



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“ANÁLISIS DEL CANAL MÓVIL A PEQUEÑA ESCALA (SHORT
TERM) EN EL CENTRO HISTÓRICO DE QUITO MEDIANTE
SIMULACIONES 3D PARA FUTURAS IMPLEMENTACIONES DE
5G NEW RADIO (NR)”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTOR: MYRIAM ELENA DOMÍNGUEZ MIRANDA

TUTOR: ING. JEFFERSON ALEXANDER RIBADENEIRA RAMÍREZ, PhD.

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Myriam Elena Domínguez Miranda

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Myriam Elena Domínguez Miranda, declaro que el presente trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 19 de mayo de 2022



Firmado electrónicamente por:
**MYRIAM ELENA
DOMINGUEZ
MIRANDA**

Myriam Elena Domínguez Miranda

120561419-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: tipo: Proyecto de Investigación, **ANÁLISIS DEL CANAL MÓVIL A PEQUEÑA ESCALA (SHORT TERM) EN EL CENTRO HISTÓRICO DE QUITO MEDIANTE SIMULACIONES 3D PARA FUTURAS IMPLEMENTACIONES DE 5G NEW RADIO (NR)**, realizado por la señorita: **MYRIAM ELENA DOMÍNGUEZ MIRANDA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Pedro Severo Infante Moreira PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: PEDRO SEVERO INFANTE MOREIRA	20 de junio de 2022
Ing. Jefferson Ribadeneira Ramírez, PhD DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: JEFFERSON ALEXANDER RIBADENEIRA RAMIREZ	20 de junio de 2022
Ing. Paul David Moreno Avilés MIEMBRO DEL TRIBUNAL	PAUL DAVID MORENO AVILES Firmado digitalmente por PAUL DAVID MORENO AVILES Fecha: 2022.06.27 16:21:00 -05'00'	20 de junio de 2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo que es la culminación de una de las etapas más difíciles de mi vida, pero una de las más lindas e importantes, primero a Dios que me permitió tener a mis padres que han sido parte fundamental de todo esto, a mi padre Alfredo Domínguez quién se esforzó cuanto pudo para apoyarme a cumplir esta meta, nuestra meta. A mi madre María Miranda que estuvo ahí para ayudarme a levantar cada vez me caí y recordarme que una caída no es derrota, quien secó mis lágrimas y aguantó mis frustraciones. A ti mi Valentina que has sido mi pilar y mi norte, por quien decido esforzarme a lograr nuevas cosas y el día de hoy estoy cumpliendo una de ellas.

También te dedico esto a ti mi 'flaquita' Lina Valeria Domínguez que, aunque no estás ya con nosotros siempre me enseñaste que no hay nada que con esfuerzo no se pueda lograr en la vida, así está, sea muy cercana.

Finalmente quiero dedicarle esto a todas aquellas personas que confiaron en mí, pero sobre todo a las personas que no lo hicieron, a aquellas que con palabras o acciones intentaron muchas veces truncar mi camino pero que por el contrario me hicieron más decidida y hoy felizmente puedo decir ¡Lo logré!

Con mi amor infinito y dedicación para Ustedes...

Myriam

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a cada uno de los ingenieros de la FIE que semestre a semestre, con muchísima paciencia me impartieron sus conocimientos, que me exigieron más, para ser mejor, que me sostuvieron y animaron a seguir adelante cuando el camino parecía ponerse más difícil y la meta inalcanzable, que me guiaron hasta aquí dándome fortaleza y coraje como docentes y muchos de ellos como amigos. A mis amigos y compañeros, no solo de facultad sino de mi ESPOCH, quisiera mencionarlos uno a uno, pero son tantos que no me gustaría olvidarme de ninguno, gracias por todas esas mañanas, tardes y noches de estudio, de risas y llantos compartidos. A ustedes, mi familia politécnica que sin su apoyo y compañía esta travesía no hubiera sido la misma ni tan llevadera, mis mejores recuerdos son con ustedes.

A mi familia que estuvo acompañándome siempre, aunque desde la distancia, pero preocupados en todo momento de que pudiera alcanzar este gran sueño que un día me propuse cumplir.

Agradezco a mi Tutor Ing. Jefferson Ribadeneira por haberme acompañado y guiado en cada paso de esta etapa final.

Un agradecimiento eterno, porque sin ustedes esto no habría sido posible.

Myriam

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
SUMARY.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	7
1.1.	Introducción a las comunicaciones móviles.....	7
1.2.	Estudio de la Red 5G.....	11
1.3.	Análisis situacional de la tecnología móvil en el Ecuador.....	18
1.4.	Análisis de caracterización del canal 5G a pequeña escala (<i>Short Term</i>).....	21

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO.....	28
2.1.	Tipos de investigación.....	28
2.1.1.	<i>Investigación bibliográfica</i>	28
2.1.2.	<i>Investigación descriptiva</i>	28
2.2.	Desarrollo de la simulación cobertura 5G.....	29
2.3.	Caracterización de canales en diversos puntos del centro histórico.....	32

CAPITULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	41
3.1.	Análisis de resultados mapa SINR.....	41
3.2.	Caracterización de canales.....	45
3.2.1.	<i>Resultados de la distancia más cercana 26 GHz: Hotel Plaza Grande (Escenario 16)</i>	45
3.2.2.	<i>Resultados de la distancia más cercana 40 GHz: Hotel Plaza Grande (Escenario 16)</i>	47
3.2.3.	<i>Resultados de la distancia más cercana 70 GHz: Hotel Plaza Grande (Escenario 16)</i>	48
3.2.4.	<i>Análisis global distancia más cercana</i>	50

3.2.5.	<i>Resultados de la distancia más lejana 26 GHz: Hotel Casa Gangotena (Escenario 44)</i>	50
3.2.6.	<i>Resultados de la distancia más lejana 40 GHz: Hotel Casa Gangotena (Escenario 44)</i>	52
3.2.7.	<i>Resultados de la distancia más lejana 70 GHz: Hotel Casa Gangotena (Escenario 44)</i>	54
3.2.8.	<i>Análisis global distancia más lejana</i>	55
3.3.	Análisis final de la caracterización de cobertura	56
3.3.1.	<i>Análisis de Frecuencia 26 GHz</i>	56
3.3.2.	<i>Análisis de Frecuencia 40 GHz</i>	56
3.3.3.	<i>Análisis Frecuencia 70 GHz</i>	57
3.3.4.	<i>Análisis global caracterización de cobertura y valores PDP</i>	57
3.3.5.	<i>Análisis ancho de banda de coherencia y tiempo de coherencia</i>	58
3.4.	Análisis de la Función Scattering a 28GHz	62
3.4.1.	<i>Análisis de la Función Scattering para la distancia más cercana</i>	63
3.4.2.	<i>Análisis de la Función Scattering para la distancia más lejana</i>	64
CONCLUSIONES		66
RECOMENDACIONES		67
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Bandas de operación de comunicaciones móvil.....	7
Tabla 2-1:	Velocidad de transferencia de datos por tecnología	13
Tabla 3-1:	Parámetros de configuración caracterización del canal.....	36
Tabla 1-2:	Parámetros de configuración	30
Tabla 2-2:	Coordenadas de escenarios propuestos.....	32
Tabla 3-2:	Parámetros de configuración caracterización del canal.....	36
Tabla 1-3:	Análisis global zona cobertura	44
Tabla 2-3:	Resultado obtenido anchos de banda de coherencia.....	59
Tabla 3-3:	Resultado obtenido anchos de banda de coherencia.....	61
Tabla 4-3:	Valores obtenidos tiempo de coherencia	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Representación de sistema celular para telefonía.....	9
Figura 2-1:	Evolución de las comunicaciones móviles.....	11
Figura 3-1:	Diferencia infraestructura 4G y 5G.....	12
Figura 4-1:	Bandas de operación de la red 5G.....	15
Figura 5-1:	Diagrama de arquitectura red 5G.....	16
Figura 6-1:	Suscripciones móviles a la red LTE.....	18
Figura 7-1:	Suscripciones móviles a la red LTE.....	19
Figura 8-1:	Número de usuarios de telefonía por operador	20
Figura 9-1:	Arquitectura del canal móvil.....	21
Figura 10-1:	Número de usuarios de telefonía por operador	22
Figura 11-1:	Desvanecimiento de la potencia en pequeña y gran escala.....	24
Figura 12-1:	Efecto Doppler	26
Figura 1-2:	Ubicación centro histórico de Quito.	29
Figura 2-2:	Simulación propagación SINR en Zonas Urbanas.....	30
Figura 3-2:	Configuración del software 5G New Radio.....	31
Figura 4-2:	Distancias escenarios 1 al 15	34
Figura 5-2:	Distancias escenarios 16 al 30	34
Figura 6-2:	Distancias escenarios 31 al 45	35
Figura 8-2:	Opción trazado de rayos.....	36
Figura 9-2:	Configuración parámetros de antena transmisora.....	37
Figura 10-2:	Configuración parámetros de antena receptora.....	37
Figura 11-2:	Configuración de opciones para el modelo de propagación	38
Figura 12-2:	Configuración parámetros de materiales de construcción	39
Figura 13-2:	Configuración parámetros del terreno.....	40
Figura 1-3:	Lóbulo radiación 26 GHz.....	41
Figura 2-3:	Patrón Directividad 26GHz.....	42
Figura 3-3:	Lóbulo radiación 40 GHz.....	42
Figura 4-3:	Patrón directividad 40 GHz	43
Figura 5-3:	Lóbulo radiación 70 GHz.....	43
Figura 6-3:	Patrón de directividad 70 GHz.....	44
Figura 7-2:	Distancias escenarios 46 al 60	35
Figura 7-3:	Valores PDP escenario distancia más cercana (26 GHz).....	45
Figura 8-3:	Trazado de rayos escenario distancia más cercana (26 GHz).....	46
Figura 9-3:	Cobertura escenario distancia más cercana (26 GHz).....	46
Figura 10-3:	Valores PDP distancia más cercana (40 GHz).....	47

Figura 11-3: Trazado de rayos escenario distancia más cercana (40 GHz)	47
Figura 12-3: Cobertura escenario distancia más cercana (40GHz).....	48
Figura 13-3: Valores PDP escenario distancia más cercana (70 GHz).....	48
Figura 14-3: Trazado de rayos escenario distancia más cercana (70 GHz)	49
Figura 15-3: Cobertura escenario distancia más cercana (70GHz).....	49
Figura 16-3: Análisis Comparativo PDP distancia cercana con las 3 frecuencias de operación	50
Figura 17-3: Valores PDP escenario distancia más lejana (26 GHz)	51
Figura 18-3: Trazado de rayos escenario distancia más lejana (26 GHz).....	51
Figura 19-3: Cobertura escenario distancia más lejana (26 GHz)	52
Figura 20-3: Valores PDP escenario distancia más lejana (40 GHz)	52
Figura 21-3: Trazado de rayos escenario distancia más lejana (40 GHz).....	53
Figura 22-3: Cobertura escenario distancia más cercana (40GHz).....	53
Figura 23-3: Valores PDP escenario distancia más lejana (70 GHz)	54
Figura 24-3: Trazado de rayos escenario distancia más lejana (70 GHz).....	54
Figura 25-3: Cobertura escenario distancia más lejana (70GHz)	55
Figura 26-3: Análisis Comparativo PDP distancia lejana con las 3 frecuencias de operación	55
Figura 27-3: Caracterización frecuencia 26GHz	56
Figura 28-3: Caracterización frecuencia 40GHz	57
Figura 29-3: Caracterización frecuencia 70GHz	57
Figura 30-3: Caracterización y valores PDP con las tres frecuencias.....	58
Figura 31-3: Función de Scattering a 5Km/h.....	63
Figura 32-3: Función de Scattering a 20Km/h.....	63
Figura 33-1: Función de Scattering a 80Km/h.....	63
Figura 34-3: Función de Scattering a 5Km/h.....	64
Figura 35-3: Función de Scattering a 20Km/h.....	64
Figura 36-3: Función de Scattering a 80Km/h.....	65

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: TRAZADO DE RAYO DE ESCENARIOS 1 AL 10

ANEXO B: TRAZADO DE RAYO DE ESCENARIOS 11 AL 20

ANEXO C: TRAZADO DE RAYO DE ESCENARIOS 21 AL 30

ANEXO D: TRAZADO DE RAYO DE ESCENARIOS 31 AL 40

ANEXO E: TRAZADO DE RAYO DE ESCENARIOS 41 AL 50

ANEXO F: TRAZADO DE RAYO DE ESCENARIOS 51 AL 60

RESUMEN

El objetivo del trabajo de Integración Curricular fue el análisis del canal móvil a pequeña escala (*Short Term*) en el Centro Histórico de Quito, mediante simulaciones 3D para futuras implementaciones de *5G New Radio* (NR). Se determinaron varios puntos dentro del Centro Histórico mediante el *software Open Map Street*, y a través del método científico se procedió a evaluar el comportamiento del canal estudiado. *5G New Radio* posee un conjunto de opciones que permitieron entender el funcionamiento de propagación de la red móvil de última generación. Se hicieron diversas pruebas de caracterización alrededor de la Plaza Grande, en donde fue ubicada la Antena Transmisora de 20m de altura. Para finalizar, se procedió a calcular el Ancho de banda y tiempo de Coherencia, a fin de ver, si el sistema móvil necesita o no, ser ecualizado. El *software* utilizado, evidenció, no contar con todos los parámetros necesarios para la realización de un estudio de caracterización adecuado. Por otro lado, el Canal móvil demostró no ser plano en tiempo y en frecuencia, razón por la cual se determina que es necesario realizar alguna modificaciones y ajustes de parámetros para poder realizar la debida ecualización. Es recomendable mejorar la plataforma utilizada, para poder realizar estudios comparativos acerca de la nueva tendencia mundial en comunicaciones, la red 5G.

Palabras clave: <CIENCIA DE DATOS>, <TELEFONÍA MÓVIL>, <SISTEMAS MÓVILES>, <ANTENAS>, <COMUNICACIÓN DE DATOS>, <CARACTERIZACIÓN>, <CANALES DE COMUNICACIÓN>

18-05-2022

0977-DBRA-UTP-2022

SUMMARY

The objective of the Curriculum Integration work was the analysis of the small-scale mobile channel (Short Term) in the Historic Center of Quito, through 3D simulations for future implementations of 5G New Radio (NR). Several points within the Historic Center were determined using the Open Map Street software, and through the scientific method, the behavior of the channel studied was evaluated. 5G New Radio has a set of options that allowed us to understand the propagation operation of the latest generation mobile network. Various characterization tests were carried out around the Plaza Grande, where the Transmitter Antenna was located at 20m of height. Finally, we proceeded to calculate the Bandwidth and Coherence time, in order to see if the mobile system needs to be or not equalized. The software used, evidenced that it does not accomplish with all necessary parameters to carry out an adequate characterization study. On the other hand, the mobile channel showed that it was not flat in time and frequency, reason why it is determined that it is necessary to make some modifications and adjustments of parameters to be able to carry out the proper equalization. It is recommended to improve the platform used, in order to carry out comparative studies about the new global trend in communications, the 5G network.

Keywords: <DATA SCIENCE>, <MOBILE TELEPHONY>, <MOBILE SYSTEMS>, <ANTENNAS>, <DATA COMMUNICATION>, <CHARACTERIZATION>, <COMMUNICATION CHANNELS>.



Firmado electrónicamente por:
WILSON GONZALO
ROJAS YUMISACA

MSc. Wilson G. Rojas
NOMBRE Y FIRMA PROFESOR
C.I 0602361842

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con las últimas tendencias, la telefonía móvil es uno de los sistemas de comunicación más utilizados por la población en general, este puede ser usado con diversos objetivos sean estos, educativos, sociales, así como también políticos, entre otros. Esto ha permitido mantener una mejor comunicación global en tiempos más rápidos, a menor costo y con mejor calidad de transmisión para el usuario final, es así como, la demanda de dicho servicio ha tenido un crecimiento exponencial con el pasar de los tiempos.

Por otra parte, las grandes ventajas y aportes que dicha comunicación presenta a los usuarios ha permitido incorporar nuevos servicios lo que ha dado como resultado la implementación de la era de los celulares inteligentes (*Smartphone*), dispositivos móviles que cuentan con Sistemas Operativos basados en el *kernel* de *Linux* denominado Android, que es usado por la mayoría de teléfonos e IOS utilizado por la empresa *Apple* en iPhone, el cual es considerado como el primer *smartphone* capaz de soportar navegación *web*, sistema GPS y correo.

El inicio de esta era dio paso al desarrollo de nuevas tecnologías y aplicativos, el cual, mediante la transformación digital ha implementado el sistema de comunicaciones con el servicio de QoS, esto ofreció la oportunidad al usuario, de poder tener contenido multimedia en su bolsillo, o acceder a los servicios en la nube, desde cualquier parte del mundo mediante su dispositivo móvil. Sin embargo, debido a la gran cantidad de usuarios y la alta demanda de estas, las tecnologías de comunicación empiezan a sufrir limitantes, como es el caso de la tecnología 3G.

Si bien en la actualidad, la tecnología 4G permite obtener diferentes servicios a una velocidad de conexión moderadamente rápida, no es suficiente para los servicios que a futuro se planea desarrollar. Es así como nace en principio la tecnología 5G, la cual, a pesar de estar aún en etapa de desarrollo busca incorporar prestaciones de ultra alta velocidad, no solo con precios más bajos, sino también, con componentes menos perjudiciales para el planeta, dicha tecnología plantea la posibilidad estar implementada en su totalidad, en los próximos 5 años.

En el año 2019 el Ecuador mediante la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), se empezó la fase de pruebas para la implementación de la tecnología 5G, en las zonas de Manabí y Esmeraldas. Por otra parte, la Empresa de Telecomunicaciones CLARO no ha querido quedarse atrás y es así como, han empezado sus propias investigaciones para el despliegue de 5G en todo el territorio nacional.

En pos del auge que actualmente presentan las tecnologías 5G y su futura implementación en el territorio nacional, para la realización del presente trabajo se usó el software 5G New Radio, el cual permite la obtención de los parámetros de *Power Delay Profile* (PDP) dentro del Centro Histórico de Quito.

ANTECEDENTES

Los primeros sistemas se valían de operadores que manualmente conectaban la llamada radio con la red pública. El primer sistema de telefonía móvil completamente automático se puso en operación en 1948 en Richmond, Indiana. Estudios realizados en el año 2001, revelaban que los sistemas de comunicaciones móviles se habían convertido en una de las áreas más candentes en el campo de las telecomunicaciones y se había previsto que, en la siguiente década un número considerable de conexiones se volverían parcial o completamente inalámbricas.

El rápido desarrollo de Internet con los servicios y aplicaciones, han creado nuevos y mayores desafíos para el desarrollo de los sistemas de comunicaciones móviles, ya que, durante las últimas décadas ha existido un cambio dramático en la naturaleza de la tecnología de las comunicaciones móviles y su impacto en el entorno general de las comunicaciones (Díaz et al., 2011).

Las tecnologías de telecomunicaciones que actualmente se aplican en sistemas de comunicación móvil pertenecen a 2G (GSM, GPRS, EDGE), 3G (UMTS) y 3,5G (HSDPA), cuya implementación, por parte de las operadoras de telefonía celular, empezó en 1994 en el Ecuador, y ninguna de ellas logra una cobertura eficiente en interiores (Aldás, 2011). Posteriormente fueron las tecnologías 4G-LTE las que brindaron mejoras, en gran parte debido a la calidad del servicio.

En el año 2019, se estandarizó el 5G-NR que pretende superar en muchos niveles a su tecnología predecesora, con la utilización de frecuencias más altas y una nueva infraestructura de red, donde ofrece un rendimiento 10 veces mejor, una disminución de 10 veces en la latencia y una densidad de conexión 10 veces mayor que 4G-LTE. La tendencia al aumento del consumo de datos a través de las redes móviles y la demanda de servicios con requisitos más específicos llevó a la idea del 5G, ya que, se prevén una serie de cambios tanto en la arquitectura de la red como en la interfaz de radio (Thales, 2021).

El estudio de la caracterización de los sistemas de comunicaciones móviles empezó a realizarse con el objetivo de aportar soluciones alternativas a la mejora de la eficiencia de dichos sistemas. Aunque existen diferentes técnicas para incrementar la capacidad del canal, muchas de ellas son comunes a las tres formas básicas de acceso múltiple, otras, son específicas de cada una de éstas.

En este sentido se han realizado varias investigaciones que tienen como base de desarrollo el estudio del comportamiento del mecanismo de control de potencia en conjunto con el traspaso de la llamada, para un sistema celular con acceso múltiple por división en código, siendo el objetivo principal, la caracterización de ambos mecanismos, en sus distintas modalidades, sobre los enlaces ascendente y descendente.

La correcta caracterización del canal de radio es fundamental para establecer la comunicación entre el transmisor y el receptor. El conocimiento del canal permitirá al diseñador del sistema seleccionar la modulación adecuada, la tecnología de acceso a los medios y el mecanismo de equalización, si es necesario, en función del ancho de banda disponible y las limitaciones de la tecnología existente. Además, las características del canal permitirán el cálculo real de la cobertura de la estación base (es decir, el alcance máximo), por lo que, se puede determinar correctamente el tamaño del sistema (Gorricho et al., 1998).

En Ecuador no se han realizado trabajos de caracterización de canal para sistemas móviles que ayuden al diseño y desarrollo de nuevos y más eficientes sistemas que permitan brindar una mejor calidad de servicio a los usuarios, con una mayor extensión de cobertura y la caracterización experimental de la propagación en canales móviles, en ondas milimétricas, es uno de los principales retos que se debería abordar en el contexto del desarrollo de las tecnologías 5G.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo realizar el análisis del canal móvil a pequeña escala (*Short Term*) en el Centro Histórico de Quito mediante simulaciones 3D para futuras implementaciones de 5G New Radio (NR)?

¿Cómo investigar sobre los métodos y técnicas para caracterización de canal móvil a pequeña escala (*Short Term*)?

¿Cómo realizar simulaciones mediante el uso de un simulador 3D parametrizable y *Open Street Map* (OSM) en el centro Histórico de Quito y la banda de frecuencias para 5G (26 GHz, 40 GHz and 70 GHz)?

¿Cómo determinar el *Power Delay Profile* (PDP), la función de *scattering* y distribución de potencia recibida mediante trazado de rayos en las bandas de estudio?

¿Cómo analizar y comparar los resultados obtenidos entre las diferentes bandas de frecuencia propuestas en el estudio?

JUSTIFICACIÓN

Justificación teórica

Como consecuencia del creciente interés en los sistemas de comunicaciones inalámbricas, se está dedicando mucho esfuerzo a la caracterización y modelado de canales, ya que, el rendimiento depende fundamentalmente de los canales considerados, por lo que, el diseño de un sistema de comunicación debe ir precedido del estudio de las características del canal. La caracterización de canales es un paso indispensable en el diseño y prueba de un sistema celular, con el objetivo de revelar cómo los canales de dispersión influyen en las características de potencia y frecuencia de una señal transmitida (Zhang, 2015).

La caracterización del canal consiste en la descripción de las variaciones y características de la señal recibida $w(t)$. Esta señal va a estar formada por múltiples contribuciones que habrán sufrido procesos de reflexión, difusión y difracción. Dichas contribuciones llegarán atenuadas y retardadas. Además, cada contribución llegará con un retardo y una atenuación propia. La caracterización del canal permitirá calcular la cobertura de la estación base de forma realista, es decir, el alcance máximo, por lo que, se puede determinar correctamente el tamaño de la estación base del sistema. Entre el transmisor y el receptor, aparecerán una variedad de elementos influyentes (edificios, automóviles, personas, árboles, montañas, etc.) en la propagación de la radio. Estos elementos tendrán una serie de efectos sobre la señal incidente, dando como resultado ondas difusas (García et al., 2014).

Realizar la caracterización de canal móvil para tecnologías 5G-New Radio abre la posibilidad de explorar todos sus beneficios, y de este modo comprender el funcionamiento de las redes 5G, el comportamiento del canal frente a estas tecnologías y las conexiones de radio que utilicen altas frecuencias. Conocer los elementos que se involucran en su diseño e infraestructura, entender el funcionamiento y la generación de sus señales, permitirá tener un criterio mucho más amplio, que resultará útil en ámbitos tanto laborales, como educativos, ya que, brinda una idea para el mejoramiento en el diseño y construcción de las infraestructuras de red en nuestro país.

Justificación aplicativa

Para poder mostrar de manera gráfica, mediante simulación, los efectos sobre las señales y los cambios que sufre la misma a causa de la reflexión, difracción, difusión o '*Scattering*', y además para poder realizar la caracterización de canal con la intención de mejorar la capacidad de transmisión de este, se desarrollarán simulaciones de caracterización del canal para sistemas

móviles utilizando un simulador parametrizable de 5G-New Radio mediante el modelo de propagación de trazado de rayos.

También ayudará a determinar los parámetros necesarios y adecuados para la transmisión de datos dentro de las frecuencias establecidas en este trabajo y para el estudio de 5G-New Radio, que son quienes actualmente se están abriendo paso en las comunicaciones inalámbricas de transmisión de datos de alta velocidad para teléfonos móviles y terminales de datos. Por lo tanto, para realizar un diseño e implementación de un sistema de comunicaciones móviles 5G-New Radio, es importante realizar varias simulaciones que permitan al menos de forma aproximada, predecir cómo será el comportamiento de dichos sistemas.

Para la ejecución de este trabajo, se realizará la caracterización de canal en un sector del Centro Histórico de Quito, y se espera que posteriormente se pueda replicar en zonas de la ciudad de Riobamba, con miras a que, sirva para futuras implementaciones en el País. Esto también, puede ser aplicado para realizar predicciones de cobertura para empresas que brindan servicios de comunicaciones móviles, mediante la evaluación de los resultados obtenidos, así también puede ser utilizada como una herramienta educativa que ayude a estudiantes a visualizar en el simulador, cómo se da la transmisión de señales de manera gráfica e interactiva.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar el canal móvil a pequeña escala (*Short Term*) en el Centro Histórico de Quito mediante simulaciones 3D para futuras implementaciones de *5G New Radio* (NR).

Objetivos específicos

- Investigar sobre los métodos y técnicas para caracterización de canal móvil a pequeña escala (*Short Term*).
- Realizar simulaciones mediante el uso de un simulador 3D parametrizable y *Open Street Map* (OSM) en el centro Histórico de Quito y las bandas de frecuencias para 5G (26 GHz, 40 GHz and 70 GHz).

- Determinar el *Power Delay Profile* (PDP), la función de *scattering* y distribución de potencia recibida mediante trazado de rayos en las bandas de estudio.
- Analizar y comparar los resultados obtenidos entre las diferentes bandas de frecuencia propuestas en el estudio.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Introducción a las comunicaciones móviles

Las comunicaciones móviles tuvieron inicio en el año 1946, a través de la radiotelefonía con la empresa AT&T, quienes establecieron este servicio en San Luis Misuri. Para la comunicación, se utilizaba un único transmisor con seis canales y debido a la gran acogida de este servicio, se produjo un colapso en el sistema. Sin embargo, un año después la empresa solucionó el inconveniente basándose en la primera red de transmisores de baja potencia dentro de un área específica, el término utilizado para definir este arreglo fue 'célula'.

A partir de dicha tecnología, se iniciaron diversos experimentos que permiten la comunicación entre equipos móviles. En Rusia se desarrolló una tecnología denominada KL-1, misma que, permitía la conexión entre equipos a una distancia de 30 km mediante ondas de radio, este servicio era utilizado para fines gubernamentales en la Unión Soviética como: milicia o salud. Sin embargo, no fue hasta los años 70's donde Martin Cooper a través de la empresa Motorola, introduce al mercado el primer radioteléfono de la historia. Las comunicaciones móviles a fin de cumplir con sus especificaciones de cobertura y capacidad trabajan en las bandas de VHF y UHF, estos sistemas se presentan en las frecuencias mostradas en la Tabla 1-1:

Tabla 1-1: Bandas de operación de comunicaciones móvil

VHF	UHF
Banda 'baja' de 30 a 80 MHz	Banda 'baja' de 406 a 470 MHz.
Banda 'alta' de 140 a 170 MHz	Banda de 800 MHz, de reciente atribución al servicio móvil, de 790 a 862 MHz.
Banda 'III' de 223 a 235 MHz	Banda de 900 MHz, de 862 a 960 MHz, anteriormente conocida como la banda 'alta' de UHF.
	Banda de 1800 MHz, de 1710 a 1880 MHz.
	Banda de 2100 MHz, de 1900 a 2170 MHz.
	Banda de 2,6 GHz, de 2500 a 2690 MHz.
	Banda de 3,5 GHz, de 3400 a 3600 MHz.

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Los sistemas públicos operan siempre en modo dúplex, en el cual, es posible la transmisión y recepción simultánea en todas las estaciones. En los sistemas analógicos los terminales dúplex utilizaban obligatoriamente un duplexor, para conectar el transmisor y el receptor con la antena. Estos dos subsistemas operaban en frecuencias diferentes, de manera que el duplexor pudiera garantizar un aislamiento suficiente entre ellos, evitando así, que la señal generada en el transmisor llegara al receptor con un nivel que provocara su bloqueo o pérdida de sensibilidad (Hernando et al., 2015, p. 26).

A diferencia de otros sistemas de radiocomunicaciones, los sistemas de comunicación móviles brindan al usuario una movilidad completa. Es decir, permite la comunicación entre dispositivos que se encuentren dentro de la zona de servicio, y mantiene la comunicación, aunque el terminal se encuentre en movimiento.

Este sistema de comunicación facilita el intercambio de diversos servicios de información (voz, video o datos de diferente tipo). La telefonía es el servicio más utilizado entre los ofertados por los sistemas de comunicaciones móviles. Todos los sistemas, tienen la función de telefonía incorporada. Si bien la telefonía móvil empezó siendo analógica, en la actualidad todo el servicio es digital. Esta telefonía móvil digital que, también recibe la denominación de celular en algunos países, se basa en el concepto de celda o célula (Mastermoviles, 2021, p. 1).

Un sistema móvil se caracteriza por brindar una comunicación con versatilidad, ubicuidad y flexibilidad, esta comunicación se realiza por aire a través de ondas de radio mediante el cual, se enlaza de forma directa con la estación base. La cobertura se complementa con estaciones repetidoras que, extienden la misma, a fin de, cubrir zonas de sombras o que, no poseen línea de vista directa, como interiores de edificios o túneles. La representación gráfica de un sistema de celulares se aprecia en la Figura 1-1.

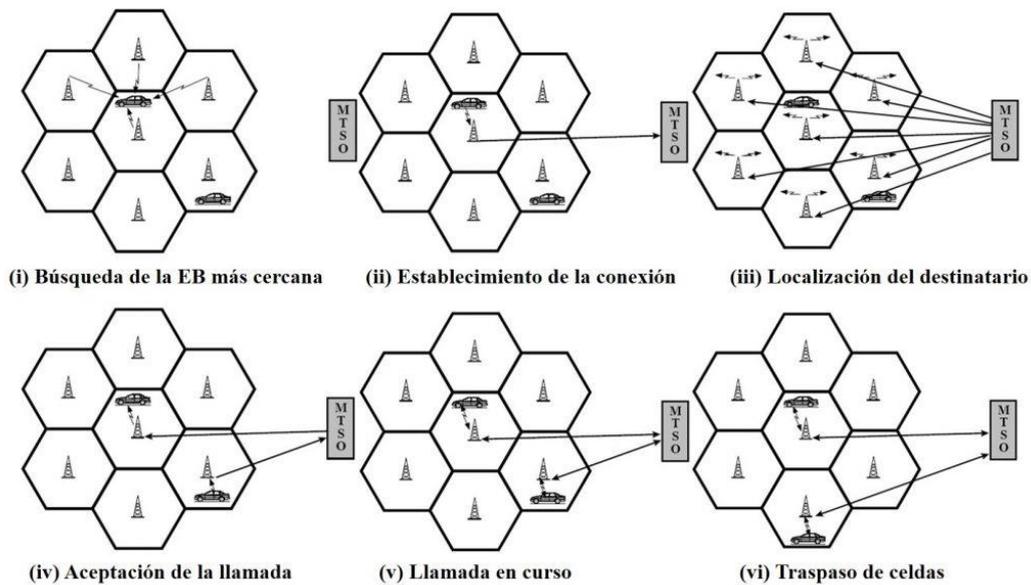


Figura 1-1: Representación de sistema celular para telefonía

Fuente: (Mastermoviles, 2021, p. 1)

En sus inicios las redes celulares se diseñaron para aplicaciones de voz, donde los canales de transmisión eran analógicos. En los años noventa, con la necesidad de más canales de voz y la aparición de la tecnología digital, surgió la segunda generación de comunicaciones celulares '2G'. La digitalización trajo consigo nuevos servicios como, mensajes de texto y acceso a datos con conmutación de circuitos. Sin embargo, la baja velocidad de transferencia de datos ofrecida por el 2G no satisfacía la demanda de acceso a Internet (Pérez, 2019, p. 1).

La era de la digitalización dio inicio al desarrollo de una nueva tecnología conocida como 3G, esta buscaba brindar velocidades de conexión mucho más rápidas. No obstante, el aumento de la demanda telefónica y con la aparición de los teléfonos inteligentes conocidos como *Smartphone*, fue imprescindible una nueva evolución en la era móvil que se conoció como 4G LTE (*Long Term Evolution*).

Desde hace alrededor de tres años, han surgido iniciativas y nuevos servicios que no pueden cubrirse con 4G LTE. La realidad virtual o aumentada que exige un gran ancho de banda, el internet de las Cosas (IoT) donde millones de dispositivos son conectados a la red, así como las comunicaciones vehiculares donde la ultra baja latencia es fundamental, son algunos ejemplos de estos servicios. El 5G será el conjunto de tecnologías y sistemas necesarios para manejar esos requisitos y superar los límites de los sistemas actuales (Pérez, 2019, p.1).

De acuerdo con el estudio denominado 'Tendencias actuales de las comunicaciones satelitales y su importancia en las redes móviles de 5ta generación (5G)' realizado por Artilles & Echenique (2018)

aseguran que, las conexiones móviles con servicio a internet superan los 2480.4 millones de usuarios. Si se considera la aparición del internet de las cosas, los dispositivos requieren una mejor velocidad de transferencia de datos, debido a la exigencia en calidad de servicio por parte del cliente final.

Por ello, los sistemas de comunicaciones móviles han tenido que desarrollarse cada vez más vertiginosamente, de tal forma que, hoy en día ya existen ciudades que, están listas para certificar su red 5G. Este último estándar de telefonía móvil es la respuesta a la circunstancia planteada anteriormente, soportando velocidades mayores que el estándar antecesor, la 4ta Generación (4G), contando con una mayor eficiencia espectral a nivel de sistema, mejor cobertura, bajo consumo de batería, bajo costo en el despliegue de infraestructuras, entre otros (Artiles & Echenique, 2018, p. 65).

5G representa un gran avance, tuvo sus inicios a finales de 2018 y a pesar de estar en pocos países, su implementación y despliegue de la red tiene un incremento exponencial a nivel mundial, esta tecnología no busca solo mejorar la velocidad en la tasa de transferencia, sino que también, tiene por objetivo una integración total al Ecosistema Masivo de IoT con millones de dispositivos conectados. De acuerdo con la empresa 4NetOnline (2021) la tecnología 5G está impulsada por 8 requisitos de especificación:

- 1) Velocidad de datos de hasta 10 Gbps - > 10 a 100 veces mejora en redes 4G y 4.5G.
- 2) Latencia de 1 milisegundo.
- 3) 1000x ancho de banda por unidad de área.
- 4) Hasta 100 veces el número de dispositivos conectados por unidad de área (en comparación con 4G LTE).
- 5) 99.999% disponibilidad.
- 6) Cobertura del 100%
- 7) Reducción del 90% en el uso de energía de la red.
- 8) Hasta 10 años de vida de duración de la batería para dispositivos IoT de baja potencia.

Cada una de las eras de la tecnología móvil ha contribuido con un nuevo y novedoso servicio a la comunicación, de esta forma, se ha convertido en un recurso indispensable en el diario vivir del ser humano, pues su uso habitual puede ser para entretenimiento, educación, negocios, salud, etc. En la Figura 2-1 se puede apreciar la evolución que ha tenido este tipo de comunicación:

1G	2G	3G	4G	5G
				
1981	1992	2001	2010	2020
2 Kbps	64 Kbps	2 Mbps	100 Mbps	10 Gbps
Servicio básico de telefonía analógico	Servicio básico de telefonía digital (GSM) + mensajes de texto	Llega Internet al móvil	Banda ancha real (video HD)	Internet de las cosas

Figura 2-1: Evolución de las comunicaciones móviles

Fuente: (López, 2020, p. 1)

A diferencia de las generaciones anteriores de comunicaciones móviles que se orientaron simplemente a ofrecer servicios de datos móviles rápidos y confiables, la red 5G ha extendido su objetivo a fin de prestar una mayor cantidad de servicios inalámbricos a los usuarios, estos se encuentran contenidos mediante plataformas de acceso y redes multicapa.

La tecnología 5G es un marco dinámico, coherente y flexible de varias tecnologías avanzadas que sustentan diversas aplicaciones. Esta tecnología emplea una arquitectura más inteligente, con redes de acceso por radio (RAN) que ya no están constreñidas por la complejidad de la infraestructura o la proximidad de las estaciones base. La tecnología 5G lidera el camino hacia una red RAN virtual, flexible y descompuesta con interfaces nuevas que crean puntos de acceso de datos adicionales (Viavisolutions, 2021, p. 1).

1.2. Estudio de la Red 5G

Uno de los pilares fundamentales de la globalización ha sido la comunicación integral, razón por la cual, la telefonía móvil ha innovado en su servicio, a fin de satisfacer las necesidades del ser humano en la vida cotidiana. Esta mejora ha estado a la par de los requerimientos de la población, y ha llevado al mejoramiento tanto en *hardware* como *software* de cada uno de los componentes de la infraestructura tecnológica que permite la conexión de dispositivos móviles.

Es así como, varios autores señalan que, las redes móviles son la tecnología con mayor crecimiento en los años, y por ende ha cobrado gran relevancia y exigencia por parte del usuario hacia los servicios que este tipo de comunicación ofrece, pues, el interés por comunicarse a grandes distancias se ha convertido en un factor esencial en el desarrollo social y económico de cada país en el mundo, logrando que el servicio de las Telecomunicaciones sea considerado como un servicio público y primordial para cada ser humano.

El desbordado crecimiento de dispositivos inteligentes, la introducción de nuevas tecnologías y aplicaciones multimedia, sumado al aumento acelerado en el uso de datos inalámbricos está saturando las redes celulares actuales, esto provocará que, en un corto tiempo las demandas de los usuarios no puedan ser satisfechas por las redes existentes. Debido a ello, la generación de comunicaciones móviles 5G pretende solucionar estos problemas, brindando velocidades de datos de varios Gbps, latencias de aproximadamente 1 ms, aumento en la capacidad de las estaciones base y una calidad de servicio mejorado, en comparación a tecnologías anteriores (Arizaca, 2021, p. 6).

Una de las principales diferencias entre la red 5G y su antecesor 4G, es que, en su arquitectura el eNodeB debe estar cerca de la base o de la torre de telefonía, a diferencia de la nueva tecnología que está centralizada y alejada del eNodeB lo que, permite una conectividad de alta velocidad de transferencia con muy baja latencia extremo-extremo, como se evidencia en la Figura 3-1:

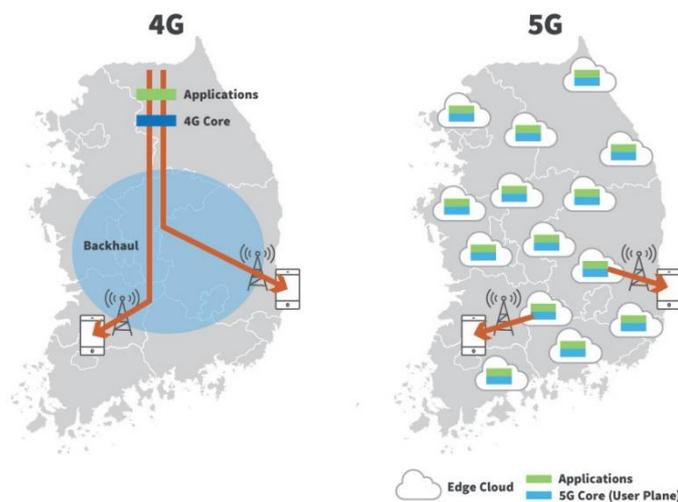


Figura 3-1: Diferencia infraestructura 4G y 5G

Fuente: (Remmert, 2021, p.1)

Cuando los organismos de normalización como el 3GPP y los proveedores de infraestructuras como Nokia y Ericsson diseñaron el núcleo de la nueva radio 5G (5G-NR), separaron el EPC monolítico e implementaron cada función de manera que pudiera ejecutarse independientemente de las demás en un *hardware* de servidor común y disponible. Esto permite que, el núcleo 5G se

convierta en nodos 5G descentralizados y muy flexibles. Por ejemplo, las funciones del núcleo 5G pueden ubicarse junto con las aplicaciones en un centro de datos de borde, acortando las vías de comunicación, mejorando la velocidad y la latencia de extremo a extremo (Remmert, 2021, p.1).

La red 5G en los sistemas de comunicación móvil se basa en un sistema inalámbrico de Quinta Generación, dicha tecnología no solo es una versión mejorada del 4G, sino que, posee nuevas capacidades ante la demanda de los usuarios, y será el encargado de enfrentar diversos desafíos a nivel mundial, estos se deberán vincular con los teléfonos inteligentes, quienes son un actor fundamental en la comunicación móvil.

De igual forma que otros métodos de comunicación inalámbrica, la 5G envía y recibe datos en espectro radio. Sin embargo, a diferencia de la 4G, la 5G utiliza frecuencias más altas, esto a través de ondas milimétricas, en el espectro de radio, con ello facilita velocidad ultra rápida. El espectro de radio de la tecnología 5G debe estar por encima de los 6 GHz, para alcanzar un ancho de banda móvil a gran velocidad de transmisión de datos (González, 2019, p. 35).

En la Tabla 2-1 se aprecia la velocidad de datos por tecnología móvil en un archivo de 3GB:

Tabla 2-1: Velocidad de transferencia de datos por tecnología

Tipo de Tecnología	Velocidad de Descarga
3G	1 hora, 8 minutos
4G	40 minutos
4G LTE	27 minutos
5G	35 segundos

Fuente: (González, 2019, p. 35)

La popularización de dispositivos móviles e inteligentes y la innovación de tecnologías introdujo aplicaciones y servicios con requisitos tales como: alto rendimiento, seguridad, calidad de servicio (QoS) y movilidad. Estos requisitos han impulsado la evolución de la tecnología inalámbrica y las tecnologías de la comunicación. Se espera que, las redes 5G satisfagan las necesidades de una amplia gama de aplicaciones, con diferentes demandas en escenarios diversos y heterogéneos.

Diseñar una red capaz de brindar estos servicios con un único conjunto predefinido de elementos esenciales, sería muy compleja y costosa a nivel de las funciones de red. Ante esta situación, existe un cierto consenso de que, las redes 5G se caracterizarán por tener una estructura densa, heterogénea e infraestructura de red compartida entre diferentes operadores, así como uso transparente de acceso a múltiples tecnologías (LTE-A, onda milimétrica (mmWave), WiFi, entre

otras), la softwarización y virtualización de funciones y protocolos de comunicación (Aranda et al., 2021, p. 6).

La visión del 5G se orienta a ofrecer servicios consolidados hacia la comunidad técnica social y científica, dicha tecnología se ha desarrollado bajo una implementación mediante conceptos ya definidos de red como son: softwarización, y virtualización. Esto permite una escalabilidad constante en diferentes servicios según la demanda del mercado. A juicio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), la nueva tecnología móvil requiere una conexión de dispositivos móviles con tecnología diferente a la 3GPP.

Un solo proveedor de red en su dominio no podría hacer esto. Existe una clara necesidad de interoperabilidad de red a red que también sea estable y confiable, aunque el 3GPP ha publicado especificaciones 5G que describen las comunicaciones entre redes e interfaces, se necesita más trabajo para mejorar la funcionalidad, el rendimiento y la seguridad de la interfaz. Se requieren asociaciones efectivas entre varios operadores de red y propietarios de equipos, como empresas de transporte, comunidades, autoridades rurales y locales, organizaciones financiadas con fondos públicos para lograr una interoperabilidad perfecta (Aranda et al., 2021, p. 7).

Desde sus inicios el 5G ha cumplido con las expectativas planteadas, su potencial es muy amplio y a pesar de que, aún se encuentra en desarrollo y en fase de implementación, su despliegue comenzó hace unos años atrás, esto supuso una nueva infraestructura de red que, está financiada en gran parte por los grandes operadores de telefonía móvil con AT&T.

El despliegue total de la red 5G está proyectado a largo plazo, de inicio será implementado en las grandes ciudades y poco a poco irá llegando a las zonas más pequeñas de cada región, a pesar de esto, muchas empresas han preparado su infraestructura para la nueva tecnología, con el fin de poder migrar su producto a la próxima generación y así, brindar este servicio a sus clientes, a pesar de no formar parte del núcleo principal de la red de acceso radioeléctrico (RAN), sus equipos son parte del proyecto de implementación de la red.

Las consideraciones de diseño para una arquitectura de red 5G que admita aplicaciones altamente exigentes son complejas, no existe un enfoque único para todos. La gama de aplicaciones requiere datos para viajar grandes distancias, altos volúmenes de datos o alguna combinación. Por lo tanto, la arquitectura 5G debe admitir el espectro de banda baja, media y alta, de fuentes con licencia, compartidas y privadas, para brindar la visión 5G completa. Por esta razón, 5G está diseñado para funcionar en frecuencias de radio que, van desde menos de 1 GHz hasta frecuencias extremadamente altas, llamadas 'ondas milimétricas' (o mmWave) (Remmert, 2021, p. 1).

En la Figura 4-1 se puede apreciar el modo de operación de las tres bandas de la tecnología 5G:



Figura 4-1: Bandas de operación de la red 5G

Fuente: (Remmert, 2021, p. 1)

De acuerdo con el estudio planteado por Remmert (2021) la red 5G opera en tres bandas de frecuencias en su núcleo, estas son:

- La banda alta 5G (mmWave):** Ofrece las frecuencias más altas de 5G. Estos van desde 24 GHz hasta aproximadamente 100 GHz. Debido a que, las altas frecuencias no pueden atravesar obstáculos fácilmente, el 5G de banda alta es de corto alcance por naturaleza. Además, la cobertura de *mmWave* es limitada y requiere más infraestructura celular (Remmert, 2021, p. 1).
- La banda media 5G:** Opera en el rango de 2-6 GHz y proporciona una capa de capacidad para áreas urbanas y suburbanas. Esta banda de frecuencia tiene tasas máximas de cientos de Mbps (Remmert, 2021, p. 1).
- La banda baja 5G:** Funciona por debajo de 2 GHz y proporciona una amplia cobertura. Esta banda usa el espectro que está disponible y en uso para 4G LTE, esencialmente proporcionando una arquitectura LTE 5g para dispositivos 5G que, ya están listos. Por lo tanto, el rendimiento de 5G de banda baja es similar al 4G LTE y admite el uso de dispositivos 5G en el mercado actual (Remmert, 2021, p. 1).

A diferencia de sus predecesores, la red 5G fue diseñada desde cero, sus funciones están divididas por servicios, y su arquitectura está basada en servicios (SBA), en la Figura 5-1 se muestra la topología:

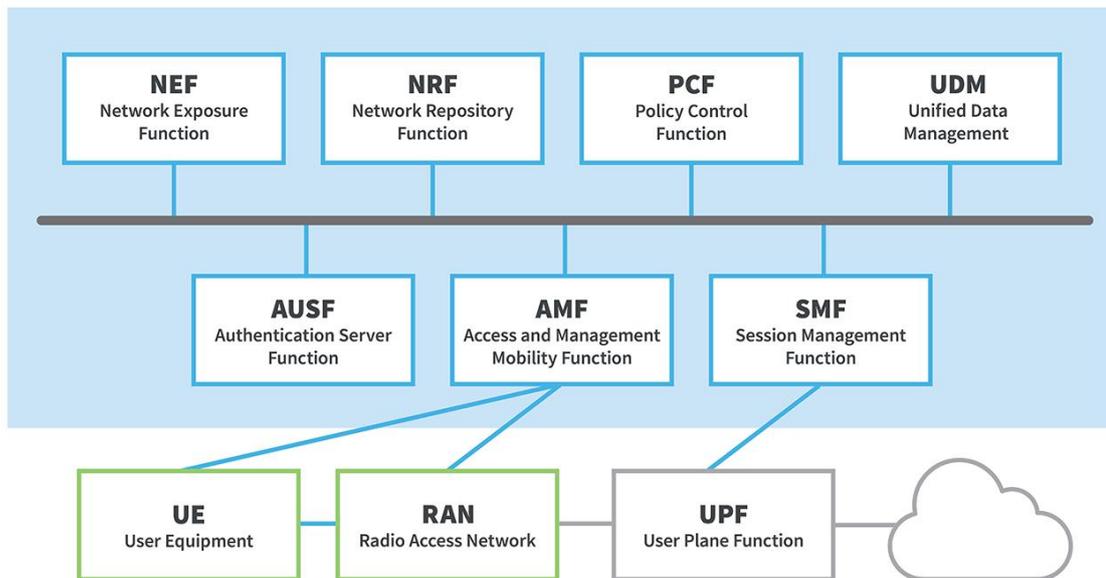


Figura 5-1: Diagrama de arquitectura red 5G

Fuente: (Remmert, 2021, p. 1)

En el diagrama de arquitectura de red 5G se detalla:

- **UE (Equipos de usuario):** Son los dispositivos móviles con tecnología 5G, los equipos finales que, se conectarán a la red de acceso radioeléctrico 5G, a su núcleo, y a su red de datos como el Internet.
- **AMF (Administrador móvil de acceso):** Es un punto de entrada entre el equipo móvil y la red.
- **SMF (Administrador de sesión):** Selecciona la función de gestión y permite el acceso a la sesión entre el usuario y la red.
- **UPF (Función de plano de usuario):** Es el encargado de transportar la información de acuerdo con su IP entre el equipo del usuario final y las redes externas.
- **AUSF (Servidor de autenticación):** Es el encargado de autenticar la solicitud entre la AMF y el UE para acceder a los servicios del núcleo 5G.
- **PCF (Función de control de políticas):** Establece un control en la red, mediante las decisiones de política y permite el acceso a la información de suscripción. De esta forma, se tiene el gobierno en el comportamiento de la red.

Los primeros usos de la tecnología 5G no serán exclusivamente 5G, sino que, aparecerán en aplicaciones en las que la conectividad se comparte con la 4G LTE existente, en lo que se denomina modo no autónomo (NSA). Cuando funcione en este modo, un dispositivo se conectará primero a la red 4G LTE, y si la 5G está disponible, el dispositivo podrá utilizarla para obtener ancho de banda adicional. Por ejemplo, un dispositivo que, se conecte en modo 5G NSA podría obtener 200 Mbps de velocidad de enlace descendente a través de 4G LTE y otros 600 Mbps a través de 5G al mismo tiempo, para una velocidad agregada de 800 Mbps (Remmert, 2021, p. 1).

La tecnología 5G aportará una gran cantidad de ventajas al desarrollo de las telecomunicaciones no solo en velocidad de conexión o en capacidad de equipos conectados. De acuerdo con el estudio planteado por Erazo y Orozco (2016), entre las principales ventajas se tiene:

- Mayor inclusión, pues la misión de esta nueva generación será conectar a las personas y a las cosas, no solo en las zonas urbanas, sino también, poder llegar a las zonas más remotas. Para alcanzar este objetivo, 5G debe ser totalmente rápido y soportar la conectividad de varios dispositivos
- *Roaming*, uno de los servicios de más alto valor para el año 2016, bajará los costos una vez esté en marcha la nueva generación, ya que, permitirá disminuir la utilización de las estaciones móviles y de esta forma, hacer uso más eficiente del espectro radioeléctrico.
- El 5G convertirá la interacción de un sólo sentido con la red, en algo totalmente nuevo. Una red que posibilite a las máquinas conectarse instantáneamente con el mundo sin interacción humana previa, realizando actividades que nos beneficiarán individual y colectivamente sin tener si quiera que pensar en ello (Erazo & Orozco, 2016, p. 8).

A todas estas ventajas se le suma el bajo impacto ambiental, pues, en ciertos estudios de migración de redes LTE 3G y 4G se evidenció una disminución en las emisiones de CO₂ debido al uso de nuevas tecnologías, lo que, de acuerdo con un estudio planteado por la Universidad de Zurich se proyecta que, en el año 2030 la red 5G debe causar un 85% menos de emisión de gases de invernadero que la red actual. Además, según las normas internacionales de la ITU dicha tecnología exige un menor consumo de energía.

Por otra parte, la llegada del 5G también trae consigo ciertas variaciones en la tecnología que, a juicio de Erazo y Orozco (2016), uno de los factores más fuertes es la Tecno adicción que para Colombia según la encuesta realizada por la ONG Protégeles, al año 2015 ya se cuenta con que el 21% de los jóvenes están en riesgo de ser adictos a las nuevas tecnologías y el 1.5% ya sufren

de esta enfermedad, afectando directamente sus relaciones personales, laborales y su estado emocional (Erazo & Orozco, 2016, p. 9).

Otro de los factores a analizarse como desventaja en la tecnología 5G es la seguridad de la información, ya que, al tener una gran cantidad de dispositivos conectados en una misma red, puede ocasionar que, los datos sensibles como rutinas diarias o información íntima se encuentren expuestos ante ciberdelincuentes. Por tal motivo, existen diversas empresas que se encuentran en el desarrollo de nuevos sistemas de seguridad para dicha tecnología.

1.3. Análisis situacional de la tecnología móvil en el Ecuador

Desde el punto de vista general puede describirse que, en la actualidad, el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) han tenido un gran crecimiento, generando un aumento en el número de accesos y la demanda de los usuarios por mejoras en la velocidad y calidad de servicio. Estos factores, sumado a la adopción de políticas de gobiernos en la región para la implementación de sus planes de desarrollo de banda ancha, han propiciado un escenario que, aceleró la introducción e implementación de la tecnología 5G en Sudamérica (Anchundia et al., p. 811).

Según los datos presentados en los reportes del ARCOTEL, hasta el año 2017 el acceso a la red 4G aumentó en 2.7 millones de conexiones, y para fines del año 2019 se cerró con alrededor de 16 millones de suscripciones, esto brindaba un promedio de 93 líneas por cada 100 habitantes, las estadísticas de estos reportes están dispuestos en la Figura 6-1.

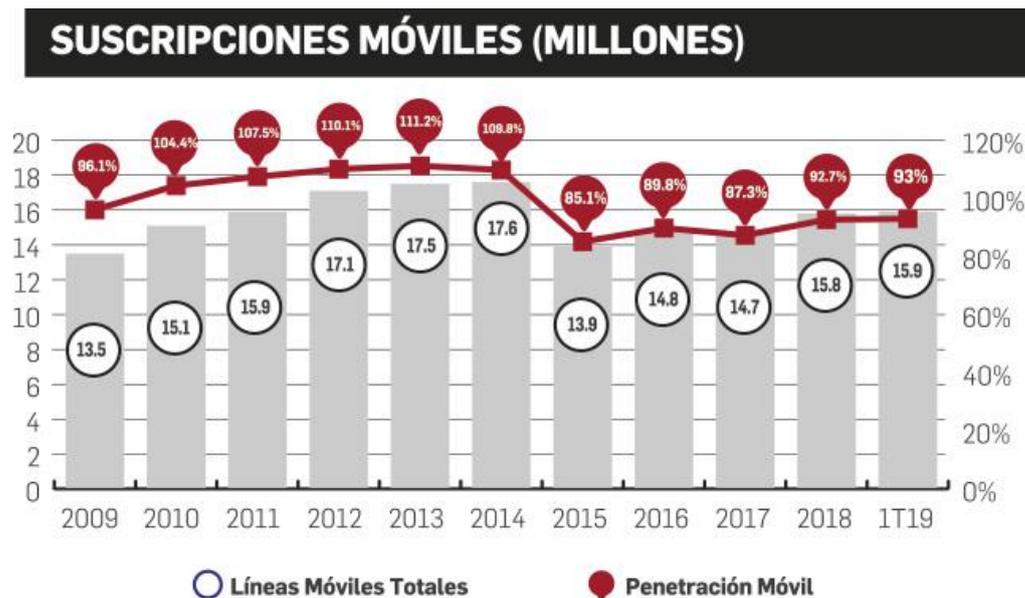


Figura 6-1: Suscripciones móviles a la red LTE

Fuente: (Datta, 2019, p. 1)

El incremento de suscripciones móviles hace que, la infraestructura también se haya expandido dentro del país de 116 a más de 4400 al finalizar del 2019 (ver Figura 7-1).

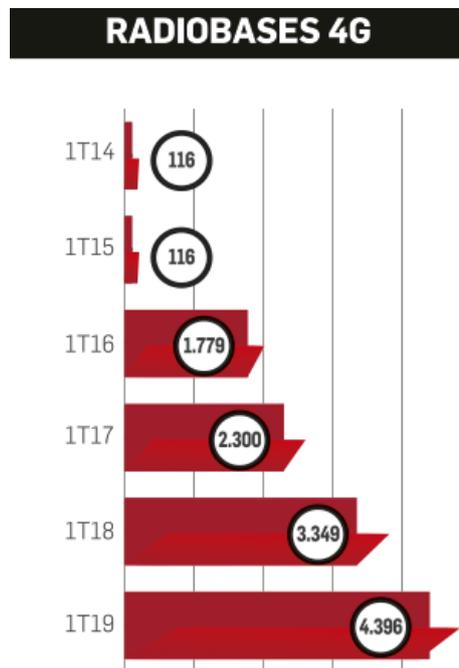


Figura 7-1: Suscripciones móviles a la red LTE

Fuente: (Datta, 2019, p. 1)

Debido a la gran demanda del servicio de telefonía móvil se ha desarrollado el Plan Nacional del Ecuador, cuyo objetivo está en aumentar la introducción de servicios tecnológicos en todas las ciudades a partir del aumento de banda ancha móvil. Este servicio está basado en la misma normativa que diversos países de Sudamérica como Paraguay, Chile, Argentina, y su temática principalmente aborda la neutralidad de la red, convergencia entre equipos, derecho de abonados, interconexión y valores de competitividad en el mercado.

A pesar del desarrollo vigente de la tecnología 5G en diversos países como Corea del Sur, Japón, Singapur y Estados Unidos con grandes empresas de telecomunicaciones como AT&T, Verizon, NTT Do Como y KDD, esta red no posee aún, un documento oficial de Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) que señale las especificaciones de la telefonía móvil de quinta generación.

Sin embargo, la UIT se encuentra realizando algunos estudios y pruebas que permitan definir características de la red tales como: soporte para disponibilidad masiva de dispositivos, disminución energética, además de brindar transmisiones full dúplex usando la misma frecuencia

y canal, mayor velocidad de datos entre 1-10 Gbps, con un Roaming entre diferentes tecnologías y comunicaciones seguras, entre otros aspectos (Anchundia et al., p. 812).

Aun cuando en el 2018 se empezó a realizar subastas del espectro radioeléctrico para 5G en las bandas de 1.5 a 4 GHz, Ecuador no entró en esta planificación. En la actualidad, Ecuador opera con tres empresas de telefonía móvil: Otecel (Movistar), Conecel (Claro) y CNT (Corporación Nacional de Telecomunicaciones), las cuales, en posición de demanda, se encuentran distribuidos como se muestra en la Figura 8-1:

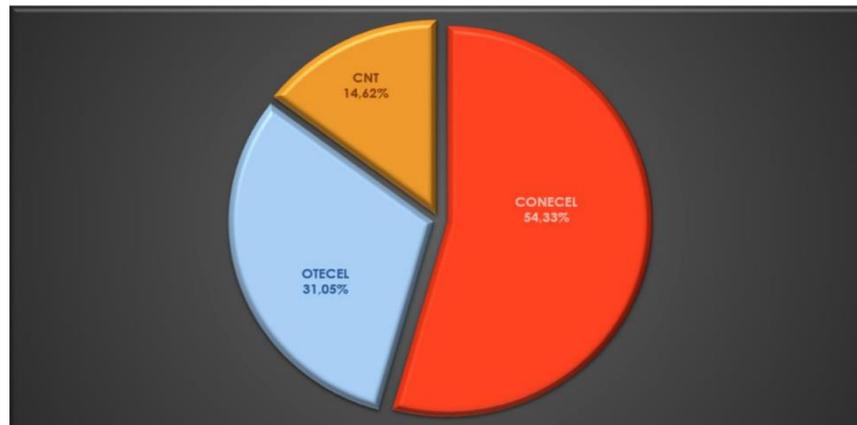


Figura 8-1: Número de usuarios de telefonía por operador

Fuente: (García & Tigrero, 2017, p. 22)

Según las leyes vigentes en el Estado Ecuatoriano, este deberá promover el espectro necesario o recomendable para que las operadoras trabajen en 5G. Debido a lo establecido en el artículo 48 de la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada literal e, las operadoras ya sean públicas o privadas no pueden cambiar el uso de los espectros para las cuales fueron asignadas; sin decir que a su vez no se puede dar de baja la tecnología 4G LTE para los usuarios. Por tal motivo se han realizado varias investigaciones necesarias para la elección de espectro para 5G (García & Tigrero, 2017, p. 22).

Según el reporte establecido por Brand (2021), CNT seleccionó a la empresa Nokia para instalar la primera red 5G en Ecuador. El acuerdo incluye la modernización de la infraestructura LTE, así como la instalación de una red 5G no independiente (NSA *non standalone*). Un comunicado de la compañía indica que, el despliegue de la infraestructura ya está en marcha.

El proyecto abarca la modernización de la infraestructura 3G/LTE existente en las provincias de Guayas, Los Ríos, Manabí, Bolívar, Morona Santiago y Santa Elena, en las cuales ya se están migrando más de 500 radio bases a 5G de manera transparente para el usuario. Nokia también

desplegará los primeros sitios 5G NSA que operarán en las ciudades de Guayaquil y Manta. Estos primeros sitios permitirán a CNT planear los servicios que desean lanzar con 5G (Datta, 2021, p. 1).

El uso de la tecnología 5G en el Ecuador, busca cubrir todas las demandas que el servicio móvil lo requiere, como es el caso de las ciudades inteligentes o *e-health*, esta arquitectura debe ser realizada en base a los parámetros de automatización de servicios y la calidad de servicio. Es por tal motivo que, según la CNT el despliegue de la red se ha planificado en las siguientes fases:

- Fase de preparación
- Fase de instanciación
- Fase de configuración
- Fase de activación
- Fase de tiempo de ejecución
- Fase de clausura

1.4. Análisis de caracterización del canal 5G a pequeña escala (*Short Term*)

El concepto de caracterización hace referencia al comportamiento del canal de radio enlace en los sistemas de comunicaciones móviles. Los cuales, son sistemas que pueden enviar y recibir señales radioeléctricas entre el enlace de radio hacia varios dispositivos. En esta arquitectura, el dispositivo puede mantener la comunicación aún si esta se encuentra en movimiento, lo que se le conoce como dispositivo móvil, mientras que, la antena de la radio base se encuentra estática. La arquitectura del canal es la que se muestra en la Figura 9-1:

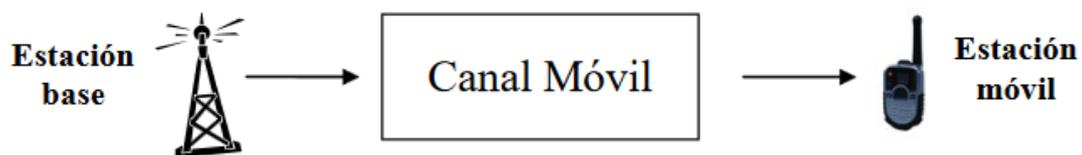


Figura 9-1: Arquitectura del canal móvil

Fuente: (García et al., p. 21)

El canal móvil, también denominado canal de radio, consta del espacio y de todos los elementos necesarios que permiten la comunicación entre el transmisor y receptor a través de las ondas electromagnéticas, las cuales se puede propagar por diversos medios, mismos que se detallan en la Figura 10-1.

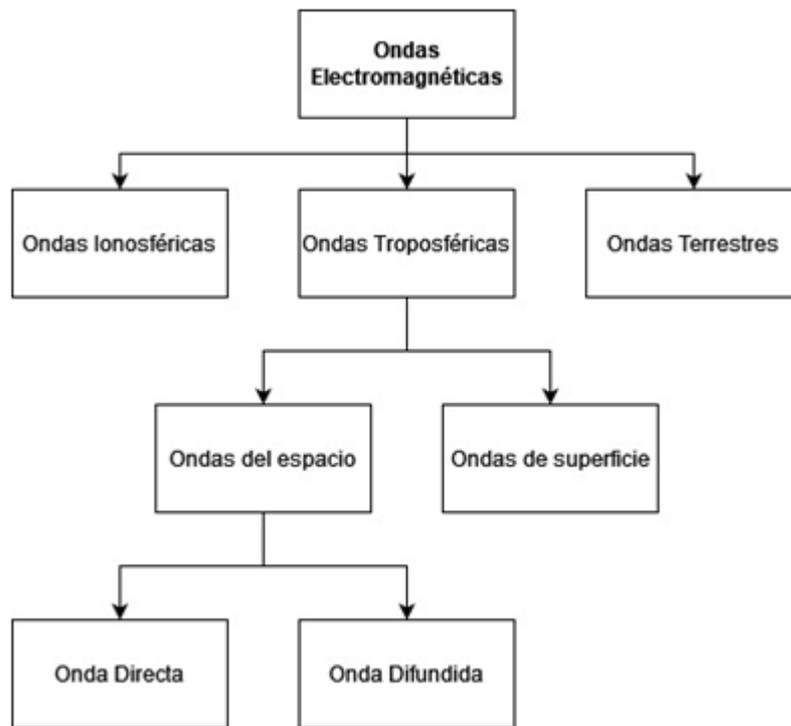


Figura 10-1: Número de usuarios de telefonía por operador

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

La caracterización del canal móvil es una tarea complicada en la que, intervienen diversos mecanismos de propagación. A diferencia de los canales de los medios de comunicación cableados, que son estacionarios y predecibles, el canal radio móvil es de tipo aleatorio. Incluso si la estación móvil se encuentra fija en una ubicación, su análisis es mucho más complicado. En el caso de que la estación móvil se desplace aparecerán efectos que modifican la respuesta en el dominio del tiempo y de la frecuencia (García et al., p. 24).

Por tal razón, la correcta comunicación entre el transmisor y receptor depende de forma directa, de la correcta caracterización del canal de radio. Esta técnica, permite elegir el sistema de comunicación, el ancho de banda de acuerdo con las limitaciones existentes y la modulación que mejor se adapte a la conexión de equipos. Por otra parte, la caracterización permite obtener el cálculo de la cobertura y así definir el alcance máximo de las estaciones base, para poder dimensionar el sistema de forma correcta.

En este tipo de conexión la comunicación no es perfecta, pues existen diferentes elementos que, influyen para la propagación radioeléctrica. Estos elementos se producen sobre la señal incidente y existen ciertos efectos, entre los cuales se encuentran principalmente:

- a) **Reflexión:** La onda electromagnética incide sobre un objeto que tiene dimensiones muy grandes en comparación con la longitud de onda de dicha onda electromagnética. Las reflexiones se dan por ejemplo en la superficie de la tierra, en los edificios y en los muros.

Para que exista reflexión el objeto contra el que choca la onda electromagnética debe tener propiedades electromagnéticas diferentes respecto al medio por el que se propaga la onda electromagnética incidente (García et al., p. 36)

Si el objeto es un dieléctrico, parte de la energía se refleja en el primer medio y parte se transmite al segundo medio. Si el objeto es un conductor, no aparece ninguna onda transmitida y sólo existe una onda reflejada. La onda reflejada y la transmitida está relacionada mediante el coeficiente de reflexión de Fresnel (Γ). Este coeficiente es función generalmente del ángulo de incidencia, de la frecuencia de la onda, y de la polarización de dicha onda incidente (García et al., p. 36).

- b) **Difracción:** La difracción es un mecanismo de propagación que permite a las ondas electromagnéticas llegar hasta el receptor cuando no existe visión directa o no aparecen contribuciones debidas a la reflexión. La difracción permite así la transmisión más allá del horizonte, a lo largo de la curvatura terrestre, y también por detrás de obstrucciones. Este efecto surge cuando la onda electromagnética incide sobre un obstáculo que presenta irregularidades afiladas o puntiagudas (García et al., pp. 43-44).

De acuerdo con el principio de Huygens, todo el punto de un frente de ondas se puede combinar con otras fuentes, esto dará como resultado un nuevo grupo de rayos que estarán en dirección a la propagación, estas serán las que lleguen al receptor y permitirá la comunicación.

- c) **Difusión (*Scattering*):** Generalmente la señal recibida en un canal de radio suele poseer una potencia superior a la predicha por los modelos de difracción y reflexión. Esto es debido al aporte de potencia que proporciona el mecanismo de difusión. El '*scattering*' o difusión se produce cuando la onda electromagnética choca sobre objetos cuyo tamaño es pequeño comparado con la longitud de onda de la señal, o cuando el número de obstáculos por unidad de volumen es alto (García et al., p. 53).

El canal de propagación en sistemas móviles se puede modelar mediante la réplica impulsiva compleja $h(t, \tau)$, o mediante la transformada de Fourier, esta función de transferencia depende directamente del canal radioeléctrico y de las características del entorno, las cuales pueden variar en el tiempo, debido a los dispositivos móviles, he aquí, la importancia de la caracterización del canal en base a los modelos utilizados para el diseño de los sistemas. Uno de los principales factores del modelado es el tipo de desvanecimiento, el cual puede ser a pequeña, así como

también a gran escala y muestra las variaciones de la potencia en función del tiempo, como se indica en la Figura 11-1.

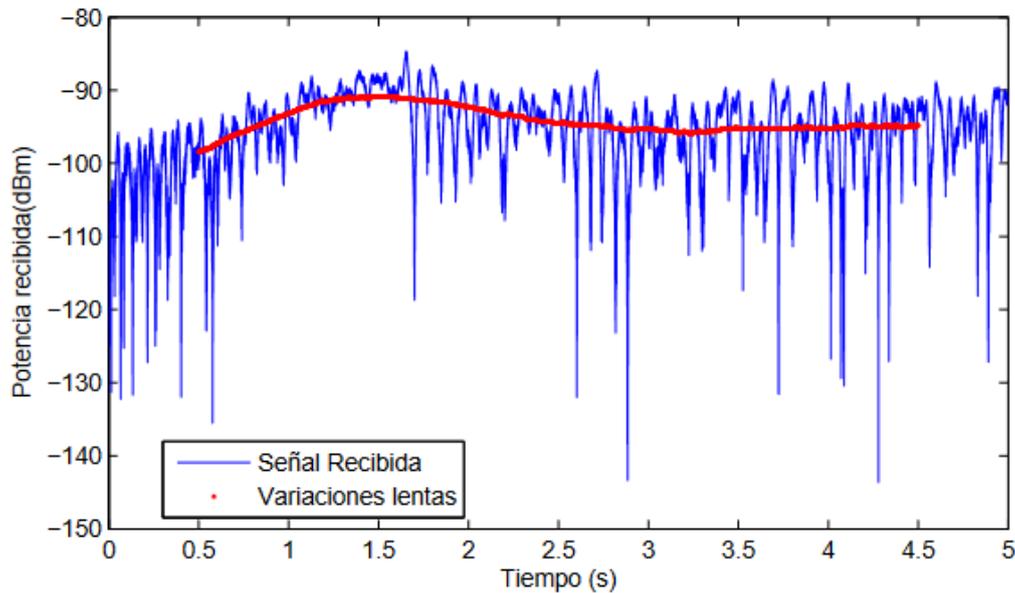


Figura 11-1: Desvanecimiento de la potencia en pequeña y gran escala

Fuente: (Reyes, 2013, p. 30)

Los modelos de desvanecimiento a pequeña escala describen estadísticamente las variaciones del nivel de la señal recibida en escalas espaciales pequeñas, del orden de la longitud de onda de transmisión. La interferencia constructiva o destructiva de las diferentes componentes multitrayecto (*multipath*) está en el origen de dichas variaciones. A diferencia de los desvanecimientos a gran escala que describen la distribución estadística de los valores medios del nivel de la señal recibida en función de la distancia entre transmisor y receptor (Reyes, 2013, pp. 28-29).

Caracterización del canal en banda estrecha

La caracterización de los canales de banda estrecha se centra en el estudio del proceso estocástico $\alpha(t)$. Este canal presenta un comportamiento no dispersivo en el dominio del retardo, τ , y, por lo tanto, no selectivo en frecuencia. En este supuesto, el interés radica en caracterizar el desvanecimiento del nivel de la señal recibida. Las variaciones en amplitud dentro de un área local se modelan típicamente utilizando las distribuciones estadísticas de Rice y Rayleigh, según la existencia o no de una componente de señal dominante, respectivamente. Las variaciones en escalas espaciales mayores de los valores promedios de pequeña escala obedecen generalmente a una distribución Log-normal (Reyes, 2013, p. 27).

Este modelo de canal es utilizado para la descripción de las variantes que afectan la señal que se transmite en frecuencia dentro del ancho de banda, su canal es dispersivo según el dominio del retardo, lo que ocasiona cierta interferencia entre símbolos transmitidos si el retardo del canal es inferior a la dispersión. Por otra parte, si el ancho de banda de la onda es mayor al de coherencia, el canal es considerado selectivo en frecuencia, y la respuesta del canal varía en sus frecuencias.

Además de la influencia de las fuentes de ruido de diferente naturaleza (tanto internas originadas en el propio receptor, como externas procedentes de efectos atmosféricos, radiación cósmica, etc.) y de las interferencias de otros sistemas inalámbricos, hay un aspecto fundamental que caracteriza al canal inalámbrico: la variación de los parámetros que lo describen. Si bien la representación del canal mediante un modelo de línea de retardos es precisa, resulta aun ciertamente complicado, y poco práctico en muchas ocasiones, realizar el diseño de cualquier sistema de comunicación inalámbrico sin conocer algunas de las principales características de $h(t, \tau)$ (Reyes, 2013, p. 28).

Caracterización en banda ancha

La propagación de ondas electromagnéticas a frecuencias de microondas se modela a través de un trayecto directo entre transmisor y receptor si existe línea de visión directa (LOS) entre ambos y múltiples trayectos indirectos, debidos fundamentalmente a reflexiones, dispersiones y difracciones sobre la señal en propagación que provocan los elementos del escenario. La propagación multitrayecto es ciertamente característica en escenarios marítimos, donde, por nombrar alguna particularidad, la propia superficie del mar y las estructuras metálicas de buques de gran tamaño se presentan como elementos que reflejan la señal de forma intensa (Reyes, 2013, p. 101).

Para este tipo de caracterización se usa el PDP, el cual, representa un determinado intervalo para la extracción de parámetros en el canal estudiado, una de las medidas más importantes es el ancho de banda de coherencia, el cual, se extrae mediante la correlación de frecuencias separadas, este se complementa con el análisis de las funciones de distribución obtenidos en la misma ubicación del transmisor.

En la caracterización de banda ancha existe uno de los parámetros más comunes dentro de las telecomunicaciones denominado efecto Doppler, este se define como la diferenciación de la frecuencia de una onda emitida por una fuente en movimiento, el ejemplo del efecto Doppler se muestra a continuación:

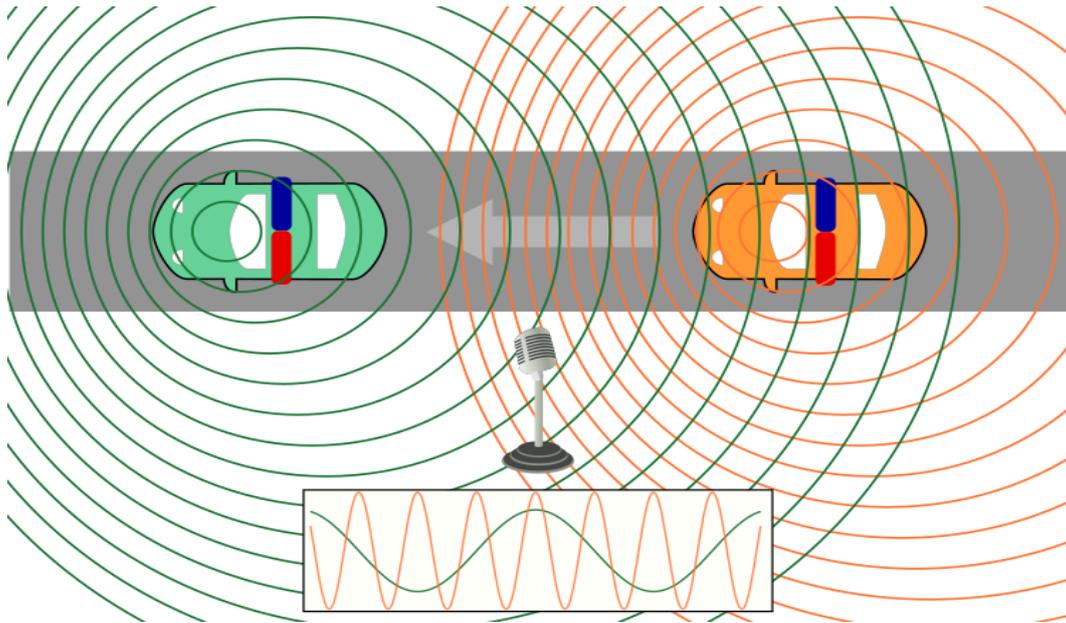


Figura 12-1: Efecto Doppler

Fuente: (BandaBase, 2015, p. 1)

Este efecto está relacionado con mayor incidencia en las telecomunicaciones, al área de comunicaciones móviles, debido al movimiento del receptor, esta variación depende de la velocidad de desplazamiento y de la frecuencia, dicho efecto se puede calcular mediante la fórmula:

$$Fr = \left(\frac{Fp}{c} \right) * Vs$$

Ecuación 1-1: Efecto Doppler

En donde:

- a) **Fr:** Es la frecuencia en la que se recibe la señal del satélite.
- b) **Fp:** Es la frecuencia de portadora en la que emite el satélite.
- c) **c:** Es la velocidad de la luz.
- d) **Vs:** Es la velocidad del satélite.

Las comunicaciones móviles son sensibles, también al efecto Doppler, el cual produce variaciones de la constelación transmitida. Consiste en la variación de la longitud de onda de cualquier tipo de onda emitida o recibida por un objeto en movimiento. La movilidad del terminal, además de provocar variaciones en el nivel de señal recibido, provoca que la frecuencia portadora se vea desplazada en mayor o menor medida en función de la velocidad del terminal (Cumandá, 2009, p. 42).

Simulador 5G New Radio

El *software 5G New Radio* es un sistema desarrollado en el año 2021 como proyecto investigativo, denominado “Desarrollo de un simulador parametrizable de 5G-New Radio para la planificación de celdas Urbanas”. El programa está basado en el lenguaje M y fue desarrollado mediante la APP *Designer de Matlab*. Además, posee características específicas que permiten el estudio de la última generación de tecnología móvil 5G. Dicha APP está diseñada para tener la capacidad de generar trazado de rayos dentro de mapas en 3D (Sanipatín, 2021).

El simulador *5G New Radio* tiene características muy importantes para el estudio de la tecnología móvil, como es el caso del comportamiento del canal, así como también, la propagación de la señal por zonas. Por otra parte, el *software* permite la simulación de escenarios con diversos parámetros de configuración como: número de antenas, tipo de material de obstáculo, altura de la antena, frecuencia, potencia radiada, tipo de antena, entre otros.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se detalla el proceso metodológico que se realizó en el estudio. Es decir, se describen todos los pasos a seguir, mismos que, mostraron la factibilidad del proyecto, así como también, los tipos de investigación usados y el método.

2.1. Tipos de investigación

En la investigación es imperativo conocer todo lo que abarca el estudio, así como también, el alcance, ya que, mostrará los resultados en base a un método específico y la constante creciente de información que se extrae. En este análisis se usó la investigación de tipo bibliográfica y también la descriptiva, cada una de ellas detalla a continuación:

2.1.1. *Investigación bibliográfica*

La investigación bibliográfica o investigación documental (ID) permitió organizar y analizar toda la información referente al tema de estudio, de modo que, se pudo sistematizarla. Por otra parte, la ID como método, no se reduce a la recolección de documentos, sino que supone reglas y condiciones ajustadas a la finalidad que se espera alcanzar. En este escenario, la ID no es ajena a las reglas, sistematicidad y rigor, que contribuyen a los desarrollos investigativos al procurar por la recopilación de saberes, teorías, datos, entre otros, la generación de nuevos conocimientos y la ruta que orienta al investigador (Pérez & Nieto, 2020, p. 115). Todo ello admitió un adecuado análisis de los datos encontrados.

2.1.2. *Investigación descriptiva*

La investigación descriptiva, detalló las características del objeto de estudio. Los estudios descriptivos son útiles para mostrar con precisión los ángulos o dimensiones de un fenómeno, suceso, comunidad, contexto o situación. El investigador debe ser capaz de definir, o al menos visualizar, que se medirá (que conceptos, variables, componentes, etc.) y sobre que o quienes se recolectaran los datos (Nieto, 2018, p. 2). Es decir, describe no solo los datos, sino también, los aspectos más relevantes de las situaciones que rodean al tema de investigación.

2.2. Desarrollo de la simulación cobertura 5G

Para el desarrollo se utilizó el *software* denominado *5G New Radio*, el cual, permitió realizar la simulación de ciertas características del comportamiento del canal 5G dentro del Centro Histórico de Quito, y que mediante la obtención de parámetros como el PDP, el lóbulo de radiación y el trazado de rayos generados por el *software* permitió el análisis de la caracterización de la cobertura de la señal de propagación, para la investigación. Además, se utilizaron ciertos puntos específicos dentro del Centro Histórico de Quito, cuya área total comprende aproximadamente 3,5 Km² como se muestran en la Figura 1-2.

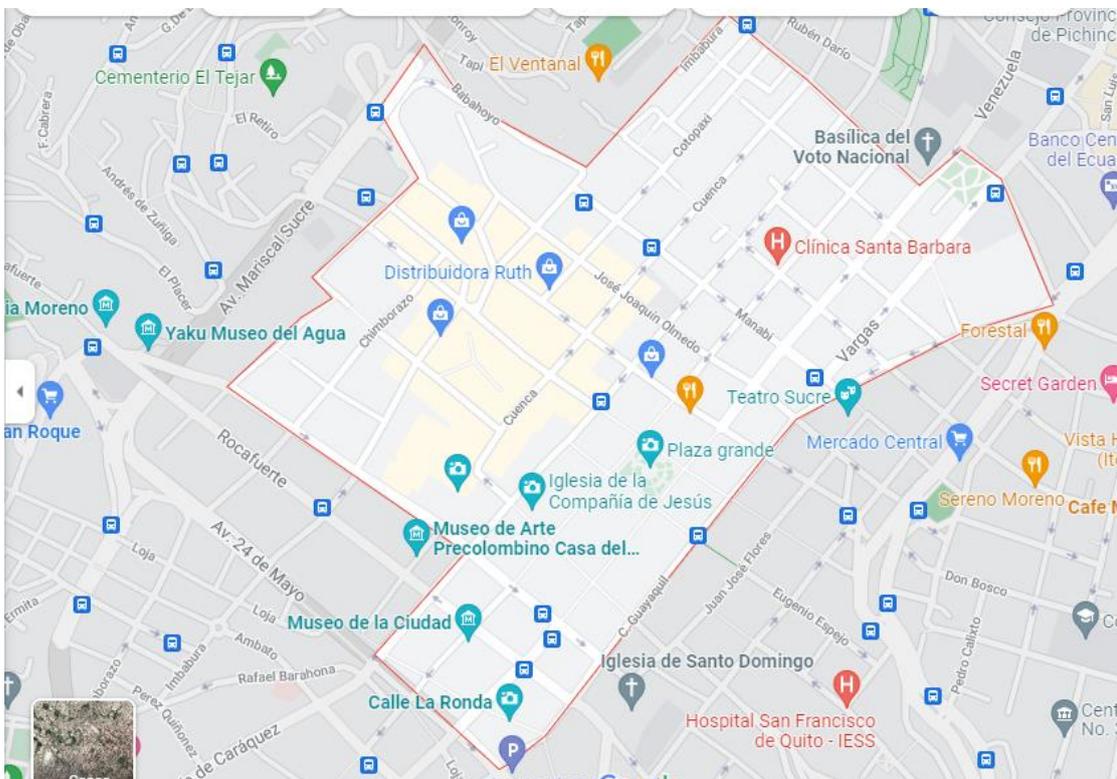


Figura 1-2: Ubicación centro histórico de Quito.

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

La investigación tuvo por objetivo, realizar simulaciones que brinden una cobertura a todo el Centro Histórico de Quito, en los rangos de frecuencia de 26 GHz, 40 GHz y 70 GHz, para lo cual, se utilizó el *software* mencionado, en la opción 5G SINR Propagación Zonas Urbanas, como se indica en la Figura 2-2.



Figura 2-2: Simulación propagación SINR en Zonas Urbanas.

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Una vez dentro del *software*, se procedió con la configuración de parámetros para la simulación de la cobertura, los cuales están definidos en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2: Parámetros de configuración

Parámetro	Descripción
Número de torres necesarias para cobertura total de la zona.	13
Ancho de banda del canal	100 MHz
Frecuencia	26, 40, 70 GHz
Tipo de antena	Estándar Individual
Coordenada antena transmisora latitud	-0.21966
Coordenada antena transmisora longitud	-78.51266
Potencia reflejada	44dBm
Altura antena transmisora	20 m

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

El número de torres consideradas se ubicaron estratégicamente para el modelado del canal. Además, para el rango de frecuencias que se pretendió operar, se trabajó con un ancho de canal de 100 MHz, el cuál es el mínimo dentro de las recomendaciones especificadas para el

funcionamiento del simulador 5G New Radio (Sanipatin,2021, p.15-18), las coordenadas de los puntos de simulación fueron próximas al Palacio de Carondelet, debido a la importancia que representa este sitio en el País.

Es importante resaltar que, el Centro Histórico de Quito posee una arquitectura colonial, razón por la cual, sus edificaciones no sobrepasan los 20m de altura aproximadamente a excepción de los considerados monumentos históricos y patrimoniales como Iglesias, museos y alguno que otro edificio civil, aspecto que se consideró para la altura de las antenas.

Debido a que este análisis se realizó en la banda de ondas milimétricas, se utilizó el modelo de propagación por trazado de rayos, ya que este permite el análisis de todas las reflexiones que llegan al reflector incluida la línea de vista directa, de existir, y ha demostrado dar valores acertado o cercanos a medidas realizadas como se comprueba en la tesis denominada “Simulación de la propagación con técnica de trazado de rayos para 5G” puesto que este modelo considera de manera muy significativa la casi totalidad del entorno en donde se da la propagación. (Arancibia, 2020, p.7)

Una vez realizado el análisis de los parámetros se procedió con la configuración del *software* (ver Figura 3-2).

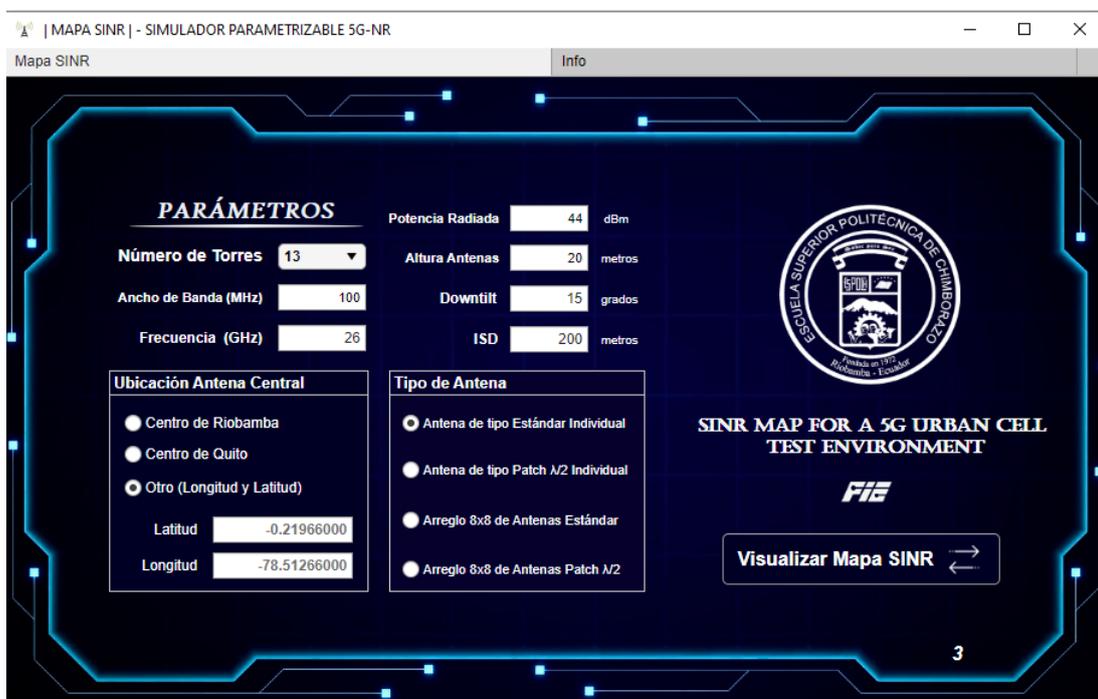


Figura 3-2: Configuración del software 5G New Radio

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Los resultados de las pruebas realizadas se muestran en el Capítulo III de este trabajo.

2.3. Caracterización de canales en diversos puntos del centro histórico

La caracterización del canal 5G en el Centro Histórico fue planteada de acuerdo con las 13 torres establecidas en el apartado anterior para la cobertura del área propuesta. Las antenas se situaron en diferentes lugares. Cabe señalar que se tomaron en cuenta puntos estratégicos y de gran concurrencia de usuarios como: bancos, restaurantes, museos, entre otros. Cada uno de estos puntos está considerado como un escenario de estudio, y se detallan en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Coordenadas de escenarios propuestos

Escenarios	Receptor	Latitud Origen	Longitud Origen	Distancia	Altitud
Escenario 1	Cajeros Banco Pichincha	-0.22101	-78.51201	132 m	2825 m
Escenario 2	Banco Machala	-0.22037	-78.51411	190 m	2828 m
Escenario 3	Banco Pacífico	-0.22018	-78.51084	190 m	2816 m
Escenario 4	Banco Produbanco	-0.21935	-78.51073	192 m	2815 m
Escenario 5	CNT	-0.21846	-78.51244	127 m	2827 m
Escenario 6	Centro comercial el Tejar	-0.21522	-78.51674	376 m	2867 m
Escenario 7	Clínica Santa Bárbara	-0.21658	-78.51012	476 m	2839 m
Escenario 8	Instituto Olimpia	-0.22092	-78.51046	265 m	2813 m
Escenario 9	KFC	-0.21843	-78.50809	500 m	2814 m
Escenario 10	Museo Arte Colonial	-0.21775	-78.51310	230 m	2838 m
Escenario 11	Plaza San Francisco	-0.2206	-78.51480	260 m	2831 m
Escenario 12	Teatro Sucre	-0.21918	-78.5089	232 m	2806 m
Escenario 13	Plaza Santo Domingo	-0.21870022320817653	-78.51346914023924	147 m	2824 m
Escenario 14	Instituto Nacional de Danza	-0.2188056667092805	-78.51409734459081	183 m	2834 m
Escenario 15	Unidad de Patronato Municipal San José	-0.21857401195776652	-78.51323372908122	142 m	2832 m
Escenario 16	Hotel Plaza Grande	-0.21929212597199305	-78.51204514236252	63 m	2823 m
Escenario 17	Centro Histórico (Casco)	-0.22027380776072716	-78.51304828926972	86 m	2823 m
Escenario 18	Catedral Metropolitana de Quito	-0.22062806704338878	-78.51225599852934	170 m	2820 m
Escenario 19	Museo Casa Sucre	-0.22177040543644844	-78.51324309336762	248 m	2820 m
Escenario 20	Banco del Austro	-0.22153306907275253	-78.51262308746192	210 m	2817 m
Escenario 21	Iglesia de Santo Domingo	-0.22384215307886496	-78.51268288683055	472 m	2809 m
Escenario 22	Calle la Ronda	-0.22393871227401044	-78.51436731691109	528 m	2813 m
Escenario 23	Museo de Arte Precolombino	-0.2212051379453501	-78.51585047130706	398 m	2837 m
Escenario 24	Banco Internacional	-0.22303141888597028	-78.51291081122613	380 m	2813 m
Escenario 25	Etafashion	-0.22130982565867163	-78.51165620019809	212 m	2816 m
Escenario 26	Plaza Chica	-0.22082488181594373	-78.51138636571244	216 m	2817 m

Escenario 27	Administración Zonal Manuelita Sáenz	-0.22038952705962692	-78.51114591571466	85 m	2819 m
Escenario 28	Municipio del Distrito Metropolitano de Quito	-0.22027527726336435	-78.51150986097502	181 m	2820 m
Escenario 29	Hotel el Relicario del Carmen	-0.2187934681048736	-78.5107545868356	231 m	2814 m
Escenario 30	Monasterio del Carmen Bajo	-0.21831028036038677	-78.50981810018541	319 m	2810 m
Escenario 31	Consultorios Jurídicos UCE	-0.21723631054396758	-78.50722618683533	644 m	2825 m
Escenario 32	Centro Comercial Plaza Arenas	-0.21644242421850807	-78.50683531571508	85 m	2832 m
Escenario 33	Colegio Hno. Miguel La Salle	-0.21587209686546058	-78.50654330234865	797 m	2835 m
Escenario 34	Basílica del Voto Nacional	-0.21497504228637923	-78.50764851956959	764 m	2856 m
Escenario 35	Monasterio Madres Agustinas	-0.21489917804624062	-78.50937823982142	534 m	2832 m
Escenario 36	Hotel Vista del Ángel	-0.21485975184584952	-78.51183936703713	512 m	2823 m
Escenario 37	Museo Camilo Egas	-0.2172405817465504	-78.50934071355869	446 m	2823 m
Escenario 38	Mi Comisariato	-0.2185957545445178	-78.51133961015493	174 m	2820 m
Escenario 39	Escuela de Arte Quiteño	-0.21753851437550517	-78.51175222521296	248 m	2820 m
Escenario 40	Servipagos	-0.21782705300900757	-78.5121779157132	198 m	2817 m
Escenario 41	Unidad Educativa Naciones Unidas	-0.21474229286193627	-78.51572240091161	651 m	2809 m
Escenario 42	Colegio la Providencia	-0.2192960308019542	-78.51333308088542	97 m	2813 m
Escenario 43	Centro Comercial Granada	-0.21849658790933288	-78.5140515883628	207 m	2837 m
Escenario 44	Hotel Casa Gangotena	-0.22100751057265028	-78.51540060020044	355 m	2813 m
Escenario 45	Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato	-0.22187883209180131	-78.51438106843968	300 m	2816 m
Escenario 46	Supermercado Santa María	-0.22208253958717658	-78.51387328047	315 m	2817 m
Escenario 47	Museo Policía Nacional	-0.21928635442114422	-78.51471645795993	238 m	2820 m
Escenario 48	Museo Banco Central del Ecuador	-0.2210041393436328	-78.51386390020052	227 m	2820 m
Escenario 49	Unidad Educativa Sagrados Corazones	-0.2201056789297516	-78.51460883224264	230 m	2817 m
Escenario 50	Museo Manuela Sáenz	-0.22257680918105438	-78.5104528846645	403 m	2809 m
Escenario 51	FG Technology	-0.21441058138453684	-78.50415615497572	640 m	2813 m
Escenario 52	Unidad Educativa Franciscana San Andrés	-0.21646388175824635	-78.50681385795525	412 m	2837 m
Escenario 53	Unidad Metropolitana de Salud	-0.22069101338385783	-78.51874432820613	698 m	2813 m
Escenario 54	Convento de San Francisco	-0.21912167850123024	-78.51626633977214	288 m	2816 m
Escenario 55	El Tejar Tv	-0.21836228442982436	-78.51534827680244	330 m	2817 m
Escenario 56	Cooperativa JEP	-0.2183236508776241	-78.51612389591679	412 m	2819 m
Escenario 57	Casona de la Ronda	-0.22475461068744942	-78.51368510539449	581 m	2820 m
Escenario 58	UPC Ipiales	-0.21788235154817592	-78.5168828269012	510 m	2814 m
Escenario 59	Plaza de los Periodistas	-0.22243968390487698	-78.5172558903824	609 m	2810 m
Escenario 60	Hospital del Día IESS	-0.21980068093788274	-78.50911196245363	393 m	2825 m

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

En la Figura 4-2, se presenta la ubicación de las antenas receptoras, que como punto de partida va desde la antena transmisora que está ubicada en el Palacio de Carondelet y donde P1 corresponde a los cajeros del Banco Pichincha, hasta P15 situado en la Unidad de Patronato Municipal San José.

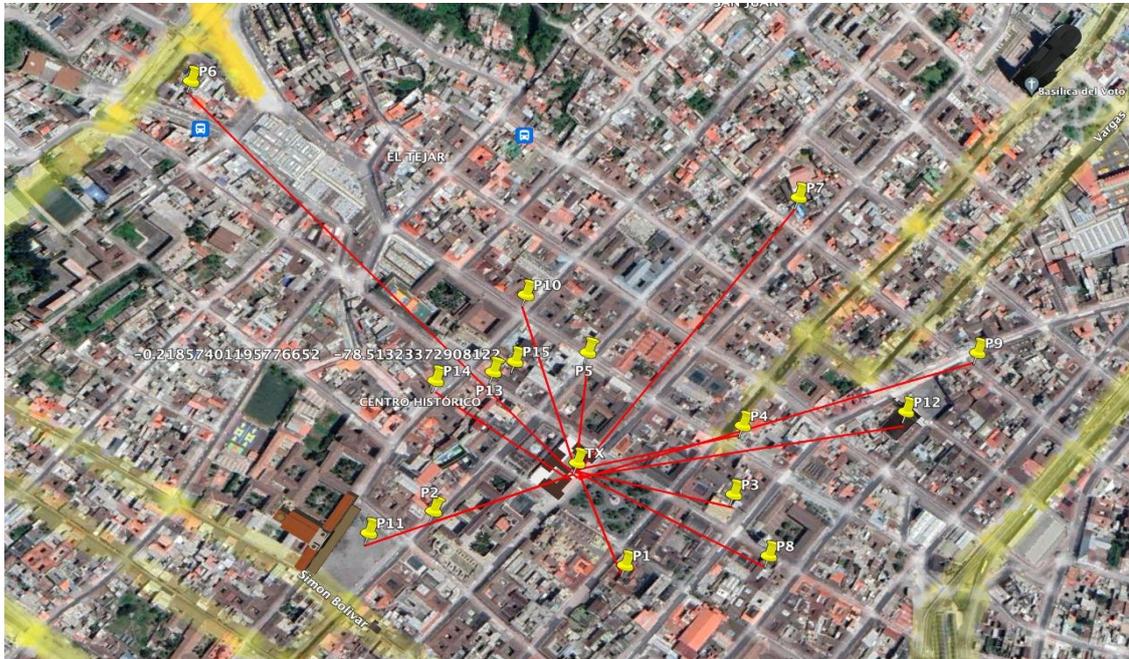


Figura 4-2: Distancias escenarios 1 al 15

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

En la Figura 5-2 se muestra las antenas receptoras que van desde P16 que corresponde al Hotel Plaza Grande, hasta el P30 situado en Monasterio del Carmen Bajo.



Figura 5-2: Distancias escenarios 16 al 30

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Seguidamente en la Figura 6-2 están las antenas receptoras desde P31 situado en los Consultorios Jurídicos UCE, hasta P45 ubicado en Cooperativa de Ahorro y Crédito Ambato



Figura 6-2: Distancias escenarios 31 al 45

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Finalmente, en la Figura 7-2 se detallan los últimos 15 puntos utilizados para el estudio, estos van desde P46 Supermercado Santa María, hasta P60 Hospital del Día IESS



Figura 7-2: Distancias escenarios 46 al 60

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Una vez realizada la ubicación de las antenas transmisoras, se procedió con la configuración de los diversos parámetros para la obtención de los resultados finales, los cuales se muestran en el Capítulo III. Los parámetros de configuración para la caracterización del canal se detallan en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Parámetros de configuración caracterización del canal

Parámetro	Descripción
Tipo de Antena	Directiva Estándar
Frecuencia de trabajo	26, 40, 70 GHz
Potencia	5 W
Altura de las Antenas	20 metros Transmisora/1.5 metros Receptora
Construcciones	Concreto
Terreno	Concreto

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Los parámetros definidos se ingresaron en el *Software* de simulación en la opción *Ray Tracing Power Reception* (ver Figura 8-2).

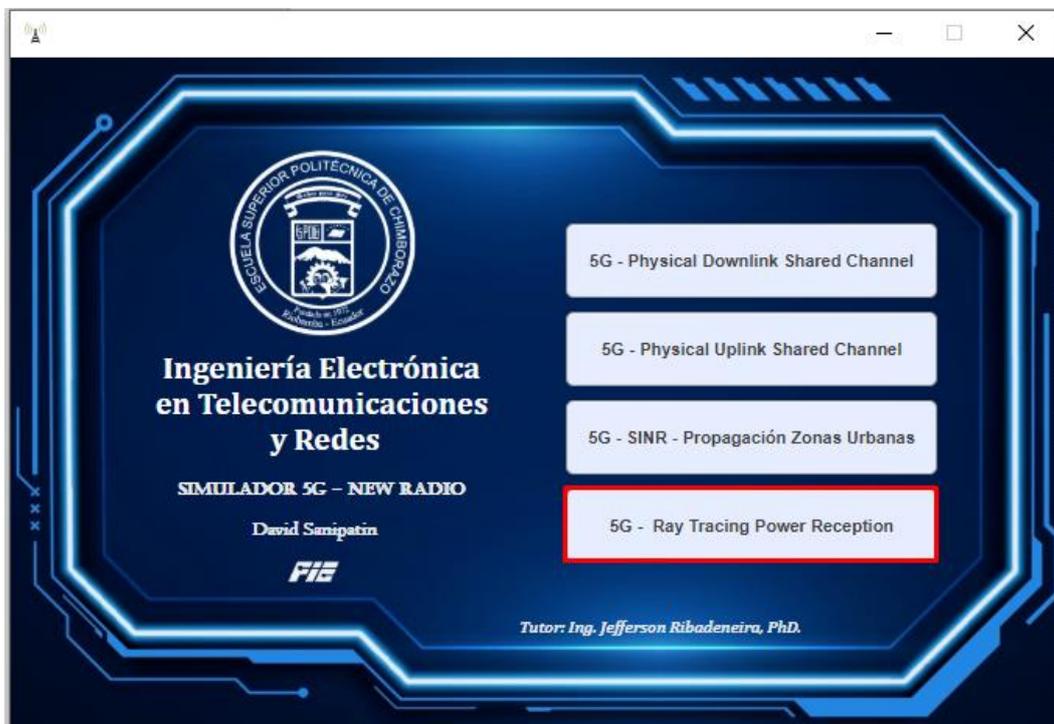


Figura 8-2: Opción trazado de rayos

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Habiendo seleccionado la opción, se procedió con la configuración del transmisor situado en las coordenadas $-0.21966, -78.51266$, correspondiente al Palacio de Carondelet, el proceso de configuración se muestra en la Figura 9-2.

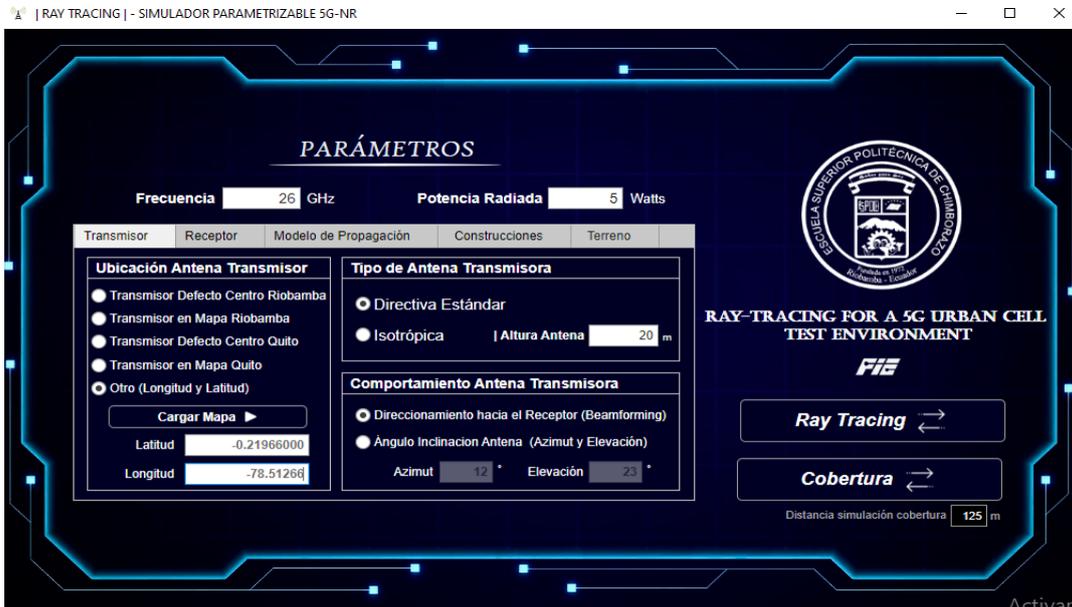


Figura 9-2: Configuración parámetros de antena transmisora

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Posteriormente, las configuraciones de los parámetros del receptor fueron ingresadas de acuerdo con las especificaciones de cada uno de los escenarios propuestos para la investigación (ver Figura 10-2).

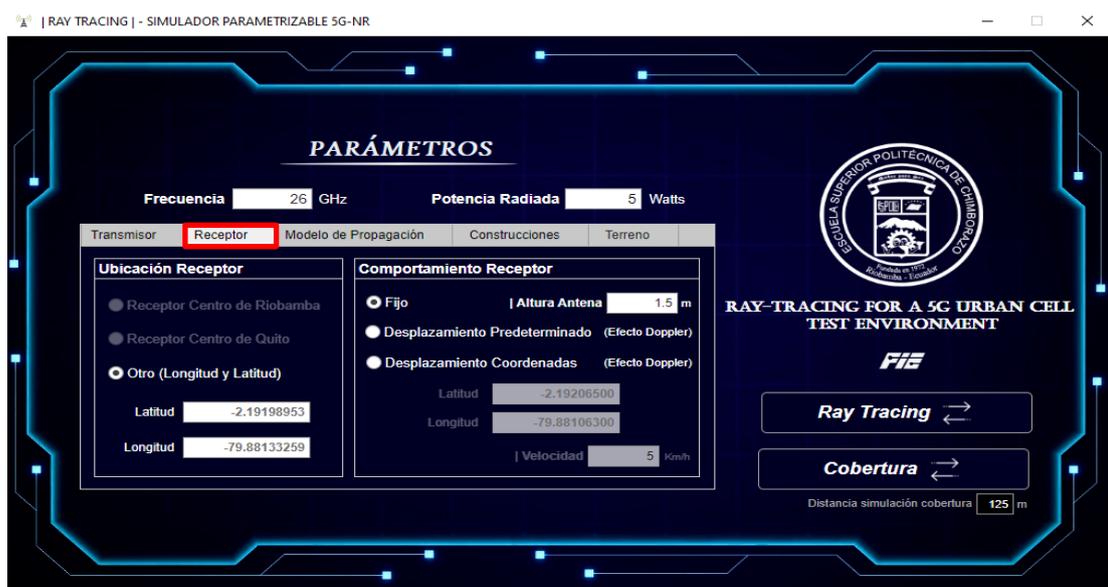


Figura 10-2: Configuración parámetros de antena receptora

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Es importante recalcar que debido al hecho de la irregularidad del terreno sobre el que se asienta el centro histórico de Quito, muchas de las propagaciones que se dan son efecto de la difracción, reflexión y refracción de las señales y no precisamente porque exista una línea de vista directa. Ya que para la elaboración de la investigación se trabajó únicamente con simulaciones, mediante el *software* parametrizable 5G New Radio, se procedió a configurar algunos de los parámetros bajo condiciones ideales de propagación como lo indican las Figuras 11-2.

No obstante, de ser el caso que se trabaje con datos reales, que hayan sido levantados y recopilados en el sitio en donde se desee realizar el análisis del comportamiento del canal, estos deben ser ingresados en cada una de las opciones de configuración que ofrece el simulador para poder obtener los valores correspondientes a las características que presenta el medio.

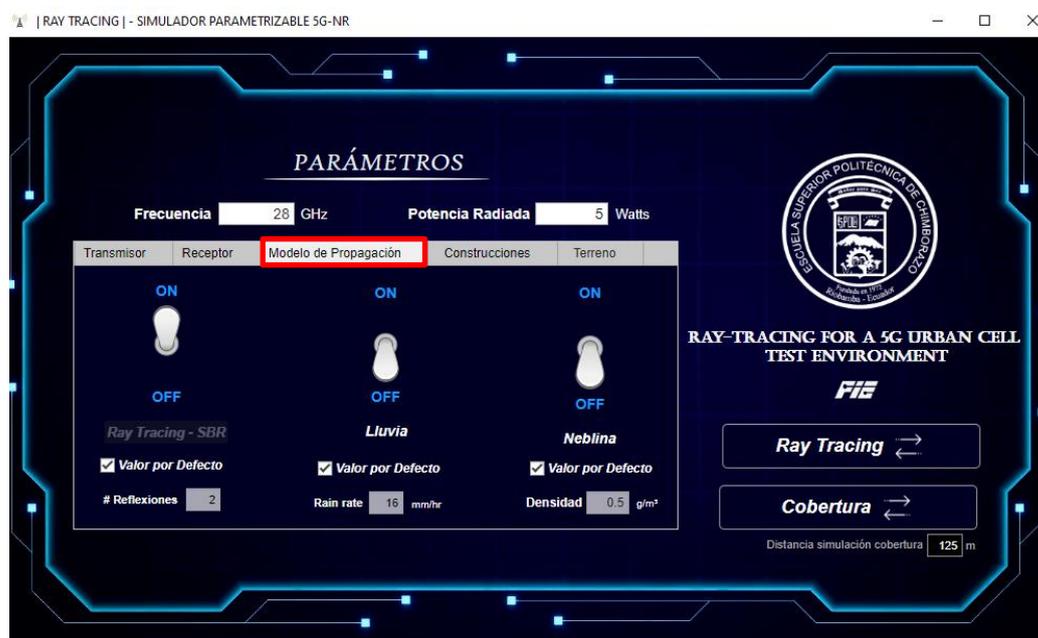


Figura 11-2: Configuración de opciones para el modelo de propagación

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Esta opción permite elegir el modelo de propagación con el que se requiera trabajar, su configuración tiene activado por defecto el modelo de *Ray Tracing* – SBR, está es una de las opciones en la que se consideraron condiciones ideales, como ya se mencionó, por lo tanto, el valor predefinido no fue modificado.



Figura 12-2: Configuración parámetros de materiales de construcción

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

5G *New Radio* permitió la configuración del tipo de material que se requiere para representar los obstáculos (edificaciones, construcciones, etc.) que puedan existir en la propagación de la señal, se puede elegir una, de entre las variables que presentó el simulador en su panel de opciones, si por el contrario el material no se encuentra en el listado se lo puede configurar mediante las opciones de permitividad y conductividad que este posea (ver Figura 12-2).

La opción seleccionada en este apartado es la de 'Concreto' debido a que la mayoría de las construcciones en el país están hechas de este material; los resultados obtenidos presentan atenuaciones correspondientes a las pérdidas de propagación propias de las condiciones y materiales con las que se trabajó.

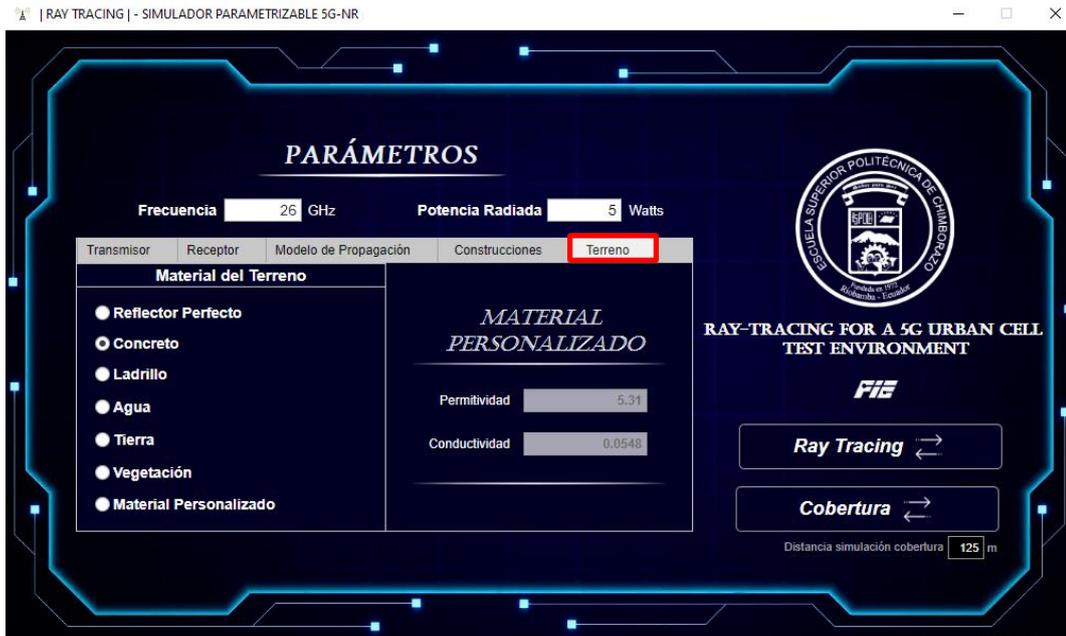


Figura 13-2: Configuración parámetros del terreno

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

La Figura 13-2 muestra en su panel de configuración los distintos tipos de terreno en los cuales se puede trabajar, permitiendo seleccionar entre sus opciones el que se requiera para el estudio. De la misma para este análisis, la opción seleccionada fue la de 'Concreto' como material del terreno.

Los análisis de los resultados de cada una de las propagaciones se las detallan en el capítulo III.

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se encuentra el análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas, acerca de la cobertura de redes 5G en el Centro Histórico de Quito, con el *software* 5G New Radio.

3.1. Análisis de resultados mapa SINR

La Figura 1-3 muestra el lóbulo de radiación de las torres instaladas para la propagación de la señal 5G dentro del Centro Histórico, con una frecuencia de 26 GHz y un ancho de banda de 100 MHz.



Figura 1-3: Lóbulo radiación 26 GHz

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Por otro lado, la Figura 2-3 indica que el patrón de directividad está entre 5 y -5 dBi aproximadamente:

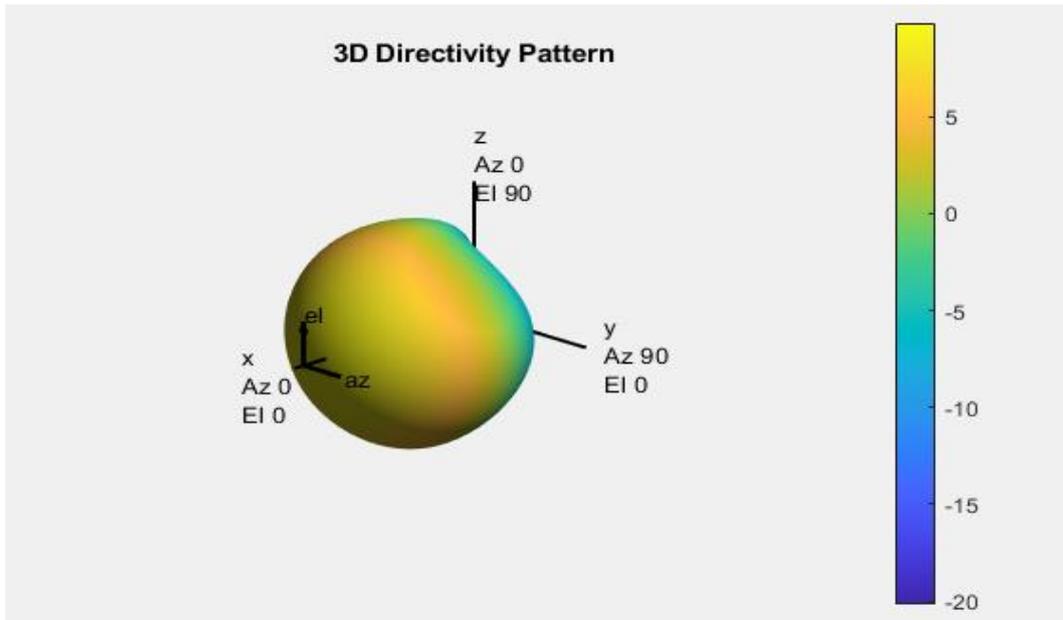


Figura 2-3: Patrón Directividad 26GHz

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

De igual forma, se puede apreciar como el patrón de radiación no varía si se eleva la frecuencia a 40 GHz (ver Figura 3-3).



Figura 3-3: Lóbulo radiación 40 GHz

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

El patrón de directividad que se muestra en la Figura 4-3 indica un valor que se mantuvo entre 5 y -10 dBi aproximadamente, así pues:

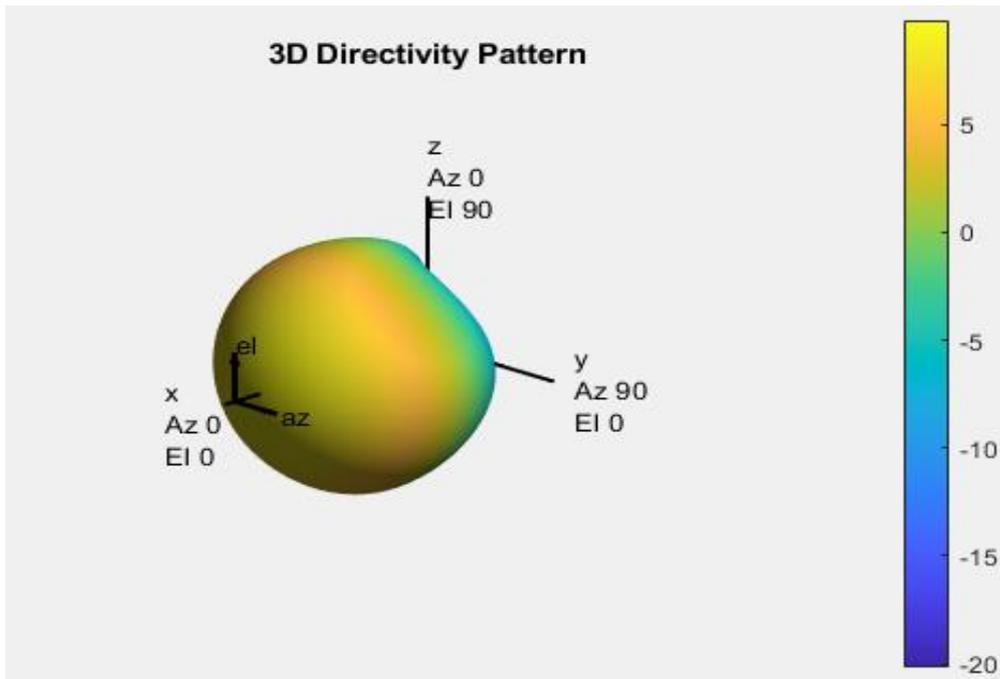


Figura 4-3: Patrón directividad 40 GHz

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

En la Figura 5-3 se puede apreciar, el lóbulo de radiación de la simulación realizada con una frecuencia de 70 GHz.



Figura 5-3: Lóbulo radiación 70 GHz

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

A diferencia de los casos anteriores, el patrón de directividad en la Figura 6-3, muestra un rango que oscila entre los valores aproximados de 5 y -15 dBi:

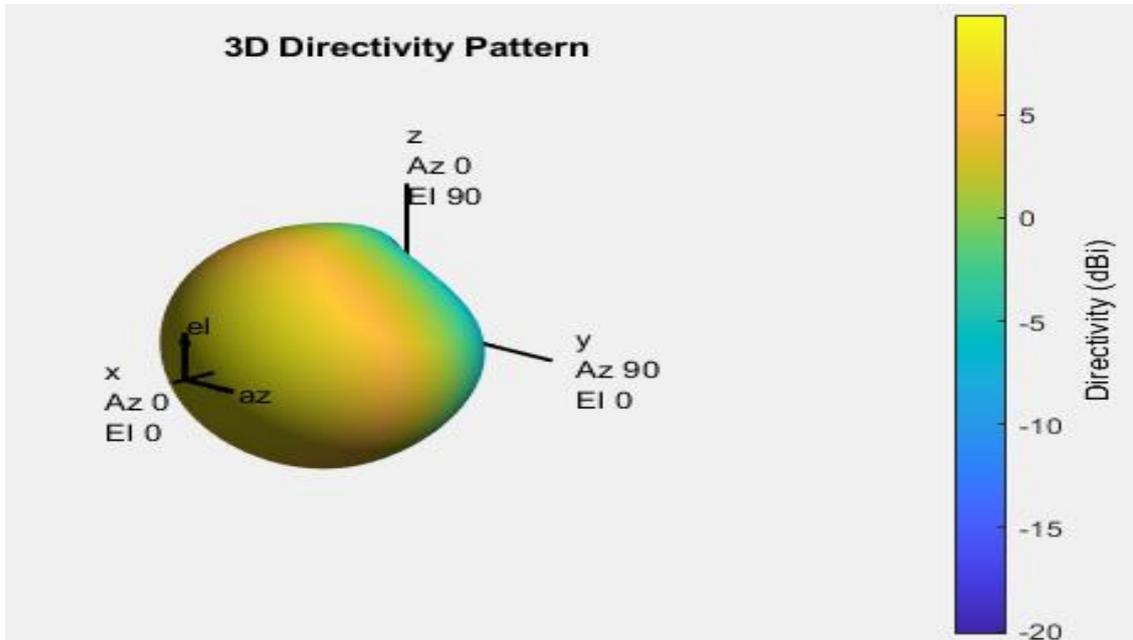


Figura 6-3: Patrón de directividad 70 GHz

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

En la Tabla 1-3 se recopilaron los resultados obtenidos del patrón de directividad con las diferentes frecuencias utilizadas en los modelos de caracterización en la zona de cobertura:

Tabla 1-3: Análisis global zona cobertura

Frecuencia Operación GHz	Ganancia máxima (dBi)	Ganancia mínima (dBi)
26	5	-5
40	5	-10
70	5	-15

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

La frecuencia de operación no afectó el patrón de directividad en la caracterización de canal realizada en el Centro Histórico de Quito. Las simulaciones realizadas muestran los resultados del SINR de manera gráfica como se observa en las Figuras 1-3, 3-3 y 5-3. Aquí como según indica la paleta de colores, en las zonas de color más intenso existe una mejor relación S/N, es decir que en esos sectores llega más potencia de la señal y menos potencia de las interferencias.

3.2. Caracterización de canales

Para la caracterización de canales se procedió a evaluar los valores PDP de las distancias más cercanas y lejanas de los puntos seleccionados, de esta forma se obtuvo un análisis profundo en las 3 frecuencias de la investigación, los escenarios a estudiar fueron:

3.2.1. Resultados de la distancia más cercana 26 GHz: Hotel Plaza Grande (Escenario 16)

Este escenario fue evaluado con la antena transmisora instalada a 20 m de altura y su receptora a 1.5 m. En la Figura 7-3 están los valores de la potencia recibida en el trazado de los rayos, desde la antena transmisora hasta la receptora, estos valores variaron aproximadamente desde los -80 dBm, hasta -40 dBm, y de 0 dB hasta -40 dB en la escala logarítmica normalizada.

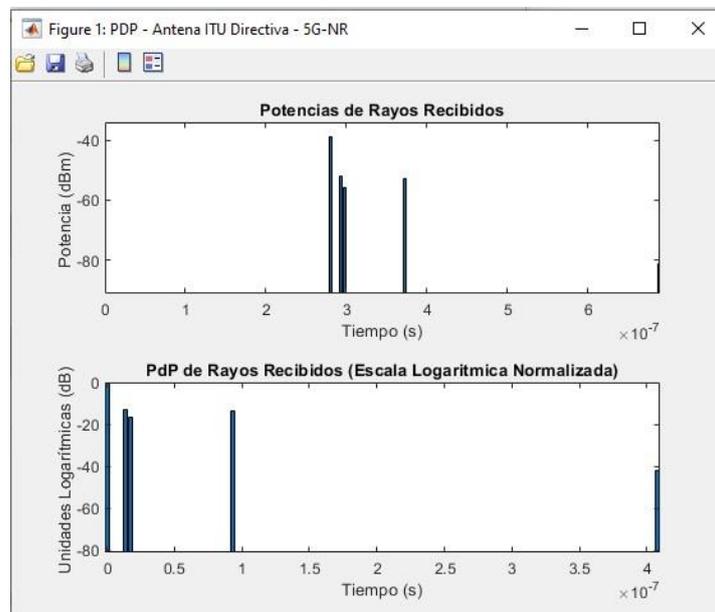


Figura 7-3: Valores PDP escenario distancia más cercana (26 GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Por otra parte, se evidencia el trazado de rayos generados para la propagación de la señal con el lóbulo de radiación principal dirigido hacia el receptor (ver Figura 8-3).

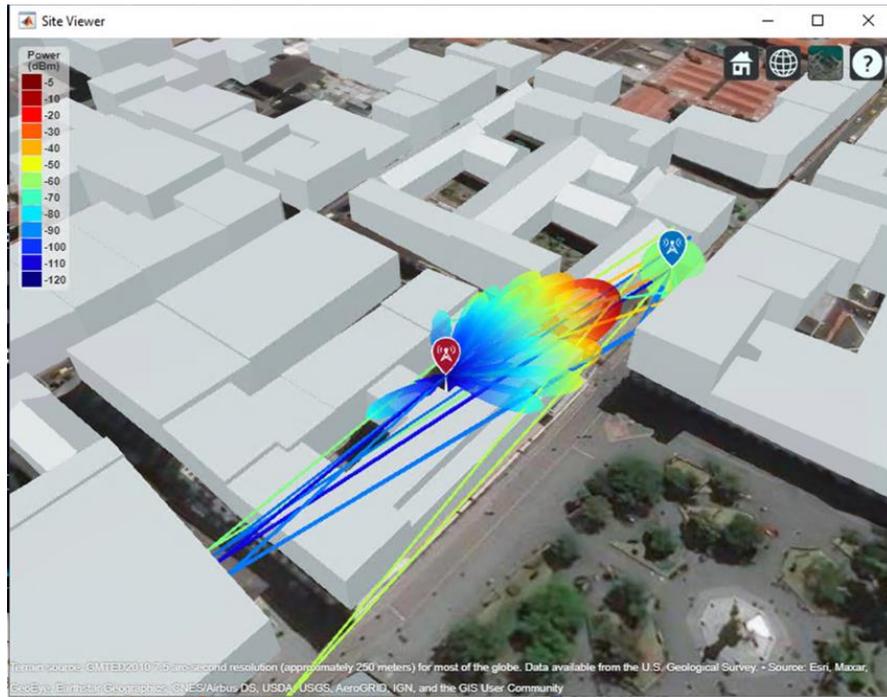


Figura 8-3: Trazado de rayos escenario distancia más cercana (26 GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

En la Figura 9-3 se puede apreciar la cobertura de señal entre el transmisor ubicado en el Palacio de Carondelet y el Receptor situado en el Hotel Plaza Grande.

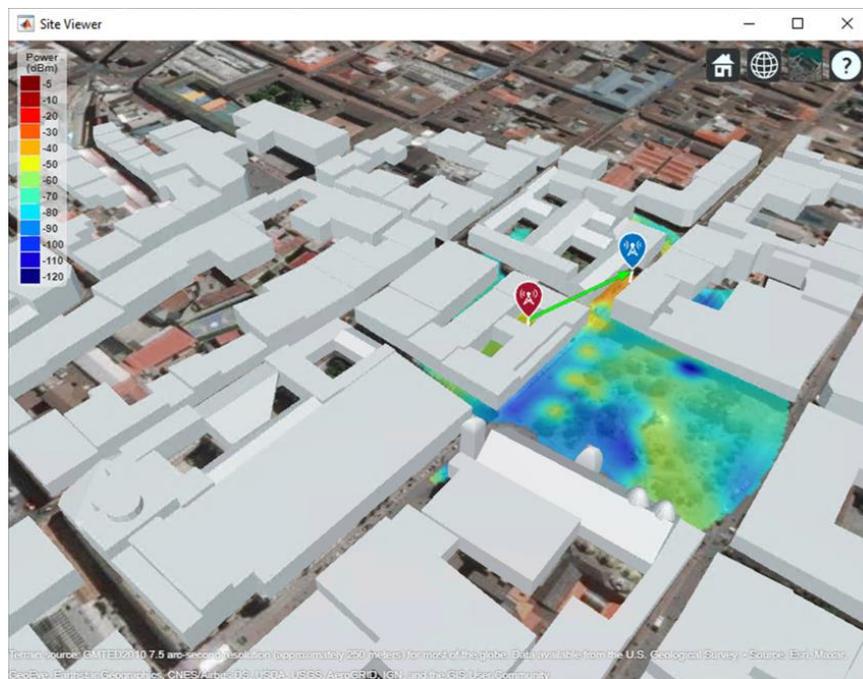


Figura 9-3: Cobertura escenario distancia más cercana (26 GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

3.2.2. Resultados de la distancia más cercana 40 GHz: Hotel Plaza Grande (Escenario 16)

Al respecto de los resultados de la prueba, los valores nominales de la potencia de rayos recibidos no se vieron afectadas por el valor de la frecuencia, pues dichos valores oscilaron aproximadamente entre -40 dBm y -90 dBm, y entre 0 y -40 dB en la escala logarítmica normalizada en base a la primera contribución (ver Figura 10-3).

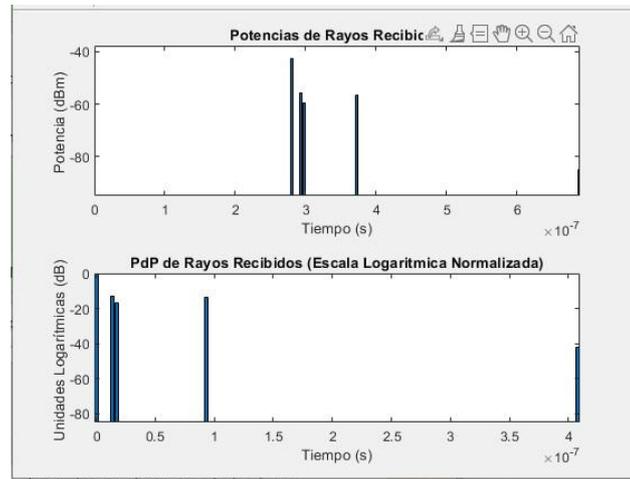


Figura 10-3: Valores PDP distancia más cercana (40 GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

En la Figura 11-3 se visualiza el lóbulo de radiación y el trazado de rayos que se produjeron entre el transmisor y receptor, el cual no se vio afectado por la frecuencia de operación:



Figura 11-3: Trazado de rayos escenario distancia más cercana (40 GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

La Figura 12-3 muestra la cobertura generada por el transmisor:

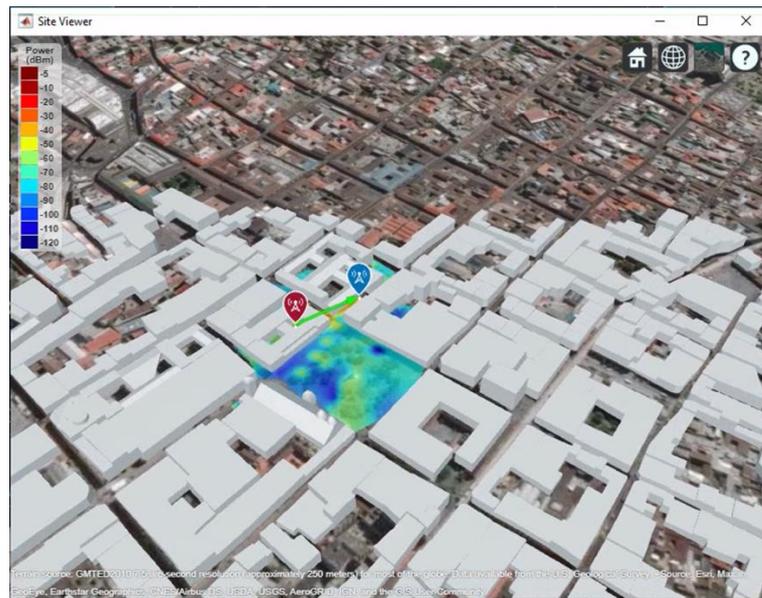


Figura 12-3: Cobertura escenario distancia más cercana (40GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

3.2.3. Resultados de la distancia más cercana 70 GHz: Hotel Plaza Grande (Escenario 16)

En los resultados PDP de la prueba, estos valores oscilaron aproximadamente entre -40 dBm y -90 dBm y en un rango de -0 hasta -45dB en la escala logarítmica normalizada (ver Figura 13-3).

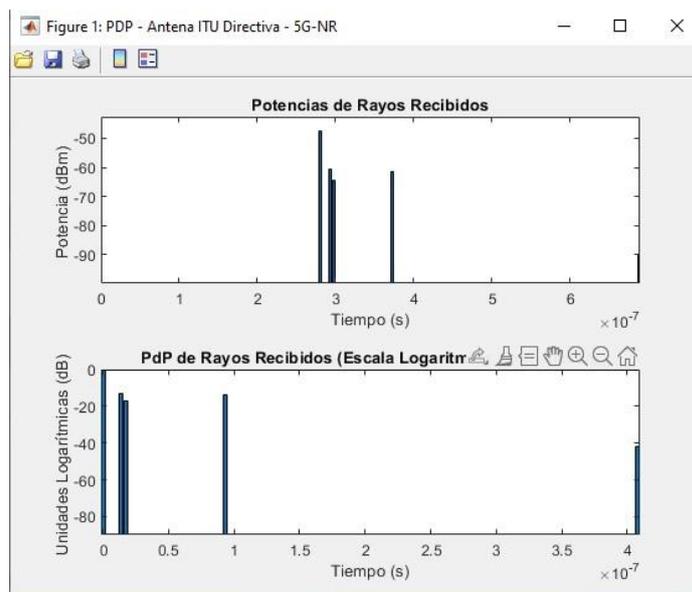


Figura 13-3: Valores PDP escenario distancia más cercana (70 GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

El lóbulo de radiación y el trazado de rayos que se produjo entre el transmisor y receptor, no se vio alterado por la frecuencia de operación, para mejor apreciación ver la Figura 14-3:



Figura 14-3: Trazado de rayos escenario distancia más cercana (70 GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Cobertura generada entre el transmisor y el receptor, donde la frecuencia no afectó la zona de cobertura (ver Figura 15-3).

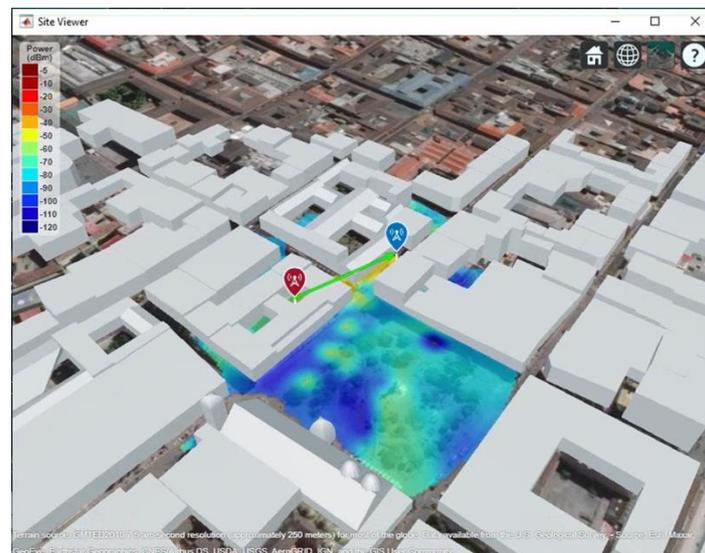


Figura 15-3: Cobertura escenario distancia más cercana (70GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

3.2.4. Análisis global distancia más cercana

Por otra parte, se presenta un análisis comparativo sobre los PDP obtenidos entre las 3 frecuencias utilizadas en las pruebas, así:

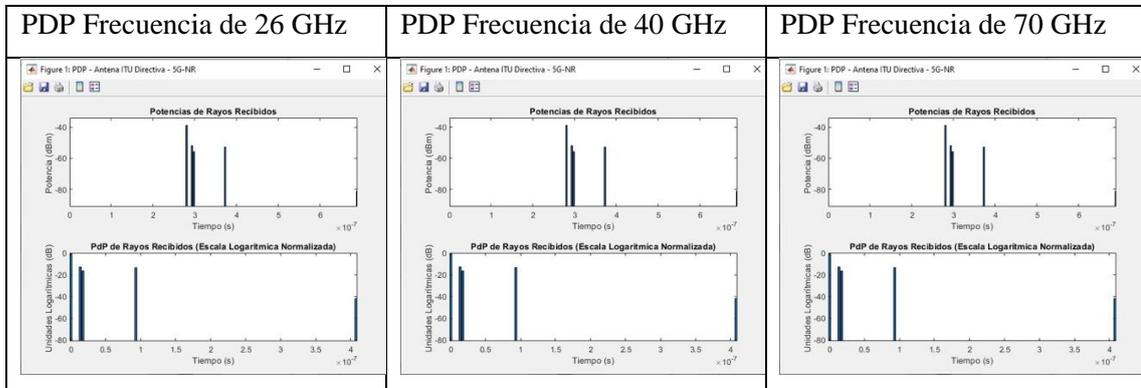


Figura 16-3: Análisis Comparativo PDP distancia cercana con las 3 frecuencias de operación

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Como se puede apreciar en las figuras los valores obtenidos en el PDP son constantes para las tres frecuencias utilizadas en la investigación, esto se debe a que, dicho parámetro se obtuvo a través de las potencias y el tiempo de retardo, por tal razón la frecuencia no es un valor que afecte los resultados del PDP.

3.2.5. Resultados de la distancia más lejana 26 GHz: Hotel Casa Gangotena (Escenario 44)

Para la realización de las pruebas se instaló la antena transmisora a una altura de 20 m y el receptor a 1.5 m, en la Figura 17-3 se apreció el resultado del PDP, dónde su primera contribución tiene un valor de -51 dBm y 0 dB en escala logarítmica normalizada, la última contribución un valor de -67,84 dBm y -16,89 dB normalizado.

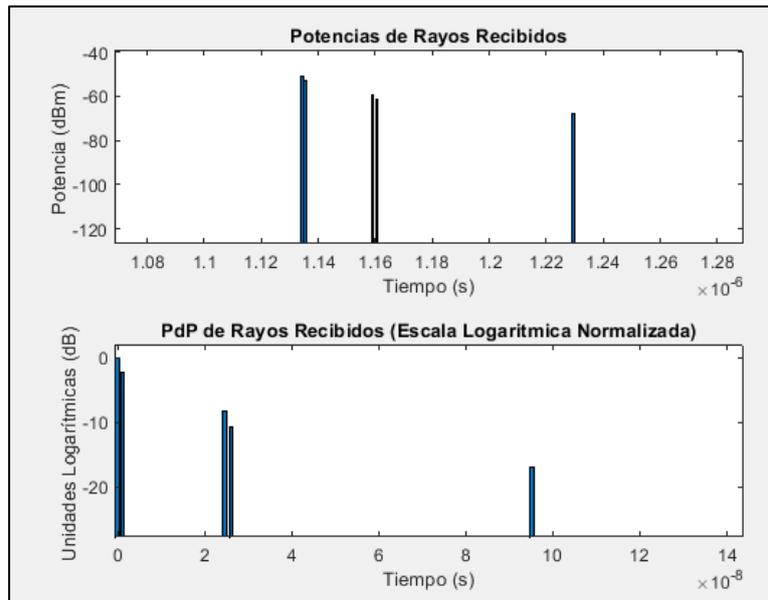


Figura 17-3: Valores PDP escenario distancia más lejana (26 GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Por otra parte, está el trazado de rayos generados para la propagación de la señal con el lóbulo de radiación principal dirigido hacia el receptor, en la Figura 18-3:



Figura 18-3: Trazado de rayos escenario distancia más lejana (26 GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

En la Figura 19-3 se puede observar la cobertura de la señal abastecida entre los puntos:

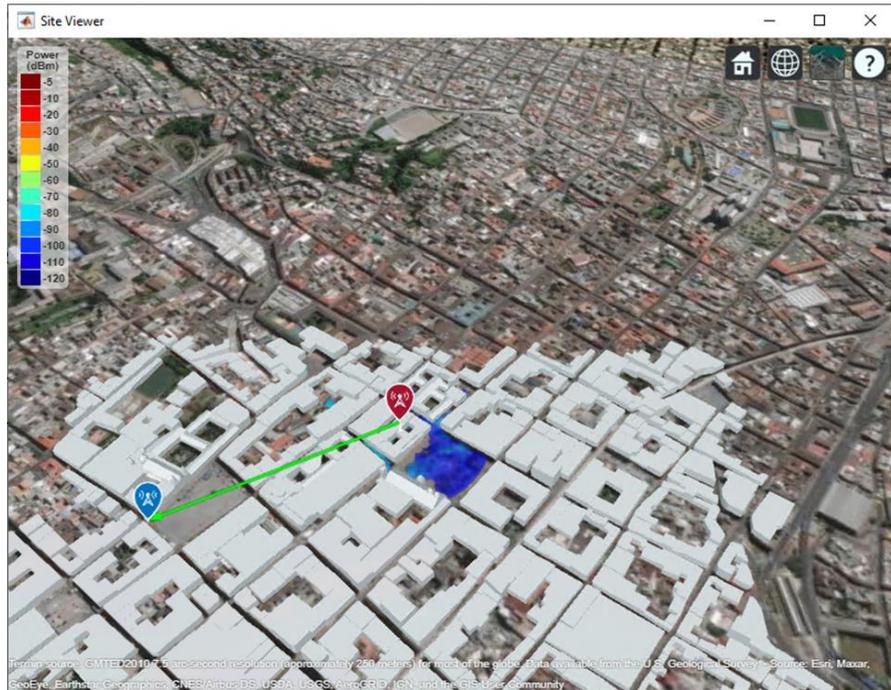


Figura 19-3: Cobertura escenario distancia más lejana (26 GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

3.2.6. Resultados de la distancia más lejana 40 GHz: Hotel Casa Gangotena (Escenario 44)

Aquí, el valor nominal de potencia de su primera contribución es de -55 dBm y 0 dB en escala logarítmica normalizada, la última contribución tiene un valor de -71,59 dBm y -16,89 dB normalizado. (ver Figura 20-3).

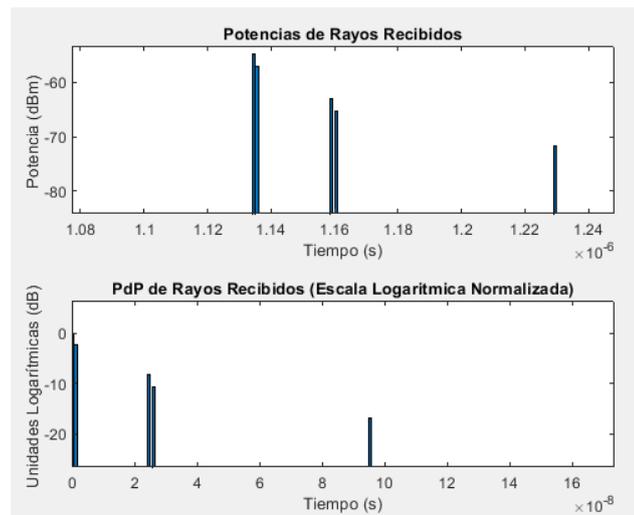


Figura 20-3: Valores PDP escenario distancia más lejana (40 GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

En la Figura 21-3 se encuentra el lóbulo de radiación y el trazado de rayos que se produjo entre el transmisor y receptor, el cual no se vio afectado por la frecuencia de operación.

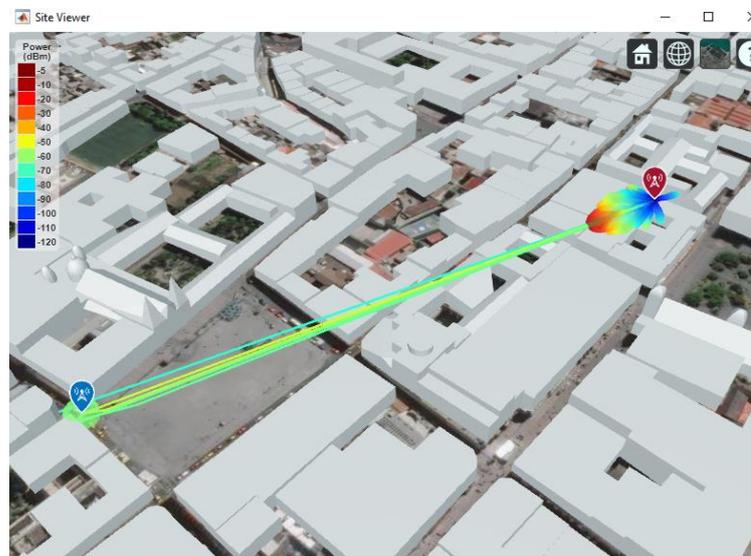


Figura 21-3: Trazado de rayos escenario distancia más lejana (40 GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

En la Figura 22-3 se indica la cobertura generada entre el transmisor y el receptor:

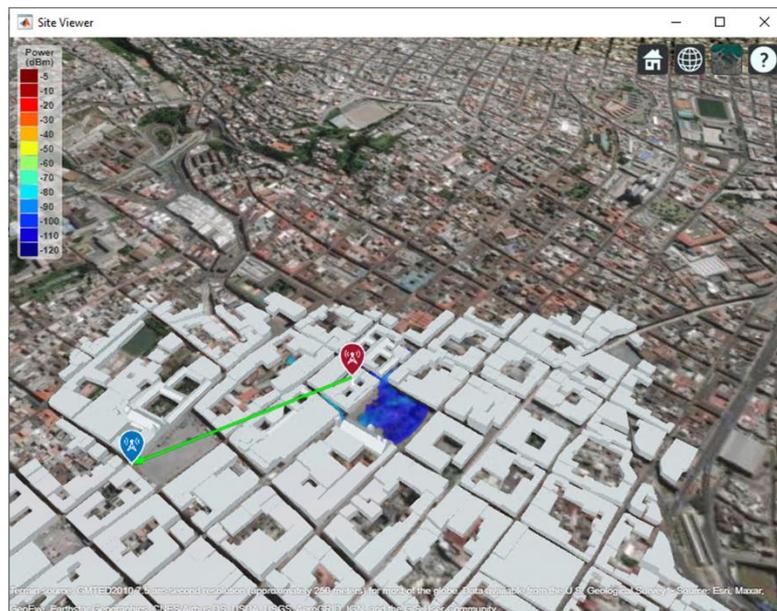


Figura 22-3: Cobertura escenario distancia más cercana (40GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

3.2.7. Resultados de la distancia más lejana 70 GHz: Hotel Casa Gangotena (Escenario 44)

La Figura 23-3 se detalla los resultados PDP equivalentes de hasta -59,55 dBm en la Potencia de rayos recibidos y 0 dB en el valor de escala logarítmica normalizada para la primera contribución, y para la última -79,45 dBm y -16,89 dB respectivamente:

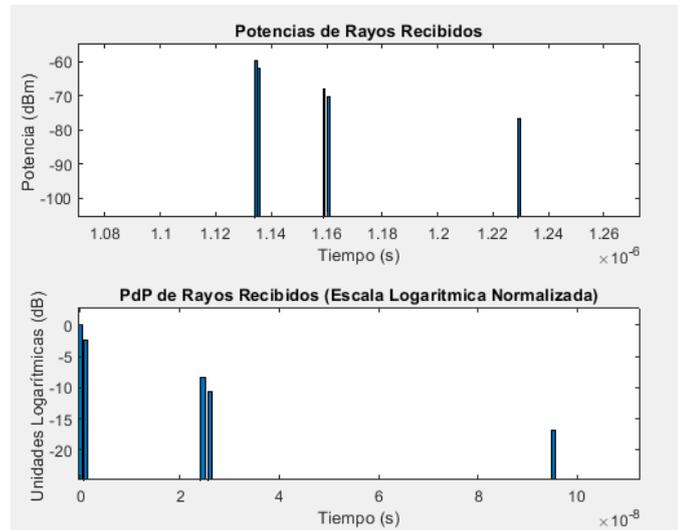


Figura 23-3: Valores PDP escenario distancia más lejana (70 GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

En la Figura 24-3, se visualiza el lóbulo de radiación y el trazado de rayos que se produjo entre el transmisor y receptor, este no se ve afectado por la frecuencia

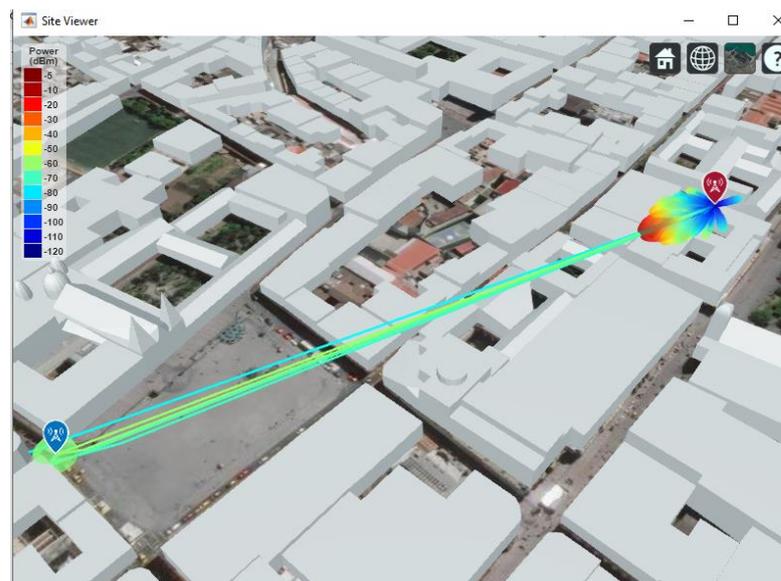


Figura 24-3: Trazado de rayos escenario distancia más lejana (70 GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

De igual forma, la zona de cobertura no se vio afectada por el cambio de frecuencia, tal como lo muestra la Figura 25-3.

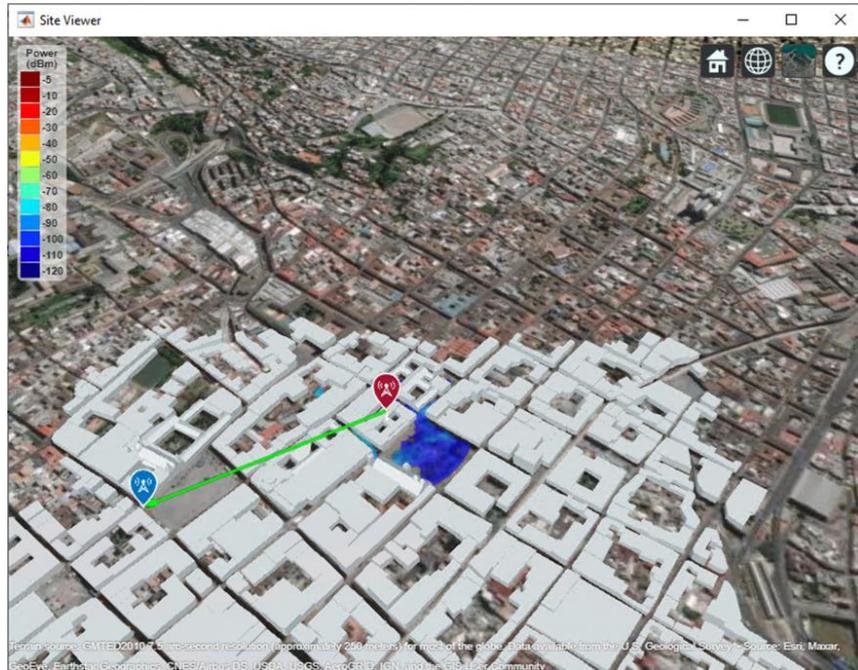


Figura 25-3: Cobertura escenario distancia más lejana (70GHz)

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

3.2.8. Análisis global distancia más lejana

En la Figura 26-3 se agrupa el análisis global, así:

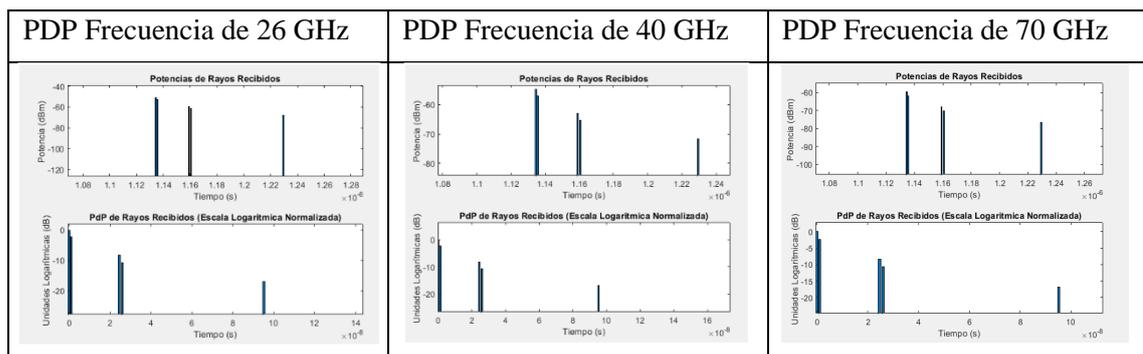


Figura 26-3: Análisis Comparativo PDP distancia lejana con las 3 frecuencias de operación

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Los valores PDP en la escala logarítmica normalizada no variaron de acuerdo con el cambio de la frecuencia. Sin embargo, este sí afectó directamente en el estudio del tiempo de coherencia que se presenta más adelante.

3.3. Análisis final de la caracterización de cobertura

Finalmente se procedió con el análisis de las atenuaciones presentes en el canal, en base al retardo que sufrió cada contribución respecto a su posición, dicho análisis está realizado para las tres frecuencias estudiadas.

3.3.1. Análisis de Frecuencia 26 GHz

Una vez ejecutado el análisis de la caracterización del canal 5G en el Centro Histórico de Quito en los 60 puntos considerados para las ubicaciones de las antenas receptoras se procedió con el análisis del PDP comparado a las distancias, en el cual se obtuvo que, el valor va aproximadamente desde 0 hasta los -38 dB con un tiempo de entre 200 y 400 μ s en la posición más lejana de la antenna transmisora (ver Figura 27-3).

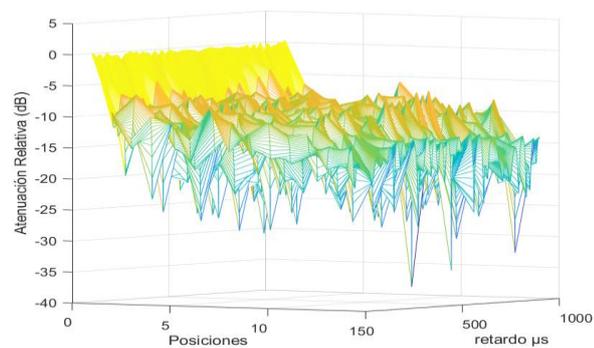


Figura 27-3: Caracterización frecuencia 26GHz

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

3.3.2. Análisis de Frecuencia 40 GHz

A diferencia del primer escenario los picos máximos de la caracterización con una frecuencia de 40 GHz ocurrieron con un mayor retardo de aproximadamente -40 dB y se dio en la distancia más lejana del transmisor, con un retardo de casi 1000 μ s, como se evidenció en la Figura 28-3:

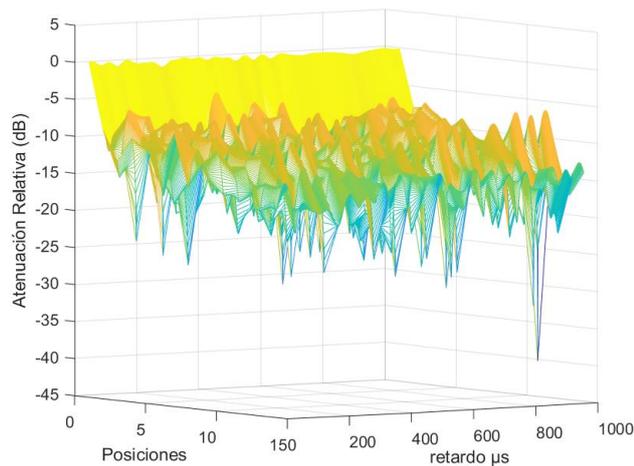


Figura 28-3: Caracterización frecuencia 40GHz

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

3.3.3. *Análisis Frecuencia 70 GHz*

Al trabajar con una frecuencia superior a los 70 GHz, se pudo apreciar (ver Figura 29-3) como la atenuación relativa subió hasta casi los -35 dB, con un retardo intermedio en el lapso de tiempo, a diferencia de los escenarios anteriores, esta variación se dio en las distancias relativamente próximas a la antena transmisora, con un retardo aproximado de 700 μs.

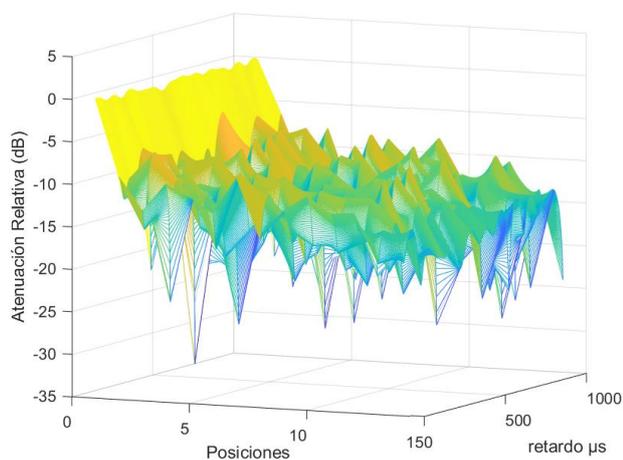


Figura 29-3: Caracterización frecuencia 70GHz

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

3.3.4. *Análisis global caracterización de cobertura y valores PDP*

Finalmente, en la Figura 30-3 está dispuesta la comparativa global de la caracterización con los valores PDP obtenidos en las pruebas realizadas:

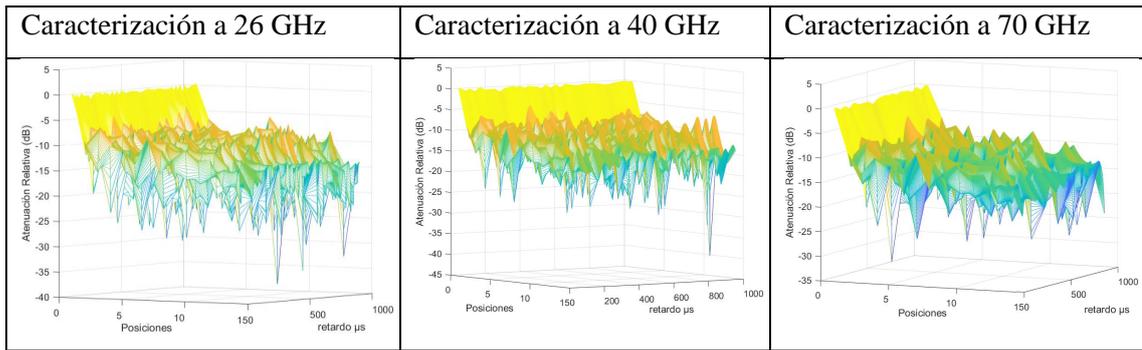


Figura 30-3: Caracterización y valores PDP con las tres frecuencias.

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Según las pruebas realizadas se pudo apreciar como la atenuación varía en función de las frecuencias obtenidas durante las simulaciones en cada una de las distancias, esta se vio afectada de acuerdo con las potencias recibidas por cada una de las contribuciones que enviaron señal desde el transmisor hasta el receptor.

3.3.5. Análisis ancho de banda de coherencia y tiempo de coherencia

Para saber si es preciso el uso de ecualización, fue necesario obtener el ancho de banda de coherencia, cuyo valor se calculó a partir del *Retardo Medio* (D) que es igual a:

$$D = \frac{\sum t_i P_h(t_i)}{\sum P_h(t)}$$

Ecuación 1-2: Cálculo Retardo Medio

Donde:

D = Retardo Medio

t_i = Retardo de cada contribución

$P_h(t)$ = Potencia de cada contribución

Por otra parte, fue importante el cálculo del *Delay Spread* (S), cuyo valor parte del *Retardo Medio* y se obtuvo a partir de la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (t_i - D) P_h(t_i)}{\sum P_h(t)}}$$

Ecuación 2-1: Cálculo Delay Spread

Donde:

S = Delay Spread

t_i = Retardo de cada contribución

D = Retardo medio

$Ph(t)$ = Potencia de cada contribución

Una vez obtenido el resultado del retardo medio, se procedió con el cálculo de la frecuencia de coherencia, mediante la fórmula:

$$B_c = \frac{1}{2\pi S}$$

Ecuación 3-1: Cálculo Ancho de Banda de Coherencia

Donde:

B_c = Ancho de banda de coherencia

S = Delay Spread

En la Tabla 2-3 se presentaron los valores obtenidos del ancho de banda de coherencia en cada uno de los escenarios planteados dentro del Centro Histórico de Quito.

Tabla 2-3: Resultado obtenido anchos de banda de coherencia

Escenarios	Retardo Medio (D)	Delay Spread (S)	Ancho de banda de coherencia
Escenario 1	3,11 (μS)	2,78 (μS)	51,18 (KHz)
Escenario 2	0	0	0
Escenario 3	3,68 (nS)	2,82 (nS)	43,844 MHz
Escenario 4	0,59 (nS)	0,8335 (nS)	191,75 (MHz)
Escenario 5	20,21 (nS)	16,7 (nS)	7,88 (MHz)
Escenario 6	0	0	0
Escenario 7	2,33 (nS)	3,97 (nS)	68,31 MHz
Escenario 8	0	0	0
Escenario 9	0	0	0
Escenario 10	0	0	0
Escenario 11	1,291 (μS)	0,2366 (μS)	1,238 MHz
Escenario 12	0	0	0
Escenario 13	3 (nS)	48,91 (nS)	3,254 MHz

Escenario 14	0,5752 (μS)	0,4322 (μS)	2,77 MHz
Escenario 15	0,799 (nS)	0,763 (nS)	199, 193 MHz
Escenario 16	0,049 (μS)	0,038 (μS)	3,891 MHz
Escenario 17	19,55 (μS)	5,58 (nS)	8,140 KHz
Escenario 18	0	0	0
Escenario 19	0	0	0
Escenario 20	197, 12 (nS)	108,81 (nS)	807,401 KHz
Escenario 21	16,01 (nS)	8,93 (nS)	9,94 MHz
Escenario 22	0	0	0
Escenario 23	0	0	0
Escenario 24	1,54 (μS)	1,54 (μS)	103,347 KHz
Escenario 25	6,3013 (μS)	1,09 (pF)	2,525 MHz
Escenario 26	1,92 (μS)	1,12 (μS)	82,038 KHz
Escenario 27	0	0	0
Escenario 28	0,768 (nS)	1,03 (nS)	207,23 MHz
Escenario 29	1,789 (μS)	72,36 (μS)	67,438 MHz
Escenario 30	0,5979 (nS)	0,60 (nS)	265,25 MHz
Escenario 31	0	0	0
Escenario 32	4,232 (nS)	0,5941 (nS)	37,307 MHz
Escenario 33	0	0	0
Escenario 34	0	0	0
Escenario 35	0	0	0
Escenario 36	4,03 (nS)	4,67 (nS)	39,493 MHz
Escenario 37	7,39 (nS)	1,43 (nS)	21,537 MHz
Escenario 38	2,72 (nS)	2,38 (nS)	58,513 MHz
Escenario 39	0	0	0
Escenario 40	3,09 (nS)	0,4436 (nS)	51,506 MHz
Escenario 41	2,91 (nS)	2,783 (nS)	54,692 MHz
Escenario 42	0,5249 (nS)	0,5223 (nS)	303,210 MHz
Escenario 43	0	0	0
Escenario 44	4,1 (nS)	4,16 (nS)	388,182 MHz
Escenario 45	13,43 (nS)	4,88 (nS)	11,851 MHz
Escenario 46	0	0	0
Escenario 47	1,8 (nS)	0,5642 (nS)	88,419 MHz
Escenario 48	0	0	0
Escenario 49	0	0	0
Escenario 50	8,76 (nS)	0,019 (nS)	18,168 MHz
Escenario 51	0	0	0
Escenario 52	0	0	0
Escenario 53	2,879 (nS)	1,66 (nS)	55,45 MHz
Escenario 54	0	0	0
Escenario 55	0,0602 (nS)	0,0566 (nS)	264, 377 MHz

Escenario 56	0	0	0
Escenario 57	0	0	0
Escenario 58	0,45 (nS)	0,4528 (nS)	352,678 MHz
Escenario 59	0,704 (nS)	0,7197 (nS)	226,072 MHz
Escenario 60	0,704 (nS)	0,7197 (nS)	226,072 MHz

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

De acuerdo con los datos estudiados se observó que, el Escenario 44 tuvo el mayor ancho de banda de coherencia equivalente a 388,182 MHz, mientras que, el Escenario 17 su BC fue igual a 8,140 KHz. Por otra parte, existieron ciertos escenarios los cuales se encontraron muy alejados de la antena transmisora, o con demasiadas interferencias, esto ocasionó que, la potencia de las contribuciones sea igual a 0, razón por la cual el valor obtenido en la PDP es 0. Finalmente, en la Tabla 3-3 está el cuadro comparativo entre las tecnologías actuales de comunicaciones móviles.

Tabla 3-3: Resultado obtenido anchos de banda de coherencia

BC Promedio	BC Mayor	Bc Menor	Bc LTE	Bc 5G
70,76 MHz	291,49 MHz	3,891 MHz	20 MHz	400 MHz

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

Como se puede apreciar, el ancho de banda de coherencia obtenido en los escenarios es mayor que el de la tecnología LTE. Sin embargo, este resultado es muy inferior al valor con el que trabaja 5G, razón por la cual se puede decir que el canal es estable.

Finalmente, se obtuvo el cálculo del tiempo de coherencia (T_c) a partir de la Frecuencia *Doppler* (f_d), la cual es igual a:

$$f_d = \frac{v}{\lambda}$$

Ecuación 4-1: Cálculo Frecuencia Doppler

Donde:

- V: Es la velocidad de desplazamiento del móvil, cuyo valor en la investigación ha sido considerado en:
 - 5 km/h (Tiempo promedio de desplazamiento de una persona).
 - 20 km/h (Tiempo promedio de desplazamiento en un medio de transporte).
 - 80 km/h (Tiempo promedio de desplazamiento en carretera).
- λ : Es igual a la velocidad de la luz por la frecuencia de operación.

Con el valor obtenido de la Frecuencia *Doppler* se pudo calcular el valor del tiempo de coherencia mediante la fórmula:

$$T_c = 9/(16\pi f_d)$$

Ecuación 5-1: Cálculo Tiempo de Coherencia

Donde:

T_c = Tiempo de Coherencia

f_d = Frecuencia *Doppler*

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4-3:

Tabla 4-3: Valores obtenidos tiempo de coherencia

Velocidad	Frecuencia de operación	Frecuencia Doppler	Tiempo de coherencia	Tiempo de slot LTE	Tiempo de Slot 5G
5 Km/h	26 GHz	119,6 Hz	1,50 ms	0.5 ms	1 ms
5 Km/h	40 GHz	185 Hz	0,57 ms	0.5 ms	1 ms
5 Km/h	70 GHz	322 Hz	0,55 ms	0.5 ms	1 ms
20 Km/h	26 GHz	481,86 Hz	0,37 ms	0.5 ms	1 ms
20 Km/h	40 GHz	741,33 Hz	0,24 ms	0.5 ms	1 ms
20 Km/h	70 GHz	1297,33 Hz	0,14 ms	0.5 ms	1 ms
80 Km/h	26 GHz	1924 Hz	0,09 ms	0.5 ms	1 ms
80 Km/h	40 GHz	2960 Hz	0,06 ms	0.5 ms	1 ms
80 Km/h	70 GHz	5180 Hz	0,03 ms	0.5 ms	1 ms

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

De acuerdo con los resultados, solo en el primer caso es necesario ajustar el canal para que este sea plano en tiempo, en los demás casos los valores calculados son menores que el Tiempo de *Slot* de 5G. Por lo cual, se demuestra que, en todos los casos, este sí cumple con los parámetros para una comunicación adecuada.

3.4. Análisis de la Función Scattering a 28GHz

Se realiza el análisis de la función Scattering a la frecuencia de 28GHz empleando diferentes velocidades, puesto que esta es la frecuencia que actualmente utiliza la tecnología 5G, también se utilizaron parámetros específicos para la configuración de los materiales de construcción y para los del terreno, especificando concreto en el un caso e ingresando los valores de permitividad y conductividad aproximados del asfalto, para el segundo caso, esto corresponde a la opción de material personalizado.

3.4.1. Análisis de la Función de Scattering para la distancia más cercana

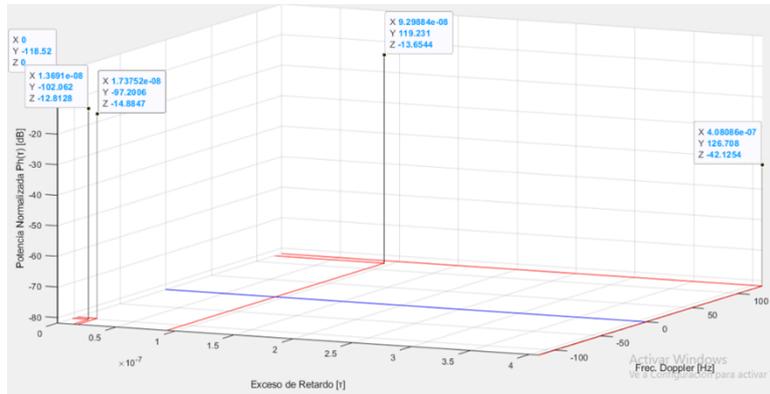


Figura 31-3: Función de Scattering a 5Km/h

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

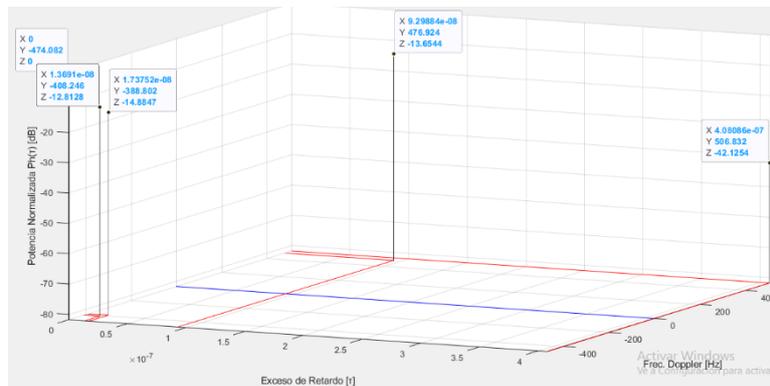


Figura 32-3: Función de Scattering a 20Km/h

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

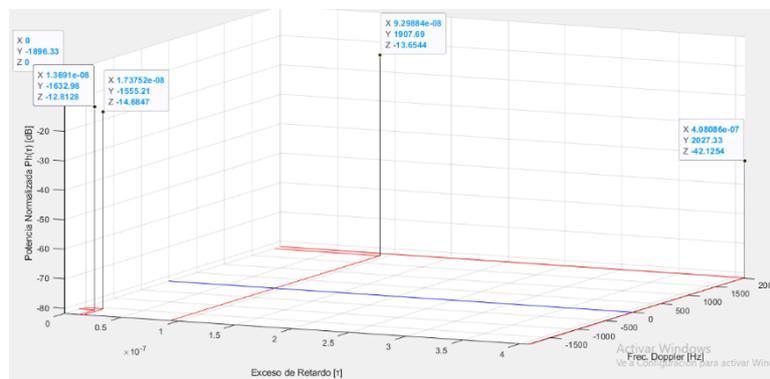


Figura 33-3: Función de Scattering a 80Km/h.

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

En el análisis comparativo que se realiza en las Figuras 31-3, 32-3 y 33-3 para la distancia más cercana, se observa que, durante los retardos, a medida que se aumenta la velocidad, también aumentará la frecuencia Doppler

3.4.2. Análisis de la Función Scattering para la distancia más lejana

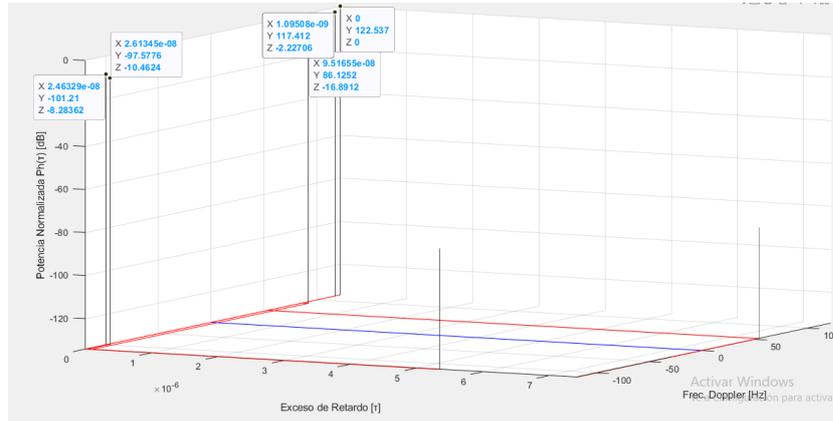


Figura 34-3: Función de Scattering a 5Km/h.

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

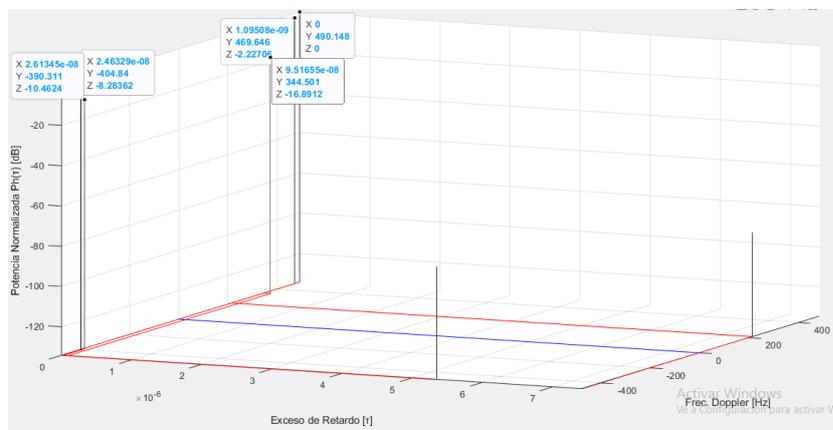


Figura 35-3: Función de Scattering a 20Km/h.

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

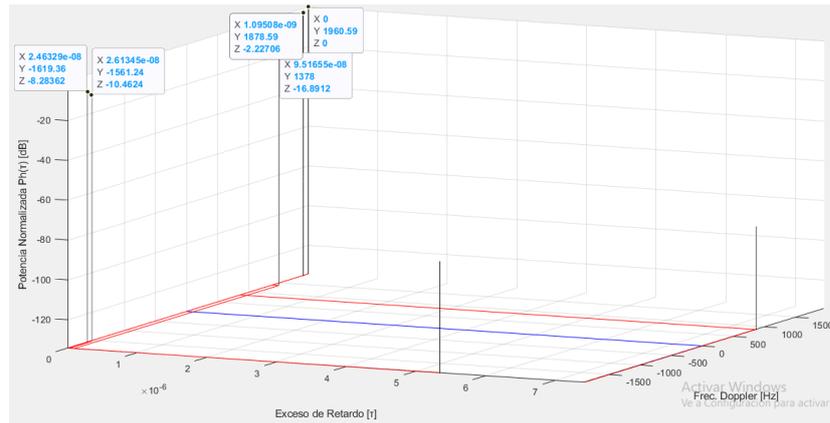


Figura 36-3: Función de Scattering a 80Km/h.

Realizado por: Domínguez Myriam, 2022

En las Figuras 34-3, 35-3 y 36-3 los valores son directamente proporcionales entre el nivel de potencia y la frecuencia doppler, a medida que el nivel de potencia disminuye, la frecuencia doppler también; y es inversamente proporcional entre la velocidad y la frecuencia doppler durante los retardos, a medida que la velocidad aumenta las frecuencias disminuyen.

CONCLUSIONES

- La investigación acerca de los métodos y técnicas para caracterización de canales móviles fueron realizadas en diferentes puntos con frecuencias de operación superiores a los 24 GHz, el cual es la frecuencia de operación mínima de las ondas mmWave para velocidades ultra rápidas en redes 5G.
- La realización de simulaciones mediante el *software* 5G New Radio, permitió la observación de los lóbulos de radiación, al igual que cada una de las contribuciones obtenidas en la comunicación 5G de forma visual y basada en las características del Centro Histórico de Quito, esto ayudó al entendimiento del comportamiento de las señales en una comunicación móvil.
- Al determinar el *Power Delay Profile* (PDP) en los diferentes escenarios planteados se obtuvieron como resultado Anchos de Banda de Coherencia equivalentes a 0 en ciertos espacios de prueba, esto debido a diversos factores como es el caso de la distancia o los obstáculos que no permitieron la recepción de la señal.
- Los valores obtenidos de ancho de banda de coherencia para las distancias más lejana y la más cercana demuestran que el canal en ciertas ubicaciones presenta un comportamiento plano y en otras este es variable, por lo que en el sistema completo se debe implementar ecualización de canal, al igual que los resultados de los tiempos de coherencia indican que el canal requiere de procesos de ecualización.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable, hacer un estudio comparativo con los rangos de frecuencias para mmWave en los que trabaja la red 5G, y de esta forma obtener resultados más amplios acerca del comportamiento del PDP en cuanto a dicha tecnología móvil.
- Se exhorta a realizar la caracterización de canal radio para diferentes escenarios de Ecuador y América Latina, cuyo entorno y materiales de construcción son diferentes a los utilizados en Norte América y Europa.
- Se aconseja tener en cuenta, para el cálculo de las pérdidas de propagación, con diferentes tipos de materiales para las construcciones presentes en el escenario

BIBLIOGRAFÍA

ALDÁS, Edison. *Las tecnologías de telecomunicaciones y su incidencia en las comunicaciones móviles dentro de los predios de la fundación nuestra señora de Guadalupe en la ciudad de Ambato* [En línea] (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato- Ecuador. 2011. pp. 1-105. [Consulta: 2021-09-30]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30/1/t591m.pdf>

ANCHUNDIA, Jorge., ANCHUNDIA, Juan. & CHERE, Byron. La tecnología 5G en el Ecuador. Un análisis desde los requerimientos 5G. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional* [en línea], 2020, (Ecuador) 5 (2), pp. 805-822. [Consulta: 2021-09-30]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7435304>

ARANDA, Juan., SACOTO, Erwin., HARO, Daniel. & ASTUDILLO, Fabián. Redes 5G: una revisión desde las perspectivas de arquitectura, modelos de negocio, ciberseguridad y desarrollos de investigación. *Novasinerгия* [en línea], 2021, (Ecuador) 4 (1), pp. 6-41. [Consulta: 2021-09-16]. Disponible en: <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rns/v4n1/2631-2654-rns-4-01-00006.pdf>

ARTILES, Jesús. & ECHENIQUE, Pablo. Tendencias actuales de las comunicaciones satelitales y su importancia en las redes móviles de 5 generación (5G). *Revista Telemática* [en línea], 2018, (Cuba) 17 (3), pp. 65-73. [Consulta: 2021-09-16]. Disponible en: <https://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/319/289>

ARIZACA, Dennis. *Diseño de antenas en banda de frecuencias milimétricas para sistemas de comunicaciones 5G* [En línea] (Tesis de posgrado). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia- España. 2021. pp. 1-40. [Consulta: 2021-09-16]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/174418/Arizaca%20-%20Diseno%20de%20antenas%20en%20banda%20de%20frecuencias%20milimetricas%20para%20sistemas%20de%20comunicaciones...pdf?sequence=1&isAllowed=y>

BANDABASE. *El efecto Doppler en las telecomunicaciones.* [En línea]. 2015 [Consulta: 2021-09-30]. Disponible en: <https://bandabase.com/el-efecto-doppler-en-las-telecomunicaciones/>

CUMANDÁ, Paulina. *Estudio de los canales con desvanecimiento sobre redes fijas y móviles en sistemas de radio y comunicación* [En línea] (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador. 2009. pp. 1- 187. [Consulta: 2021-09-30]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1455/1/CD-2729.pdf>

DATTA. *5 años de su lanzamiento, LTE es la principal tecnología móvil en Ecuador.* [En línea]. 2019 [Consulta: 2021-09-30]. Disponible en: <https://datta.com.ec/articulo/a-5-anos-de-su-lanzamiento-lte-es-la-principal-tecnologia-movil-en-ecuador>

DATTA. *CNT anuncia que primera red 5G se instalará en Ecuador.* [En línea]. 2021 [Consulta: 2021-09-30]. Disponible en: <https://datta.com.ec/articulo/cnt-anuncia-que-primera-red-5g-se-instalara-en-ecuador>

DÍAZ, Juliet, PÉREZ, Adrina. & FLORIDO, René. Impacto de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) para disminuir la brecha digital en la sociedad actual. *Cultrop* [en línea], 2011, (La Habana) 13 (1), pp. 81-90. [Consulta: 2021-09-16]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v32n1/ctr09111.pdf>

ERAZO, Diego. & OROZCO, Andrés. *Determinación de las ventajas y desventajas de la nueva generación 5G de internet en Colombia* [En línea] (Tesis de pregrado). Fundación Universitaria Católica- Lumen Gentium, Cali- Colombia. 2016. pp. 1-11. [Consulta: 2021-09-30]. Disponible en: <https://repository.unicatolica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12237/755/FUCLG0015755.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GARCÍA, Juan., MOLINA, José. & LLÁCER, Leandro. *Sistemas de Comunicaciones Móviles. Caracterización del Canal Móvil.* Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2014, pp. 1-154.

GARCÍA, Jorge. & TIGRERO, Ricardo. *5G en el Ecuador: Análisis y diseño de la infraestructura para dar soporte al ecosistema de 5G en el Ecuador* [En línea] (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil- Ecuador. 2017. pp. 1-55. [Consulta: 2021-09-30]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/44710/D-CD106456.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>

GONZÁLEZ, Carlos. *Desafíos de Seguridad en Redes 5G.* [En línea]. 2019 [Consulta: 2021-09-16]. Disponible en: <https://jadimike.unachi.ac.pa/bitstream/handle/123456789/132/paper%20technology%20inside.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GORRICHIO, Juan., ROJAS, A. & PARADELLS, Josep. Power control at the combiner output to maximize the uplink capacity on a cellular spread spectrum system. *IEEE Communications Letters* [en línea], 1998, (Estados Unidos) 2 (10), pp. 273- 275. [Consulta: 2021-09-30]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/725221>

HERNANDO, José., MENDO, Luis. & RIERA, José. *Comunicaciones móviles* 3ª ed. Madrid: Centro de estudio Ramón Areces, S.A, 2015, pp. 1-720.

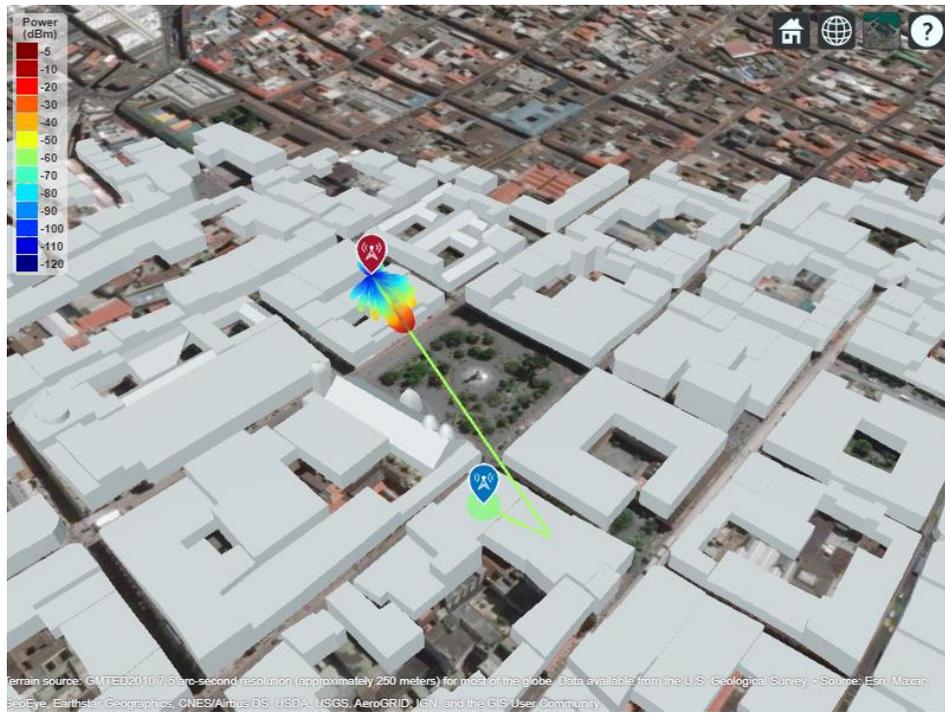
LÓPEZ, Carlos. *5G: más conexiones, más rápidas y con mayor cobertura.* [En línea]. 2020 [Consulta: 2021-09-16]. Disponible en: <https://theconversation.com/5g-mas-conexiones-mas-rapidas-y-con-mayor-cobertura-149577>

- MASTERMOVILES.** *Sistemas de telefonía y comunicaciones móviles.* [En línea]. 2021 [Consulta: 2021-09-16]. Disponible en: <https://mastermoviles.gitbook.io/tecnologias2/sistemas-de-telefonía-y-comunicaciones-moviles>
- NIETO, ESTEBAN.** *Tipos de investigación.* [En línea]. 2018 [Consulta: 2021-09-30]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/250080756.pdf>
- PÉREZ, John. & NIETO, Johan.** *La investigación documental como sustento de la investigación social y educativa.* Bogotá: USTA, 2020, pp. 1-136.
- REYES, José.** *Caracterización experimental y modelado del canal de propagación inalámbrico a 5.8 GHz en entornos marinos* [En línea] (Tesis doctoral). Universidad de Cádiz, Cádiz- España. 2013. pp. 1- 241. [Consulta: 2021-09-30]. Disponible en: <https://rodin.uca.es/handle/10498/15399>
- THALES.** *Presentando la tecnología y redes 5G (definición, características, 5G vs 4G y casos de uso).* [En línea]. 2021 [Consulta: 2021-09-16]. Disponible en: <https://www.thalesgroup.com/es/countries/americas/latin-america/dis/movil/inspiracion/5g>
- 4NETONLINE.** *5G: Lo que debes saber.* [En línea]. 2021 [Consulta: 2021-09-16]. Disponible en: <http://www.4netonline.com/ws/5g-lo-que-debes-saber/>
- VIAVISOLUTIONS.** *Arquitectura de la tecnología 5G.* [En línea]. 2021 [Consulta: 2021-09-16]. Disponible en: <https://www.viavisolutions.com/es-es/arquitectura-de-la-tecnología-5g>
- PÉREZ, Susana.** *El sistema de comunicaciones móviles de próxima generación 5G y su caso de uso IoT* [En línea] (Tesis de posgrado). Universitat Oberta de Catalunya, Barcelona- España. 2019. pp. 1-89. [Consulta: 2021-09-16]. Disponible en: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/90205/6/supermantillaTFM0119memoria.pdf>
- REMMERT, Harald.** *¿Qué es la arquitectura de red 5G?* [En línea]. 2021 [Consulta: 2021-09-16]. Disponible en: <https://es.digi.com/blog/post/5g-network-architecture#:~:text=El%20n%C3%BAcleo%205G%20utiliza%20una,se%20muestra%20en%20el%20diagrama>
- ZHANG, Keith.** *Channel Characterization, in Wireless Communications: Principles, Theory and Methodology.* Estados Unidos: Wiley, 2015, pp.37-69.

ANEXOS

ANEXO A: TRAZADO DE RAYO DE ESCENARIOS 1 AL 10

Escenario 1



Escenario 2



Escenario 3



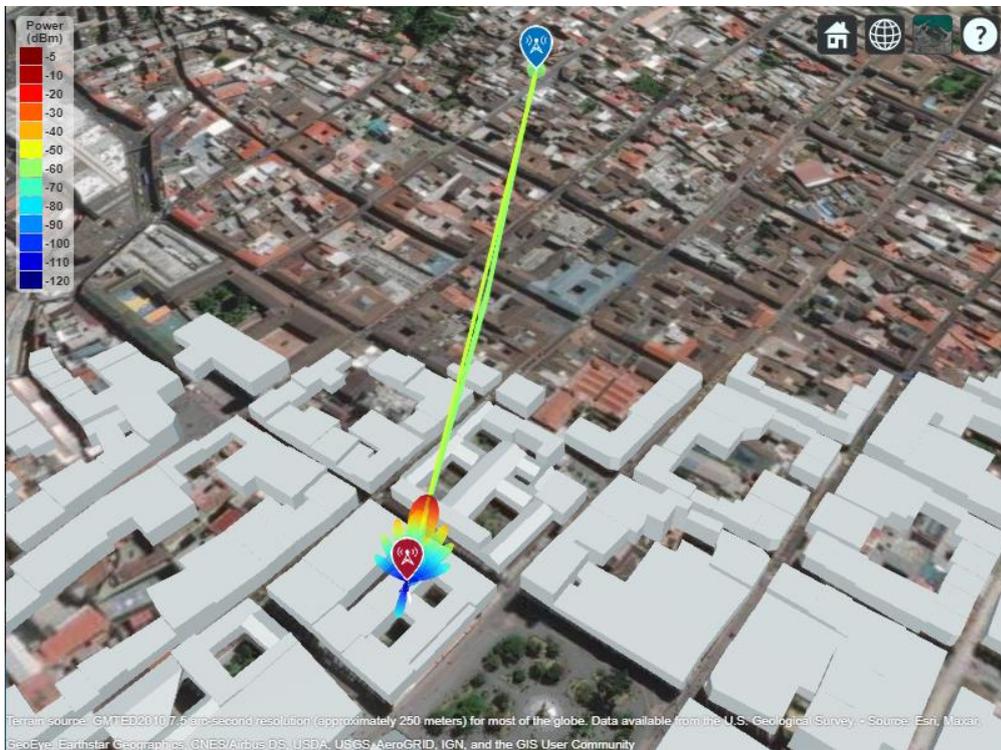
Escenario 4



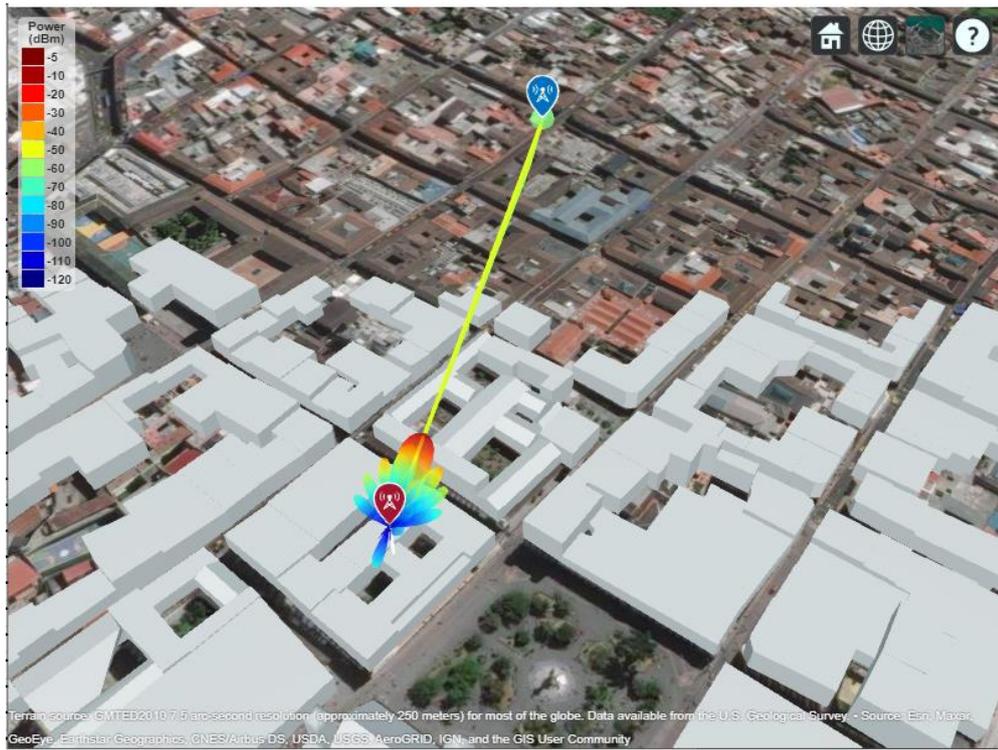
Escenario 5



Escenario 6



Escenario 7



Escenario 8



Escenario 9



Escenario 10



ANEXO B: TRAZADO DE RAYO DE ESCENARIOS 11 AL 20

Escenario 11



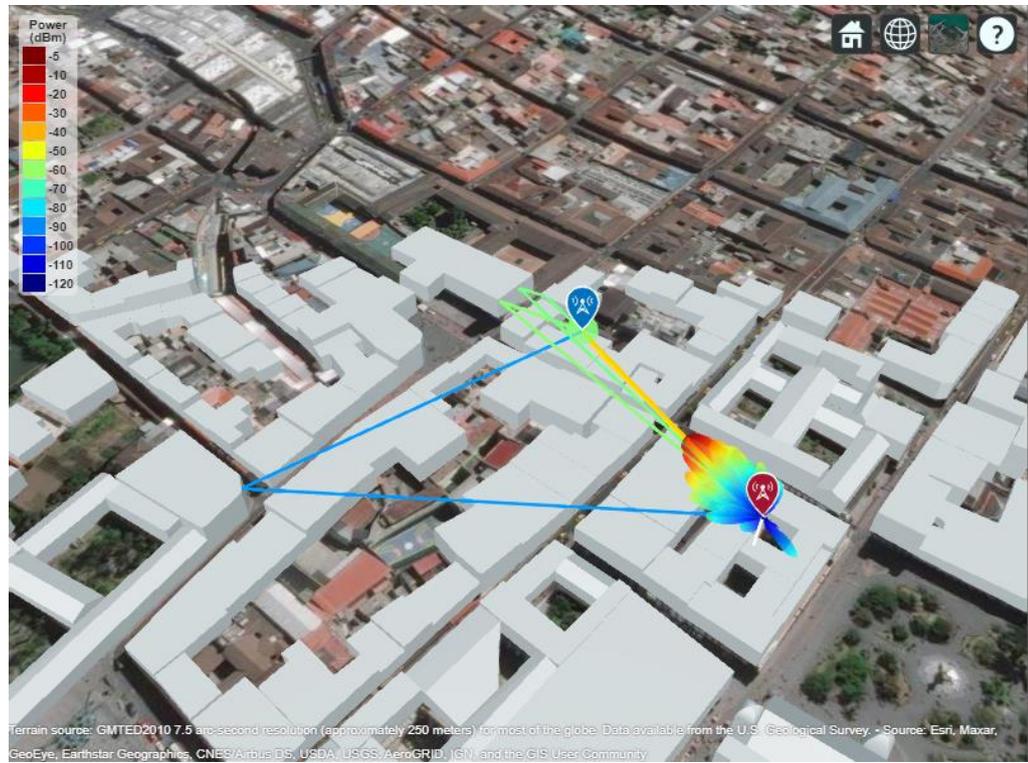
Escenario 12



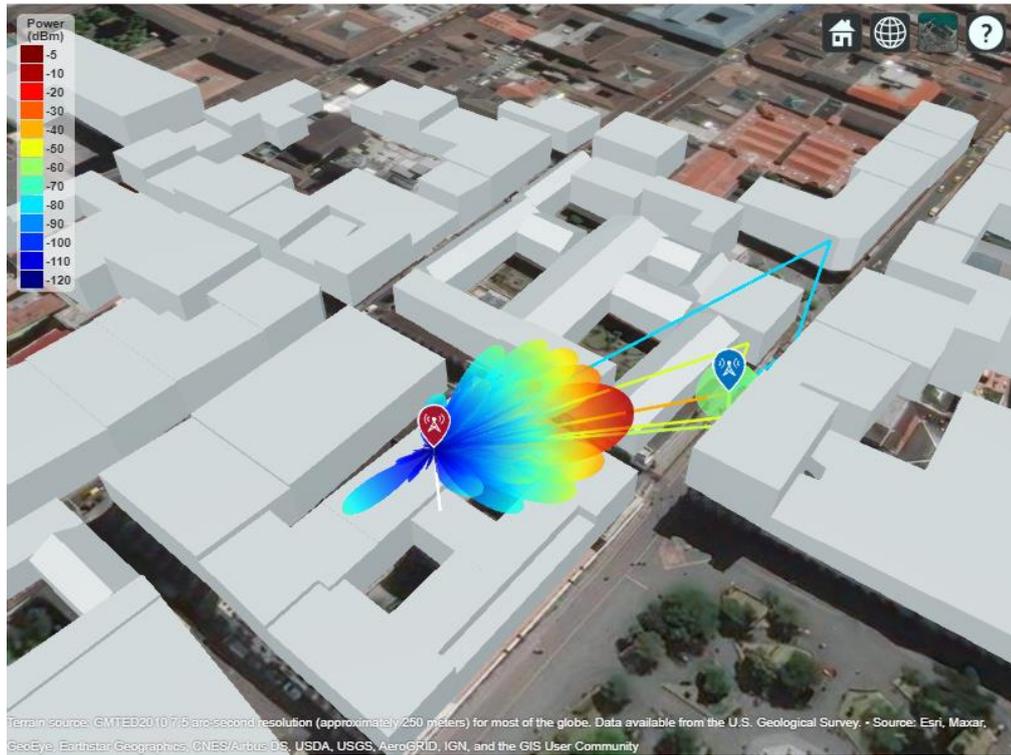
Escenario 13



Escenario 14



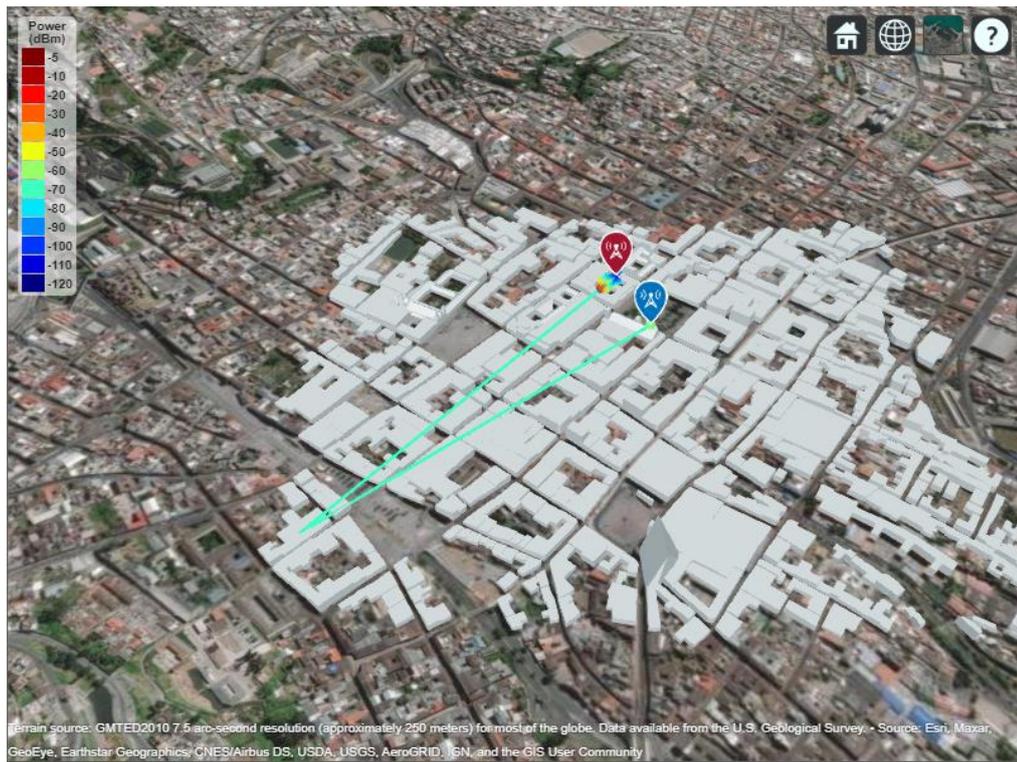
Escenario 15



Escenario 16



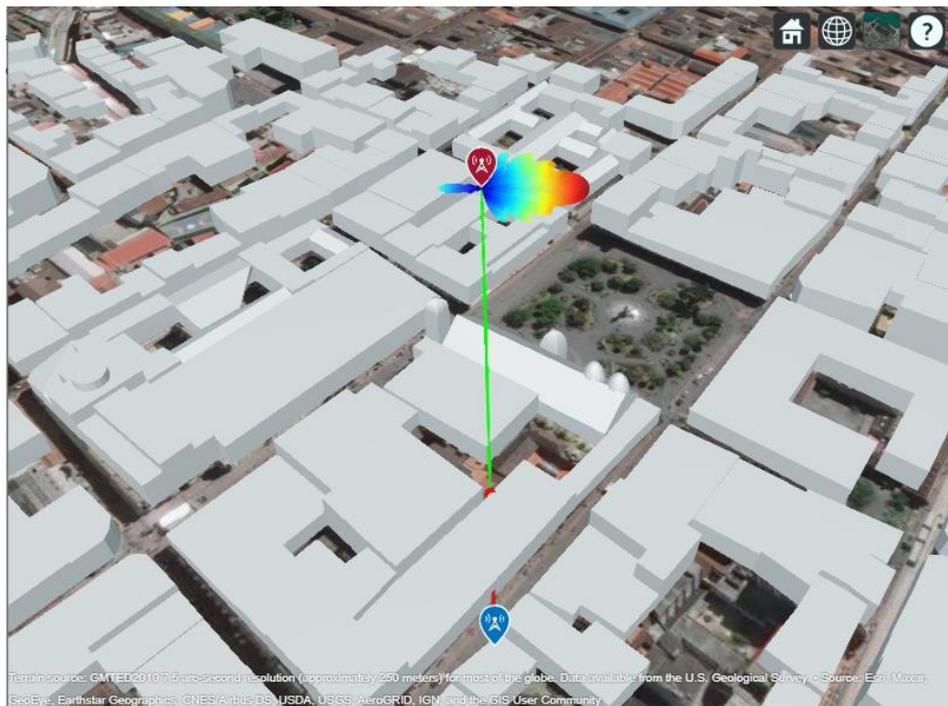
Escenario 17



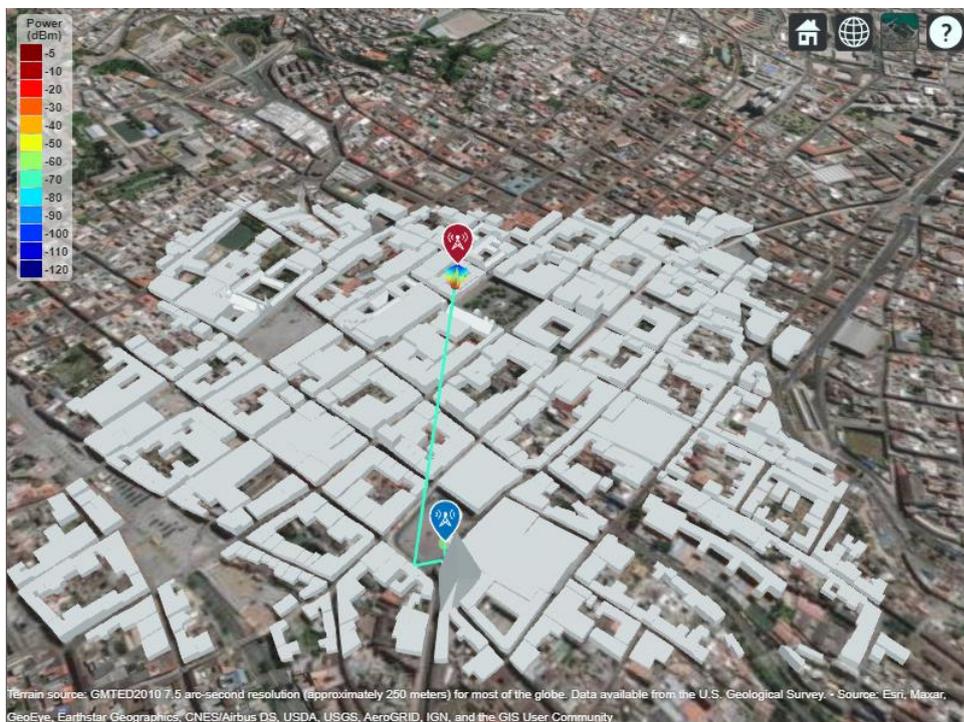
Escenario 18



Escenario 19



Escenario 20

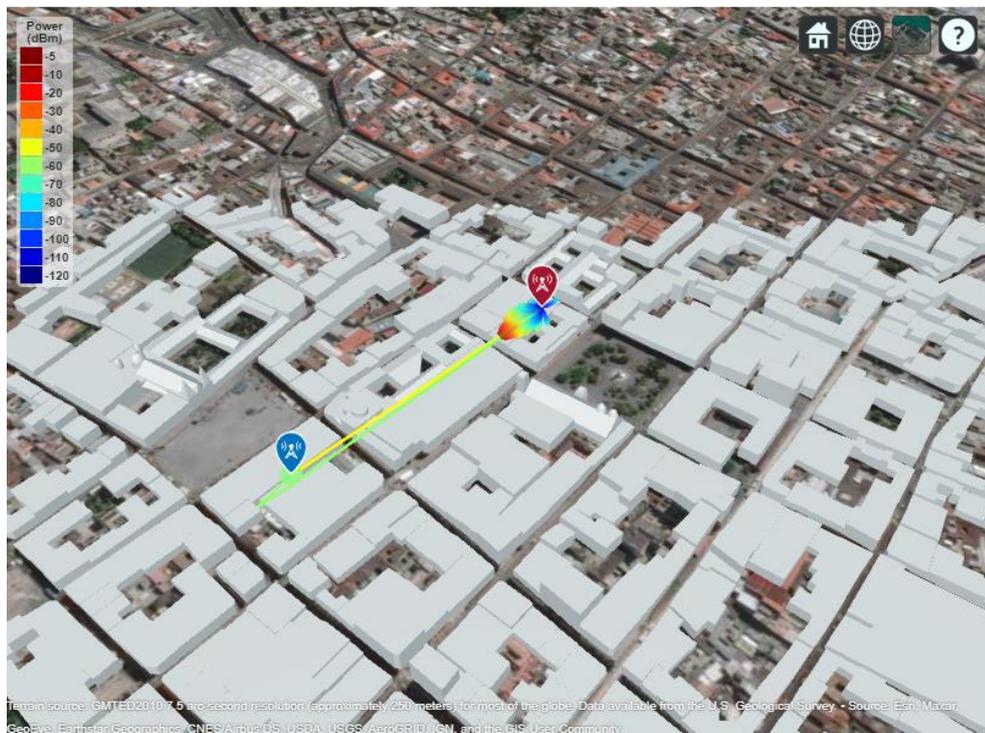


ANEXO C: TRAZADO DE RAYO DE ESCENARIOS 21 AL 30

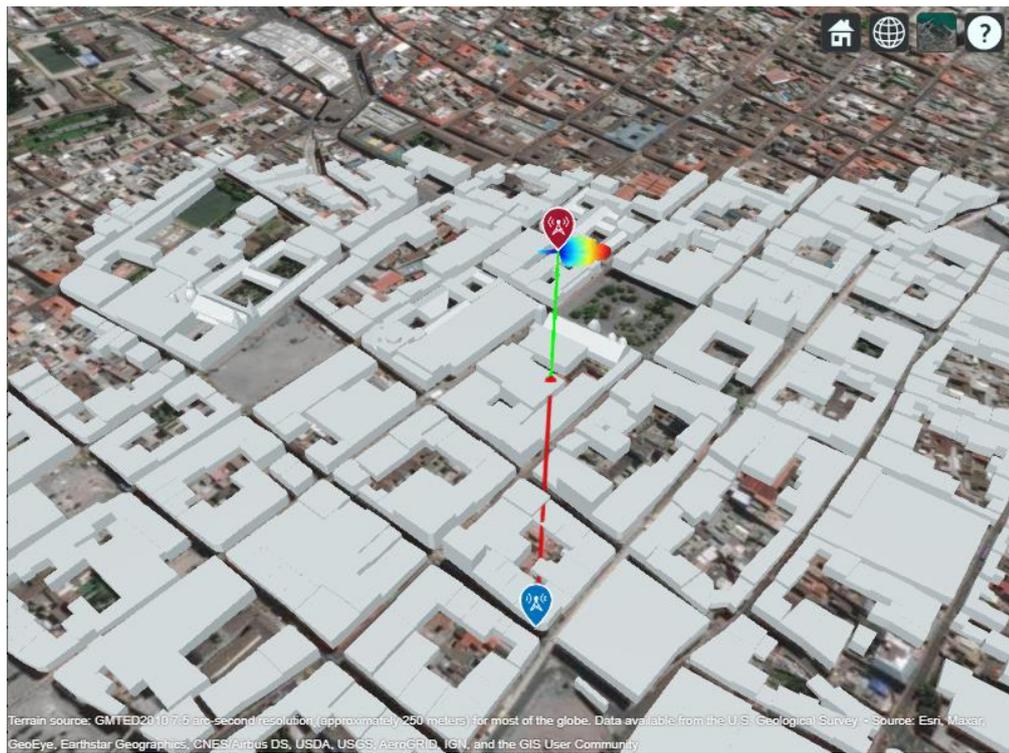
Escenario 21



Escenario 22



Escenario 23



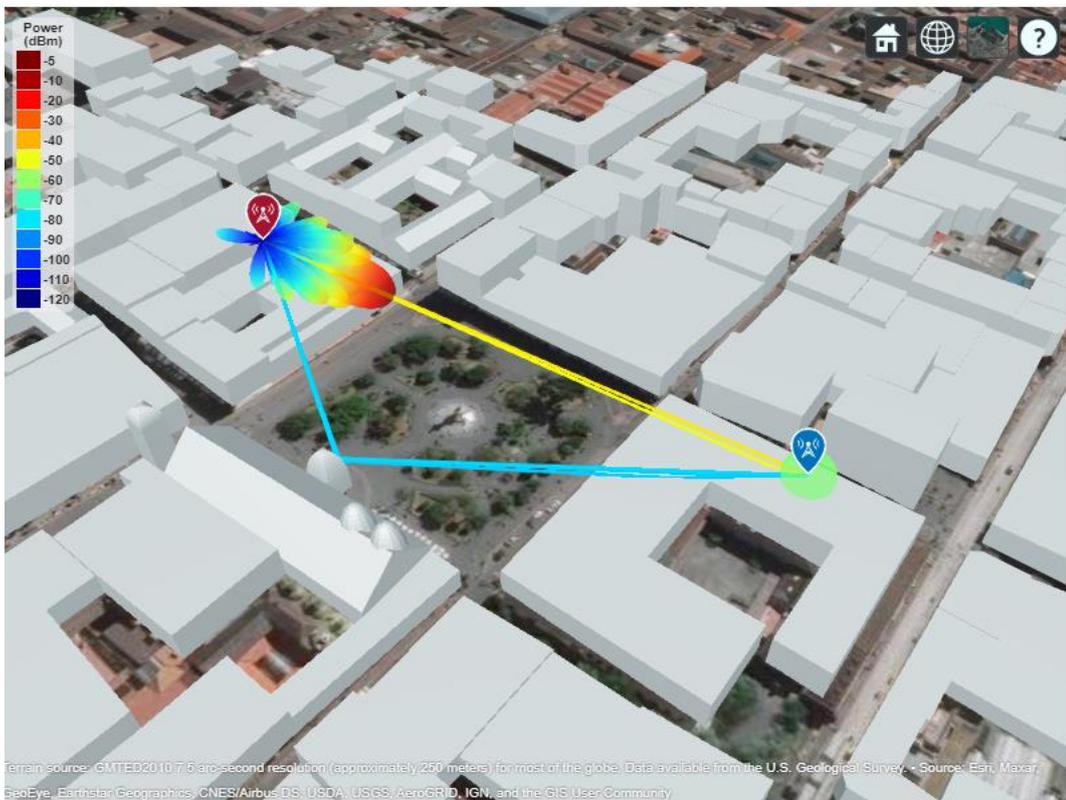
Escenario 24



Escenario 25



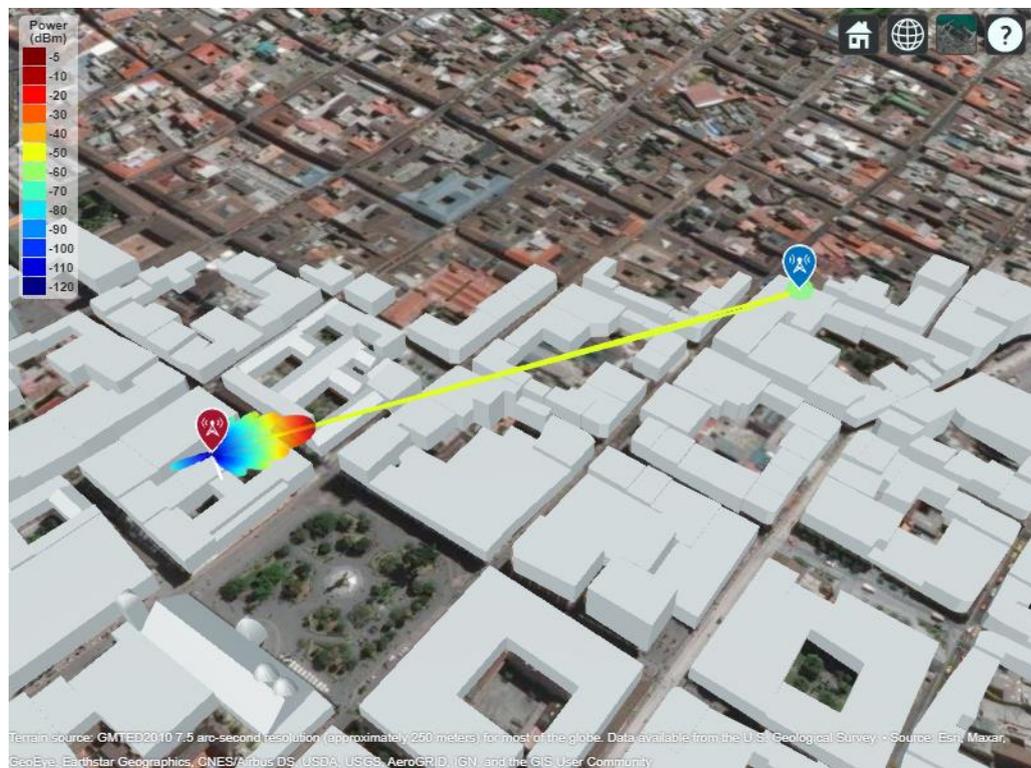
Escenario 26



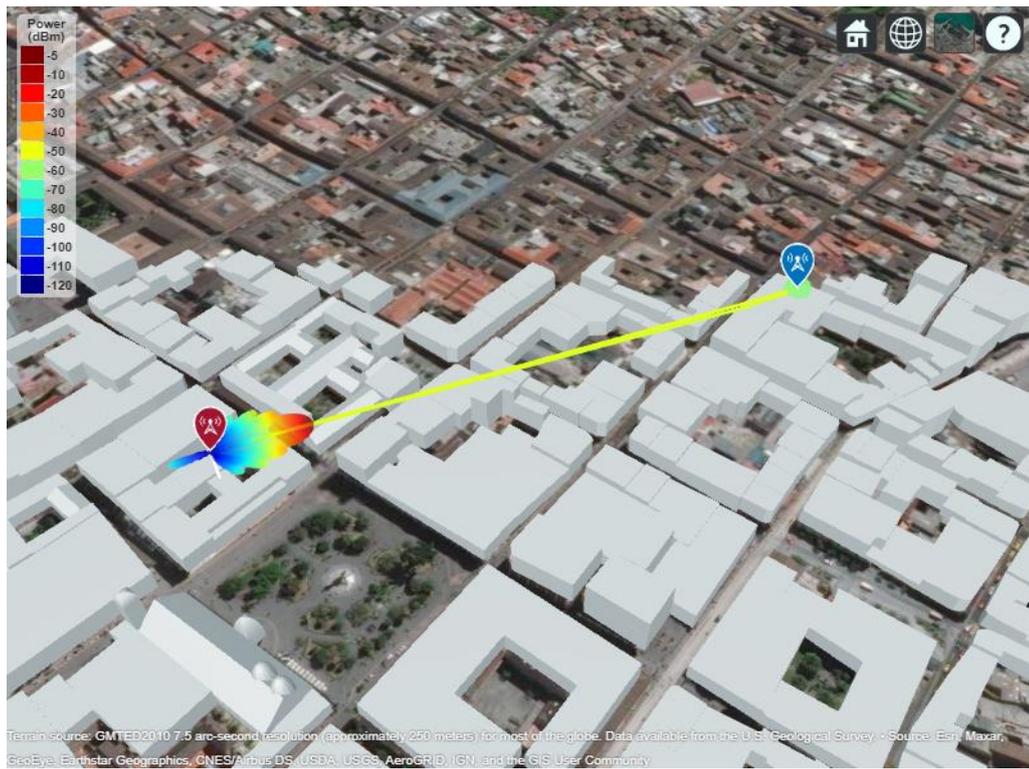
Escenario 27



Escenario 28



Escenario 29

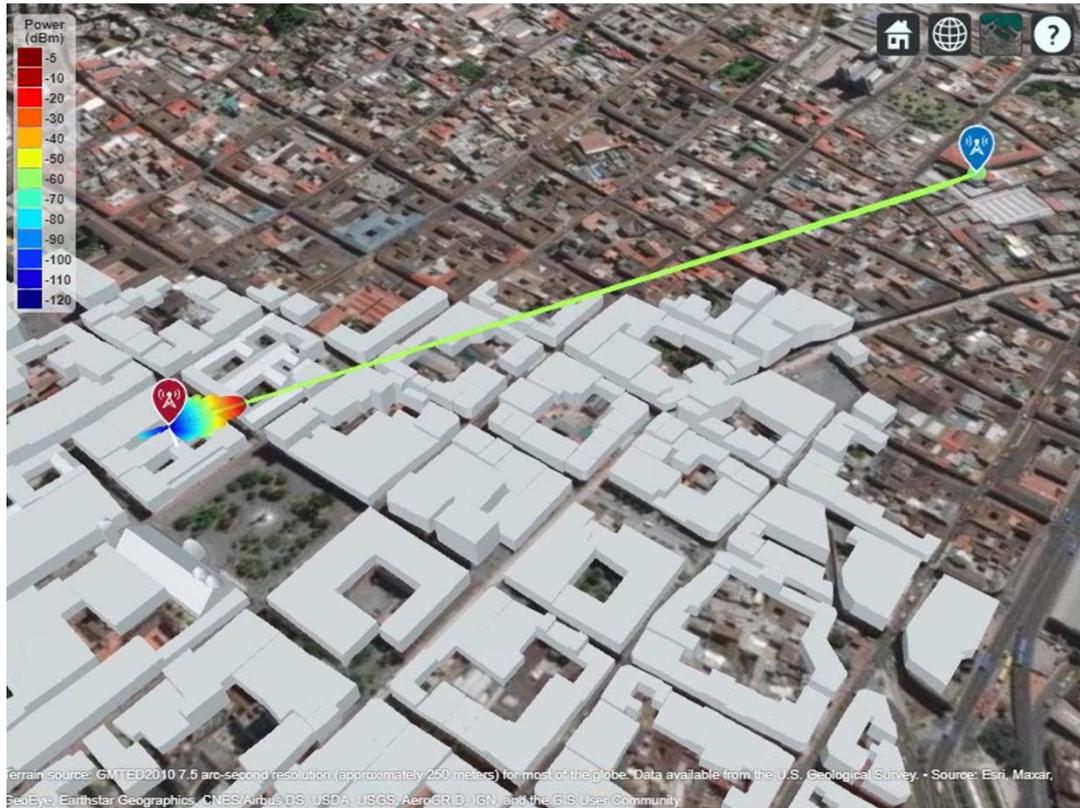


Escenario 30

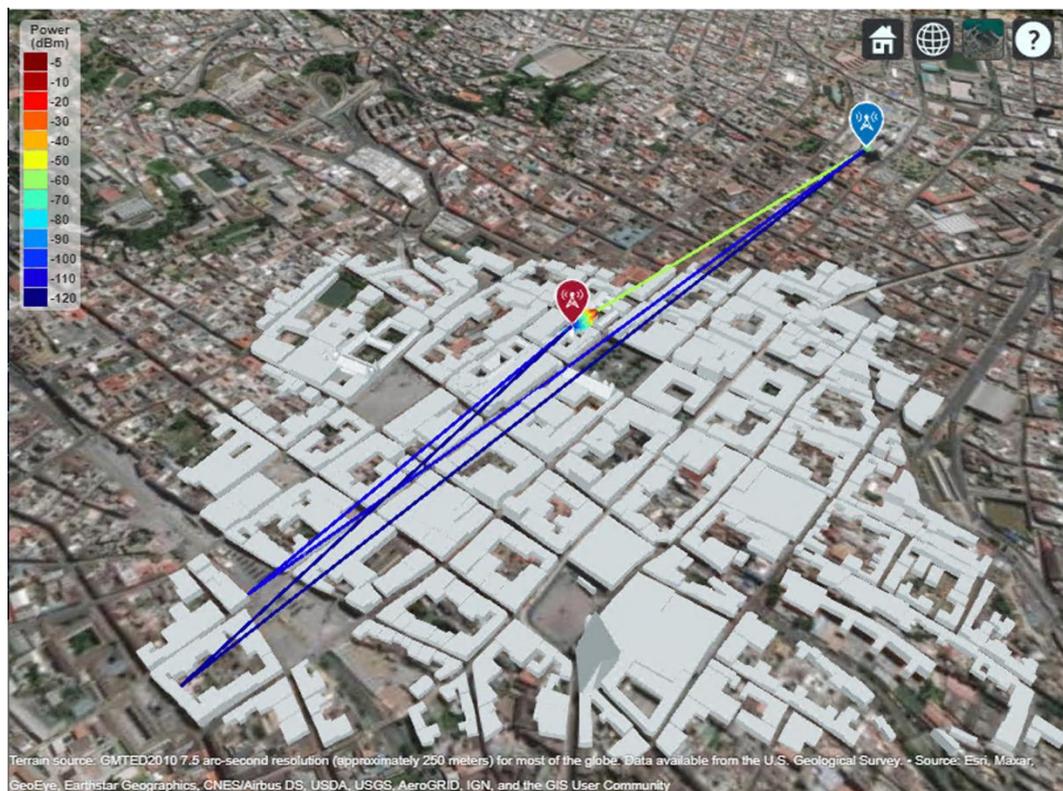


ANEXO D: TRAZADO DE RAYO DE ESCENARIOS 31 AL 40

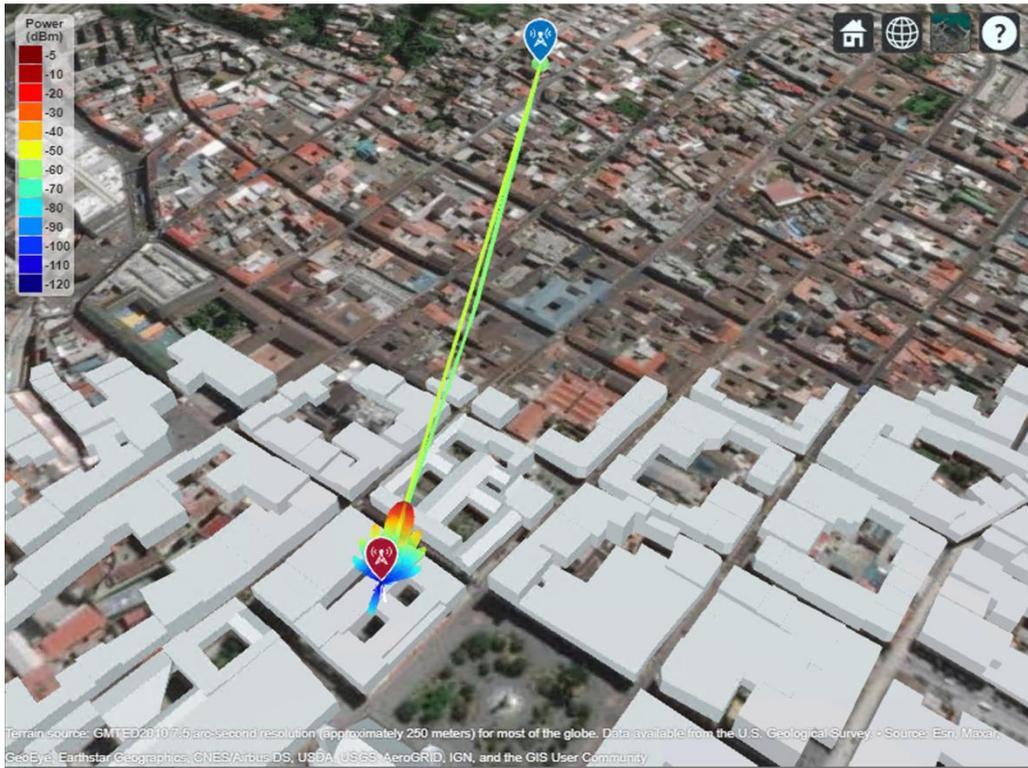
Escenario 31



Escenario 32



Escenario 33



Escenario 34



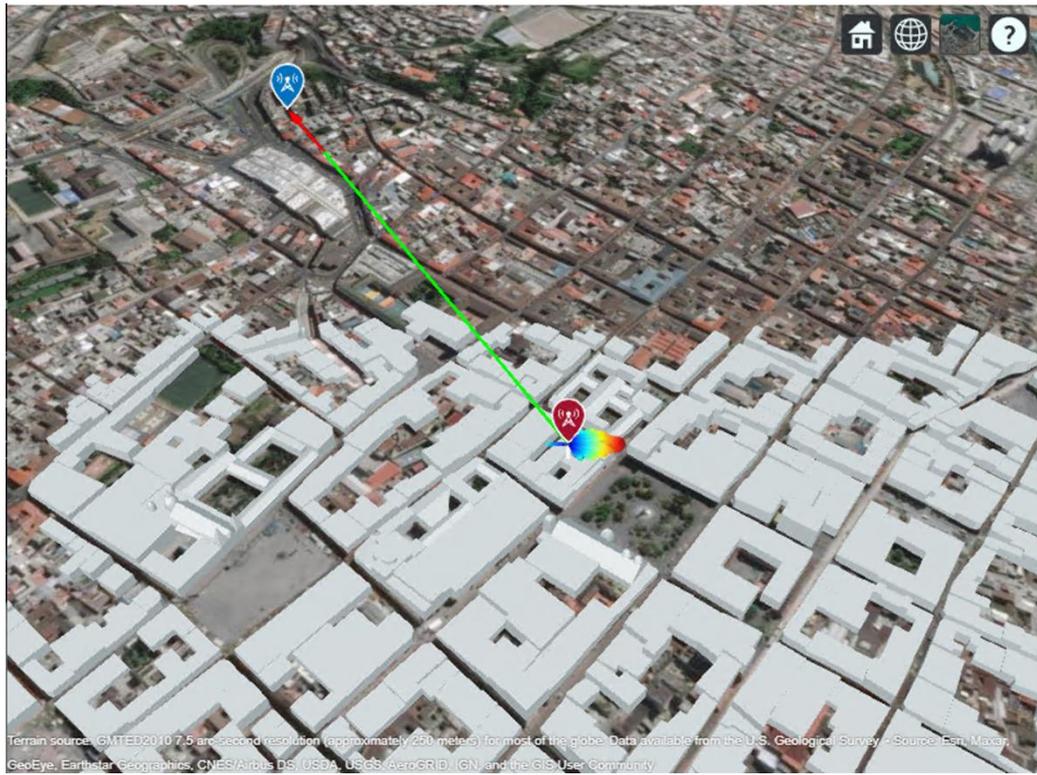
Escenario 35



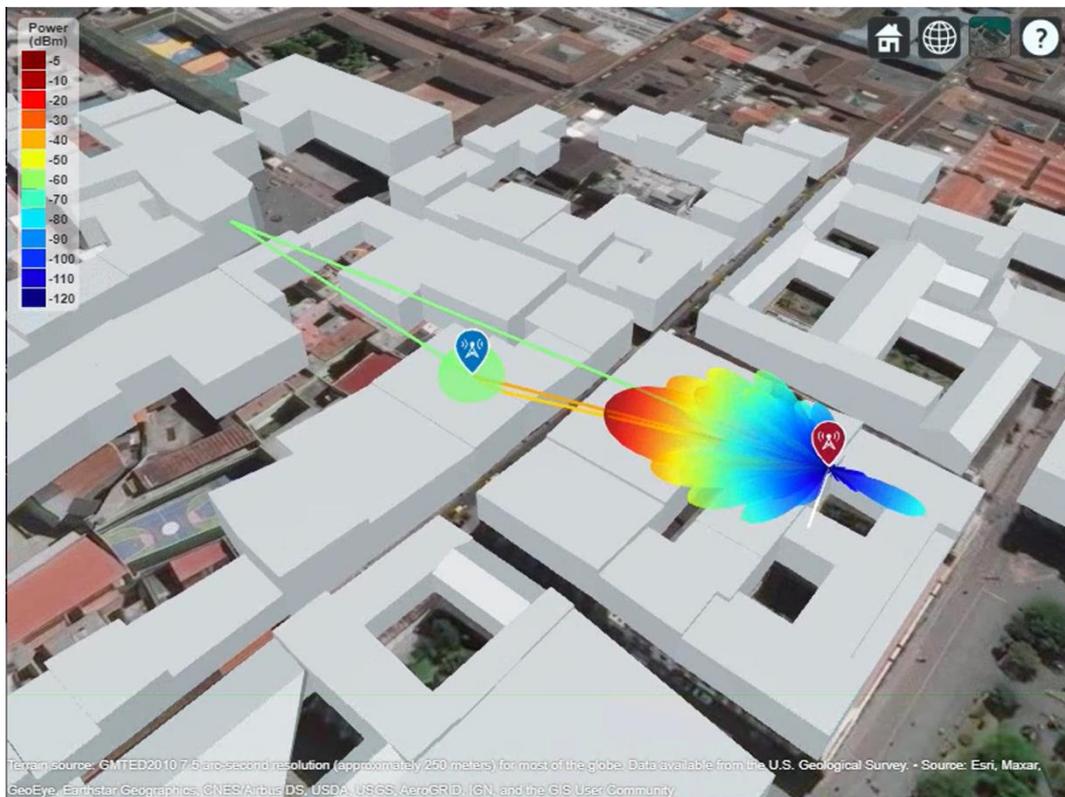
Escenario 36



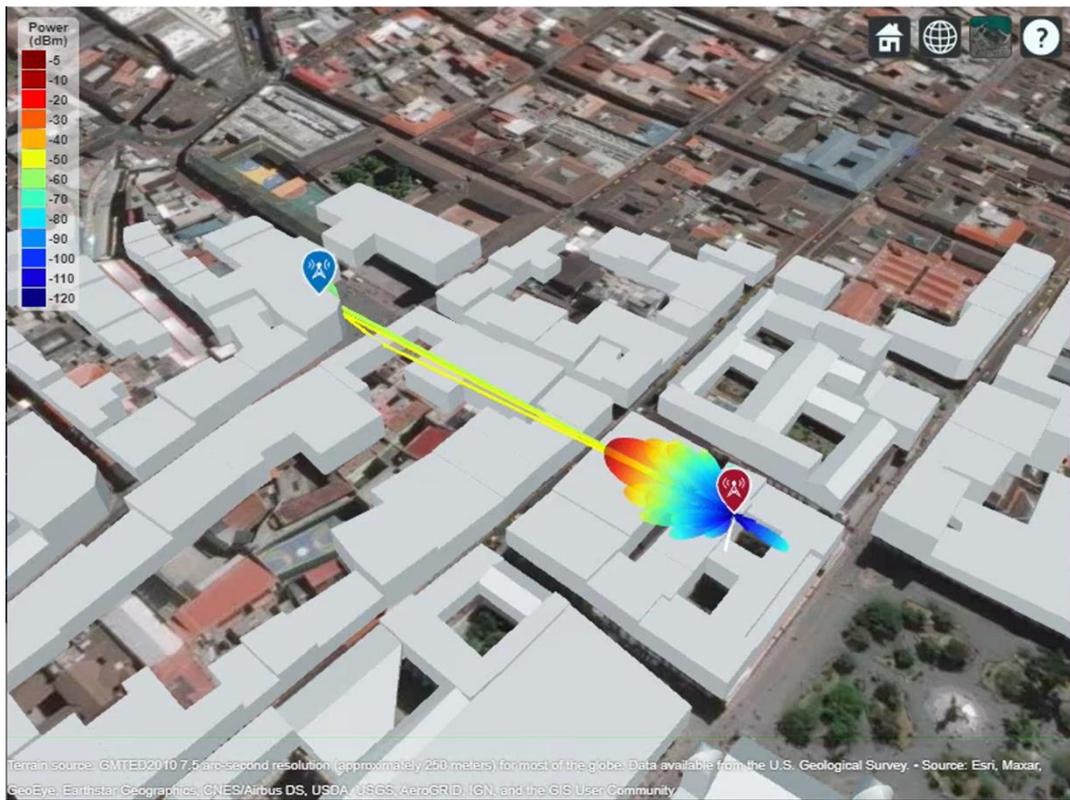
Escenario 37



Escenario 38



Escenario 39

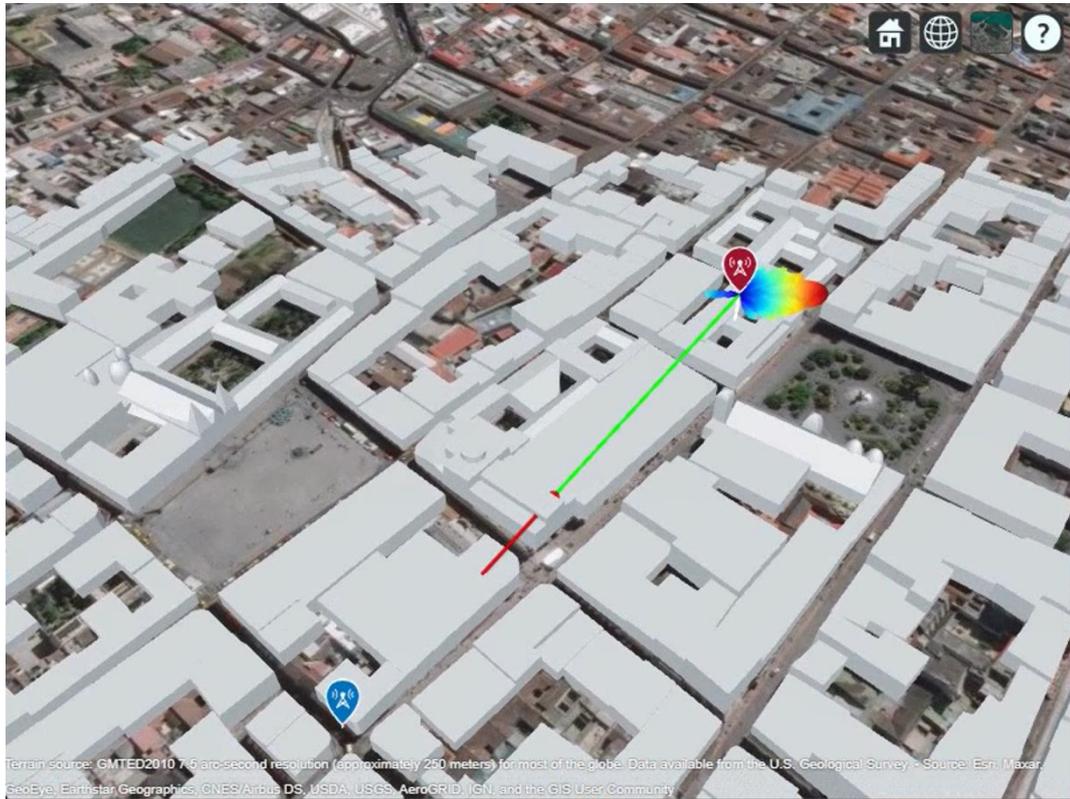


Escenario 40

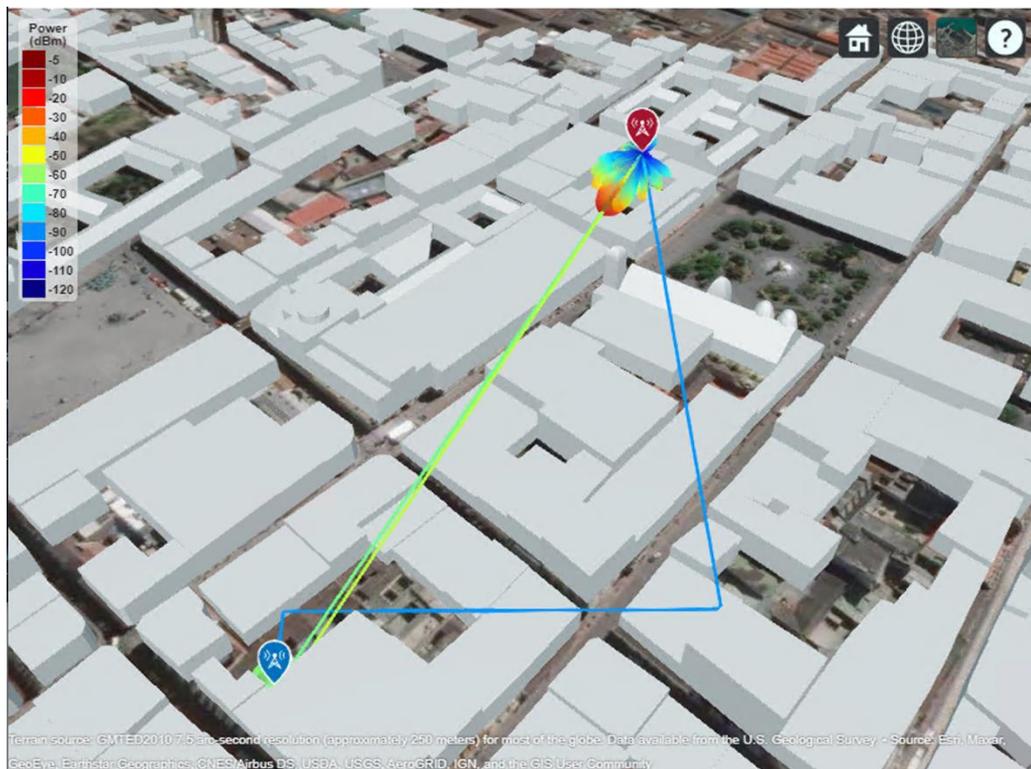


ANEXO E: TRAZADO DE RAYO DE ESCENARIOS 41 AL 50

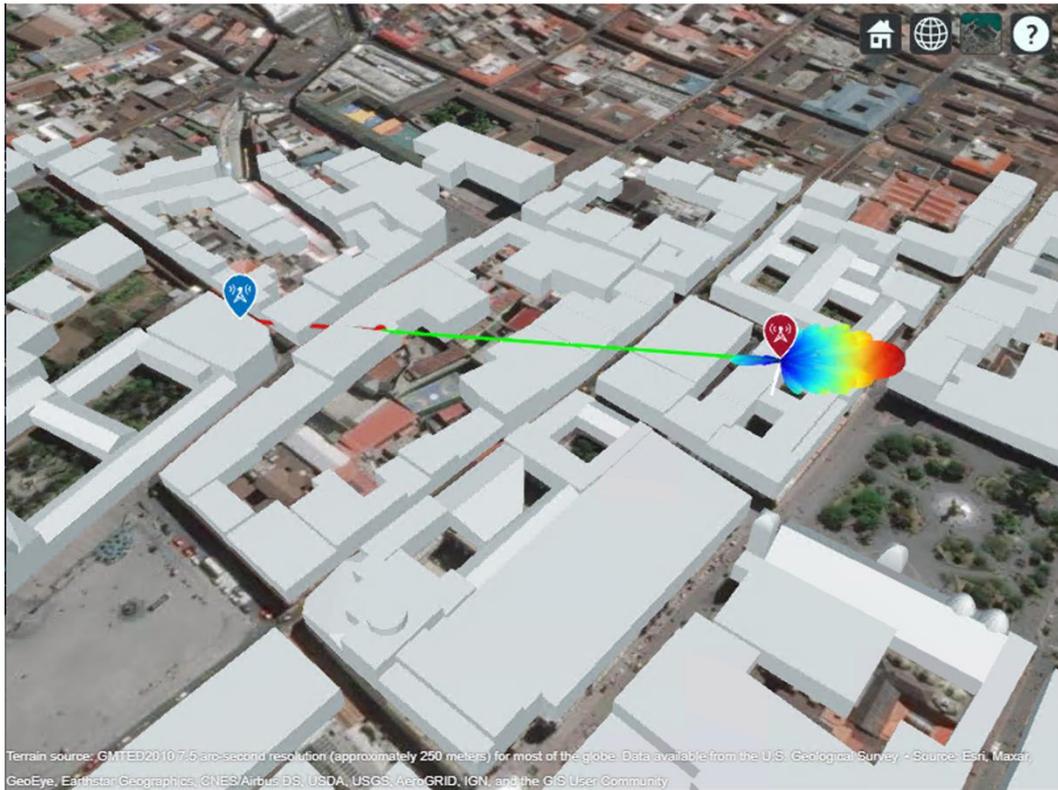
Escenario 41



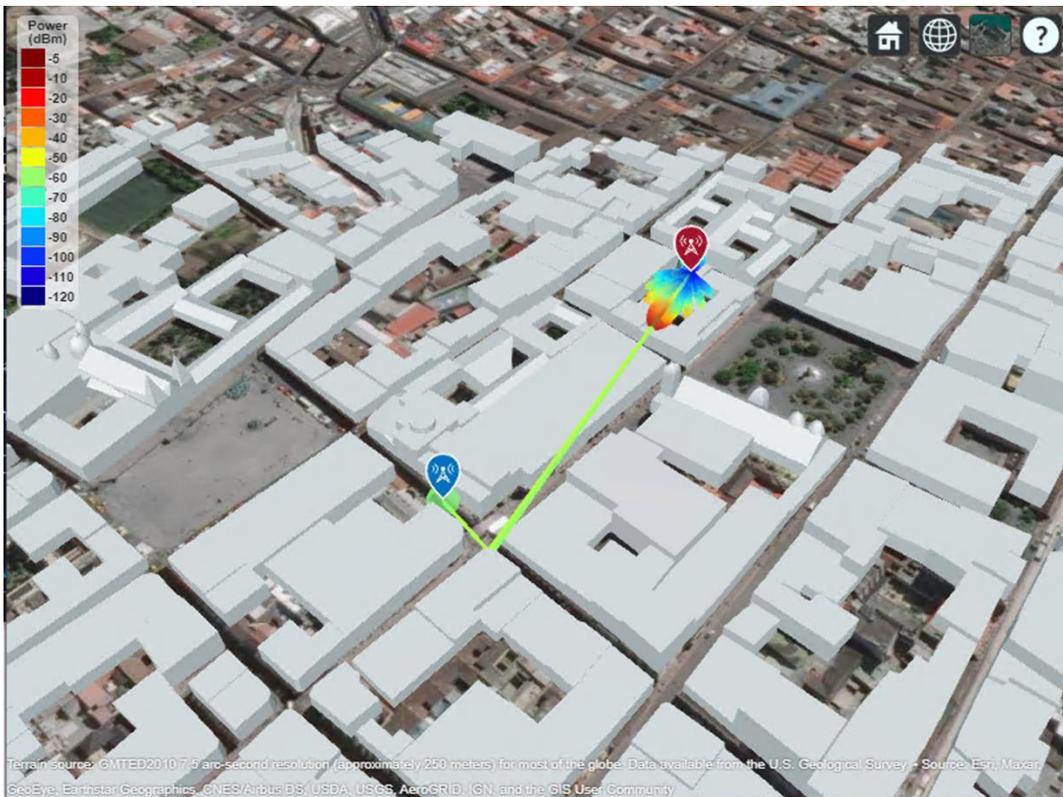
Escenario 42



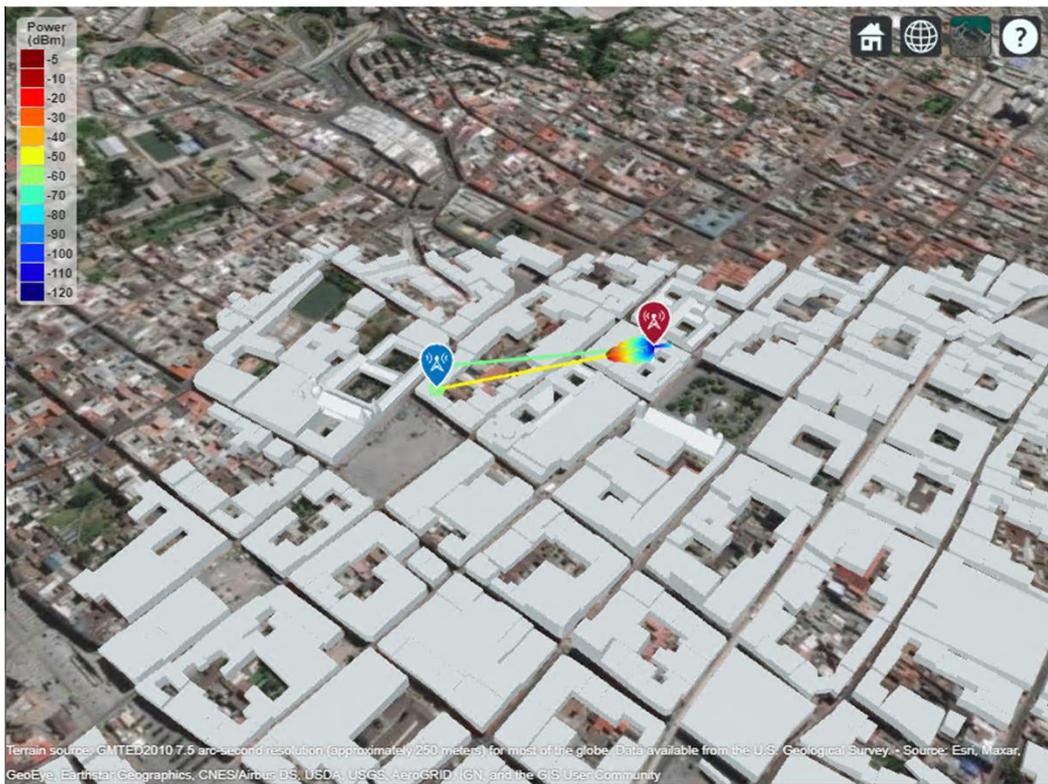
Escenario 43



Escenario 44



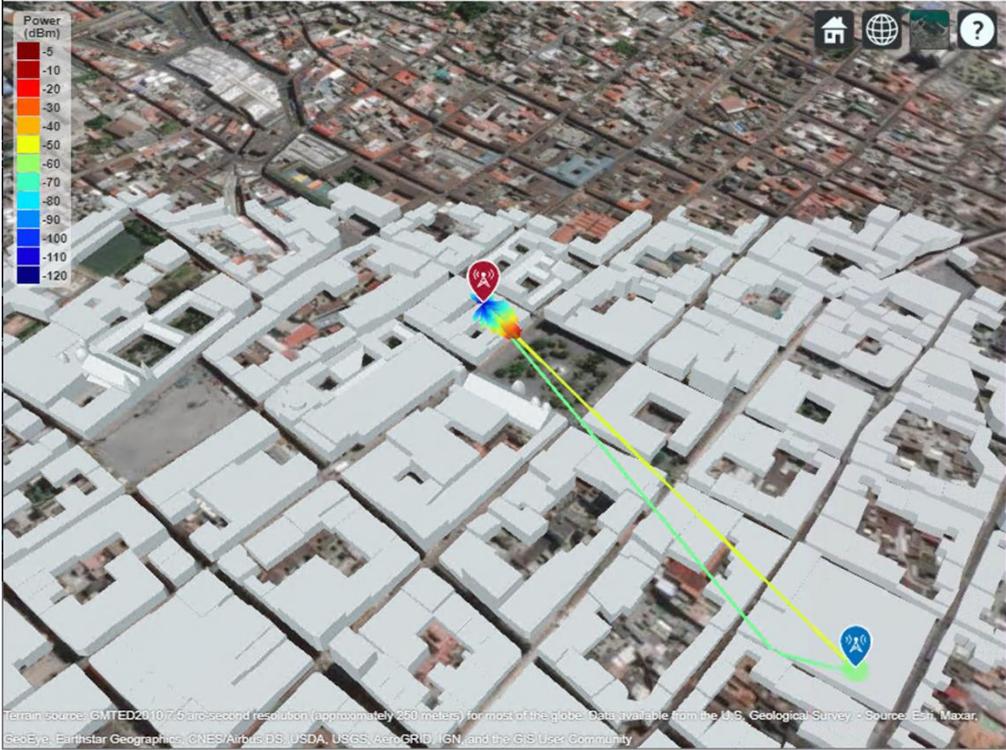
Escenario 45



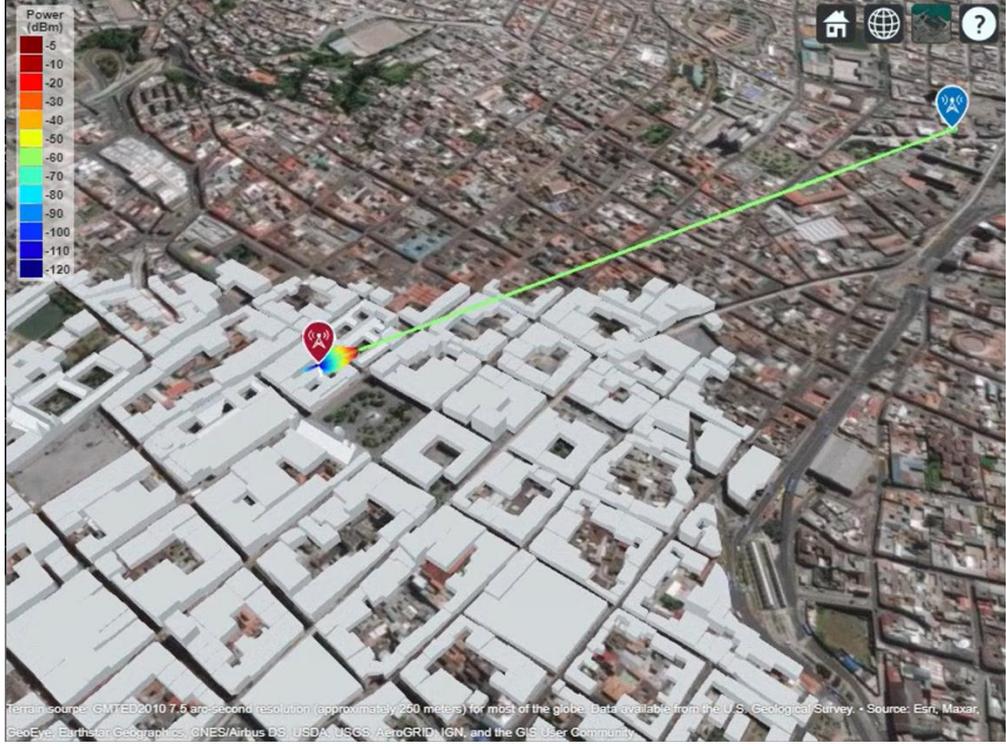
Escenario 46



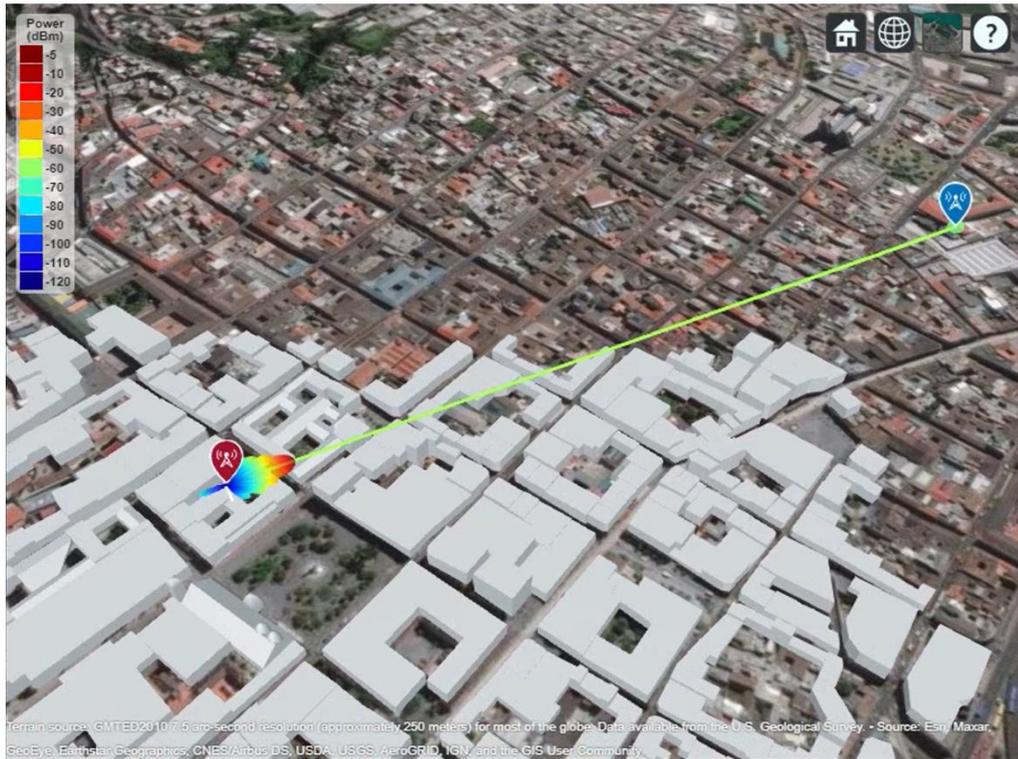
Escenario 47



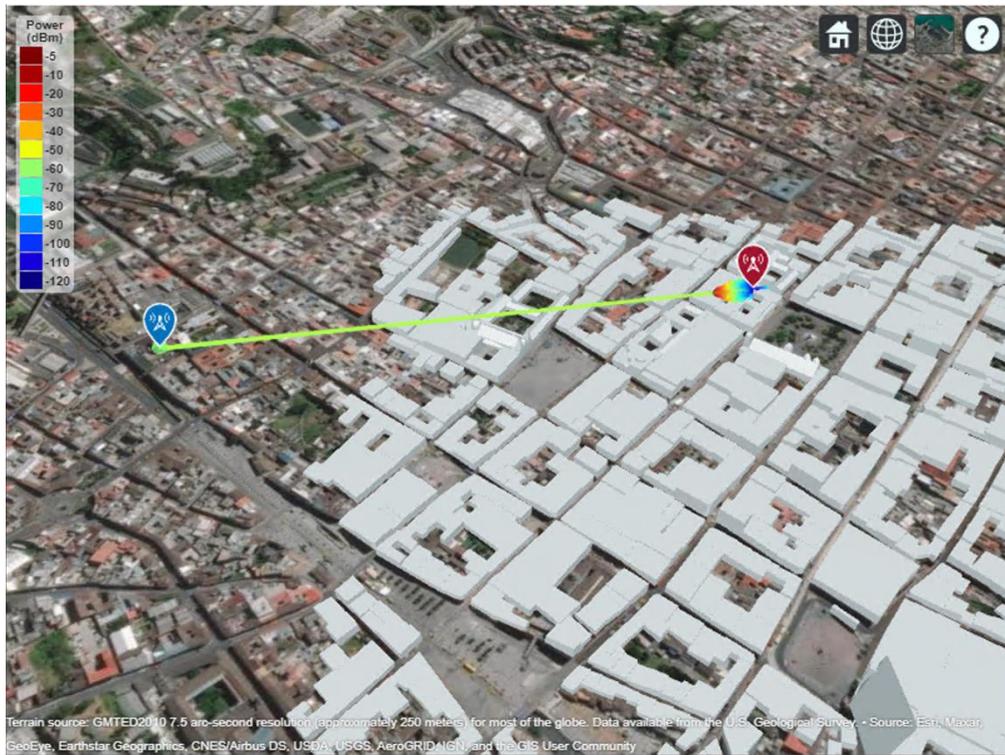
Escenario 48



Escenario 49

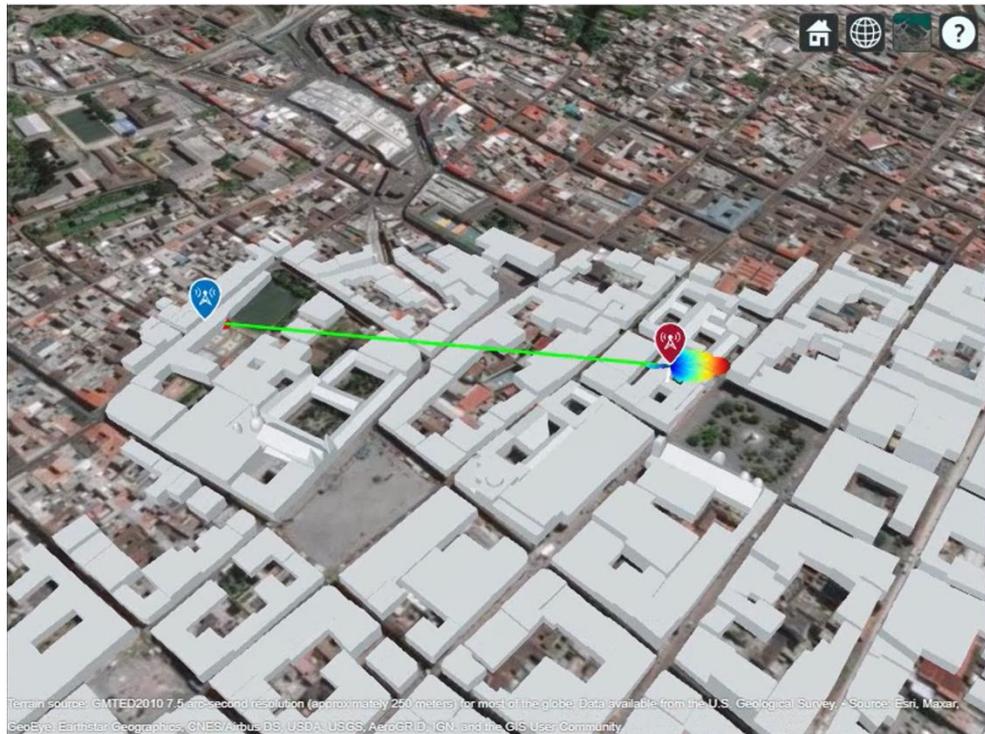


Escenario 50



ANEXO F: TRAZADO DE RAYO DE ESCENARIOS 51 AL 60

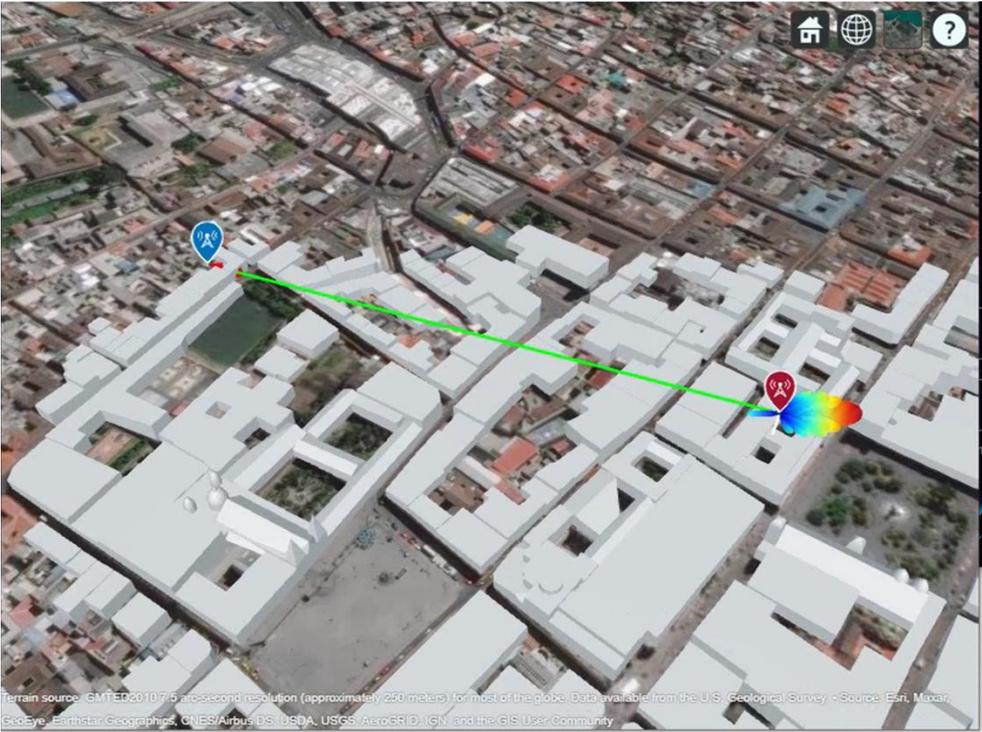
Escenario 51



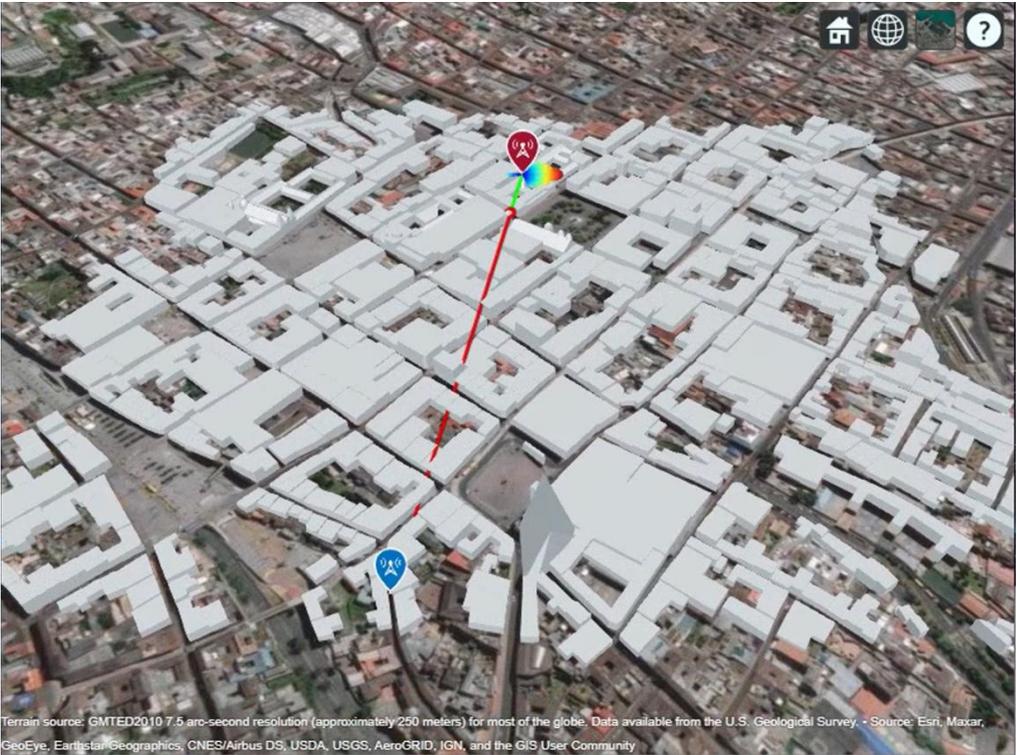
Escenario 52



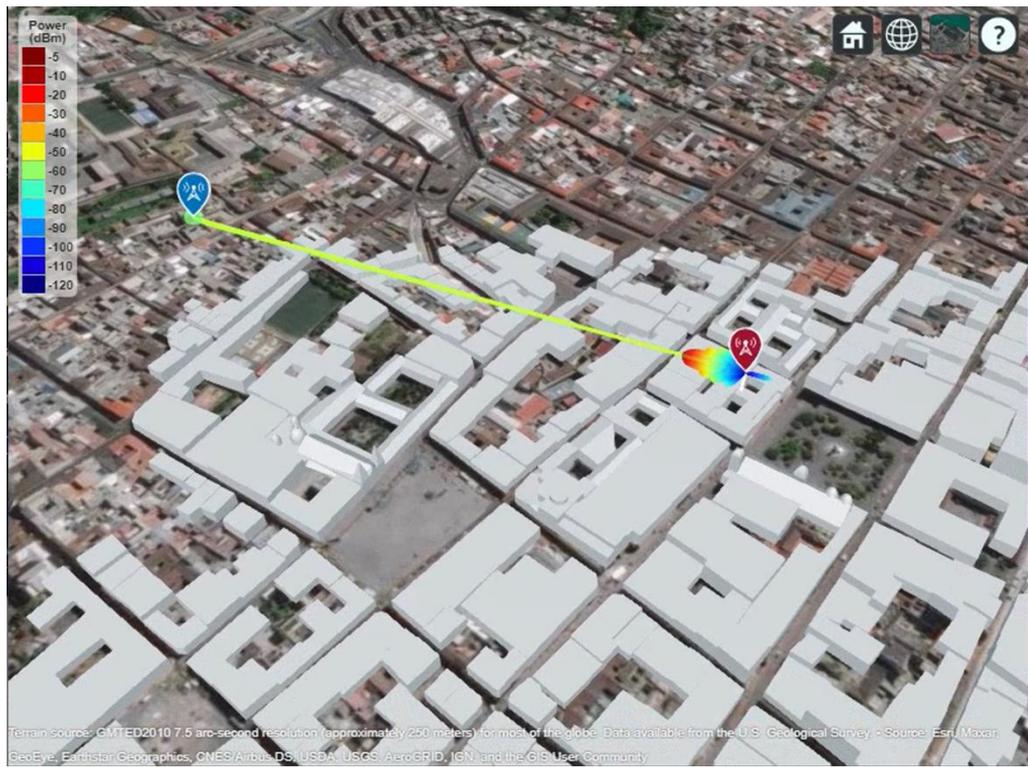
Escenario 53



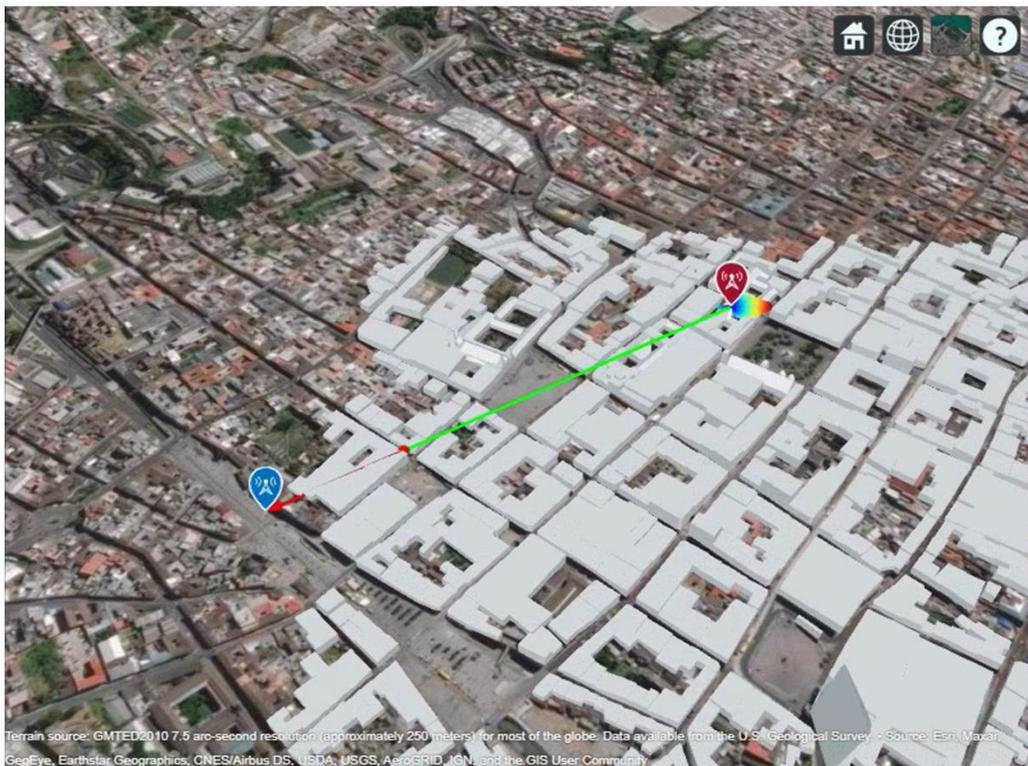
Escenario 54



Escenario 55



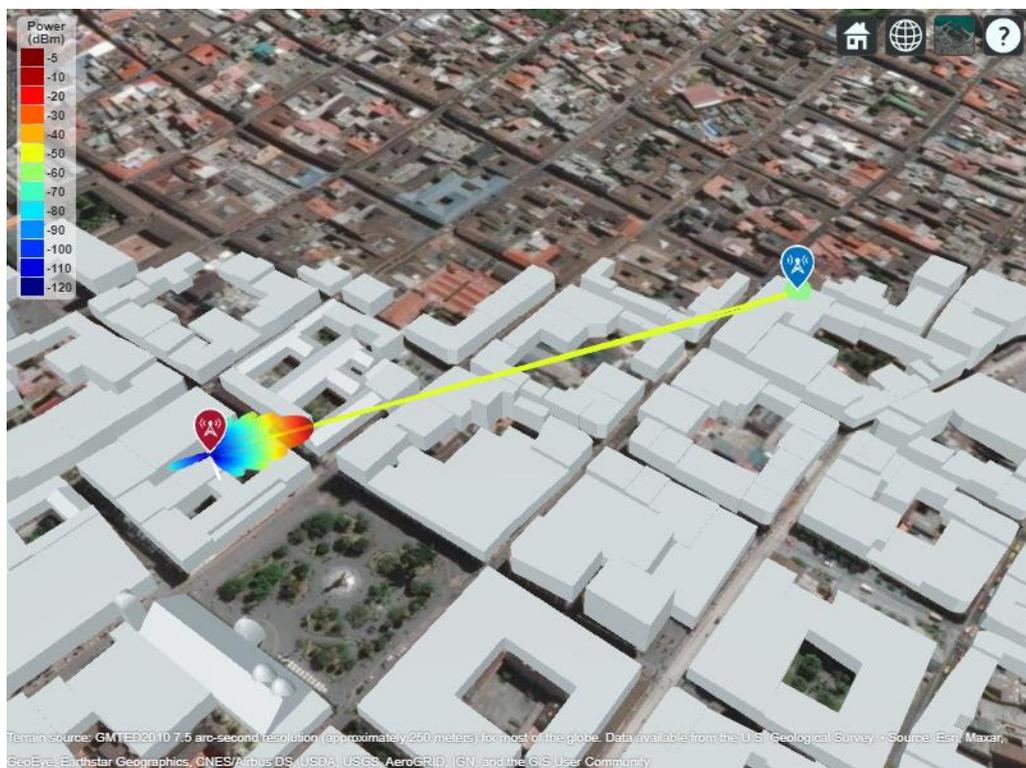
Escenario 56



Escenario 57



Escenario 58



Escenario 59



Escenario 60





epoch

**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

Fecha de entrega: 28/ 06 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Myriam Elena Domínguez Miranda
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Informática y Electrónica
Carrera: Telecomunicaciones
Título a optar: Ingeniera en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. CPA. Jhonatan Rodrigo Parreño Uquillas. MBA.



0977-DBRA-UTP-2022

