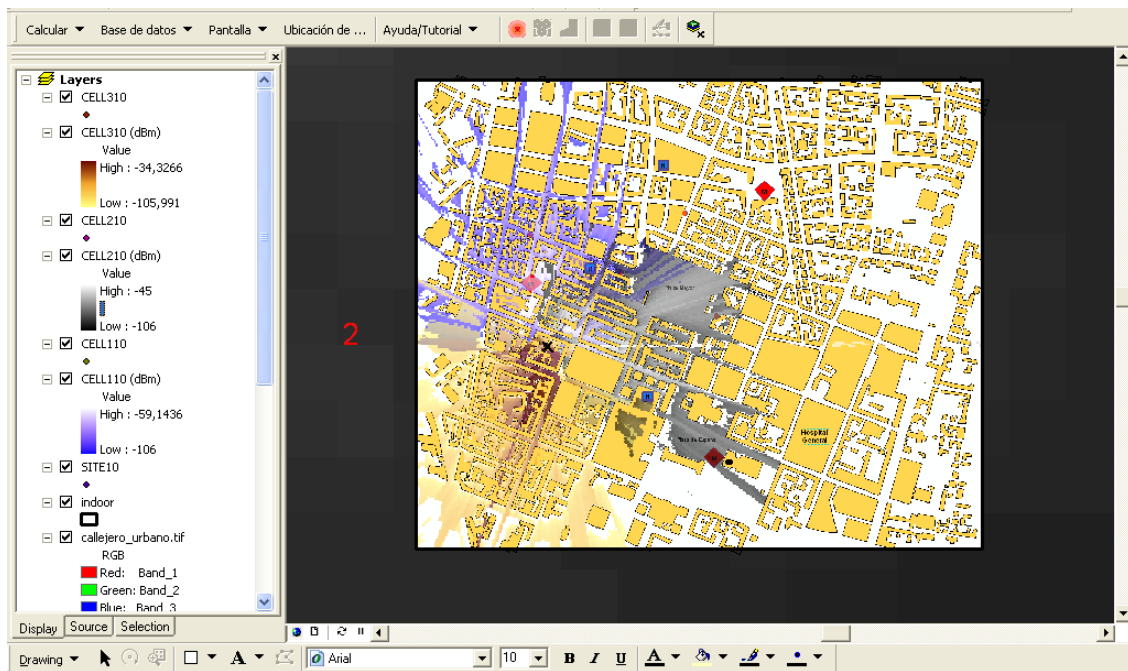


Figura 49. Mapa de cobertura del eNodoB 10 en 16QAM con MIMO 2x2 con COST-231.

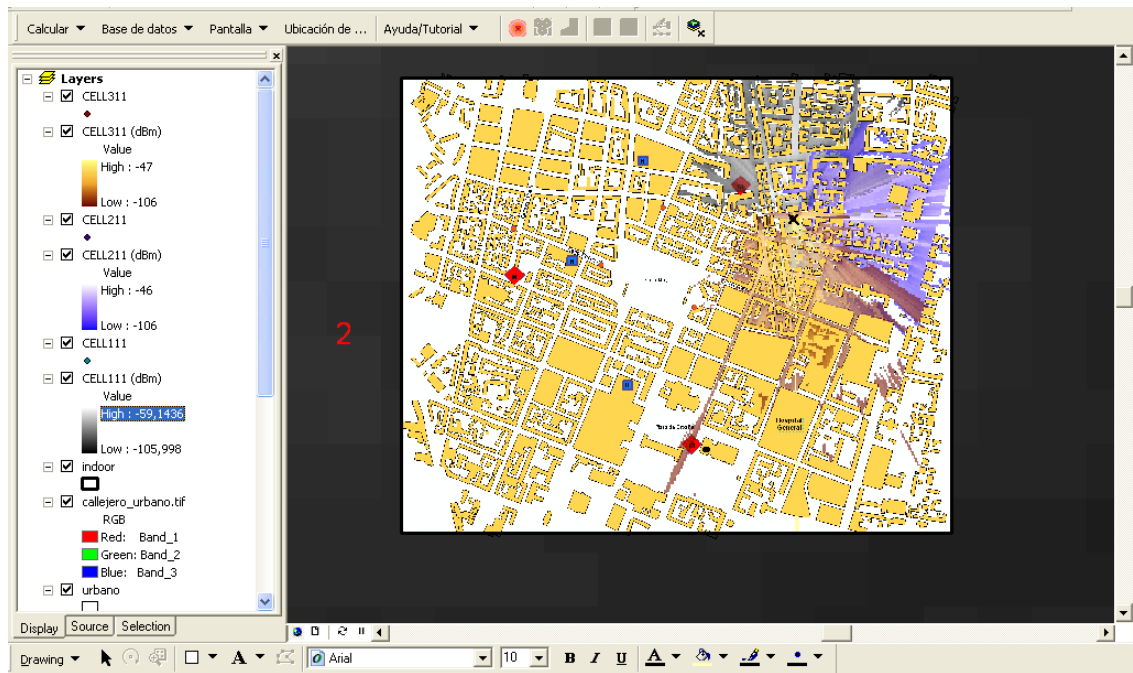


Figura 50. Mapa de cobertura del eNodeB 11 en 16QAM con MIMO 2x2 con COST-231.

Con las coberturas de los 9 eNodeB creados para la modulación 64QAM más agregándoles los 2 eNodeB que se necesita en la modulación 16QAM con MIMO 2x2, tendremos un nuevo sistema de cobertura de potencia que vemos en la Figura 52.

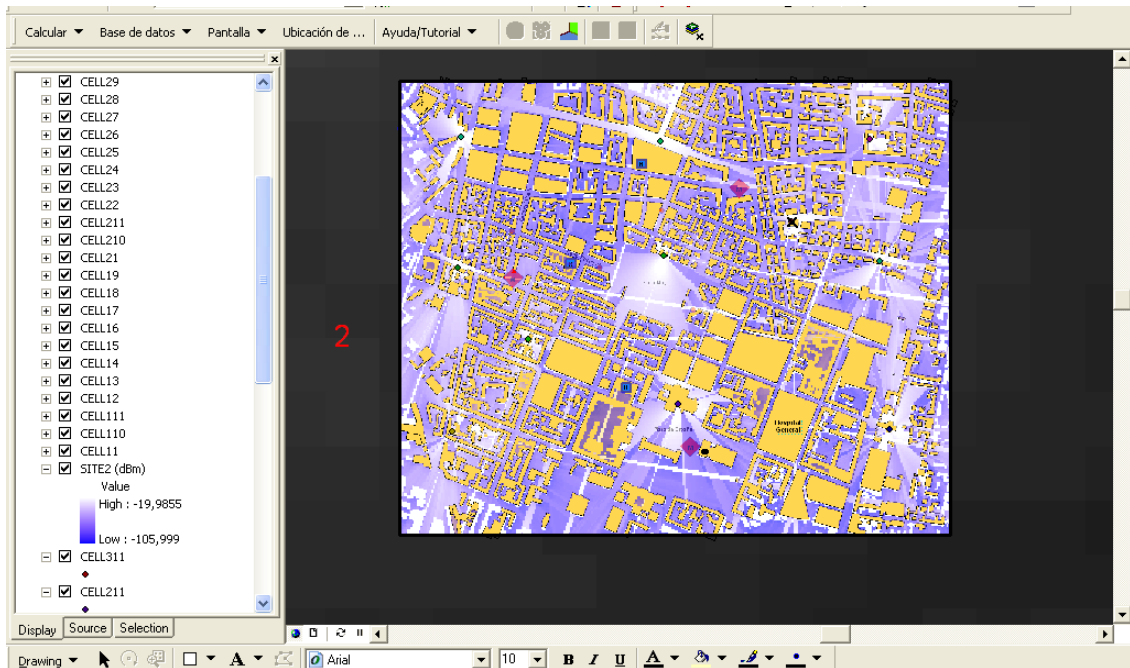


Figura 51. Sistema de cobertura de potencia para la Banda de frecuencia de 1800MHz con modulación 16QAM con MIMO 2x2.

El mapa de mejor servidor es:

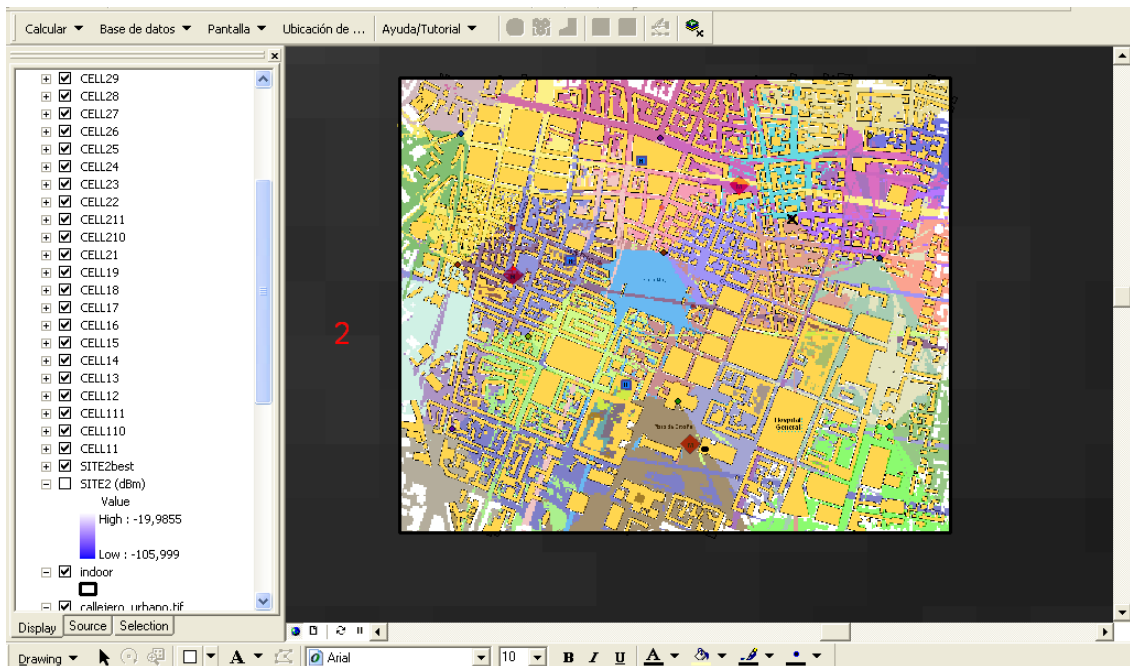


Figura 52. Mapa de Mejor servidor para la banda de frecuencia de 1800MHz con modulación 16QAM y arreglo de antena MIMO 2x2.

Finalmente, el mapa de % sobre umbral para la modulación 16QAM con MIMO 2x2 en la banda de 1800 MHz es:

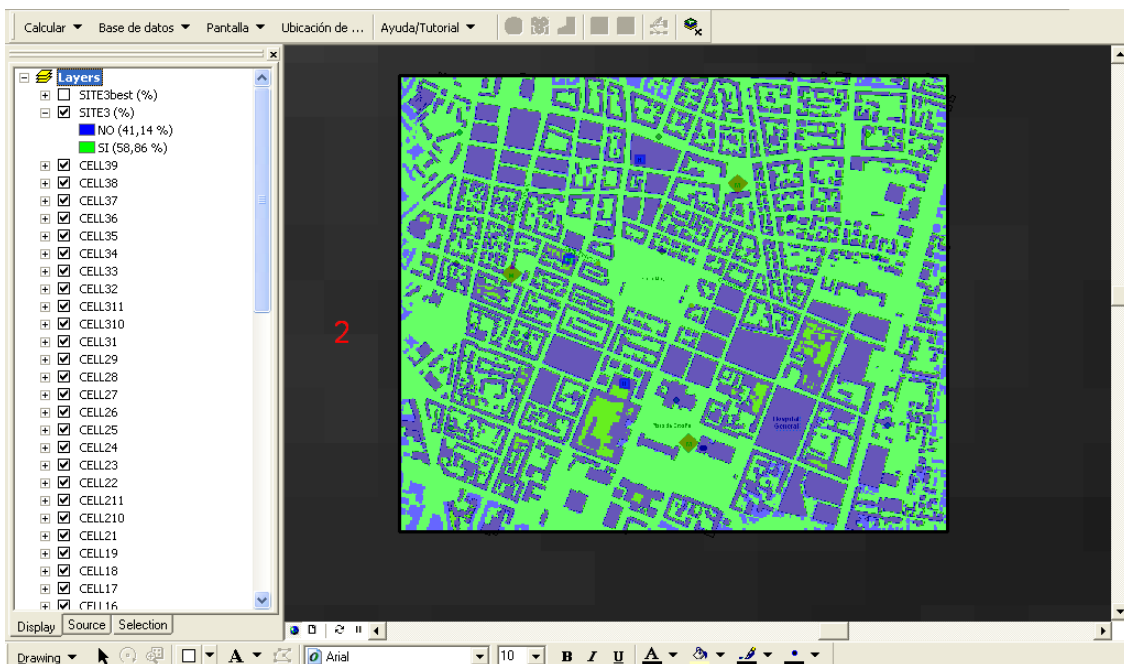


Figura 53. Mapa de porcentaje de cobertura para la banda de frecuencia de 1800MHz con modulación 16QAM y arreglo de antena MIMO 2x2.

El la Figura 53 observamos que cubrimos todo el espacio exterior del mapa con nuestro sistema de 11 eNodoB distribuidos por todas la zona. En la siguiente sección veremos el comportamiento en la banda de 2600MHz, simulada con el modelo de propagación Xia- Bertoni. Este modelo se ha empleado con éxito en microcélulas que suelen utilizar bandas como la de 2600 MHz. Veremos el comportamiento de cobertura que tendrá cada eNodoB bajo esta frecuencia y con este modelo de propagación.

5.5 Análisis de la cobertura mediante Radio GIS: ubicación de los eNodoB en la banda 2600MHz.

Para esta simulación utilizaremos prácticamente los mismos parámetros de la sección 5.4, sin embargo, simularemos para la otra banda correspondiente a 4G LTE en España. También utilizaremos dentro de nuestra simulación en RadioGIS el modelo de propagación Xia-Bertoni.

Colocaremos los eNodoB en las mismas coordenadas que en la sección anterior.

Sectores	Coordenada x(m)	Coordenada y(m)
SITE1	3690572	5338828
SITE2	3691309	5338811
SITE3	3692079	5338818
SITE4	3690559	5338343
SITE5	3691319	5338390
SITE6	3692116	5338367
SITE7	3690542	5337741
SITE8	3691373	5337842
SITE9	3692150	5337748

Tabla 26. Coordenadas de los eNodoB para la cobertura en 2600MHz con 64QAM.

A continuación se muestran los mapas de cobertura para cada uno de los eNodos B:

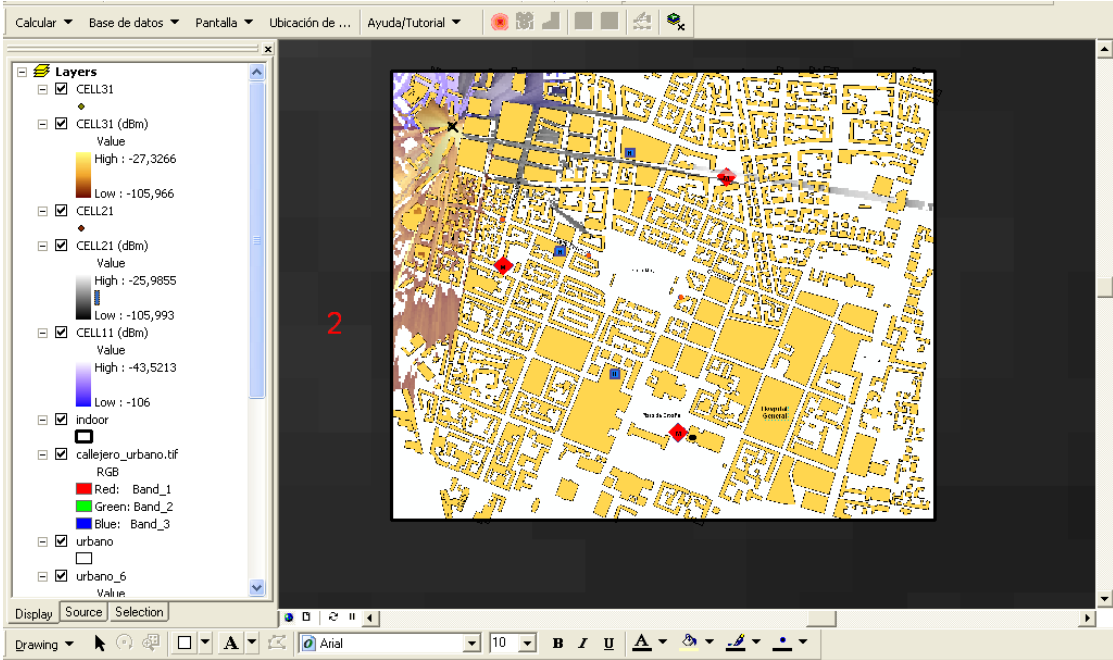


Figura 54. Mapa de cobertura del eNodeB 1 con 64QAM con Xia-Bertoni.

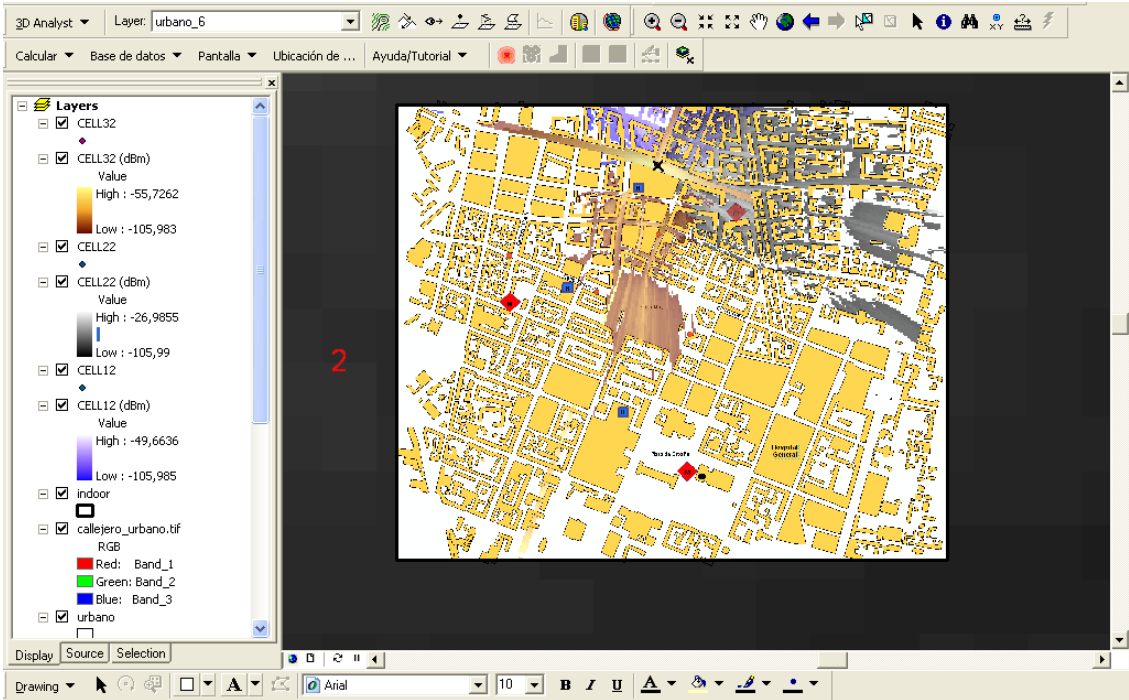


Figura 55. Mapa de cobertura del eNodeB 2 con 64QAM con Xia-Bertoni.

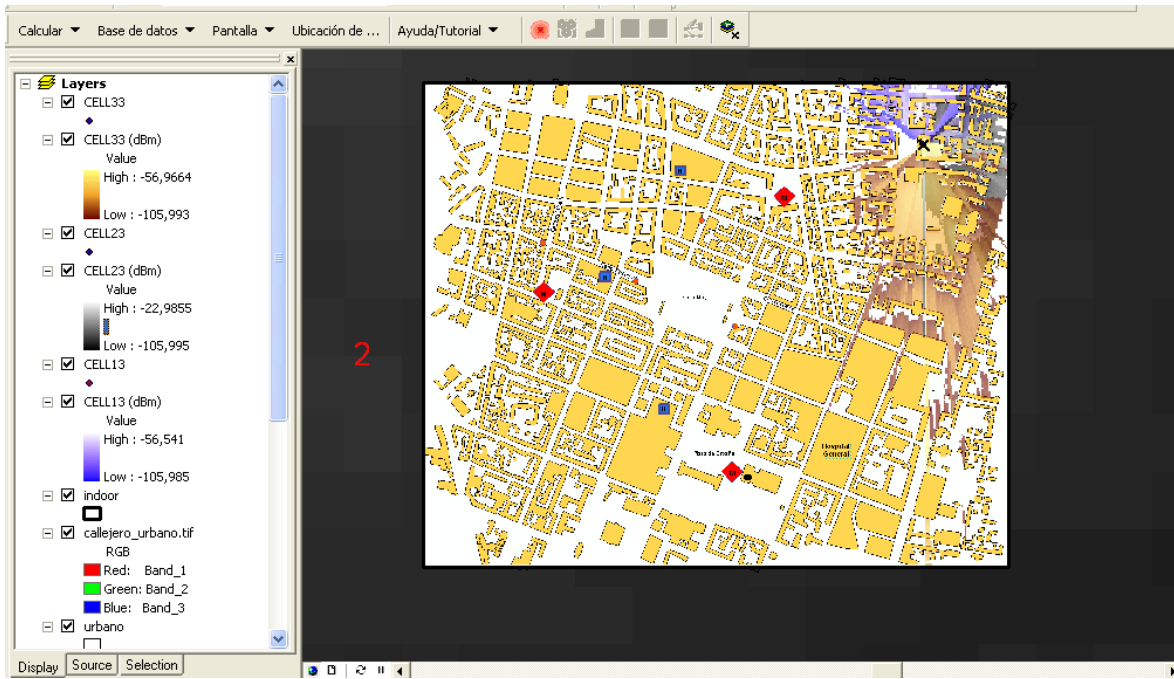


Figura 56. Mapa de cobertura del eNodeB 3 con 64QAM con Xia-Bertoni.

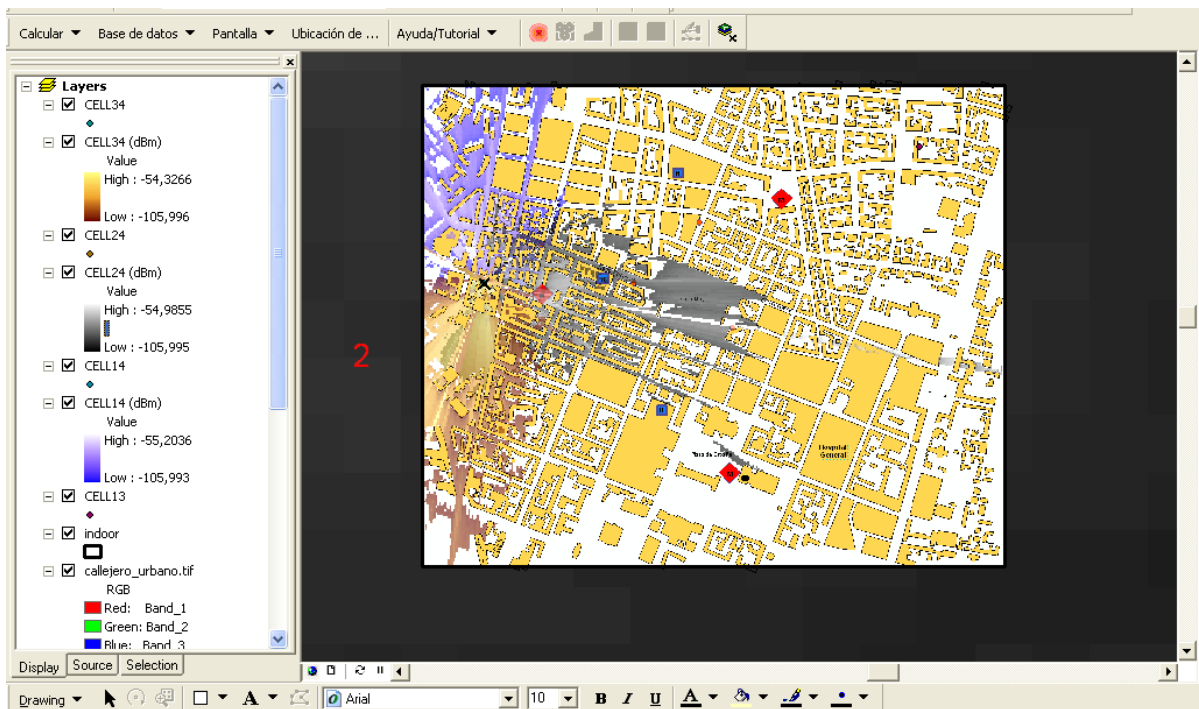


Figura 57. Mapa de cobertura del eNodeB 4 con 64QAM con Xia-Bertoni.

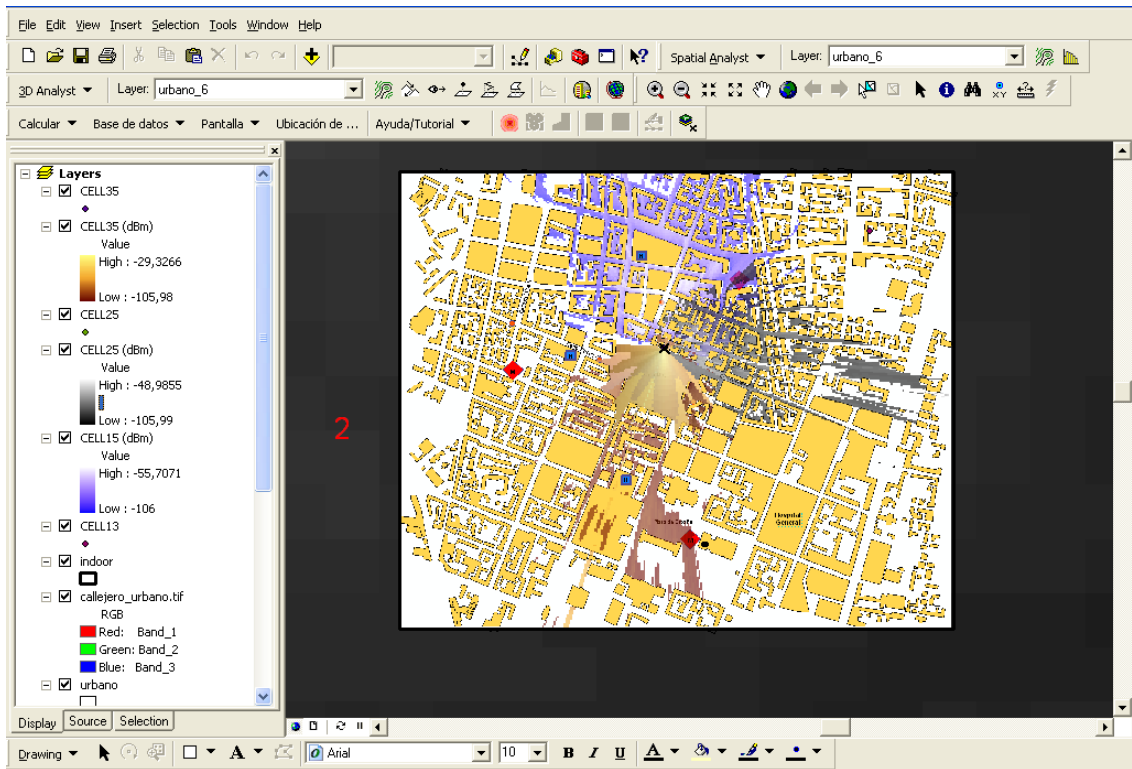


Figura 58. Mapa de cobertura del eNodeB 5 con 64QAM con Xia-Bertoni.

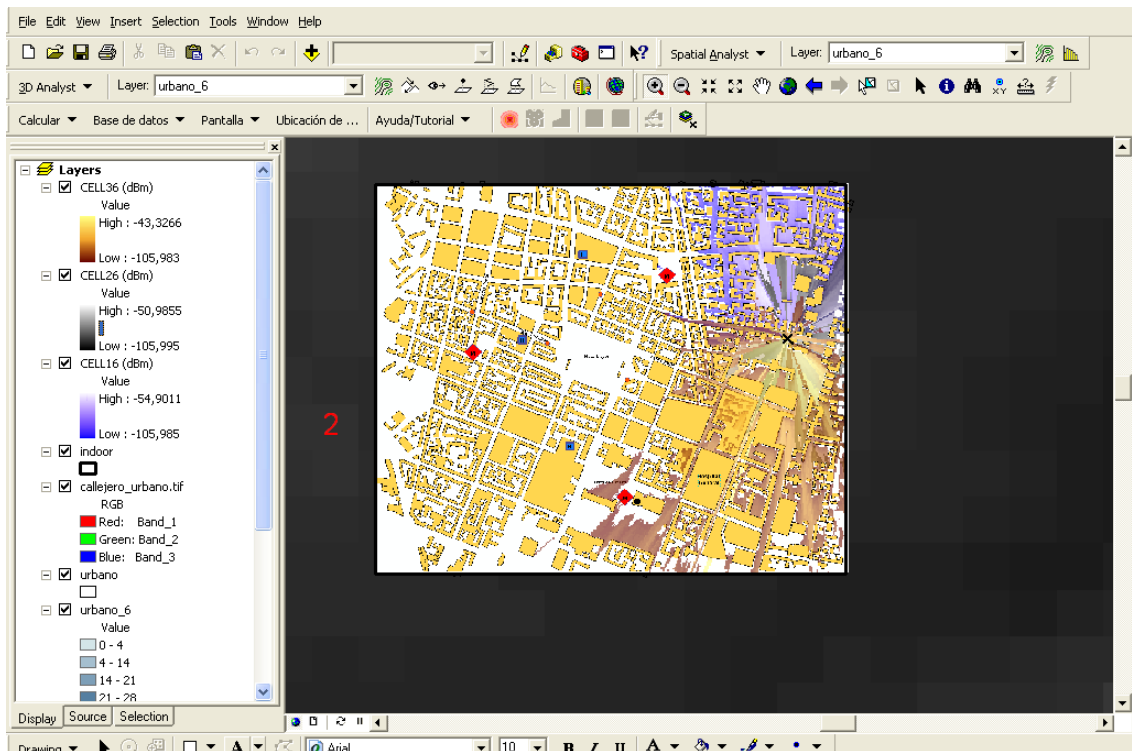


Figura 59. Mapa de cobertura del eNodeB 6 con 64QAM con Xia-Bertoni.

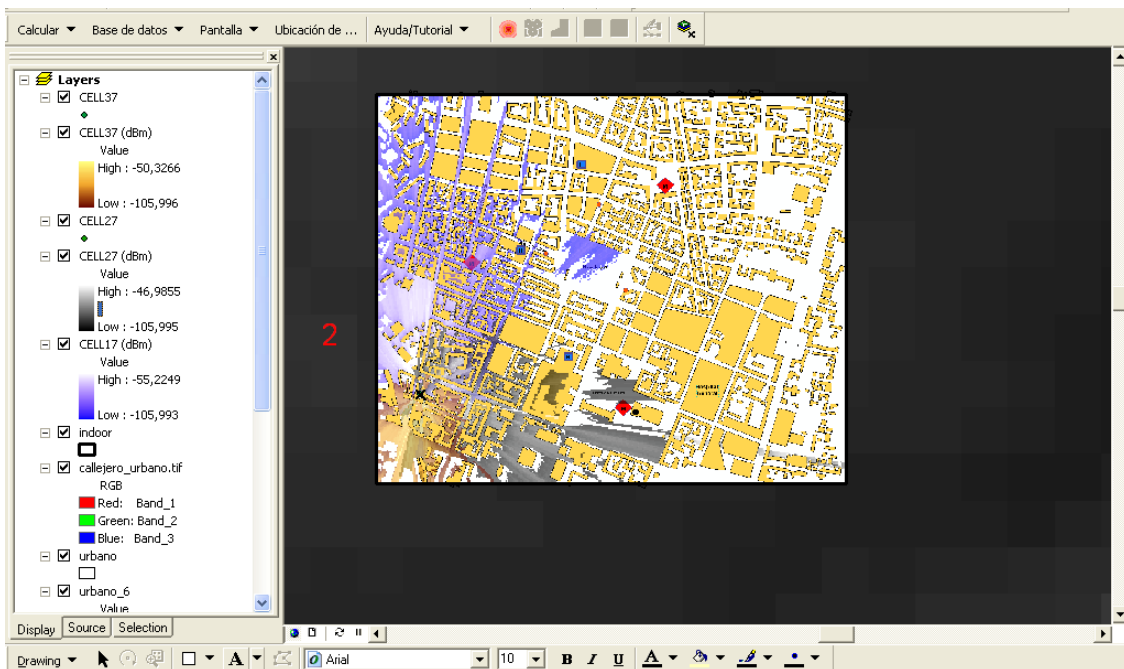


Figura 60. Mapa de cobertura del eNodeB 7 con 64QAM con Xia-Bertoni.

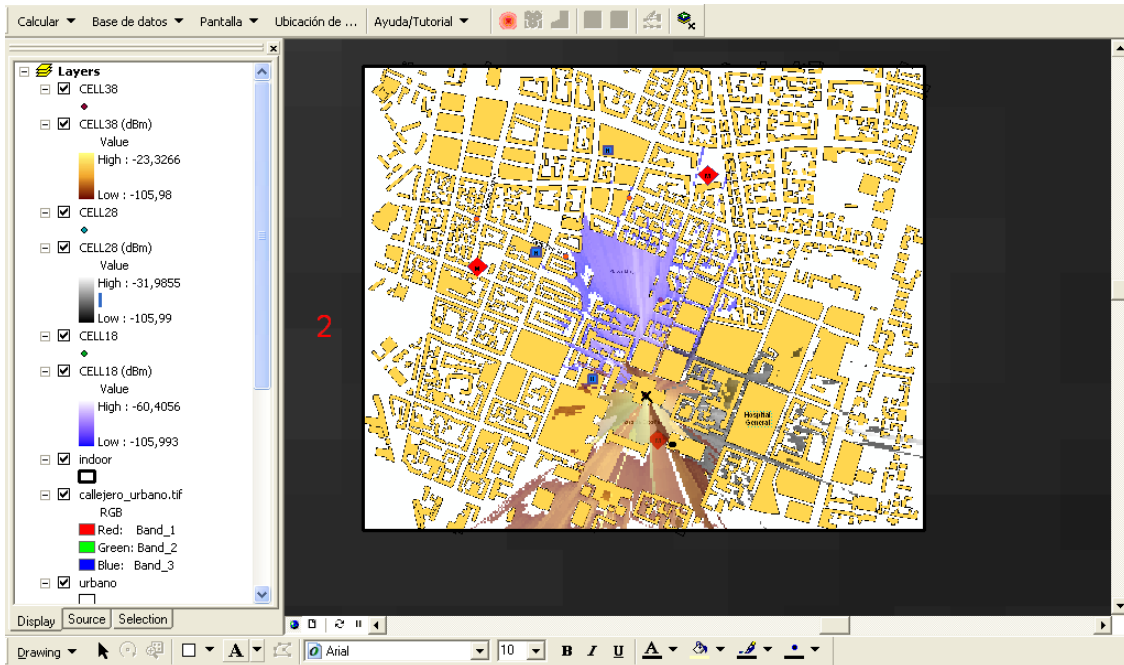


Figura 61. Mapa de cobertura del eNodeB 8 con 64QAM con Xia-Bertoni.

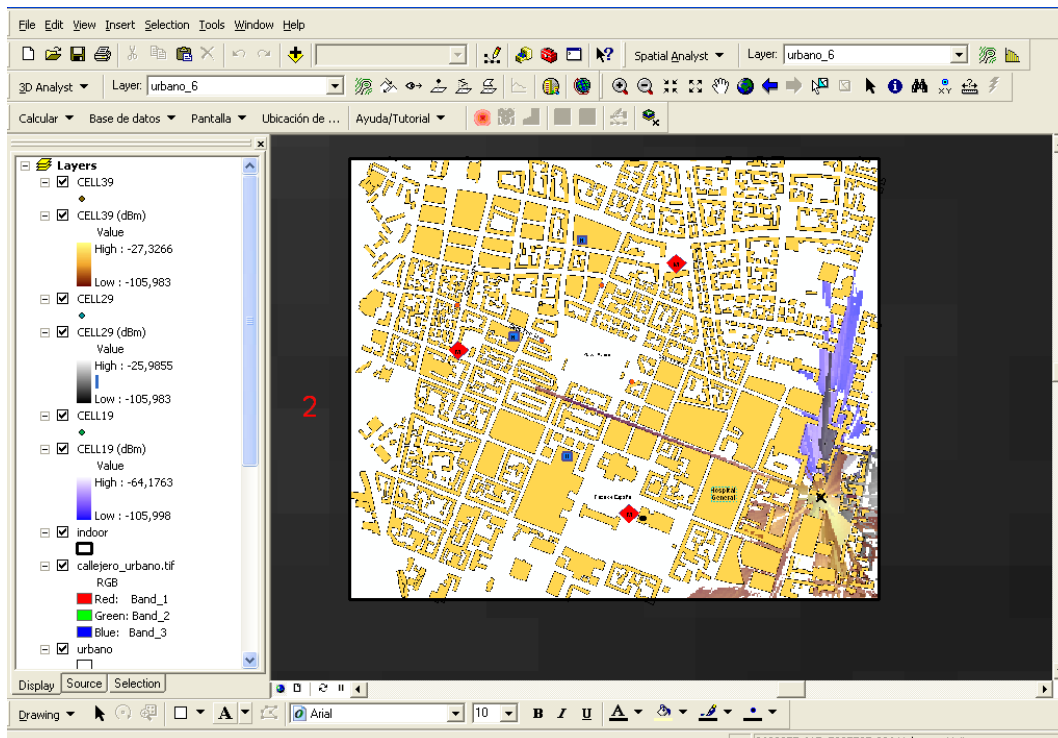


Figura 62. Mapa de cobertura del eNodeB 9 con 64QAM con Xia-Bertoni.

En las figuras anteriores se aprecia que, lógicamente, la cobertura de cada eNodeB en la banda de 2.6 GHz es mucho menor que en la banda de 1800 MHz. Sin embargo, como se verá a continuación el número de eNodos B es suficiente para cubrir toda el área de servicio.

En las siguientes dos figuras se muestra el mapa del sistema de potencia y el mapa de mejor servidor:

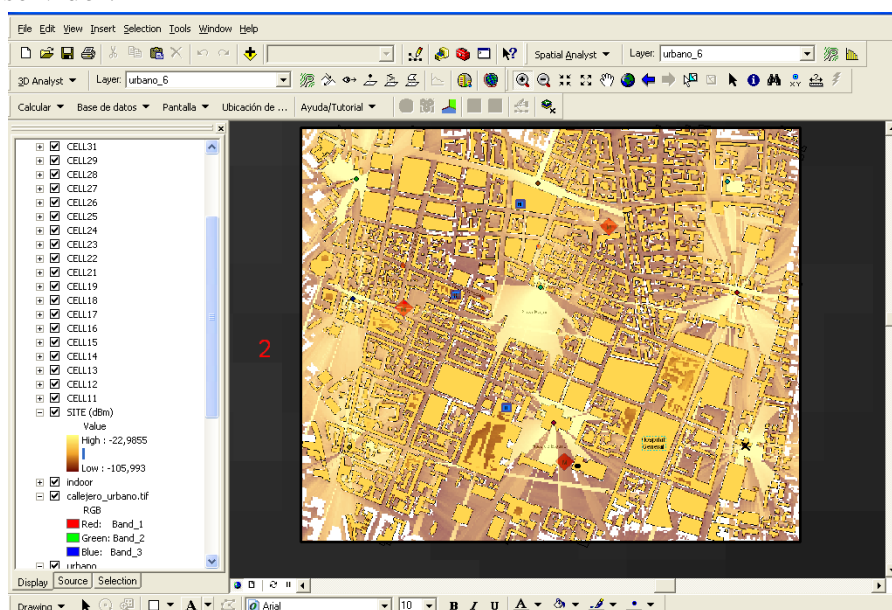


Figura 63. Sistema de cobertura de potencia para la Banda de frecuencia de 2600MHz con modulación 64QAM y modelo de propagación Xia-Bertoni.

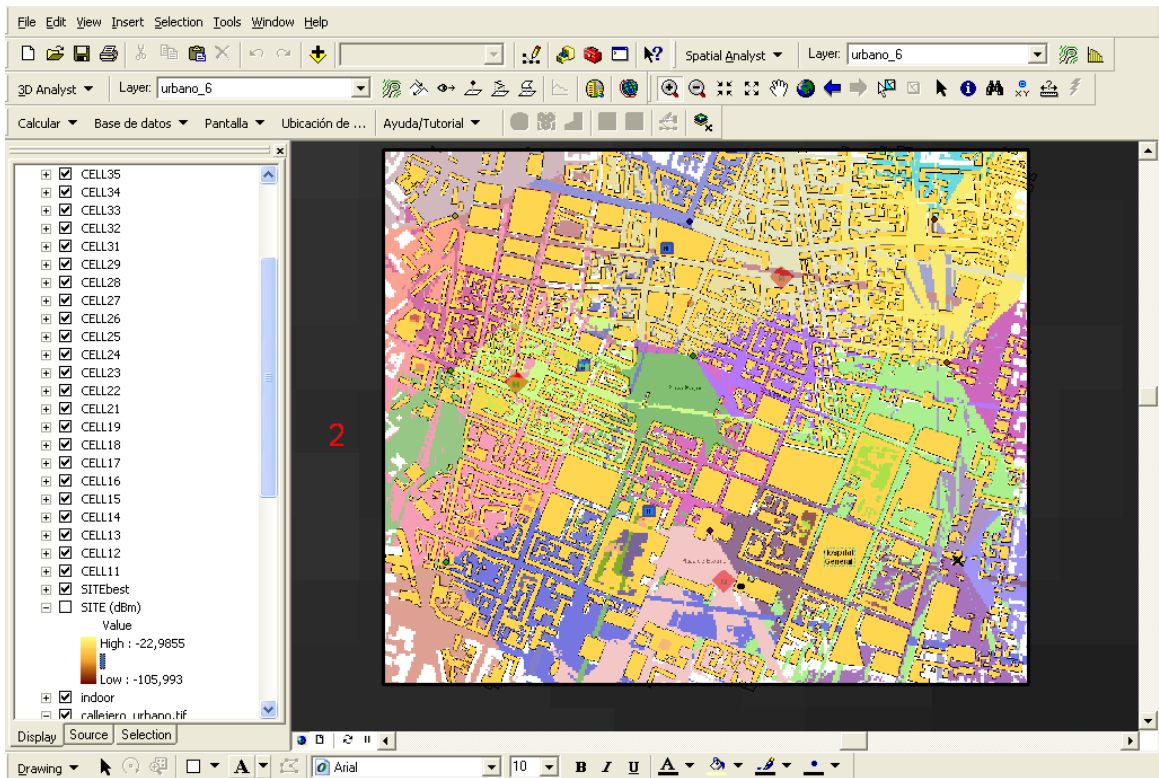


Figura 64. Mapa de Mejor servidor para la banda de frecuencia de 1800MHz con modulación 16QAM y arreglo de antena MIMO 2x2 y modelo de propagación Xia-Bertoni.

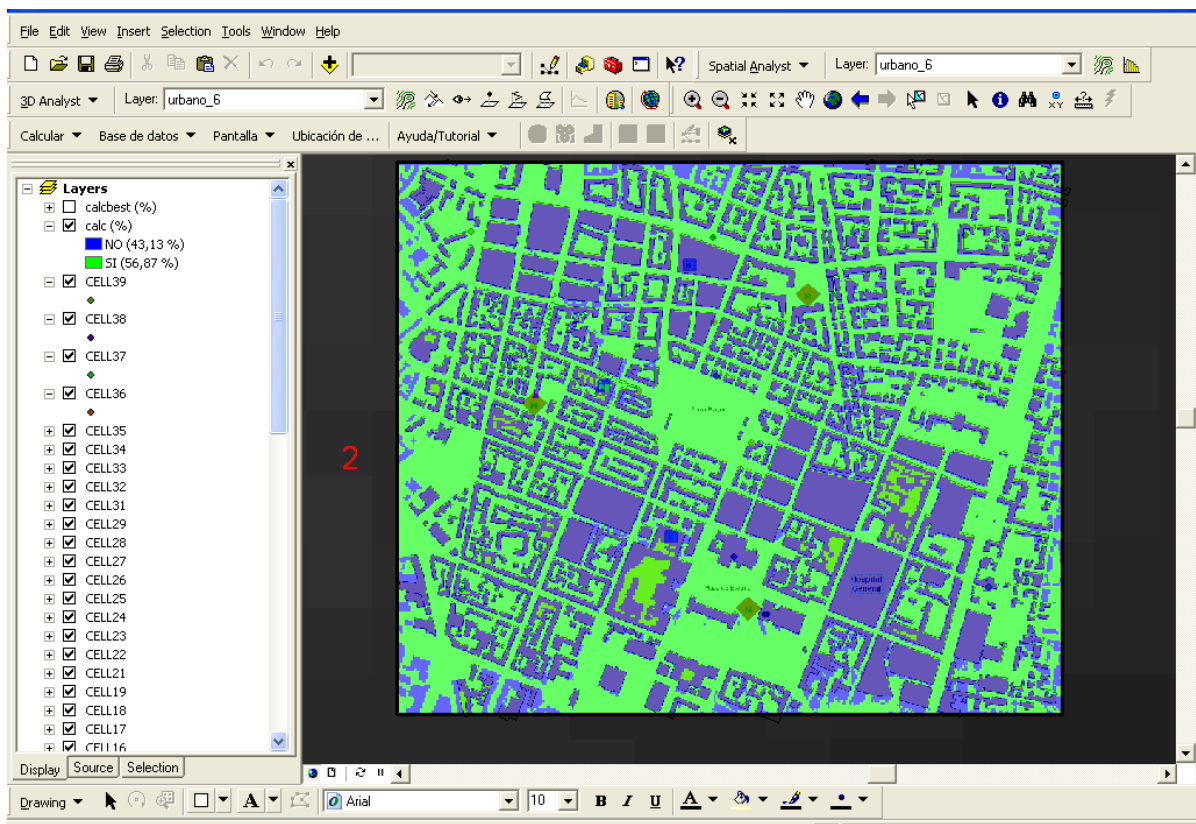


Figura 65. Mapa de porcentaje de cobertura para la banda de frecuencia de 1800MHz con modulación 64QAM y modelo de propagación Xia-Bertoni.

Como sucedió en la simulación de la banda de frecuencia de 1800MHz con COST-231, la banda 2600MHz simulada con Xia-Bertoni también cubre todo el territorio exterior de la ciudad de Murcia.

Con la modulación de 16QAM con arreglo de antena MIMO 2x2, como hemos explicado en secciones anteriores, es necesario agregar dos eNodoB para brindar 5GB a los 6000 usuarios que ofreceremos el servicio 4G LTE. La cobertura de los dos nuevos eNodos B se muestra en las dos siguientes figuras:

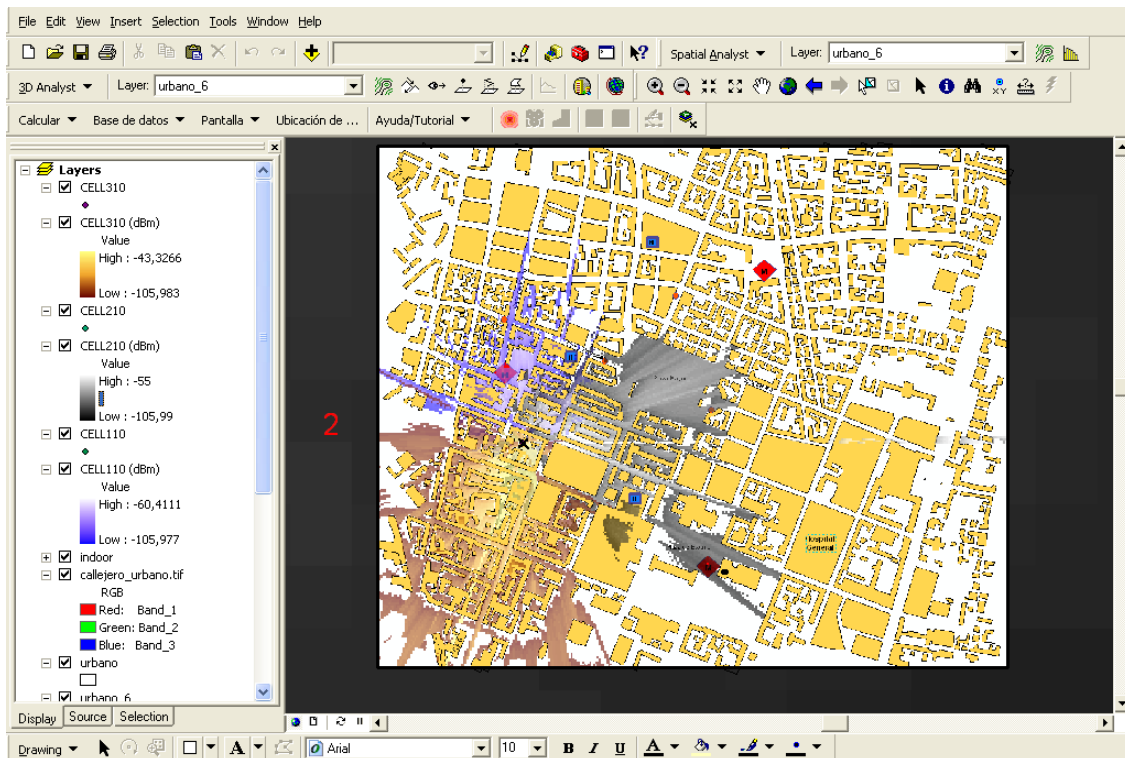


Figura 66. Cobertura de potencia eNodoB 10 para 16QAM MIMO 2x2 con modelo de propagación Xia-Bertoni.

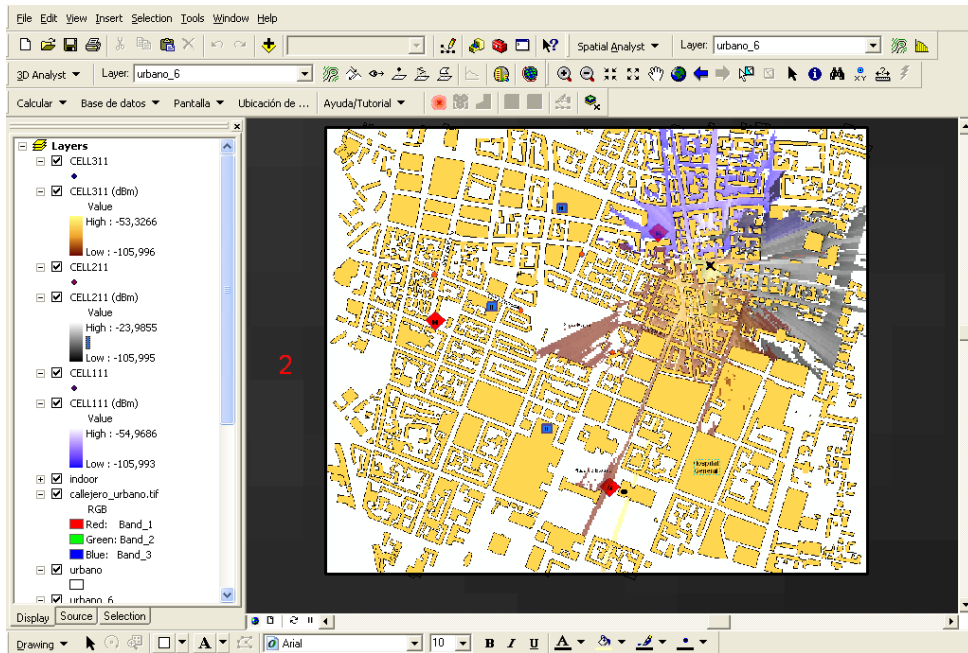


Figura 67. Cobertura de potencia de eNodeB 11 para 16QAM MIMO 2x2 con modelo de propagación Xia-Bertoni.

El mapa del sistema de potencia se muestra en la siguiente figura:

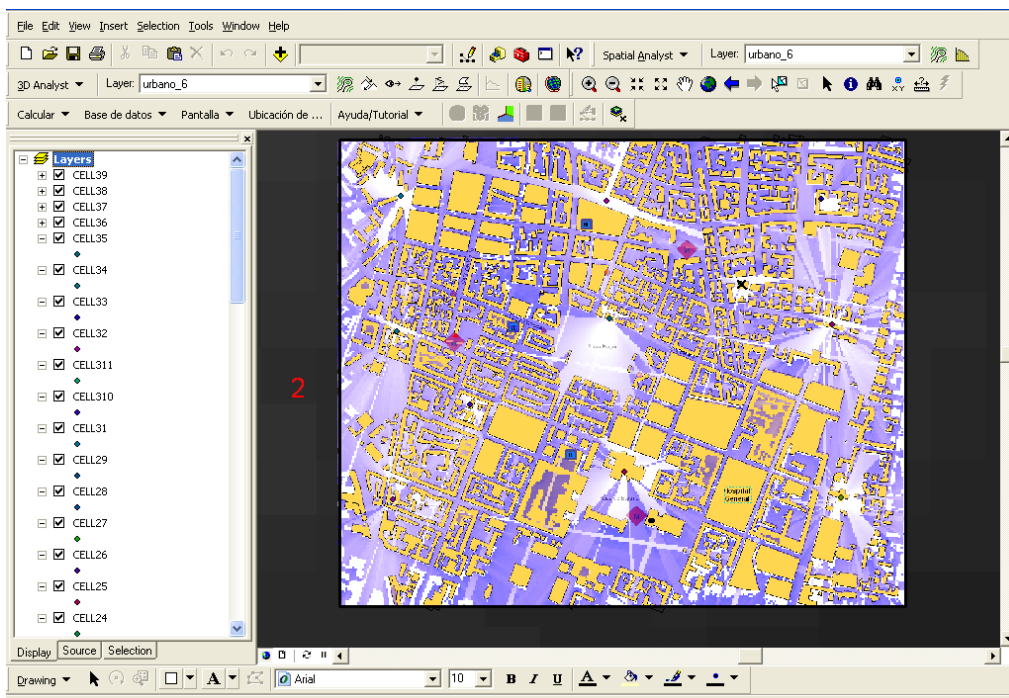


Figura 68. Sistema de cobertura de potencia para la Banda de frecuencia de 2600MHz con modulación 16QAM con MIMO 2x2 y modelo de propagación Xia-Bertoni.

El mapa de mejor servidor es:

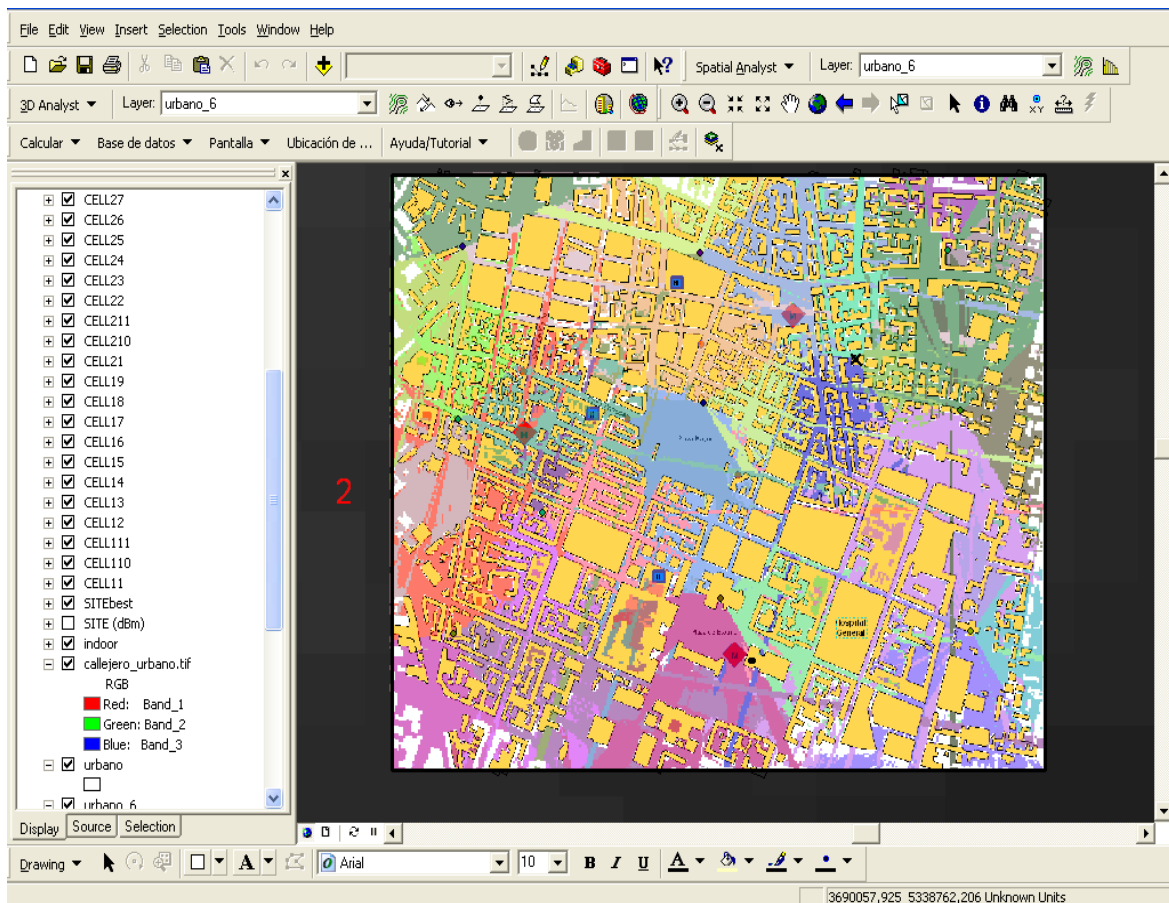


Figura 69. Mapa de Mejor servidor para la banda de frecuencia de 2600MHz con modulación16QAM y arreglo de antena MIMO 2x2 y modelo de propagación Xia-Bertoni.

Finalmente, se muestra el mapa de % sobre umbral:

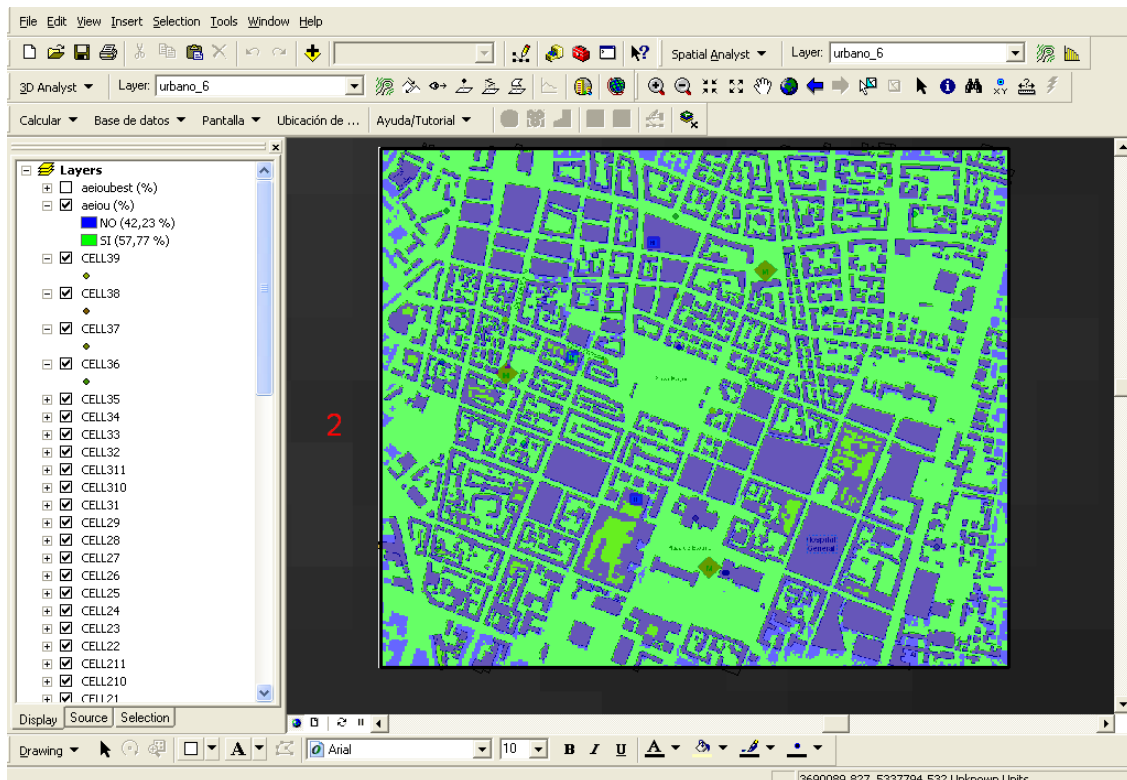


Figura 70. Mapa de porcentaje de cobertura para la banda de frecuencia de 1800MHz con modulación 16QAM con arreglo de antena MIMO 2x2 y modelo de propagación Xia-Bertoni.

De nuevo se observa que la cobertura es prácticamente total en la ciudad. Únicamente en el interior de los edificios no existe cobertura pero este hecho es debido a que no se poseen datos de la atenuación por las paredes de los edificios. Es de prever que en cualquier edificio de viviendas habitual, el nivel de potencia sería aceptable en ambos enlaces y por lo tanto la cobertura sería prácticamente total.

6 CONCLUSIONES

En conclusión en este trabajo de fin de máster observamos que la implementación de la 4ª generación móvil LTE en España ya es un hecho. Este sistema de comunicaciones móviles ofrecerá a los usuarios una mayor satisfacción a la hora de utilizar su dispositivo móvil para realizar cualquier tarea en la red. En este proyecto se ha realizado un ejemplo de planificación del sistema LTE en la ciudad de Murcia para dos de las bandas en las que la compañía Vodafone posee licencias (1800 MHz y 2600 MHz).

Las compañías telefónicas que operan en España, han comenzado a ofrecer 4G LTE a partir de este verano. Sin embargo, no será hasta finales del 2013 y principio del 2014 cuando la población española (población que posee el número más alto de aparatos inteligentes del continente europeo) podrá disfrutar con plenitud de las grandes ventajas que ofrece LTE a sus usuarios. Esto se debe a que las compañías que ofrecerán este servicio solo se enfocarán en las partes urbanas de las ciudades. Esta limitación existirá hasta que, para el principio del 2015, la banda utilizada por la televisión digital terrestre (TDT) de 800MHz quede totalmente liberada y pueda ser usada por los proveedores de servicios móviles en todo el territorio nacional.

A partir de los cálculos obtenidos en esta memoria, vemos cómo con LTE se pueden alcanzar velocidades desde 7,5Mbps hasta 227,9Mbps de transferencia de datos netas. Esto es mucho mayor que las velocidades que actualmente ofrece la red de 3ª generación. En los cálculos realizados en el presente proyecto las velocidades netas han sido obtenidas a partir de las velocidades brutas, considerando tanto la reducción de la velocidad por la necesidad de control y señalización como la reducción debida a la baja calidad de la señal.

La planificación efectuada se ha basado en el cálculo del número de usuarios en cada eNodoB tomando en cuenta la cantidad de datos demandados por un usuario de tipo medio. Para determinar el consumo de cada usuario se ha efectuado un estudio del consumo de las aplicaciones más utilizadas. Dependiendo de la cantidad de datos que demanda un usuario y de la capacidad que ofrece un eNodoB se pueden hallar el número de eNodosB en la zona de servicio. LTE ofrece una gran variedad de capacidades en sus eNodosB ya que se pueden ofrecer diferentes tipos de modulación combinados o no con la técnica MIMO. En este trabajo se han estudiado tres escenarios posibles correspondientes al empleo de la modulación QPSK sin MIMO, la modulación 16QAM con MIMO 2 x 2 y la modulación 64QAM sin MIMO.

Los resultados obtenidos muestran que si se emplea la modulación QPSK se deberán instalar una gran cantidad de eNodoB que hacen inviable su uso. Si se emplea

la modulación 16QAM con MIMO 2 x 2 se deberán emplear 11 eNodosB y si se emplea la modulación 64QAM el número baja hasta los 9 eNodoB. Con estos resultados vemos que si la compañía decide trabajar con 64QAM con alguna variedad de MIMO, reduciría bastante la cantidad de eNodoB para cubrir la mayor cantidad de suscriptores de la zona urbana de Murcia en la red 4G LTE.

En los cálculos de cobertura se ha empleado la herramienta RadioGIS ya que es un programa que proporciona una gran variedad de mapas de cobertura y modelos de propagación. En la banda de 1800 MHz se ha empleado el modelo COST-231 y en la banda de 2600 MHz se ha utilizado el modelo de Xia-Bertoni. Tal como se explicó en la memoria estos dos modelos son adecuados para las bandas estudiadas. En la sección 5.4, observamos que con los eNodoB instalados en coordenadas estratégicas, podemos cubrir toda la zona de la ciudad de Murcia.

Por lo tanto, en nuestras simulaciones observamos que para una primera etapa, la compañía Vodafone podrá cubrir todo el territorio de la zona urbana de Murcia y brindarle un ancho de banda de 5 Giga Byte a 6000 mil usuarios, lo cual representa un 10% de la cantidad de usuarios registrado bajo esta compañía en la región.

Los usuarios de esta tecnología en la ciudad de Murcia podrán disfrutar de una mayor velocidad en las transferencias de los datos. Disfrutarán de las ventajas de poder establecer video llamadas con una fidelidad nunca antes visto en las antiguas generaciones móviles.

7 REFERENCIAS

[1] http://www.gsacom.com/news/gsa_324.php4.

[2] “The Mobile Communications Environment in the European Union: Systems, Regulations, and Consequences in the Past, Present, and Future”, Keiko Tanaka, For the IEEE 2001 Conference on the History of Telecommunication 25-27 July 2001, St. John's, Newfoundland, Canada.

[3] Introduction to Mobile Telephone Systems, 1G, 2G, 2.5G, and 3G Wireless Technologies and Services, Lawrence Harte, 2nd Edition.

[4] Practical Tips on WCDMA Measurements. MT8222A MS272xB y BTS Master Spectrum Master.

[5] Mobile Broadband Including Wimax and LTE, Mustafa Ergen, Springer Science+Business Media, LLC 2009.

[6] LTE for UMTS OFDM and SC-FDMA Based Radio Access, Harri Holma and Antti Toskala, 2009 John Wiley & Sons, Ltd.

[7] LTE: Nuevas Tendencias en comunicaciones Móviles, Ramon Agusti Comes, Ramon Ferru Ferre, Jordi Perez Romero, Fundación Vodafone Espana, 2010.

[8] Seminario AGCOM “LTE per il mobile broadband: tecnologia, regolamentazione, ecosistema e mercato” Roma, 24 Febbraio 2012, PARTE II: Tecnología LTE, Fabio Moresi, HUAWEI TECHNOLOGIES.

[9] Key features of the LTE radio interface, Erik Dahlman, Anders Furuskär, Ylva Jading, Magnus Lindström and Stefan Parkvall, Ericsson Review No. 2, 2008.

[10] <http://en.wikipedia.org/wiki/3GPP>

[11] <http://4g-map.info/>

[12] Exploring the Value and Economic Valuation of Spectrum, Broadband Series, April 2012, Telecommunication Development Sector.

[13] http://oficinavirtual.mityc.es/SETSI_RegConcesiones/TablaConcesiones.aspx?codservicio=1800&servicio=Servicio%20de%20Comunicaciones%20Electr%F3nicas%201800%20Mhz&titular=&rn=true

- [14] http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/es-es/participacion/documents/frecuencias_2_6ghz/consultapublica_2_6_ghz.pdf.
- [15] http://oficinavirtual.mityc.es/SETSI_RegConcesiones/TablaConcesiones.aspx?codservicio=2600&servicio=Servicio%20de%20Comunicaciones%20Electr%C3%93nicas%20,6%20GHz&titular=&rn=true.
- [16] Plan Marco De Actuaciones para liberación del DIVIDIENDO DIGITAL 2012-2014, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- [17] <http://www.vodafone.es/conocenos/es/cobertura-y-tiendas/cobertura/consulta-de-cobertura-movil/>.
- [18] <http://www.madridnetwork.org/noticias/detalle/Telefonica-launches-4G-network-at-Mobile-World-Congress>.
- [19] <http://www.yoigolandia.com/2013/05/todo-sobre-el-4g-lte-de-yoigo-precio.html>
- [20] <http://www.e-interactive.es/wp-content/uploads/Informe-de-Marketing-Movil.pdf>
- [21] World in 2011 ICT Facts and Figures, 2011, International Telecommunication Union.
- [22] Padrón Municipal de habitantes 2010, Instituto Nacional de Estadísticas.
- [23] <http://www.rfsworld.com/dataexpress/>
- [24] <http://www.vodafone.com.au/personal/wireless-internet/mobile-broadband/data-calculator>
- [25] <http://www.verizonwireless.com/b2c/splash/datacalculatorPopup.jsp>
- [26] Sistema de prueba R&S@TS8980 verifica los indicadores de calidad LTE CQI, PMI y RI, Dr. Thomas Brüggén.
- [27] 3GPP LTE: Hacia la 4G móvil, Narcís Cardona, Juan José Olmos, Mario García y José F. Monserrat, Marcombos S.A, 2011.
- [28] <http://cmtdata.cmt.es/cmtgraph/jsp/ficha-completa.jsp>.