

Análisis de redes móviles para implementación de 5G en la ciudad de Maracaibo

Analysis of mobile networks for 5G implementation in Maracaibo city

Abraham Daniel Velásquez Gutierrez

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0003-6066-8870> | Correo electrónico: abrahdvg@gmail.com

Miguel Andrés Pérez Quintero

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0004-8784-7075/> | Correo electrónico: maperez170702@gmail.com

Gilberto José Araujo Fernández

Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0008-5586-4945> | Correo electrónico: gilberto.araujo@uru.edu

Admitido: 18/04/2023

Aceptado: 02/05/2023

Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo analizar la infraestructura de la red móvil en Maracaibo para la adopción de la tecnología 5G. Se evaluó la red 4G actual y se comparó con los estándares teóricos de 5G, buscando validar su interoperabilidad y satisfacer requisitos de operadores nacionales. Se propuso la instalación de un nodo 5G en la Vereda del Lago. Se empleó un tipo de investigación descriptivo y proyectivo con métodos de recolección de datos como entrevistas y observación directa e indirecta. Los resultados indicaron que 5G ofrece mayor velocidad, pero con un 52,2% de decaimiento en el alcance en comparación con 4G. Se confirmaron acuerdos para despliegue de fibra y se validó la interoperabilidad entre ambas tecnologías. Se sugiere investigar la viabilidad económica del proyecto antes de implementarlo. En conclusión, un despliegue híbrido 4G-5G es factible en la ciudad de Maracaibo si resulta económicamente viable.

Palabras clave: 5G, 4G, Redes, Comunicaciones, Infraestructura.

Abstract

This research was as objective to analyze the mobile network infrastructure in Maracaibo for the adoption of 5G technology. The current 4G network was evaluated and compared with theoretical 5G standards, seeking to validate its interoperability and satisfy the requirements of national the operators. The installation of a 5G node in Vereda del Lago was proposed. A descriptive and projective type of research was used, with data collection methods such as interviews and direct and indirect observations. The results indicated that 5G offers greater speed but with a 52.2% decline in scope compared to 4G. Agreements for fiber deployment were confirmed, and interoperability between both technologies was validated. It is suggested to investigate the economic viability of the project before implementing it. In conclusion, a hybrid 4G-5G deployment is feasible in the city of Maracaibo if it is economically viable.

Keywords: 5G, 4G, Networks, Communications, Infrastructure.

Introducción

Según Rommer [1], “La red 5G es una tecnología de red móvil que utiliza nuevas técnicas de modulación y multiplexación de señales, así como nuevas bandas de frecuencia, para lograr una mayor velocidad de datos y una menor latencia”. Además, la tecnología 5G también permite la conexión de una mayor cantidad de

dispositivos, lo que la hace adecuada para aplicaciones del Internet de las cosas (IoT). Por su parte, para Holma y Toskala [2], “La red 5G es una tecnología de red móvil que se basa en técnicas de modulación y multiplexación avanzadas para aumentar la capacidad de la red y la velocidad de datos”. Por otro lado, la tecnología 5G también puede utilizar la virtualización de funciones de red y la computación en la nube para proporcionar una mayor flexibilidad y eficiencia en la gestión de la red.

Dávila y García [3], en su trabajo titulado “Evaluación de los parámetros a nivel de transmisión para la implementación de una red 5G en la ciudad de Maracaibo”, obtuvieron, en ese momento de una gran crisis económica del país, que la implementación de la red 5G no sería factible debido a que la capa de usuarios no funcionaría correctamente por falta de densidad de usuarios en las celdas. Sin embargo, a nivel mundial, la tecnología celular ha tenido un incremento considerable en los últimos años debido a la implementación de 5G en distintos países. Esto ha despertado el interés en varios países alrededor del mundo por desarrollar en sus territorios redes 5G que ayuden a mejorar las capacidades de las redes móviles existentes. Venezuela no está exenta de ese interés, dado que actualmente se están haciendo pruebas en distintas zonas del país con el objetivo de desarrollar nodos 5G en aquellas zonas donde resulta factible económicamente.

Por consiguiente, el incremento de la demanda de mayores velocidades de 5G viene como consecuencia del incremento de la demanda de conexión a internet, la cual se ha hecho tan vigente en nuestras vidas que siempre damos el internet por sentado. En el contexto de Venezuela, la demanda por conexión a internet ha aumentado, pero esta no ha ido acorde con la oferta de velocidades que actualmente se manejan en el país. Por lo tanto, resulta importante encontrar una solución para esto, y una de las que se propone es la tecnología 5G.

En vista de una futura implementación de 5G, se necesita realizar un análisis de la infraestructura de las redes móviles en Maracaibo, en donde se diagnostique el estado actual de la red móvil 4G para luego comparar los parámetros de la red 5G provistos por la documentación teórica disponible. Asimismo, resulta importante evaluar la interoperabilidad de la red 4G con 5G de manera tal que se pueda realizar un despliegue híbrido en un futuro. Es importante, además, verificar la existencia de los acuerdos entre operadoras con el propósito de sustentar la red 5G y contar con su apoyo al momento de plantear la misma.

Para llevar a cabo este análisis, se emplearon diversos métodos de investigación, como la revisión bibliográfica de fuentes especializadas, la recopilación y análisis de datos estadísticos, la realización de entrevistas a expertos del sector y la aplicación de pruebas técnicas en diferentes zonas de la ciudad. Los resultados de este análisis pueden ser de gran utilidad para los proveedores de servicios de telecomunicaciones, así como para las autoridades encargadas de la regulación de este sector en el país.

Por lo anterior, en este trabajo se planteó como objetivo analizar las redes móviles para su implementación 5G en la ciudad de Maracaibo.

Materiales y Métodos

La presente investigación fue de tipo descriptivo [5], donde se caracterizaron las propiedades de las redes 4G y 5G. Además, fue de tipo proyectivo [6], dado que se propuso un plan para la implementación de la red 5G en la ciudad de Maracaibo. El diseño fue no experimental, documental y de campo [7], debido a que no hubo manipulación de variables. Por un lado, se consultaron fuentes secundarias de información sobre el tema, y por otro, los datos se recolectaron directamente de la realidad. A continuación, se procede a describir los procedimientos y etapas que se llevaron a cabo para realizar la investigación:

Fase 1. Diagnóstico del estado de la red móvil 4G de una operadora típica en la ciudad de Maracaibo considerando aspectos técnicos de la red

Mediante la técnica de la entrevista [6] realizada a tres ingenieros especialistas en redes móviles, que son empleados de una operadora nacional típica, se lograron definir los siguientes parámetros en cuanto transmisión para la red móvil actual 4G: Área de cobertura, sensibilidad del receptor, ancho de banda, velocidad de transmisión, modulación, latencia, topología de red, calidad del servicio y bandas de frecuencia.

Fase 2. Comparación de los parámetros de transmisión de datos de la red 4G de una operadora típica en la ciudad de Maracaibo con los parámetros ofrecidos por la tecnología 5G

Se realizó un análisis de los trabajos escritos por Al-Dulaimi *et al.*, [8] sobre “Redes 5G: Requisitos Fundamentales, Tecnologías Habilitadoras y Gestión de Operaciones” y por Stallings [9] sobre “5G Wireless: A Comprehensive Introduction”, para comparar los parámetros operativos de la red 4G con los de la tecnología 5G, y posteriormente, validar la interoperabilidad entre ellos.

Fase 3. Validación de la interoperabilidad de los equipos 4G con 5G

En esta fase se siguieron las pautas recomendadas en el estándar 3GPP TS 37.340 [10], el cual define un despliegue de red híbrido de 4G y 5G (EN-DC), en el que ambas tecnologías funcionan simultáneamente y describe los protocolos de red que permiten dicha interoperabilidad.

Fase 4. Verificación de los requerimientos de las operadoras nacionales para apoyarse en operadoras locales al implementar la red 5G

Para realizar la verificación de los requerimientos de las operadoras nacionales, también se empleó la técnica de la entrevista [6] aplicada a los mismos ingenieros especialistas, mencionados en la Fase 1 para obtener la información acerca de los acuerdos existentes entre las empresas, con la finalidad de llevar el servicio a través de una infraestructura rentada.

Fase 5. Planteamiento de implementación de la red 5G en Maracaibo considerando parámetros de transmisión

Para esta fase se utilizó el software Xirio [11] para simular una cobertura 4G y 5G en la Vereda del Lago, de tal manera que se puedan tener ambas coberturas de forma simultánea. Además, se tomaron mediciones en el sitio con la finalidad de validar la simulación de 4G en el nodo.

Resultados

Diagnóstico del estado actual de la red móvil 4G

En la Tabla 1 se muestran las especificaciones y parámetros de la red móvil 4G existente en la ciudad de Maracaibo y en la Figura 1 se presenta la topología de la red móvil existente en parte del occidente del país.

Tabla 1. Especificaciones de la red móvil actual

Características de la red móvil actual de Maracaibo	
Área de cobertura	157.15 Km ² (desde Lagomar Beach hasta Manzanillo Sur). De 1 a 5 Km por nodo dependiendo del contexto.
Sensibilidad del receptor	-100 a -110 dBm
Ancho de banda	5 MHz hasta 20 MHz por canal
Velocidad de transmisión	25 – 30 Mbps
Topología de red	Ver Figura 1
Calidad del servicio	Basado en el uso de diferentes niveles de acuerdo al usuario (QoS) Se ha reducido en 1 – 2% por problemas eléctricos. Se determina por inferencia estadística o pruebas de campo
Latencia	50 – 60 ms
Bandas de frecuencia	Banda 3 (1.800 MHz). 1710 MHz – 1785 MHz UL / 1.805 MHz – 1.880 MHz DL
Modulación	OFDM / 64-QAM – UL /64-QAM y 256 – QAM – DL

Cont. Tabla 2. Comparación de las redes móviles 4G y 5G

Características de la red móvil	4G	5G
Latencia	50 – 60 ms	1 ms
Bandas de frecuencia	Banda 3 (1.800 MHz). 1710 MHz – 1785 MHz UL / 1.805 MHz – 1.880 MHz DL	(Ver Tablas 3 y 4)
Modulación	OFDM / 64-QAM – UL /64-QAM y 256 – QAM – DL	OFDM / 1024-QAM (UL y DL) o 256 – QAM (UL y DL) dependiendo del UE y el contexto.

La tecnología 5G cuenta con dos rangos de frecuencias, la FR1 para proveer un servicio similar al 4G y la FR2 para probar las altas velocidades y bajas latencias que promete. Ambos rangos de frecuencias se definen de la siguiente manera (Tablas 3 y 4).

Tabla 3. Rango de frecuencias de FR1 de acuerdo a ETSI [12]

Bandas de operación NR (5G)	Bandas de operación Uplink, Recepción Estación Base (BS) / Transmisión Equipos de usuario (UE) FUL_low – FUL_high	Bandas de operación downlink, Recepción Estación Base (BS) / Transmisión Equipos de usuario (UE) FUL_low – FUL_high	Modo Dúplex
n1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
n2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
n3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
n5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
n7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
n8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
n12	699 MHz – 716 MHz	729 MHz – 746 MHz	FDD
n13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
n14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
n18	815 MHz – 830 MHz	860 MHz – 875 MHz	FDD
n20	832 MHz – 862 MHz	791 MHz – 821 MHz	FDD
n24^16	1626.5 MHz – 1660.5 MHz	1525 MHz – 1559 MHz	FDD
n25	1850 MHz – 1915 MHz	1930 MHz – 1995 MHz	FDD
n26	814 MHz – 849 MHz	859 MHz – 894 MHz	FDD
n28	703 MHz – 748 MHz	758 MHz – 803 MHz	FDD
n29	N/A	717 MHz – 728 MHz	SDL
n303	2305 MHz – 2315 MHz	2350 MHz – 2360 MHz	FDD
n34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
n38^10	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
n39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
n40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD
n41	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz – 2690 MHz	TDD

Cont. Tabla 3. Rango de frecuencias de FR1 de acuerdo a ETSI [12]

Bandas de operación NR (5G)	Bandas de operación Uplink, Recepción Estación Base (BS) / Transmisión Equipos de usuario (UE) FUL_low – FUL_high	Bandas de operación downlink, Recepción Estación Base (BS) / Transmisión Equipos de usuario (UE) FUL_low – FUL_high	Modo Dúplex
n46	5150 MHz – 5925 MHz	5150 MHz – 5925 MHz	TDD ¹³
n47 ¹¹	5855 MHz – 5925 MHz	5855 MHz – 5925 MHz	TDD
n48	3550 MHz – 3700 MHz	3550 MHz – 3700 MHz	TDD
n50	1432 MHz – 1517 MHz	1432 MHz – 1517 MHz	TDD1
n51	1427 MHz – 1432 MHz	1427 MHz – 1432 MHz	TDD
n53	2483.5 MHz – 2495 MHz	2483.5 MHz – 2495 MHz	TDD
n65	1920 MHz – 2010 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD ⁴
n66	1710 MHz – 1780 MHz	2110 MHz – 2200 MHz	FDD
n67	N/A	738 MHz – 758 MHz	SDL
n70	1695 MHz – 1710 MHz	1995 MHz – 2020 MHz	FDD
n71	663 MHz – 698 MHz	617 MHz – 652 MHz	FDD
n74	1427 MHz – 1470 MHz	1475 MHz – 1518 MHz	FDD
n75	N/A	1432 MHz – 1517 MHz	SDL
n76	N/A	1427 MHz – 1432 MHz	SDL
n77 ¹²	3300 MHz – 4200 MHz	3300 MHz – 4200 MHz	TDD
n78	3300 MHz – 3800 MHz	3300 MHz – 3800 MHz	TDD
n79 ¹⁷	4400 MHz – 5000 MHz	4400 MHz – 5000 MHz	TDD
n80	1710 MHz – 1785 MHz	N/A	SUL
n81	880 MHz – 915 MHz	N/A	SUL
n82	832 MHz – 862 MHz	N/A	SUL
n83	703 MHz – 748 MHz	N/A	SUL

Tabla 4. Rango de frecuencias FR2 de acuerdo a ETSI [12]

Bandas de operación NR (5G)	Bandas de operación Uplink, Recepción Estación Base (BS) / Transmisión Equipos de usuario (UE) FUL_low – FUL_high	Bandas de operación downlink, Recepción Estación Base (BS) / Transmisión Equipos de usuario (UE) FUL_low – FUL_high	Modo Dúplex
n257	26500 MHz – 29500 MHz	26500 MHz – 29500 MHz	TDD
n258	24250 MHz – 27500 MHz	24250 MHz – 27500 MHz	TDD
n259	39500 MHz – 43500 MHz	39500 MHz – 43500 MHz	TDD
n260	37000 MHz – 40000 MHz	37000 MHz – 40000 MHz	TDD
n261	27500 MHz – 28350 MHz	27500 MHz – 28350 MHz	TDD
n262	47200 MHz – 48200 MHz	47200 MHz – 48200 MHz	TDD

Validación la interoperabilidad de los equipos 4G con 5G

Se empleó la especificación 3GPP TS 37.340 en donde se describe la operación de 4G y 5G en simultáneo, siendo el eNodeB (4G) el nodo maestro y el gNodeB (5G) el nodo secundario de la arquitectura. Este esquema se denomina E-UTRAN-New Radio Dual Connectivity (EN-DC) y está estructurado de la siguiente manera (Figura 2):

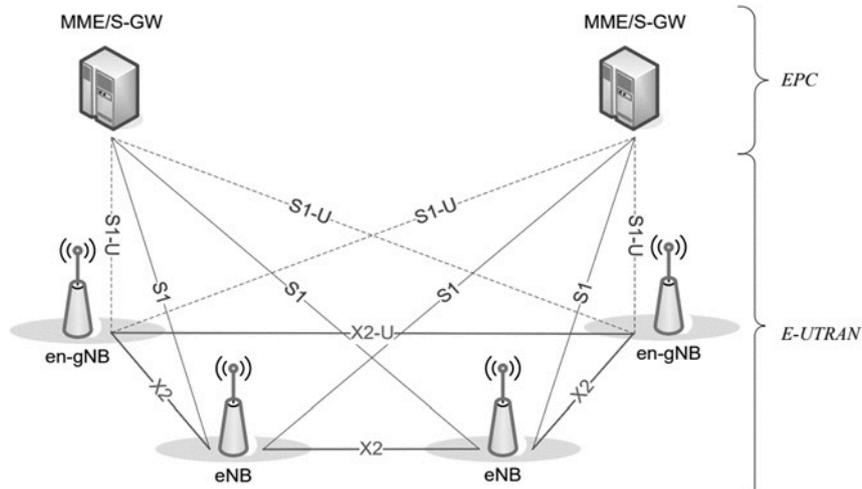


Figura 2. Arquitectura EN-DC[10]

E-UTRAN maneja MR-DC vía E-UTRA-NR Dual Connectivity (EN-DC), en donde un UE está conectado a un eNB que actúa como un MN y un en-gNB que actúa como un SN. El eNB está conectado al EPC vía la interfaz S1 y a la interfaz en-gNB vía la interfaz X2. El en-gNB podría estar conectado al EPC vía la interfaz S1-U y a otros en-gNBs vía la interfaz X2-U.

Los resultados también mostraron la estructura y organización de los protocolos utilizados para la comunicación por la interfaz de radio en redes inalámbricas, los cuales se conformaron de la siguiente manera (Figura 3):

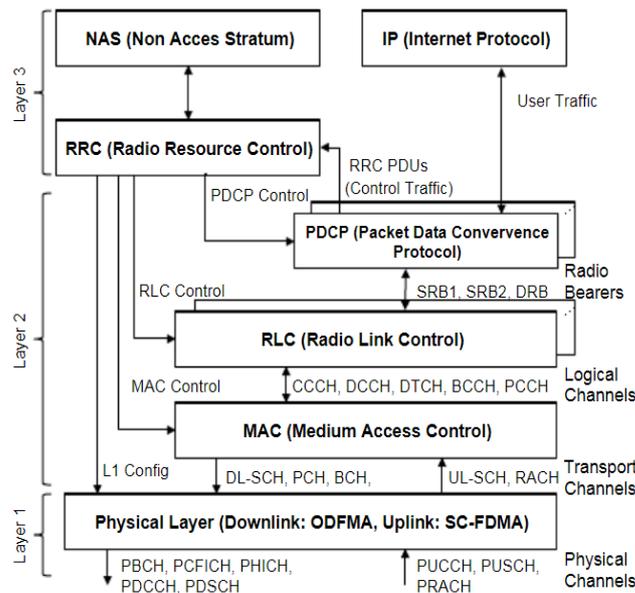


Figura 3. Arquitectura de protocolos de red LTE[13]

Con respecto al plano de control, se tiene lo siguiente:

En MR-DC, el UE tiene un solo estado RRC, basado en el RRC del MN, y una conexión del plano de control hacia la Red Central. Cada nodo tiene su propia entidad RRC que puede generar PDUs RRC para ser enviados al UE.

Los PDUs RRC generados por el SN pueden ser transportados vía el MN hacia el UE. El MN siempre envía la configuración RRC del SN vía el Portador de Radioseñalización (SRB) del Grupo Maestro de Celdas (MCG) (SRB1), pero las reconfiguraciones siguientes pueden ser transportadas por el MN o el SN.

En una E-UTRA conectada a un EPC, la conexión inicial del SRB1 utiliza Protocolo de Convergencia de Datos en Paquetes (PDCP) de E-UTRA. Si el UE soporta EN-DC, independientemente de si el EN-DC está configurado, después de la conexión los SRB del MCG (SRB1 y SRB2) pueden ser configurados por la red para que se pueda usar el PDCP E-UTRA o el PDCP NR. El cambio de uno a otro se logra mediante el procedimiento handover o por el cambio inicial del SRB1 desde el E-UTRA hacia el NR, antes de la activación de seguridad inicial.

Si el SN es un gNB (como es en el caso del EN-DC), el UE puede ser configurado para establecer un SRB con un SN (SRB3) para permitir que los PDUs RRC puedan ser enviados directamente entre el UE y el SN.

La división de SRB es soportada por todas las opciones MR-DC, permitiendo así la copia de PDUs RRC generados por el MN, mediante un camino directo o por el SN. La división de SRB utiliza el PDCP de NR.

En EN-DC, la configuración del Grupo Secundario de Celdas (SCG) se mantiene suspendida en el UE. Durante la reanudación de la conexión, si el UE soporta la reanudación con EN-DC, el UE puede ser configurado para liberar, restaurar o reconfigurar la configuración del SCG. De lo contrario, libera la configuración SCG. En el plano de control, la arquitectura está definida de la siguiente manera (Figura 4):

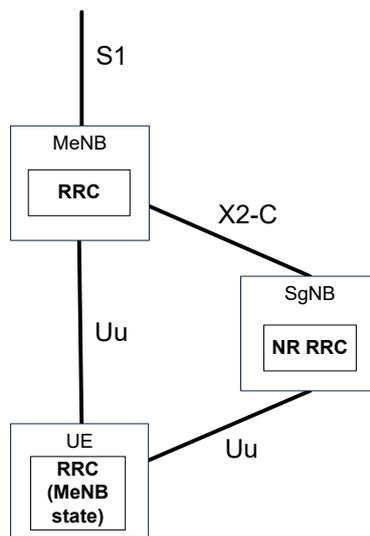


Figura 4. Arquitectura del plano de control para EN-DC[10]

Con respecto al plano de usuario, se tiene que en MR-DC, visto del UE, existen tres tipos de portadores: el portador MCG, el portador SCG y el portador dividido (Figura 5).

En E-UTRA conectado al EPC, si el UE maneja EN-DC, sin importar si el EN-DC está configurado o no, la red se puede configurar con el PDCP E-UTRA o el PDCP NR para los portadores de MCG que terminan en el MN, mientras que el PDCP NR siempre se usa para todos los demás portadores. El cambio entre el PDCP E-UTRA hacia el NR o viceversa se logra mediante un proceso de reconfiguración, ya sea liberando o agregando Portadores de Radio de Datos (DRB) o utilizando la opción de una configuración completa.

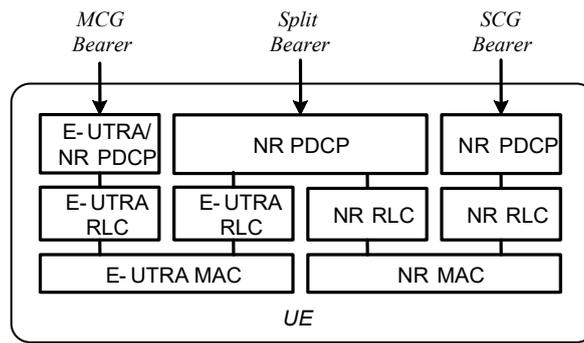


Figura 5. Arquitectura de Protocolo de Radio para portadores MCG, SCG y los portadores divididos desde la perspectiva del UE para EN-DC [10]

Visto desde la red, cada portador puede terminar tanto en el MN o en el SN, como se muestra en la Figura 6.

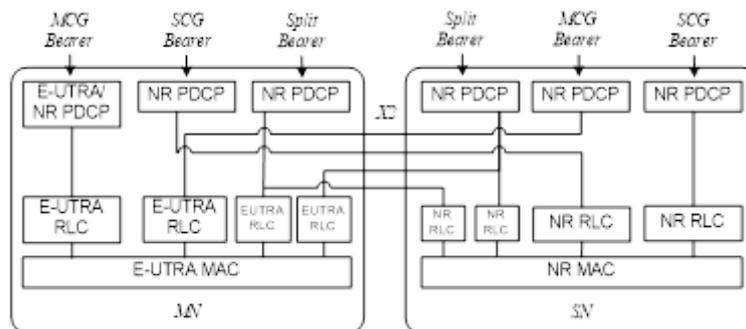


Figura 6. Arquitectura de Protocolo de Radio para portadores MCG, SCG y los portadores divididos desde la perspectiva de la red para EN-DC[10]

Haciendo énfasis en las interfaces de red se tiene que:

Para el plano de control, en MR-DC, existe una interfaz entre el MN y el SN para la señalización y coordinación del plano de control. Por cada UE MR-DC, también hay una conexión del plano de control entre el MN y la entidad correspondiente, entidad de la Red Central (CN). El MN y el SN involucrados en MR-DC para un determinado UE controlan sus recursos de radio y son los principales responsables de asignar los recursos de radio de sus celdas (Figura 7).

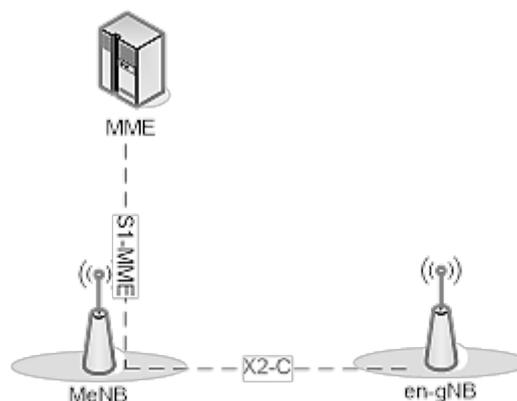


Figura 7. Conectividad del plano de control para EN-DC[10]

En EN-DC, la entidad de la red central involucrada es el MME. S1-MME termina en el MN y el MN está conectado con el SN mediante la interfaz X2-C (Figura 8).

Ahora, en el plano de usuario se tiene lo siguiente:

- Existen varias opciones de conectividad para el plano de usuario para el MN y el SN. La conectividad depende de la opción de portador configurada.
- Para los portadores terminados en el MN, la conexión del plano de usuario con la entidad CN se termina en el MN.
- Para los portadores terminados en el SN, la conexión del plano de usuario con la entidad CN se termina en el SN.
- El transporte de datos del plano de usuario sobre Uu involucra recursos de radio MCG o SCG, o ambos.
- Para los portadores MCG, solo se utilizan recursos de radio MCG.
- Para los portadores SCG, solo se utilizan recursos de radio SCG.
- Para los portadores divididos, se utilizan recursos de radio tanto MCG como SCG.
- Para los portadores divididos, los portadores SCG terminados en el MN y los portadores MCG terminados en el SN, los datos PDCP se transfieren entre el MN y el SN a través de la interfaz de plano de usuario MN-SN.

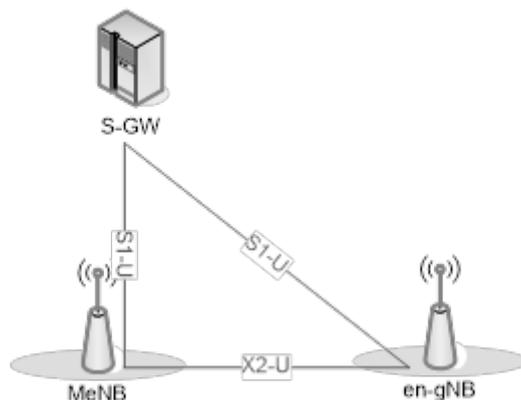


Figura 8. Conectividad del plano de usuario para EN-DC[10]

Para EN-DC, la interfaz X2-U es la interfaz de usuario entre MN y SN, y la S1-1 es la interfaz del plano de usuario entre el MN, SN o ambos y el S-GW.

Verificación los requerimientos de las operadoras nacionales para apoyarse en operadoras locales al implementar 5G

En algunas zonas de la ciudad, resulta costoso e ineficiente utilizar una infraestructura propia para proveer el servicio, por lo que la operadora se apoya principalmente en tres empresas: Movistar, Full Data e Intercable, para el transporte de datos por conectividad de fibra óptica

Básicamente, lo que hacen las empresas que tienen acuerdos comerciales es proveerle a la operadora circuitos de fibra óptica para el transporte de datos entre nodos. Estas ofrecen a sus aliados comerciales ancho de banda (la cantidad de datos que pueden transmitirse en un período determinado) y/o circuitos de fibra óptica en aquellas zonas en donde a ellos, a su vez, no les resulta factible llegar. También se ofrece pagar una cuota mensual por el alquiler de los circuitos. Es de mencionar que los contratos específicos que tienen las operadoras son negociados y almacenados en el Departamento de Administración y no están disponibles al público.

En la ciudad de Maracaibo existen 88 nodos y dicha distribución cuenta con servicio 4G LTE. A continuación, se muestran los nodos que proveen 4G LTE, tanto por fibra como sin ella (Figura 9):

- Fibra óptica Digital/Inter: 7 nodos (8%)
- Fibra óptica FullData: 10 nodos (11,4%)
- Fibra óptica CANTV: 6 nodos (6,8%)
- Sin fibra óptica: 65 nodos (73,9%)

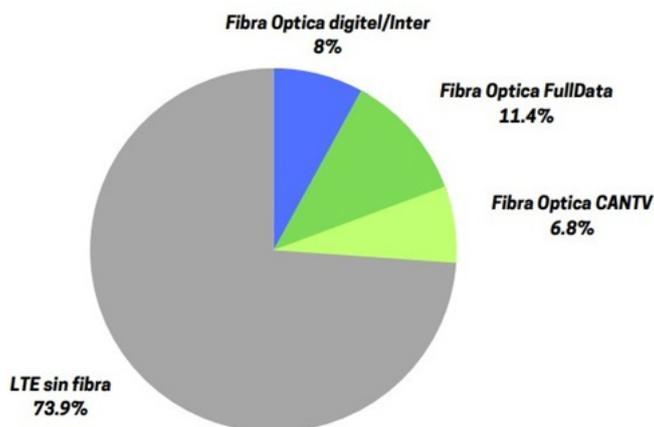


Figura 9. Porcentaje del total de la red perteneciente a los aliados comerciales

Planteamiento de implementación de la red 5G en Maracaibo considerando parámetros con respecto a la transmisión

Se planteó un nodo hipotético 5G mediante el despliegue híbrido EN-DC, utilizando como referencia el nodo ubicado en la Vereda del Lago y tomando las medidas de transmisión consideradas en el sitio.

Para empezar, es necesario evaluar las condiciones del nodo 4G en la Vereda del Lago. Para ello, se utilizó como referencia la medida del RSRP (Referencia Signal Received Power), dado que esta provee un promedio de la potencia recibida desde una señal de referencia enviada por el nodo para evaluar las condiciones del UE.

Para realizar lo planteado anteriormente, se utilizó el software Xirio, el cual proporcionó los siguientes datos:

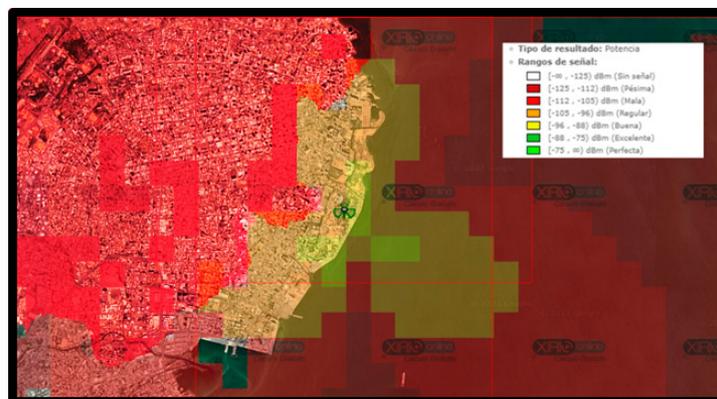


Figura 10. Cobertura 4G de La Vereda del Lago con RSRP como referencia

La banda de frecuencias utilizada para la simulación fue la banda B3, que corresponde a 1800 MHz. Para continuar con el análisis, se procede a realizar el mismo procedimiento para la red 5G, como se muestra en la Figura 11:

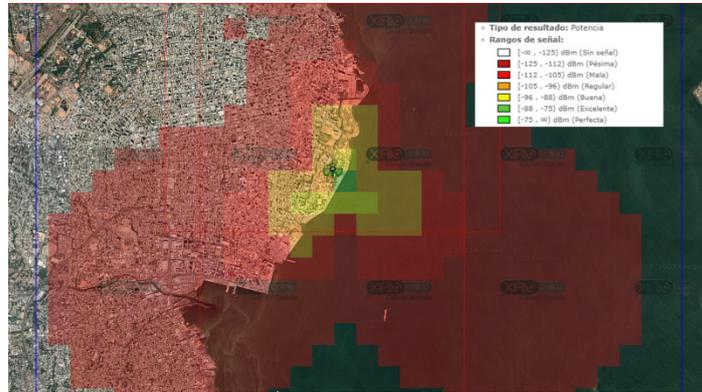


Figura 11. Cobertura 5G de La Vereda del Lago mediante RSRP como referencia

La banda de frecuencias utilizada para este análisis fue la banda n260, que corresponde a 39 GHz. Esta frecuencia fue seleccionada dado que corresponde a la frecuencia más alta del FR2 y, por ende, es aquella que provee la mayor velocidad y menor latencia a los usuarios conectados a la red.

Conclusiones

La red móvil 5G tiene mayor velocidad y mayor modulación frente a la red 4G, pero esto trae consigo una pérdida de más del 50 % del alcance de la red para aprovechar la 5G al máximo y, además, resulta ser más vulnerable al ruido. Omitiendo estas diferenciales puntuales, las redes 5G y 4G no resultan ser tan diferentes en cuestiones prácticas, lo cual es perfectamente posible debido a que una de ellas fue construida sobre la otra.

Las tecnologías 4G y 5G son compatibles entre sí y, además, están bien definidas las condiciones que se deben cumplir para que se logre el despliegue mencionado. Es importante resaltar que los resultados provistos se enfocan solo a nivel del funcionamiento de la red y todos los protocolos involucrados, dejando a un lado el nombre específico de los equipos que permiten este despliegue.

Teniendo en consideración los resultados obtenidos, las tres empresas con las que se tienen acuerdos comerciales resultan ser, en el ámbito de las telecomunicaciones, dos de las más importantes del país y una de las más importantes a nivel regional, por lo que se garantiza que el servicio sea confiable para los usuarios. La tendencia es que estos acuerdos sean renovados con el tiempo debido a que la operadora nacional no tiene planes para extender su red de fibra óptica en el contexto actual.

La implementación de la red 5G en el nodo de La Vereda del Lago representaría un incremento en la velocidad de transmisión para los UEs, siempre y cuando se encuentren a una distancia de aproximadamente 1 km del nodo en cualquier dirección. Para distancias mayores de 1 km, el servicio ya no sería 5G, sino que se bajaría a 4G y se navegaría como se ha hecho hasta ahora.

De forma general, se puede concluir que el despliegue híbrido entre 5G y 4G es posible en la ciudad de Maracaibo siempre y cuando sea factible económicamente.

Referencias bibliográficas

- [1] Rommer, S., Hedman, P., Olsson, M., Frid, L., Sultana, S., y Mulligan, C. **“5G Core Networks: Powering Digitalization.”** Editorial EEUU y Reino Unido. Academic Press, (2019).
- [2] Holma, H., Toskala, A., Nakamura, T (Ed.). **“5G Technology 3GPP New Radio”.** First Edition. Wiley Publication, (2019).

- [3] Dávila, J., y García, W. **“Evaluación de los parámetros a nivel de transmisión para la implementación de una red 5G en la ciudad de Maracaibo”**. Trabajo Especial de Grado, URU. Maracaibo, Venezuela, (2017).
- [4] Urdaneta, F., Ziccardi, L. **“Plan de integración entre operadoras nacionales y proveedores de internet para el despliegue de la tecnología 5G en la ciudad de Maracaibo”**. Trabajo Especial de Grado, URU. Maracaibo, Venezuela, (2022).
- [5] Guevara, G., Verdesoto, A., Castro, N. **“Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)”**. Recimundo. Vol. 4, No. 3, 163-173. Julio, (2020).
- [6] Hurtado, J. **“Metodología en la investigación holística”**. Editorial Fundación Sypal. Caracas, Venezuela, (1998).
- [7] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P. **“Metodología de la investigación”** (5a ed.). McGraw-Hill Interamericana Editores, S. A de C. V. México D. F, (2010).
- [8] Al-Dulaimi, A., Wang, X, Chih-Lin, I. **“5G Networks: Fundamental Requirements, Enabling technologies, and Operations Management.”** 1era edición. Editorial Wiley, (2018).
- [9] Stallings, W. **“5G Wireless: A Comprehensive Introduction.”** 1era edición. Editorial Addison-Wesley Professional, (2021).
- [10] 3GPP. **“3rd Generation Partnership Project, Technical Specification Group Radio Access Network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and NR; Multi-connectivity; Stage 2 (Release 17)”**. Especificaciones Técnicas, (2023).
- [11] Aptica. **“Bienvenido a Xirio online”**. Xirio Online. <https://www.xirio-online.com/web/home/welcome.aspx>
- [12] ETSI. 5G; NR. **“User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone (3GPP TS 38.101-1 version 17.5.0 Release 17).”** Editorial Etsi, (2023). https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138100_138199/13810101/17.05.00_60/ts_13810101v170500p.pdf
- [13] Gualda Muñoz, J. **“Estudio de Arquitectura de protocolos de LTE”**. Proyecto Final de carrera de Ingeniería Telemática. UPC. Barcelona, España, (2016).