



**Caracterización del fenómeno de radio-propagación V2I (802.11p) para
estaciones de carga de vehículos eléctricos en el Valle de los Chillos.**

Borja Chico Jhonny Alexander

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Telecomunicaciones

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de
Ingeniero en Telecomunicaciones

Ing. Fausto Lenin Granda Gutiérrez

10 de marzo de 2026


ANALYSIS REPORT
magister

BORJA-TRABAJO-INTEGRACION-CURRICULAR (Revision 19-2)

5% Suspicious texts

2% Similarities
 < 1 % similarities between quotation marks
 < 1 % among the sources mentioned

12% Unrecognized languages (ignored)

3% Texts potentially generated by AI

Document name: BORJA-TRABAJO-INTEGRACION-CURRICULAR (Revision 19-2).pdf
 Document ID: 1f3f47b7fc8c4bb2a12f4c7db40445104c9f80db
 Original document size: 4.4 MB

Submitter: FAUSTO LENIN GRANDA GUTIERREZ
 Submission date: 2/20/2026
 Upload type: interface
 analysis end date: 2/20/2026

Number of words: 19,883
 Number of characters: 167,631

Location of similarities in the document:

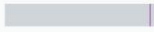
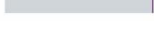


Sources of similarities

Main sources detected

No.	Description	Similarities	Locations	Additional information
1	 TRABAJO_MIC_ENRIQUEZ_PA.pdf TRABAJO_MIC_ENRIQUEZ_PA #43ae35 Comes from my group 8 similar sources	18%		 Identical words: 18% (1,353 words)
2	 1_UIC_CASTRO_SHIGUANGO.pdf 1_UIC_CASTRO_SHIGUANGO #814fca Comes from my group 8 similar sources	17%		 Identical words: 17% (1,157 words)
3	 Tesis_Estacion de carga_revision.pdf Tesis_Estacion de carga_revision #362db1 Comes from my group 2 similar sources	17%		 Identical words: 17% (1,146 words)
4	 Tesis_Chicalza_Chango.pdf Tesis_Chicalza_Chango #a37653 Comes from my group 8 similar sources	17%		 Identical words: 17% (1,163 words)
5	 TRABAJO-INTEGRACION-CURRICULAR VELEZ_CALISPAZ.0.1.pdf TRAB... #050818 Comes from my group 1 similar source	16%		 Identical words: 16% (1,102 words)

Sources with incidental similarities

No.	Description	Similarities	Locations	Additional information
1	 www.eluniverso.com ¿Dónde están los puntos de carga (electrolineras) para ca... https://www.eluniverso.com/noticias/informes/cuantos-y-donde-estan-los-puntos-de-carga-el...	< 1%		 Identical words: < 1% (30 words)
2	 www.redalyc.org APLICACIONES PARA REDES VANET ENFOCADAS EN LA SOSTE... https://www.redalyc.org/pdf/911/91132760007.pdf	< 1%		 Identical words: < 1% (31 words)
3	 Mapeo Actores Movilidad Eléctrica Ecuador.docx Mapeo Actores Mo... #e318ad Comes from my group	< 1%		 Identical words: < 1% (25 words)
4	 www.dspace.espol.edu.ec https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/fd628c36-bcb2-4578-85b1-db7353e93928/T-15124...	< 1%		 Identical words: < 1% (23 words)
5	 bibdigital.epn.edu.ec Repositorio Digital - EPN: Modelo matemático adaptado ... https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15009/16924	< 1%		 Identical words: < 1% (25 words)

PhD. Granda Gutiérrez Fausto Lenin

Director/a

C.C.: 1103416903



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Telecomunicaciones

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **“Caracterización del fenómeno de radio-propagación V2I (802.11p) para estaciones de carga de vehículos eléctricos en el Valle de los Chillos”** fue realizado por el señor **Borja Chico Jhonny Alexander**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de marzo del 2026

PhD. Granda Gutiérrez Fausto Lenin

Director/a

C.C.: 1103416903



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Telecomunicaciones

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Borja Chico Jhonny Alexander**, con cédula de ciudadanía n°1725988131, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Caracterización del fenómeno de radio-propagación V2I (802.11p) para estaciones de carga de vehículos eléctricos en el Valle de los Chillos** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 10 de marzo del 2026

Borja Chico Jhonny Alexander

C.C.: 1725988131



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Telecomunicaciones

Autorización de Publicación

Yo **Borja Chico Jhonny Alexander**, con cédula de ciudadanía n°1725988131, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Caracterización del fenómeno de radio-propagación V2I (802.11p) para estaciones de carga de vehículos eléctricos en el Valle de los Chillos** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 10 de marzo del 2026

Borja Chico, Jhonny Alexander

C.C.: 1725988131

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo en primer lugar a Dios, por brindarme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para superar cada desafío y permitirme alcanzar una meta más en mi formación académica. A mis padres, quienes han sido mi mayor ejemplo de esfuerzo, dedicación y perseverancia. Gracias por su amor incondicional, por su apoyo constante y por motivarme a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. Este logro también es de ustedes. También a mi hermana Johana, por su compañía, apoyo y palabras de ánimo durante este proceso. Su presencia y confianza en mí han sido una motivación importante para continuar y culminar esta etapa. Adicionalmente a mi compañero de cuatro patas “mochito” quien, con su presencia me acompaño todas las noches largas de estudio.

Finalmente, dedico este trabajo a todas las personas que de una u otra manera han estado presentes durante mi formación académica, brindándome apoyo, motivación y confianza para seguir adelante y cumplir este objetivo.

Agradecimiento

Agradezco profundamente a mi familia por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante durante todo este proceso; su confianza y sacrificio han sido fundamentales para lograr este objetivo. De igual manera, agradezco a mis amigos por estar presentes a lo largo de este camino, brindándome apoyo, ánimo y compañía en los momentos de mayor esfuerzo durante la carrera.

De manera especial, expreso mi gratitud a mi tutor de tesis por su orientación, paciencia y valiosos conocimientos, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de esta investigación. Asimismo, agradezco a la universidad y a los ingenieros docentes que, a lo largo de mi formación académica, compartieron sus conocimientos, experiencias y enseñanzas, contribuyendo significativamente a mi crecimiento profesional. Por último, expreso mi reconocimiento a todas aquellas personas que con sus aportes, orientación y apoyo durante este proceso, contribuyeron de alguna manera al desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Resumen	14
Capítulo I	16
Introducción.....	16
Planteamiento del problema.....	16
Justificación.....	17
Estado del arte	18
Objetivo general	20
Objetivos específicos.....	20
Capítulo 2	21
Marco Teórico.....	21
Redes vehiculares Ad-Hoc (VANET)	21
Tipos de conexión vehicular	23
Comunicación V2X.....	24
Comunicación V2N.....	24
Comunicación V2P.....	25
Comunicación V2V	26
Comunicación V2I	27
Acceso inalámbrico en entornos vehiculares (WAVE)	29
Estándar IEEE 802.11p	30
Principios de Radiopropagación	31
Modelos determinísticos.....	32

Modelo Ray Tracing	32
Modelo Ray Lauching.....	33
Fenómenos de propagación	34
Modelos de propagación	36
Desvanecimiento de Pequeña Escala (Small-scale).....	40
Factores que Influyen en el Desvanecimiento a Pequeña Escala.....	40
Parámetros de Small-Scale Fading	42
Tipos de Desvanecimiento de Pequeña Escala (Small-Scale Fading).....	46
Desvanecimiento por trayectos múltiples.....	47
Estación de carga (Electrolineras)	48
Vehículos eléctricos.....	50
Vehículos eléctricos en América Latina	51
Crecimiento de vehículos eléctricos en Ecuador	52
Tipos de carga en vehículos eléctricos.....	54
Tipos de conectores	55
Puntos de carga para vehículos eléctricos en Ecuador	59
Estaciones de carga Valle de los Chillos	60
Marco legal.....	62
Capítulo 3	65
Metodología.....	65
Fases del Desarrollo Metodológico.....	65
Definición y Análisis del Escenario	66
Justificación del Escenario	67
Carga Vehicular.....	68
Energía eléctrica	68
Modelos de propagación para el estudio	69

	10
Ubicación electrolineras	71
Zonas de estudio	73
Capítulo 4	75
Proceso de simulación y resultados	75
Mapas georreferenciados	75
Matlab	76
Simulación.....	77
Resultados	79
Mapa de RSSI – FSPL	86
Conclusiones y trabajos futuros	97
Conclusiones.....	97
Trabajos futuros	100
Referencias.....	101

Índice de tablas

Tabla 1 Exponentes de pérdidas dependiendo del entorno.....	40
Tabla 2 Especificaciones de vehículos eléctricos en el Ecuador	50
Tabla 3 Información de electrolineras en el Ecuador	61
Tabla 4 Niveles de carga.....	63
Tabla 5 Estructura Tarifaria de Vehículos Eléctricos	65
Tabla 6 Parámetros de Tx y Rx para la simulación	74
Tabla 7 Coordenadas geográficas del transmisor y los receptores	78

Índice de figuras

Figura 1	Componentes y dominios de una red vehicular.....	22
Figura 2	Tipo de comunicación de vehículos eléctricos	23
Figura 3	Sistema de protección V2P	25
Figura 4	Configuración de la velocidad en V2V	26
Figura 5	Comunicación V2V, VI2	27
Figura 6	Arquitectura de vehículos a infraestructura V2I.....	28
Figura 7	Estándares pertenecientes al modelo WAVE.....	29
Figura 8	Información estándar 802.11p	31
Figura 9	Mecanismo de propagación de ondas	32
Figura 10	Método del modelo de trazado de rayos	33
Figura 11	Comportamiento Ray Lauching.....	34
Figura 12	Fenómenos de propagación	36
Figura 13	Modelo de Dos Rayos.....	38
Figura 14	Perfil de retardo de potencia.....	44
Figura 15	Efecto de desvanecimiento por trayectos múltiples.....	48
Figura 16	Componente de una infraestructura de carga	49
Figura 17	Ventas de vehículos eléctricos en América Latina	51
Figura 18	Venta de carros eléctricos en Ecuador	52
Figura 19	Las 5 principales ventas de autos eléctricos en Ecuador	53
Figura 20	Tipo de carga DC y AC	54
Figura 21	Conector Shuko	56
Figura 22	Conector SAE J1772	56
Figura 23	Conector Mennekes (Tipo 2).....	57
Figura 24	Conector CHAdeMO	58
Figura 25	Conector CCS.....	58

Figura 26	Puntos de carga vehículos eléctricos	59
Figura 27	MegaKivi – Sangolquí	60
Figura 28	Normas internacionales para la interfaz de carga	64
Figura 29	Diagrama esquemático del procedimiento del estudio	66
Figura 30	Morfología de las edificaciones, altura de edificación.....	67
Figura 31	Mapa de infraestructura eléctrica de Quito.....	68
Figura 32	Amenazas existentes en el Cantón Rumiñahui	70
Figura 33	Amenazas naturales presentes en el Cantón Rumiñahui	70
Figura 34	Escenario de simulación	71
Figura 35	Mapa en software OSM Zona de estudio 1 y Zona de estudio 2.	75
Figura 36	Mapa OSM de la avenida General Enríquez - Triangulo y River Mall.....	76
Figura 37	Mapa de cobertura del transmisor y los receptores Punto 1, Triangulo	77
Figura 38	Mapa de cobertura del transmisor y receptores Punto 2, River Mall	78
Figura 39	Zona del Triángulo en 3D con modelado Ray-Tracing	79
Figura 40	Zona River Mall en 3D modelada con Ray-Tracing.....	80
Figura 41	Resultados PDF en el Receptor 1 y 2 de la zona del Triángulo	81
Figura 42	Resultados PDF en el Receptor 1 y 2 de la zona del River Mall	82
Figura 43	RMS Delay Spread de los receptores en la zona del Triangulo	83
Figura 44	RMS Delay Spread de los receptores de la zona del River Mall	84
Figura 45	Mapa de Cobertura RSSI zonal del Triángulo	85
Figura 46	Mapa de calor RSSI con modelo FSPL, en la zona del Triángulo	86
Figura 47	Modelo de teórico (FSPL) vs modelo simulado en la calle principal	87
Figura 48	Comparación entre ECDF del RSSI medido y modelos teóricos	88
Figura 49	Modelo de teórico (FSPL) vs modelo simulado en la calle secundaria	89
Figura 50	Comparación ECDF del RSSI medido y modelos teóricos Av. Ilaló	90
Figura 51	Mapa de Calor RSSI en la zona del River Mall	91

Figura 52 Mapa de calor RSSI con modelo FSPL, en la zona del River Mall	92
Figura 53 Modelo de teórico (FSPL) vs modelo simulado en la calle principal	93
Figura 54 Comparación ECDF del RSSI medido y modelos teóricos	94
Figura 55 Modelo de teórico (FSPL) vs modelo simulado calle secundaria	95
Figura 56 Comparación ECDF del RSSI medido y modelos teóricos	96

Resumen

El presente trabajo de integración curricular tiene como objetivo analizar las características de la radio-propagación en sistemas V2I (Vehicle-to-Infrastructure), utilizando el estándar IEEE 802.11p y considerando su aplicación en estaciones de carga para vehículos eléctricos ubicadas en el Valle de los Chillos. El análisis se dirige a examinar el desempeño de la señal inalámbrica en áreas urbanas como rurales, considerando las estaciones de carga como lugares clave para la interacción entre los automóviles y la infraestructura. Como parte del avance, se desarrollará un marco teórico que abarque aspectos de movilidad eléctrica, regulaciones actuales, comunicaciones entre vehículos e infraestructura (V2I) y la norma IEEE 802. 11p. A continuación, se creará un modelo urbano en tres dimensiones que refleje el entorno real de estudio, incorporando la ubicación de las estaciones de carga como puntos de envío y recepción. Mediante técnicas de simulación basadas en Ray Tracing, se obtendrán parámetros de propagación a gran y pequeña escala, tales como pérdida de trayectoria, desvanecimiento rápido, sombreado y dispersión multipropagación. Estos resultados permitirán examinar la influencia de los obstáculos, la movilidad y las variaciones del entorno sobre la calidad de las comunicaciones V2I. Finalmente, se realizará un análisis estadístico de los datos obtenidos para proponer mejoras en el diseño de las redes vehiculares y optimizar la implementación de estaciones de carga inteligentes. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo contribuir al avance de las ciudades inteligentes y a la conexión de la movilidad eléctrica con redes de comunicación inalámbrica más efectivas.

Palabras clave: Radio-propagación, V2I, IEEE 802.11p, Ray Tracing, estaciones de carga, movilidad eléctrica.

Abstract.

This curricular integration project aims to analyze the characteristics of radio propagation in V2I (Vehicle-to-Infrastructure) systems, using the IEEE 802.11p standard and considering its application in electric vehicle charging stations located in the Valle de los Chillos. The analysis examines the performance of the wireless signal in both urban and rural areas, considering charging stations as key locations for interaction between vehicles and infrastructure. As part of this process, a theoretical framework will be developed encompassing aspects of electric mobility, current regulations, vehicle-to-infrastructure (V2I) communications, and the IEEE 802.11p standard. Subsequently, a three-dimensional urban model will be created that reflects the real-world study environment, incorporating the location of the charging stations as transmission and reception points. Using ray tracing simulation techniques, large- and small-scale propagation parameters will be obtained, such as path loss, rapid fading, shadowing, and multipropagation scattering. These results will allow us to examine the influence of obstacles, mobility, and environmental variations on the quality of V2I communications. Finally, a statistical analysis of the data obtained will be performed to propose improvements in the design of vehicle networks and optimize the implementation of smart charging stations. Therefore, this work aims to contribute to the advancement of smart cities and the connection of electric mobility with more effective wireless communication networks.

Keywords: Radio propagation, V2I, IEEE 802.11p, Ray Tracing, charging stations, electric mobility.

Capítulo I

Introducción

El presente trabajo de integración curricular tiene como finalidad caracterizar el comportamiento de la radio-propagación en sistemas V2I (Vehicle-to-Infrastructure), tomando como referencia el estándar IEEE 802.11p y su aplicación en estaciones de carga para vehículos eléctricos ubicadas en el Valle de los Chillos. En un contexto donde la movilidad eléctrica y las comunicaciones inteligentes se convierten en componentes esenciales del transporte moderno, resulta fundamental entender cómo se propaga la señal inalámbrica en escenarios reales para mejorar la conectividad vehicular y fortalecer la infraestructura tecnológica nacional. Para el desarrollo del estudio, se combinará la modelación tridimensional (3D) de áreas urbanas y rurales con técnicas determinísticas de Ray Tracing, lo que permitirá analizar parámetros de propagación tanto a gran escala (como la pérdida de trayectoria y el sombreado) como a pequeña escala (por ejemplo, el desvanecimiento rápido y la dispersión multipropagación).

Planteamiento del problema

El aumento de la movilidad eléctrica en Ecuador ha generado una mayor demanda de una infraestructura de carga que sea fiable, capaz de asegurar la autonomía y el alcance de los vehículos eléctricos. Sin embargo, al planear la colocación de estas estaciones denominadas electrolineras, rara vez se toma en cuenta su posible función como centros de conectividad en los sistemas de comunicación de vehículos. En este contexto, las comunicaciones de Vehículo a Infraestructura (V2I) se establecen como un elemento esencial para el avance de las ciudades inteligentes, al facilitar el intercambio de datos entre los automóviles y la infraestructura permanente. Gracias a esta conexión, es viable optimizar la gestión del tránsito, aumentar la seguridad vial y utilizar la energía de manera más eficiente.

A pesar de los progresos tecnológicos, todavía hay escasa información en Ecuador sobre cómo se comporta la propagación de radio V2I según el estándar IEEE 802. 11p, especialmente en situaciones donde las electrolineras son parte de la red de comunicación como puntos clave.

El Valle de los Chillos, que está ubicado en sureste en Quito, es un lugar adecuado para realizar un análisis, debido a que tiene zonas urbanas con una gran densidad de población y áreas rurales, además cuenta con un áreas irregulares, pendientes y construcciones con diferentes dimensiones. Sus características tienen un ambiente adecuado para realizar la propagación V2I en entornos reales y diversos. La existencia actual y próximas electrolineras en la zona hace que sea un lugar clave para realizar el estudio de conexión entre la movilidad eléctrica y las redes para la comunicación automovilística, Por este motivo el estudio se enfoca en identificar la radio propagación V2I de acuerdo al estándar IEEE 802.11p en las áreas urbanas y rurales del Valle de los Chillos, teniendo en cuenta las electrolineras como puntos importantes en escenarios tridimensionales que reflejen con precisión las condiciones físicas y de movilidad de la región.

Justificación

El aumento de la movilidad eléctrica en Ecuador muestra un compromiso del país hacia la sostenibilidad y la disminución de emisiones perjudiciales. En este contexto, las electrolineras son fundamentales, ya que aseguran la autonomía de los automóviles eléctricos y, a la vez, sirven como puntos clave para la adopción de tecnologías de comunicación entre vehículos. No obstante, la planificación de estas infraestructuras casi nunca toma en cuenta su incorporación en los sistemas de comunicación Vehicle-to-Infrastructure (V2I), lo que restringe su capacidad como puntos de conexión y su aporte al avance de ciudades inteligentes.

El análisis de la radio propagación del estándar IEEE 802.11p indica que se debe comprender con funciona la señal inalámbrica, debido a que su comportamiento en áreas reales en las cuales existen edificaciones, obstáculos y algunos elementos metálicos que van a influir en la calidad del enlace. Por lo que se identificó esta necesidad en el sector de estudio donde va a combinar zonas urbanas densas y espacios rurales con diferentes condiciones territoriales complejas, ocasionando un espacio que representa de gran interés para el estudio de las comunicaciones vehiculares. Desde el punto de vista científico o técnico este estudio proporciona un entendimiento de los modelos, usando diferentes modelos como es el de Ray Tracing, el que permite obtener datos grandes y pequeñas dimensiones, además logra identificar la pérdida de trayectoria, y su desvanecimiento. Estos logros ayudar a optimizar el diseño de redes vehiculares, consiguiendo identificar lugares con cobertura potenciales para fortalecer la planificación de infraestructura que están enfocadas en la movilidad eléctrica.

Estado del arte

Los sistemas de transporte inteligente, han salido a la luz como una respuesta tecnológica a los problemas de congestión, seguridad vial y sostenibilidad en el transporte actual. Dichos sistemas integran tecnologías de comunicación, sensores y sistemas de control para optimizar el movimiento de vehículos y la interacción entre los usuarios y la infraestructura.

En la actualidad, las comunicaciones colaborativas, o C-ITS, son vistas como la base tecnológica para el desarrollo de servicios avanzados de conectividad entre vehículos en áreas urbanas y rurales (Mueck & Gaie, 2025).

En el ámbito de los sistemas que involucran el transporte digital inteligente, las comunicaciones V2X (Vehicle to Everything) , representan un avance significativo para diversas conexiones V2V (Vehicle to Vehicle) y V2N (Vehicle to Network).

Estas diferentes comunicaciones ayudan a la comunicación, porque permiten la conexión directa e indirecta, entre los vehículos y su entorno. Consiguiendo el funcionamiento para brindar alertas de colisión, para la parte de los cruces peatonales brindando información, consiguiendo mejorar el transporte vehicular y la supervisión del tráfico de los vehículos eléctricos. La comunicación V2I ofrece un intercambio de información entre los automóviles y diferentes unidades de carretera, donde existen nodos de red que expanden la conectividad y contribuyen con la seguridad en las vías.

En áreas como en el Valle de los Chillos, que tienen combinaciones de espacios naturales y zonas urbanas, el comportamiento del canal V2I indica cambios considerables en diversos espacios donde existen edificaciones, y también curvas muy pronunciadas. Esto genera que existan pérdidas adicionales en la propagación y ocasiona que exista fenómenos de múltiples trayectos, que necesitan ser analizados de forma específica. Las estaciones para los vehículos de carga eléctrica que están ubicadas en puntos dependen la red presenta lugares estratégicos para poder funcionar con los nodos, ofreciendo la conexión con los vehículos que necesitan recargar o adquirir información en movimiento. Existe una falta de estudios que se especifican en la propagación 802.11p. lo que representa una importancia en la realización para la investigación.

En este análisis se proseguirá con la investigación del fenómeno de la propagación de radio V2I (802. 11p), teniendo en cuenta tanto los factores a gran escala, como la pérdida de trayectoria y el atenuado por sombra, así como los factores a pequeña escala, que abarcan la rápida variación en la señal originada por la movilidad de los vehículos. Los hallazgos logrados facilitarán la adaptación de modelos teóricos y empíricos a las circunstancias reales del entorno del Valle de los Chillos, brindando información valiosa para la planificación de futuras redes ITS en el país.

Objetivo general

Caracterizar el fenómeno de radio propagación V2I (802.11p) para estaciones de carga de vehículos eléctricos en el Valle de los Chillos.

Objetivos específicos

Simular un escenario urbano 3D para estudio de radio-propagación V2I en ambiente urbano/rural.

Analizar las estadísticas de los parámetros de large scale y small-scale de un canal V2I(802.11p).

Comparar resultados de propagación del Ray Tracing con modelos teóricos, evaluando RSSI y pérdida de trayectoria.

Capítulo 2

Marco Teórico

Redes vehiculares Ad-Hoc (VANET)

Las redes vehiculares ad hoc (VANET) se pueden ver como una extensión de las redes móviles Ad-hoc (MANET, Mobile Ad hoc Network) en una VANET (Vehicular Ad hoc Network) cada automóvil actúa como un nodo de la red y cuenta con un dispositivo de comunicación instalado a bordo conocido como OBU (On Board Unit). La OBU tiene la tarea de compartir datos con diferentes automóviles o con puntos de acceso fijos situados a lo largo de las carreteras llamadas RSU (Orozco, Llano, & Michoud, 2012).

Se puede describir una red VANET como una clase de red inalámbrica ad hoc que permite la conexión constante entre vehículos sin la necesidad de una infraestructura establecida. Estas redes poseen una gran capacidad para crear aplicaciones que incrementen la seguridad en las vías, la conexión entre los automóviles y la infraestructura facilita la comunicación instantánea, lo cual proporciona información a conductores en situaciones de riesgo y ayuda a prevenir accidentes (Guijarro, 2019).

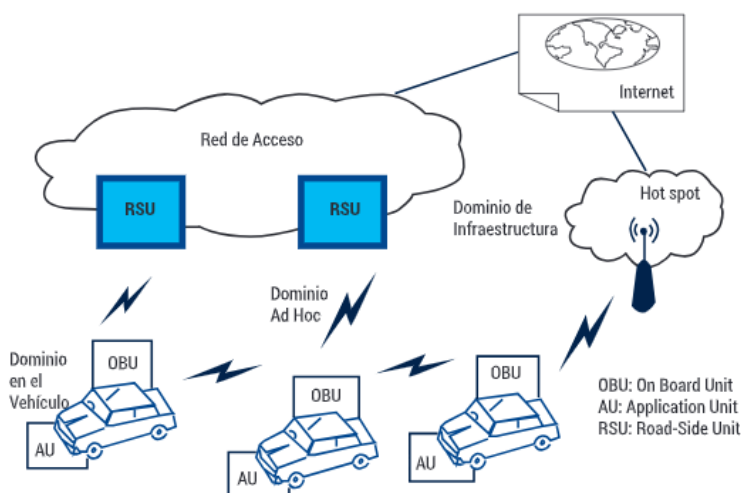
Los componentes que integran las redes VANET, al interactuar, crean dominios que se refieren a un grupo de elementos tanto lógicos como físicos que trabajan en conjuntos para poder permitir la comunicación entre nodos y RSU. Estos dominios se categorizan según su modo y operación (Moustafa & Zhang, 2009).

- Dominio en el vehículo: compuesto por la OBU y la AU del nodo, que establecen una red de comunicación en ambas direcciones dentro del automóvil y tiene la capacidad de conectarse mediante cables o de forma inalámbrica.
- Dominio Ad hoc: se relaciona a la transmisión sin cables que conecta los nodos entre ellos con las RSU. Esta forma de comunicación puede establecerse a través del estándar propuesto por la IEEE conocido como IEEE 802.11p.

- Dominio de infraestructura: compuesto por las redes de conexión y la estructura que sostiene el acceso a la web que requieren los nodos y/o las unidades de servicio remoto. La transmisión de datos puede llevarse a cabo mediante tecnologías inalámbricas o cableadas.

Figura 1

Componentes y dominios de una red vehicular



Nota. Tomado de “Impacto de la Velocidad y Modelo de Movilidad en una Comunicación de Datos de una Red Vehicular” (Orozco, Chavarro, & Calderón, 2013).

En las redes de vehiculares, cada vehículo cuenta con la tecnología requerida para recoger datos tanto de si mismo como de su alrededor. Esta información no solo necesita ser analizada para ayudar en las decisiones del propio vehículo sino también debe ser enviada a otros vehículos cercanos o dentro de la red (Blanco, Hernández, & Salcedo, 2010).

Esto se realiza para conectar vehículos al entrar o salir de las zonas de la red. Se puede crear diferentes aplicaciones que mejoren los recorridos en las carreteras mediante el estándar IEEE 802. 11p, que establece las capas de la parte física y del acceso al medio facilitando la comunicación entre vehículos en rango de 5.85 – 5.92 GHz (Eshteivi, Fredj, Kaddoum, & Gagnon, 2017).

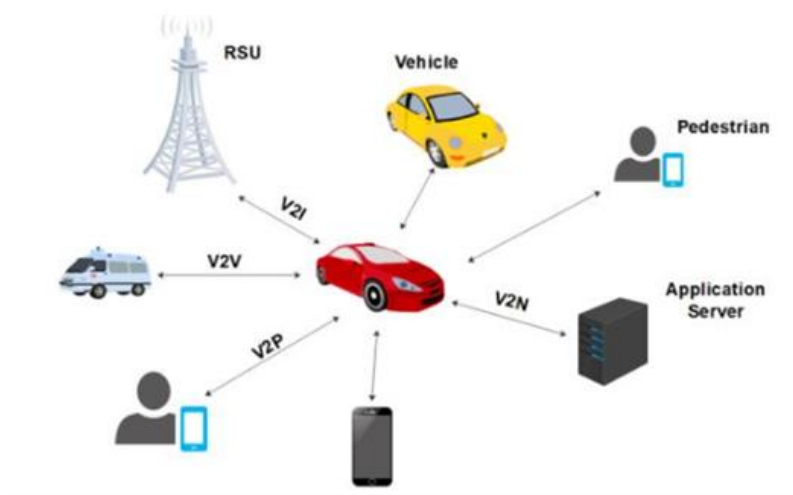
Tipos de conexión vehicular

Actualmente vivimos en una era donde se están fabricando vehículos eléctricos, en conjunto con la unión de las tecnologías de la información y la industria automotriz se está concretando un mundo con ciudades inteligentes. La amplia accesibilidad a internet de alta velocidad, el aumento de sensores en los automóviles y en las vías, junto con la adopción generalizada del Internet de las Cosas (IoT), están facilitando la posibilidad de la conexión entre vehículos (Rgbsi, 2025).

El funcionamiento de las ciudades inteligentes de transporte, es una implementación de internet de las cosas que facilita que los automóviles se conecten con la red (V2N), los transeúntes (V2P), la infraestructura urbana (V2I) y otros vehículos (V2V), promoviendo un ecosistema interrelacionado que mejora la eficacia del tráfico (Farnell, 2025).

Figura 2

Tipo de comunicación de vehículos eléctricos



Nota. Tomado de “Transforming Mobility: The Architecture and Solutions of V2X Communication in Electric Vehicles”, (Farnell, 2025).

Comunicación V2X

En la cúspide de los sistemas de comunicación entre vehículos se sitúa la comunicación de vehículo a todo (V2X). La idea de un "automóvil conectado" no es reciente en el sector automotor; no obstante, la tecnología que permite su implementación (junto con los estándares de comunicación requeridos) solo se hizo accesible en los últimos años. V2X puede considerarse como la categoría principal dentro de un conjunto más extenso de tecnologías de comunicación que son imprescindibles para alcanzar el objetivo de enlazar los vehículos con su entorno (Rgbsi, 2025). La tecnología V2X facilita la comunicación entre vehículos y la infraestructura que los rodea, ofreciendo información instantánea sobre otros automóviles y posibles riesgos. El uso de V2X puede disminuir la cantidad de accidentes al advertir sobre situaciones peligrosas en la vía, como atascos, choques por alcance, advertencias de velocidad en curvas, mal tiempo, obstáculos, entre otros, lo que ayuda a los conductores a prevenir accidentes y a reducir tanto la mortalidad como las lesiones (Farnell, 2025).

Comunicación V2N

En la comunicación vehicular a red (V2N), los automóviles pueden emplear redes móviles para conectarse con el sistema de gestión V2X. V2N también hace uso del estándar de comunicaciones de corto alcance dedicadas (DSRC) para comunicarse con otros vehículos y la infraestructura de las carreteras. Este grado de conexión permite que los automóviles sean vistos como un "dispositivo", de la misma manera que los teléfonos inteligentes, las tabletas y los dispositivos portátiles (Rgbsi, 2025).

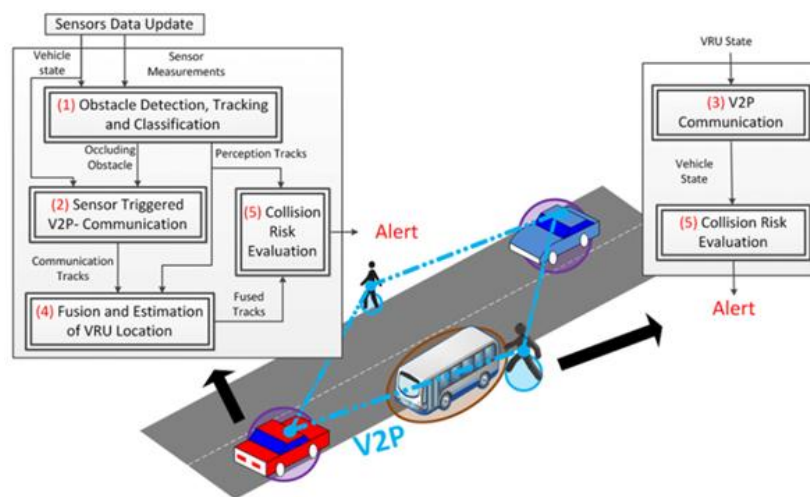
El acceso a las redes LTE, 5G y los sistemas DSRC de los operadores de telefonía móvil permite a los automóviles: recibir notificaciones sobre las condiciones de las vías, lo cual se denomina comunicación directa entre el vehículo y la infraestructura (V2I), además la comunicación V2N permite a los automóviles interactuar de manera efectiva con la infraestructura, otros autos, otros dispositivos e incluso con peatones (Rgbsi, 2025).

Comunicación V2P

En la comunicación V2P, los automóviles se comunican de manera directa con los peatones o ciclistas que se encuentran en las cercanías. Esto implica una interacción en tiempo real entre los vehículos y los usuarios que son más vulnerables en la vía, como los peatones, los ciclistas, los cochecitos de bebé, los pasajeros que acceden y descienden del transporte público, así como aquellas personas con movilidad limitada que utilizan sillas de ruedas. Los algoritmos V2P funcionan en tres etapas como la detección, seguimiento y previsión de trayectorias, esta tecnología incrementa la seguridad a través del intercambio de datos, cuya precisión depende de la información del GPS, que avisa a los peatones sobre la cercanía de los vehículos (Farnell, 2025).

Figura 3

Sistema de protección V2P



Nota. Tomado de “Transforming Mobility: The Architecture and Solutions of V2X Communication in Electric Vehicles”, (Farnell, 2025).

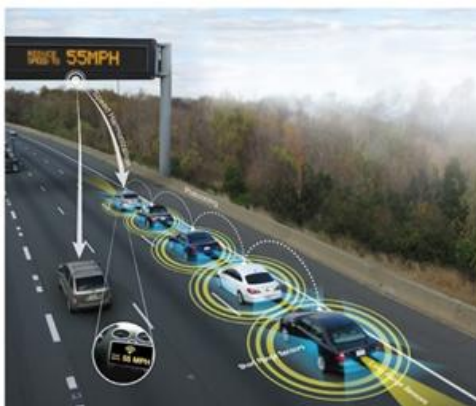
Comunicación V2V

La comunicación entre vehículos (V2V) permite que los automóviles se envíen información en tiempo real. Este proceso ocurre de manera inalámbrica a través de frecuencias específicamente destinadas de corto alcance, que son las mismas empleadas en la comunicación vehículo-infraestructura (V2I). Gracias a la comunicación V2V, los coches pueden intercambiar datos sobre su velocidad, posición y rumbo, así como cualquier otra información significativa, lo que brinda al sistema una imagen completa de su entorno (Rgbsi, 2025).

Esta comunicación inalámbrica entre automóviles une los vehículos y facilita el envío de información a través de una red de malla sin hilos para el intercambio de datos. La comunicación entre vehículos, usando WiFi o IoT. Para lograr una comunicación vehicular eficiente, son esenciales dos tipos de elementos: uno dedicado a la emisión exacta y segura de mensajes y otro encargado de verificar que los mensajes han sido recibidos y de interpretarlos posteriormente por el vehículo que los recibe, presentando los mensajes en su panel (Farnell, 2025).

Figura 4

Configuración de la velocidad en V2V.



Nota. Tomado de “Transforming Mobility: The Architecture and Solutions of V2X Communication in Electric Vehicles”, (Farnell, 2025).

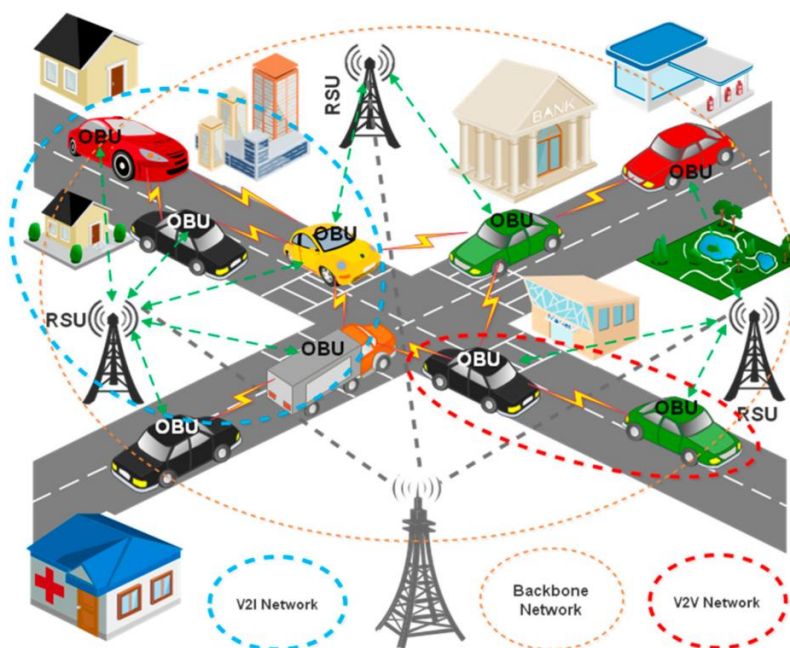
Comunicación V2I

La comunicación de vehículo a infraestructura (V2I) es un sistema de comunicación que permite a diferentes automóviles intercambiar información con varios dispositivos que apoyan la red vial de un país. Entre estos dispositivos se encuentran cámaras, indicadores de carriles, luces en calle y parquímetros, entre otros. Esta sostenida por una red de hardware, software y firmware que opera de manera inalámbrica y en ambas direcciones, los datos de los dispositivos de la infraestructura se envían de manera sencilla al vehículo mediante una red ad hoc y viceversa. Utiliza frecuencias de comunicación de corto alcance (DSRC) planeadas específicamente para la transmisión de información (Sachdev, 2019).

La comunicación V2I facilita que un automóvil interactúe con componentes de la infraestructura de las carreteras, como los semáforos, sistemas señalizados avanzados y otros (Wedel, Schünemann, & Radusch, 2009).

Figura 5

Comunicación V2V, V2I



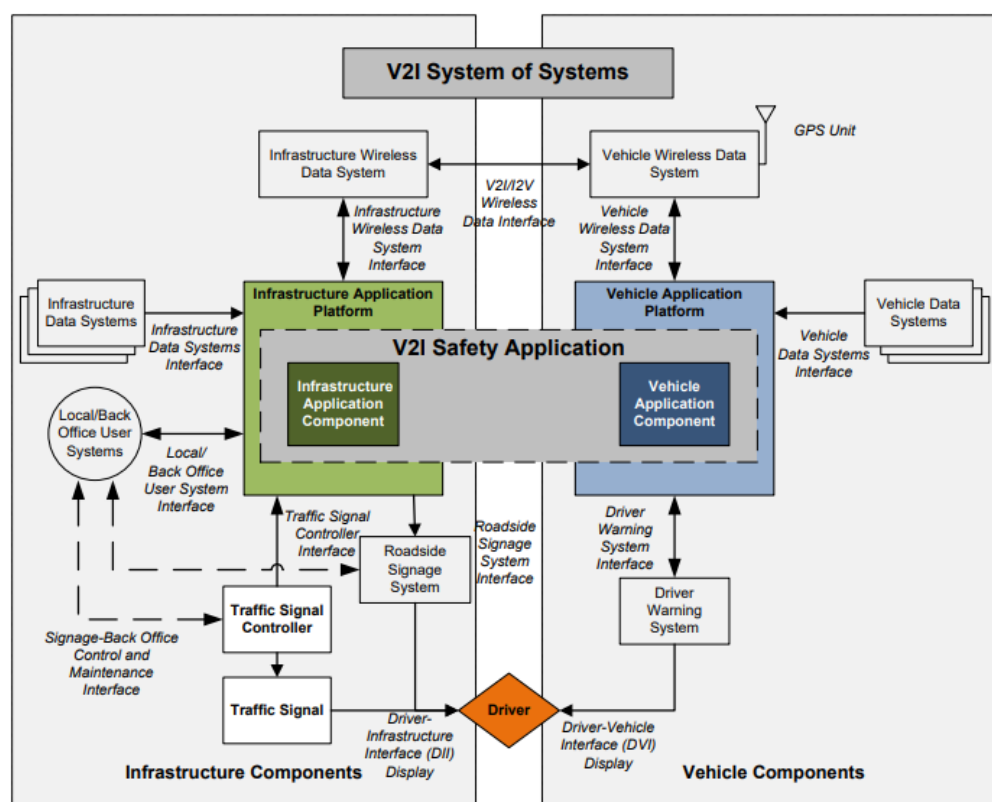
Nota. Tomado de “Road to Efficiency: V2V Enabled Intelligent Transportation System.”

(Naeem, Chaudhary, & Meng, 2024).

La estructura funcional del sistema V2I se fundamenta en algunos criterios de rendimiento. El sistema V2I depende de diversos elementos. Existen dos partes esenciales: un componente de aplicación de infraestructura, que se encuentra en la plataforma de aplicación de infraestructura, y un componente de aplicación del vehículo, que también reside en la plataforma de aplicación del vehículo. Estos componentes combinan y gestionan la información de la infraestructura y del vehículo para transmitir un mensaje coordinado a los conductores. La información se intercambia mediante una interfaz de datos inalámbrica (Sachdev, 2019).

Figura 6

Arquitectura de vehículos a infraestructura V2I



Nota. Tomado de “*Vehicle-to-infrastructure (V2I) safety applications*” (Stephens, Schroeder, & Klein, 2015)

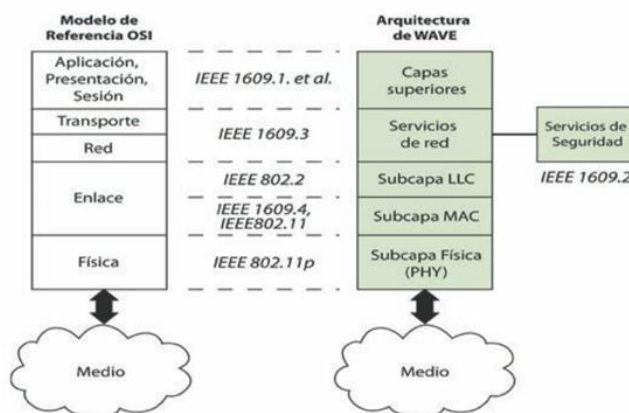
El VI2 permite que se comunique con la infraestructura en tiempo real, lo que ayuda a gestionar el tráfico de manera más eficiente. Los semáforos pueden modificar su duración de acuerdo a las condiciones del tráfico, mejorando el movimiento de vehículos y disminuyendo la congestión. Esto puede llevar a un tráfico más fluido, a una reducción en los tiempos de viaje y a un menor gasto de combustible. Además, puede incrementar de manera notable la seguridad en las carreteras. La infraestructura puede ofrecer avisos inmediatos a los vehículos acerca de riesgos en la vía, colisiones y condiciones climáticas desfavorables.

Acceso inalámbrico en entornos vehiculares (WAVE)

Es la norma que se generan al unir los protocolos DSRC que comprende los estándares IEEE 802.11p e IEEE 1609. Posee un diseño y una serie de servicios e interfaces que complementan al protocolo, ofreciendo comunicaciones inalámbricas seguras V2I y V2V, a través del espectro electromagnético de 5.9 GHz. WAVE ofrece una estructura para las comunicaciones V2X, enfocada en la implementación de aplicaciones que mejoran la seguridad y la eficacia en las carreteras. A continuación, se presentan los protocolos de la estructura de acuerdo con el modelo OSI (Orozco, Llano, & Michoud, 2012).

Figura 7

Estándares pertenecientes al modelo WAVE



Nota. Tomado de “Redes vehiculares Ad-hoc: aplicaciones basadas en simulación” (Orozco, Llano, & Michoud, 2012).

Estándar IEEE 802.11p

El estándar IEEE 802.11p establece las características en la capa física y MAC para trabajar en ambientes vehiculares (Rubio, 2011). Se usa en aplicaciones de Vehículos a Todo (V2X) en la banda de 5.9 GHz. Este tipo de estándar es importante porque permite que los coches inteligentes y los vehículos autónomos interactúen entre sí y con la infraestructura circundante. Además, el estándar IEEE 802.11p es una enmienda que fue aprobada al estándar IEEE 802.11 para obtener acceso a redes inalámbricas en diferentes entornos, por lo que se considera un protocolo mejorado para tolerar aplicaciones de sistemas inteligentes (Everythingrf, 2020).

La capa física el estándar IEEE 802.11p usa OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) y algunos esquemas de modulación, consiguiendo velocidades entre 3 a 27 Mbps en distancias superiores a 1km. En la figura 5 se observa las capas físicas que tiene tres subcapas:

- Subcapa PLCP (Physical Layer Convergence Procedure)
- Subcapa PMD (Physical Medium Dependent)
- Subcapa PLME (Physical Layer Management Entity)

Se estable en el estándar IEEE 802.11p las especificaciones para la capa física y MAC necesaria para funcionar en un ambiente vehicular. En la capa física el estándar utiliza la transmisión mediante Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM). El objetivo de la capa MAC es implementar mecanismos que permitan el acceso al canal de comunicación, lo que facilita que un grupo de estaciones comparta de manera eficiente el medio inalámbrico. Esta capa toma en cuenta factores como la transmisión y la probabilidad de recibir paquetes, el tiempo y el control de congestión priorizando los mensajes (Orozco, Llano, & Michoud, 2012).

El estándar IEEE 802. 11p establece las especificaciones de la capa física y de control de acceso al medio requeridas para funcionar en un entorno de vehículos (Orozco & Llano, 2014)

Figura 8

Información estándar 802.11p

Indicative wireless data link characteristic	802.11p WAVE
Bit rate	3 – 27 Mbps
Communication range	< 1000 m
Transmission power for mobile (maximum)	760 mW (US) 2 W (EU)
Channel bandwidth	10 MHz
Allocated spectrum	75 MHz (US) 30 MHz (EU)
Frequency bands	5,86 – 5,92 GHz

Nota. Tomado de “Aplicaciones para redes VANET enfocadas en la sostenibilidad ambiental” (Orozco & Llano, 2014).

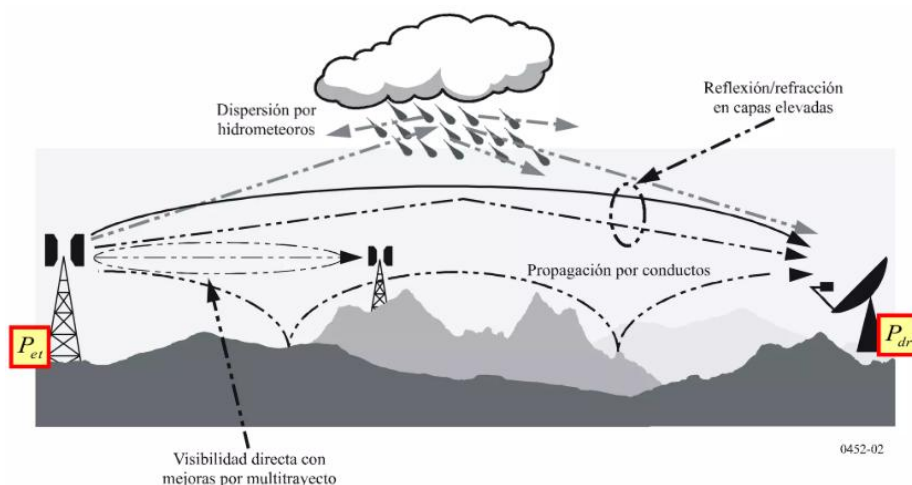
El estándar IEEE 802. 11p establece el uso de CSMA/CA (Acceso Múltiple por Detección de Portadora/Evitación de Colisiones) para la comunicación entre vehículos y otros elementos. La capa MAC también tiene en cuenta factores relacionados con la transmisión, tales como la probabilidad de que los paquetes sean recibidos, el tiempo para acceder al canal, la gestión de la congestión y la priorización de los mensajes (Orozco & Llano, 2014).

Principios de Radiopropagación

La propagación de radio se relaciona con la manera en que las ondas de radios se desplazan por el espacio desde una o múltiples antenas emisoras y como el entorno que cruzan las influye. Las condiciones de difusión de las ondas electromagnéticas se pueden analizar utilizando las leyes de Maxwell. En la realidad este es un procedimiento que consume tiempos, ya que para llevar a cabo un escenario es preciso contar con un sistema operativo y resolver los inconvenientes de manera empírica (Zamora, 2015).

Figura 9

Mecanismo de propagación de ondas



Nota. Tomado de “Conferencia 3: Análisis de Radio propagación” (Zamora, 2015).

Modelos determinísticos

Los métodos deterministas son técnicas para anticipar la difusión de señales de radio que se fundamentan en las leyes físicas del electromagnetismo y en la configuración real del entorno, como edificios, muros, vías y obstáculos.

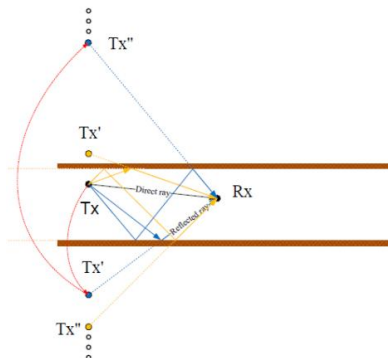
No dependen de mecanismos estadísticos ni de promedios, sino que realizan cálculos precisos sobre la manera en que la onda se desplaza, se refleja, se difracta y se debilita.

Modelo Ray Tracing

El método de trazado de rayos se utiliza para anticipar cómo se mueven las señales en interiores, donde la señal electromagnética es comparada a un rayo de luz. Este enfoque combina los principios de la Óptica Geométrica para estudiar el comportamiento del rayo en situaciones de distintas reflexiones. Al determinar la potencia que se recibe, se considera que las paredes del túnel funcionan como un material reflejante uniforme, y las pérdidas en el interior se estiman mediante la Ecuación de Friis, que proporciona un cálculo de las pérdidas en el espacio libre.

Figura 10

Método del modelo de trazado de rayos



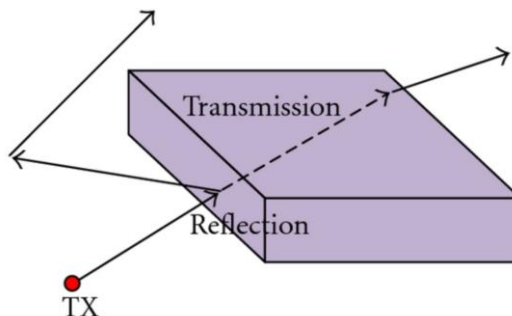
Nota. Tomado de “Análisis mediante simulación de la propagación de señales UHF en túneles subterráneos en base al modelo de trazado de rayos (Trabajo de titulación de pregrado)” (Parra, 2019).

Modelo Ray Launching

Es un método determinístico que modela la propagación radioeléctrica mediante el lanzamiento de un gran número de rayos desde el transmisor, distribuidos en una malla angular definida. Gracias a su naturaleza exploratoria, el Ray Launching puede modelar con mayor realismo escenarios complejos con gran cantidad de obstáculos, como edificios o túneles. Además, facilita el análisis de los efectos de la multipropagación y del desvanecimiento selectivo en frecuencia, fundamentales en sistemas de banda ancha (Azpilicueta, Rawat, Rawat, & Ghannouchi, 2014).

Figura 11

Comportamiento Ray Launching



Nota. Tomado de “Convergence analysis in deterministic 3D ray launching radio channel estimation in complex environments)” (Azpilicueta, Rawat, Rawat, & Ghannouchi, 2014).

Fenómenos de propagación

Son el conjunto de fenómenos físicos que conducen la trayectoria desde el transmisor hacia el receptor, pueden ser de tipo constructivo o destructivo, destacando entre ellos la creación de varias rutas para la misma señal, lo que se denomina generación multitrayecto o multipath. Estos fenómenos de propagación involucran como las señales de radio se relacionan con diferentes objetos en su trayecto, abarcando la reflexión, la refracción, la difracción y la dispersión (Nocedal, 2006).

Reflexión

La reflexión es el choque de la onda electromagnética con la frontera entre dos medios, hace referencia a que una onda se refleja en cualquier superficie conductora que encuentre a lo largo de una trayectoria de propagación. Se produce también en otras superficies parcialmente conductoras como el agua y la tierra (Quistial, 2016).

El ángulo de reflexión es similar al de incidencia, este ángulo de incidencia se produce mediante una línea perpendicular a la superficie reflectora y una onda de llegada, además el ángulo de reflexión se forma entre la línea perpendicular y la onda que se refleja, en el mundo real no existe conductores perfectos por lo que la reflexión no será completa, si la superficie reflectora tiene un conductor con material de cobre o aluminio, y tiene un tamaño grande la materia de la onda se reflejara. (Quistial, 2016).

Refracción

Describe la desviación que experimenta una onda al atravesar un medio con una composición física diferente, lo cual provoca un cambio en su dirección. Este fenómeno ocurre cuando una onda incide de manera oblicua sobre la frontera entre dos medios que tienen diferentes velocidades de propagación. Por esta acción se produce la refracción siempre que la onda de radio pase por el medio a otro con diferente densidad (Quistial, 2016).

Difracción

Se produce cuando una onda interactúa con un obstáculo y cambia su trayectoria, rodeándolo parcialmente. Este fenómeno se presenta, principalmente, cuando el tamaño del obstáculo es comparable con la longitud de onda de la señal. En términos simples, la difracción implica una redistribución de la energía del frente de onda al encontrarse con un objeto, provocando que dicha energía se propague hacia diferentes direcciones.

El fenómeno puede entenderse a partir del principio de Huygens, el cual establece que cada punto del frente de onda actúa como una fuente emisora de ondas secundarias de forma esférica. De esta manera, cuando una onda choca con un obstáculo, las nuevas ondas generadas en los bordes del mismo se expanden y logran penetrar la región que, en teoría, quedaría sin señal, conocida como zona de sombra (Fratilescu, 2019).

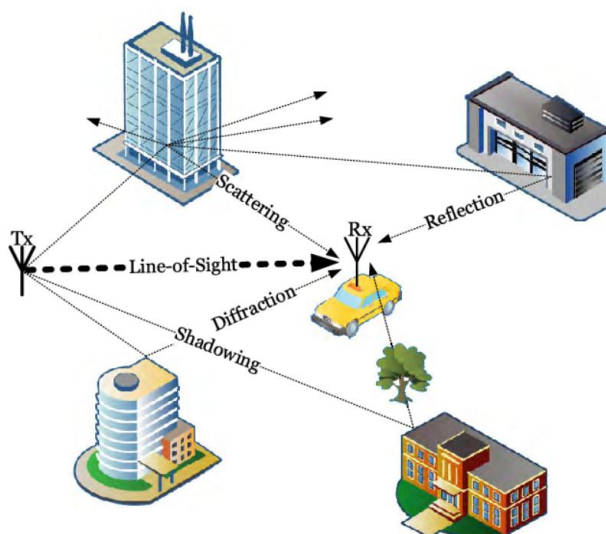
Dispersión

La dispersión ocurre cuando una onda choca con una superficie rugosa o irregular y se propaga en varias direcciones. Este fenómeno es habitual cuando las irregularidades de la superficie son de un orden de magnitud similar al de la longitud de onda.

Esta ley establece que el ángulo de la onda que llega a una superficie es idéntico al ángulo de la onda que se refleja. Por consiguiente, la dispersión genera reflexiones difusas, cuyos ángulos resultan distintos al ángulo de la onda original incidente (Fratilescu, 2019).

Figura 12

Fenómenos de propagación



Nota. Tomado de “Application of LoRa in Indoor Positioning” (Ebyte, 2024).

Modelos de propagación

Los modelos de propagación ofrecen descripciones matemáticas exactas de la transmisión de radios, apoyando simulaciones de enlaces y sistemas de radio, además de servir para el diseño de la implementación de sistemas (Shi, 2025).

La modernización de la propagación no permite predecir con exactitud la intensidad de la señal a una distancia de una fuente, permite delimitar las zonas de uso en función de la propagación. Los modelos de propagación se usan para abarcar los desafíos de los sistemas de comunicación en la vida real, consiguiendo optimizar la ubicación de las estaciones base en lugares urbanos y suburbanos para garantizar una cobertura estable y reducir la interferencia, para obtener una comunicación confiable en entornos densos (Shi, 2025).

Modelo de espacio libre: Explica el proceso por el cual las señales de radio se transmiten en un entorno hipotético libre de obstáculos, rebotes e interferencias. Supón que hay una conexión directa y clara entre el transmisor y el receptor, lo que convierte este escenario en un modelo fundamental para analizar la disminución de la señal con la distancia. (Shi, 2025).

El modelo de trayectoria básico y cómo se comporta se describe a continuación en la siguiente ecuación (1)

$$PL_{FS}(dB) = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) - 147.55 \quad (1)$$

Donde:

- f : expresa la frecuencia en MHz
- d : es la distancia del transmisor y el receptor en (Km)

Modelo de Dos Rayos: Es un modelo útil que se implementa en óptica geométrica, que considera la transmisión directa como una componente de propagación que incide y se refleja en la superficie terrestre, este modelo es de gran escala que se usa para calcular la potencia de la señal a una distancia, teniendo en cuenta que la altura de la antena debe estar a una altura significativa que es de 50 metros. Donde el segmento de distancia de separación del transmisor y el receptor se considera plano, debido a que los sistemas celulares la distancia que tiene entre el transmisor y receptor abarca una extensión de algunas decenas de kilómetros (Treviño, 2003).

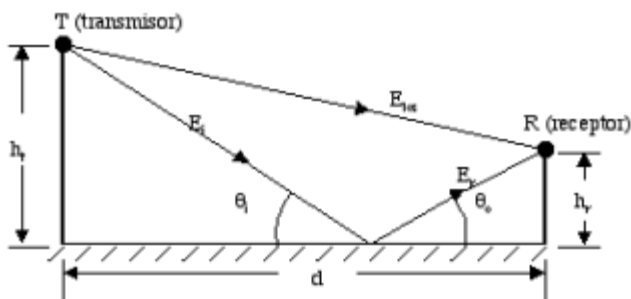
Está representada por la ecuación (2), donde se observan diferentes parámetros que se relación con este modelo.

$$PL_{TR}(dB) = 40 \log(d) - (10 \log(G_t) + 20 \log(h_t) + 10 \log(G_r) + 20 \log(h_r)) \quad (2)$$

- G_r : ganancia de la antena receptora en dB
- G_t : ganancia de la antena transmisora en dB
- d : es la distancia del transmisor y el receptor en (Km)
- h_t : es la altura de antena trasmisora en m
- h_r : es la altura de antena receptora en m

Figura 13

Modelo de Dos Rayos



Nota. Tomado de “Propagación de RF en las bandas: LF, MF, HF, VHF, UHF y VHF” (Treviño, 2003).

Modelos empíricos: Se basan en mediciones y observaciones efectuadas en el entorno real, en lugar de apoyarse únicamente en teorías físicas.

Estos modelos ofrecen evaluaciones precisas y realistas de la fuerza de la señal en lugares y entornos concretos, como zonas urbanas, rurales o suburbanas. A pesar de que necesitan ajustes para acomodarse a las particularidades del entorno, brindan resultados rápidos y adaptados a las circunstancias del mundo real (Gamudan, 2024).

Modelo COST 231 Hata: Es un modelo basado en la experiencia que se emplea para calcular la pérdida de señal en diversos entornos urbanos, suburbanos y rurales. Este modelo fue creado como parte de un proyecto de colaboración europea en el ámbito de la investigación técnica y científica (COST). Se presenta como una adición al modelo de propagación Okumura Hata, corrigiendo fallos específicos para zonas suburbanas y rurales, por lo que sus parámetros son bastante similares (Gamudan, 2024).

$$PL(dB) = 46.3 + 33.9\log_{10}(f) - 13.82\log_{10}(hb) - ahm + (44.9 - 6.55\log_{10}(hb))\log_{10}(d) + Cm \quad (3)$$

Donde:

- f : expresa la frecuencia en un rango de 1500-2000 MHz
- $hm(m)$: Tamaño de la antena transmisora
- $d(Km)$: Distancia de la antena transmisora y receptora
- $hr(m)$: Altura receptora móvil
- Cm : Área suburbana y rural 0 dB y en área urbanas 3dB
- $ahm(m)$: Factor de corrección de estación móvil

Tabla 1

Exponentes de pérdidas dependiendo del entorno

Entorno	Exponente
Espacio libre	2
Área urbana	2.7 - 3.5
Área suburbana	3 - 5
Interiores (LoS)	1.6 - 1.8
Interiores (NLoS)	4 - 6

Nota. Criterios empleados para establecer el índice de pérdidas en función del contexto.

Desvanecimiento de Pequeña Escala (Small-scale)

El desvanecimiento de pequeña escala, o simplemente desvanecimiento, se refiere a la rápida variación de la intensidad de una señal de radio durante un breve intervalo de tiempo o distancia, de modo que se pueden pasar por alto los efectos de pérdida de trayectoria a gran escala. Este fenómeno ocurre debido a la interferencia entre dos o más versiones de la señal emitida que llegan al receptor en momentos ligeramente distintos. Estas ondas, conocidas como ondas de trayectorias múltiples, se combinan en la antena receptora, lo que resulta en una señal combinada que puede oscilar considerablemente en amplitud y fase, dependiendo de cómo se distribuyan la intensidad y el tiempo de propagación relativo de las ondas, así como del ancho de banda de la señal transmitida (Rappaport, 2002).

Factores que Influyen en el Desvanecimiento a Pequeña Escala

Diversos elementos físicos en el medio de transmisión de radio afectan el desvanecimiento en pequeña escala. Entre estos se encuentran:

Propagación de trayectorias múltiples: La existencia de elementos que reflejan y dispersan en el canal genera un ambiente dinámico que reduce la energía de la señal en términos de amplitud, fase y tiempo. Como consecuencia, se producen distintas variaciones de la señal enviada que alcanzan la antena receptora, con diferencias en el tiempo y en la posición espacial. La fase aleatoria y las amplitudes de las diversas trayectorias generan variaciones en la fuerza de la señal, lo que provoca desvanecimientos a corto plazo, distorsión de la señal o una combinación de estos efectos (Rappaport, 2002).

Velocidad del móvil: El movimiento comparativo entre la estación central y el dispositivo móvil causa una modificación aleatoria de la frecuencia por los distintos cambios Doppler en cada uno de los elementos de trayectorias múltiples. El cambio Doppler será positivo o negativo según si el receptor móvil se dirige hacia la estación central o se aparta de ella (Rappaport, 2002).

Velocidad de los objetos circundantes: Si los elementos en el canal de radio están en movimiento, generan un cambio Doppler variable en las diferentes trayectorias. Si los objetos que rodean se desplazan a una velocidad superior a la del móvil, entonces este fenómeno predomina en el desvanecimiento a pequeña escala. En caso contrario, el desplazamiento de los objetos cercanos puede ser insignificante, y únicamente se debe tener en cuenta la velocidad del móvil (Rappaport, 2002).

El ancho de banda de transmisión de la señal: Si el ancho de banda de la señal de radio que se transmite excede el "ancho de banda" del canal de múltiples trayectorias, la señal que se recibe sufrirá distorsión, aunque la potencia de la señal recibida no disminuirá significativamente en un área pequeña (esto significa que la reducción de la señal a nivel local no será relevante). Como se demostrará más adelante, el ancho de banda del canal se puede medir a través del ancho de banda de coherencia, que está vinculado a la estructura concreta de las trayectorias múltiples del canal (Rappaport, 2002).

Parámetros de Small-Scale Fading

Parámetros de Dispersión Temporal

Para analizar diversos tipos de canales con múltiples trayectorias y crear ciertas directrices de diseño para sistemas de comunicación inalámbrica, se emplean parámetros que evalúan de manera aproximada el canal de múltiples trayectorias. El retardo medio excesivo, la dispersión de retardo RMS y el retardo excesivo son parámetros del canal de trayectorias múltiples que se pueden calcular a partir de un perfil de retardo de potencia (PDF) (Rappaport, 2002).

Las características de dispersión temporal de los canales de trayectorias múltiples en banda ancha se miden principalmente a través de su retardo medio excesivo $\bar{\tau}$ y la dispersión de retardo rms σ_τ (Rappaport, 2002). El tiempo de retraso medio excesivo es el primer punto del perfil de retraso de potencia y se describe como:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (4)$$

Donde:

$\bar{\tau}$ = Retardo medio excesivo

a_k = Amplitud del componente de trayectoria k

τ_k = Retardo del componente de trayectoria k

La dispersión de retardo RSM se calcula como la raíz cuadrada del segundo momento central del patrón de retardo de potencia y se establece como:

$$\sigma_\tau = \sqrt{\bar{\tau}^2 - (\bar{\tau})^2} \quad (5)$$

$$\bar{\tau}^2 = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2 a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)} \quad (6)$$

Donde:

σ_τ = Dispersión de retardo RMS

k = Índice que representa cada trayectoria múltiple

$P(\tau_k)$ = Potencia recibida asociada al retardo

Estos retardos se miden en relación con la primera señal detectable que llega al receptor, los valores habituales de la variabilidad del retardo RSM se encuentran en el rango de microsegundos en canales de radio móvil externos y en el rango de nanosegundos en canales de radio internos. Es fundamental destacar que la varianza del retardo cuadrático medio y el retardo medio en exceso se determinan a partir de un solo perfil de retardo de energía, el cual es el promedio temporal o espacial de las mediciones secuenciales de respuesta al impulso que han sido recogidas y promediadas en una zona específica. (Rappaport, 2002).

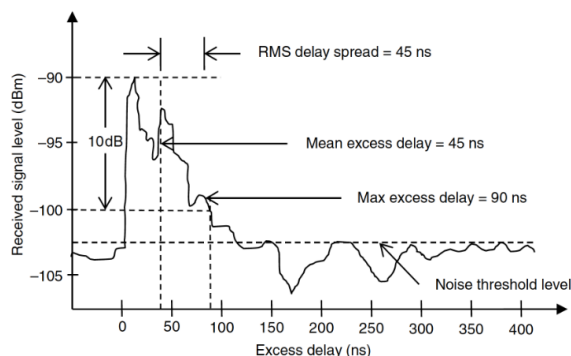
Power Delay Profile PDP

Es la intensidad de la señal que el receptor capta por medio de un canal de múltiples trayectorias, en función del tiempo de retardo (Milania, 2022).

A continuación, se muestra un ejemplo de un perfil de retardo de potencia (PDP):

Figura 14

Perfil de retardo de potencia



Nota. Representación gráfica de Perfil de retardo de potencia (PDF), (Kim, 2015).

Herramienta estadística AIC

Este tipo de herramienta estadística AIC, permite usar el criterio de información de Akaike, el que indica que debemos usar para seleccionar el modelo que mejor representa la variación alternativas para poder buscar un balance entre el mejor ajuste y la complejidad de los datos analizados, esta metodología eliminar o restringe a los modelos que tienen muchos parámetros, usando la fórmula $ACI = 2K - 2\ln(L)$, donde la variable k representa el número de parámetros, L es la verosimilitud excedente del modelo. El valor ACI que tiene el valor mas bajo nos indicara que el modelo es el correcto o el más adecuado para la comparación de los datos. Este criterio es muy usado para analizar la progresión, este modelo estadístico en ingeniería.

Dispersión Doppler y Tiempo de Coherencia

La dispersión del retardo y el ancho de banda de coherencia explican cómo se dispersa un canal inalámbrico a lo largo del tiempo, pero no muestran cómo varía cuando hay movimiento entre el usuario y la estación base.

Para estudiar esas variaciones se emplean la dispersión Doppler y el tiempo de coherencia. La dispersión Doppler (B_d) revela cuánto se expande el espectro a causa del movimiento y muestra el rango de frecuencias en el que el efecto Doppler es relevante; si la señal cuenta con un ancho de banda considerablemente mayor, este efecto tiene poca influencia. Por otro lado, el tiempo de coherencia (T_c) señala cuánto tiempo el canal se mantiene estable, y tiene una relación inversa con la dispersión Doppler: a medida que el Doppler se incrementa, el tiempo de coherencia se reduce (Rappaport, 2002).

Está representada por la expresión:

$$T_c \approx \frac{1}{B_d} \quad (7)$$

El periodo de coherencia representa cuánto tiempo el canal inalámbrico se mantiene constante sin alteraciones significativas. En ese lapso, las señales recibidas son lo suficientemente similares como para conservar una buena correlación. Si esta duración es breve y la señal enviada persiste más allá de ese tiempo, el canal fluctuará mientras se transmite la información, lo cual provoca distorsión (Rappaport, 2002).

$$T_c \approx \sqrt{\frac{9}{16\pi f_m^2}} \quad (8)$$

Ancho de banda de coherencia

Es un indicador numérico del espectro de frecuencias en el que el canal puede ser visto como “uniforme”; dicho de otra manera, es el límite de banda ancha estimado o el rango de frecuencias en el que dos partes de una señal tienen una alta posibilidad de sufrir una atenuación de amplitud similar o relacionada. Está representado de esta forma:

$$B_c \approx \frac{1}{\sigma_t} \quad (9)$$

Tipos de Desvanecimiento de Pequeña Escala (Small-Scale Fading)

Flat fading: Si el canal de radio móvil presenta una ganancia constante y una respuesta de fase lineal a lo largo de un ancho de banda que supera el ancho de banda de la señal emitida, entonces la señal que se recibe sufrirá un desvanecimiento plano. Este tipo de desvanecimiento ha sido, a lo largo de la historia, el más mencionado en la literatura técnica. En el desvanecimiento plano, la composición de trayectorias múltiples del canal permite que las propiedades espectrales de la señal emitida se mantengan en el receptor. No obstante, la fuerza de la señal que se recibe varía con el tiempo, debido a las oscilaciones en la ganancia del canal originadas por las trayectorias múltiples (Rappaport, 2002).

Frecuencia selectiva fading: Si un canal tiene una ganancia constante y una respuesta de fase lineal en un ancho de banda que es inferior al ancho de banda de la señal que se transmite, se producirá desvanecimiento selectivo en frecuencia en la señal que se recibe. En tales situaciones, la respuesta al impulso del canal presenta una dispersión de retardo debido a múltiples trayectorias que supera el ancho de banda recíproco de la forma de onda del mensaje enviado. Cuando esto sucede, la señal que se recibe contiene varias versiones de la forma de onda original que están atenuadas y presentan un retraso en el tiempo, lo que provoca que la señal recibida se distorsione. El desvanecimiento selectivo en frecuencia es resultado de la dispersión temporal de los símbolos que se transmiten a través del canal (Rappaport, 2002).

$$T_S > T_C \quad (10)$$

y

$$B_S < B_D \quad (11)$$

El desvanecimiento rápido se ocupa únicamente de cómo varía el canal debido al movimiento. Para un canal de desvanecimiento constante, podemos considerar la respuesta a un impulso como una función delta, sin ningún tipo de retraso temporal.

Slow fading: En un canal de desvanecimiento lento, la respuesta al impulso de dicho canal varía a una velocidad considerablemente menor que la señal de banda base enviada. En esta situación, se puede considerar que el canal permanece constante durante uno o varios períodos de ancho de banda recíproco. En el ámbito de la frecuencia, esto significa que la dispersión Doppler del canal es significativamente menor que el ancho de banda de la señal de banda base (Rappaport, 2002).

$$T_S < T_C \quad (12)$$

y

$$B_S > B_D \quad (13)$$

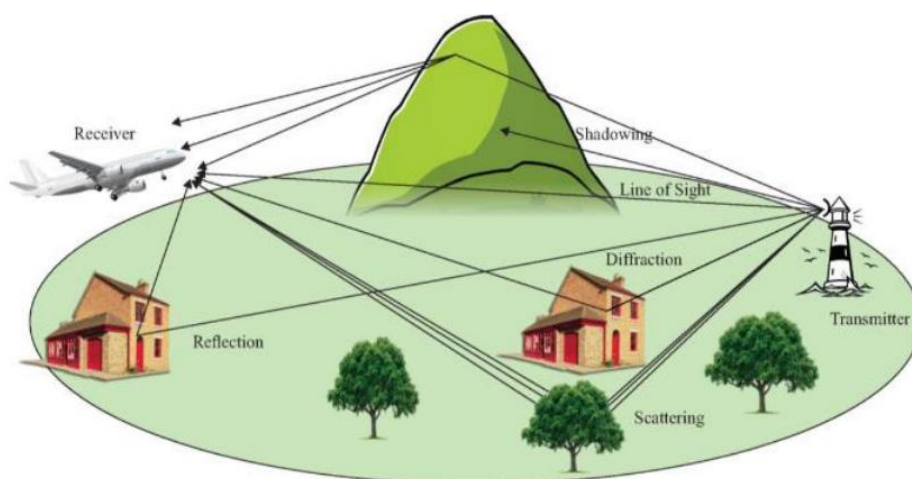
Es importante entender que la velocidad del móvil (o la velocidad de los elementos en el canal) y la señalización de la banda base influyen en si una señal sufre un desvanecimiento rápido o uno lento.

Desvanecimiento por trayectos múltiples

Este fenómeno de desvanecimiento es bastante frecuente en las transmisiones inalámbricas, ocasionando una fluctuación en la propagación de las señales en función del tiempo, el espacio y la frecuencia. Esto ocurre porque en las áreas urbanas y suburbanas, la señal se encuentra con numerosos obstáculos y tiende a tomar rutas diversas antes de alcanzar el receptor (Calderón, 2024).

Figura 15

Efecto de desvanecimiento por trayectos múltiples



Nota. Tomado de “Análisis comparativo de modelos de propagación para 4G en el valle de Tumbaco” (Calderón, 2024).

Estación de carga (Electrolineras)

Una electrolinera es un punto de carga creado especialmente para ofrecer energía eléctrica a los vehículos eléctricos (VE). Tienen un papel similar a un punto de estación de gasolina tradicional, pero en vez de dispensar combustible fósil, proporciona electricidad para cargar las baterías de automóviles. Las estaciones de carga pueden estar ubicadas en espacios públicos, centros comerciales, estacionamientos y carreteras, existe varios tipos de electrolineras según la potencia que consuma, entre sus características es el tipo que ofrece, por ejemplo, su velocidad de carga (Toscano, 2025).

Existen tipos de electrolineras según su potencia, entre ellos están los de carga lenta (AC), que tiene una potencia de hasta 7.4 kW con un tiempo estimado de carga entre 6 y 10 horas, con un uso habitual en domicilios particulares, parking donde el vehículo pasa un largo tiempo estacionado. Otro tipo de es de carga rápida (DC) con una potencia entre 50 y 150 kW, estimado un tiempo de carga entre 20 y 60 minutos, se usan habitualmente en áreas de servicios en carreteras y estaciones públicas de gran demanda (Toscano, 2025).

La infraestructura de carga para automóviles eléctricos incluye diversos elementos para manejar la energía. La electrónica de potencia en corriente continua es fundamental para la gestión energética, y los dispositivos que regular la carga asisten a dicha electrónica de potencia de CC para realizar un control correcto (Kumar, 2024).

Figura 16

Componente de una infraestructura de carga



Nota. Tomado de “Which components are involved in EV charging power management” (Kumar, 2024).

La infraestructura de carga como se observa en la figura 6, indica los componentes de una electrolinera los cuales son:

1. Cargador
2. Cable de carga
3. Unidad de enfriamiento
4. Controladores de carga CC
5. Electrónica de potencia y distribución de CC
6. Medidor de energía de CC

Adicionalmente las electrolineras están compuestas por varios elementos clave como los métodos de pago o identificación, que permite realizar mediante tarjetas, aplicaciones o suscripciones, y algunas de ellas cuentan con conectividad en línea, donde se monitorea en tiempo real el estado, disponibilidad y funcionamiento de los equipos (Toscano, 2025).

Vehículos eléctricos

Un vehículo eléctrico es un tipo de transporte que emplea uno o más motores que funcionan con energía eléctrica para moverse, convierte la energía potencial en energía en movimiento. Normalmente la energía proviene de baterías de iones de litio, aunque hay múltiples maneras, enfoques y categorías para almacenar la energía en estos automóviles (Méndez, 2024).

Tabla 2

Especificaciones de vehículos eléctricos en el Ecuador

Marca	Modelo	Autonomía (km)	Tipo de Carga	Velocidad de carga (kW)	Tipo de conector
Kia	Soul EV	276	Rápida	80	CCS DC
Dongfeng	Serie Rich	400	Rápida	40	Tipo 2 AC/ CHAdEMO DC
Dayang	DY-GD04B	100	Lenta	≤20	Shucko/Wallbox
Audi	Audi E-Tron	446	Rápida	22/150	CCS DC
Kaiyun	Pickman	110	Lenta	≤20	Shucko/Wallbox
Nissan	Leaf	280	Rápida	50	CHAdEMO DC
Zhidou	D1	145	Lenta	≤20	Shucko/Wallbox
BYD	BYD-E3	400	Rápida	40	Tipo 2 AC
MG	MG-ZS	440	Rápida	92	CCS DC
Jiayuan	City Spirits	120	Lenta	≤20	Shucko/Wallbox

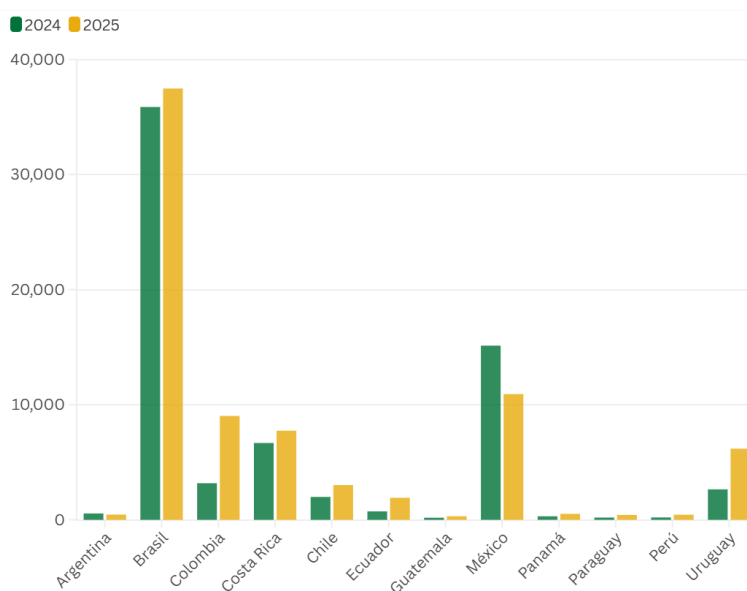
Nota. Tomado de “Estaciones de carga para vehículos eléctricos (Electrolineras)”, (Méndez, 2024).

Vehículos eléctricos en América Latina

En América Latina la transición hacia la movilidad eléctrica está en desarrollo. Según un informe técnico de la Organización Latinoamericana de Energía, hay aproximadamente 440,000 vehículos electrificados (ya sean eléctricos, híbridos o enchufables) en la región. Si esta tendencia continúa, es probable que se superen los 20 millones para el año 2030. Sin embargo, este aumento tendrá consecuencias directas para el sector energético. Calcula que satisfacer las necesidades de este parque vehicular en 2030 demandará al menos un 3% de la producción eléctrica total actual en América Latina. (Youtopia, 2025).

Figura 17

Ventas de vehículos eléctricos en América Latina



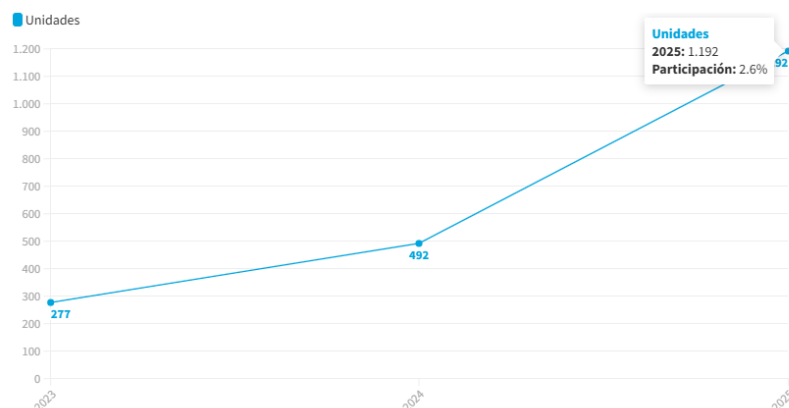
Nota. Tomado de “El auge del vehículo eléctrico impulsa la demanda energética”, (Youtopia, 2025)

Crecimiento de vehículos eléctricos en Ecuador

Los lanzamientos de vehículos eléctricos en Ecuador continúan en aumento. Su efecto en los últimos dos años se muestra claramente en los datos recientes de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), que, para mayo de 2025, evidencia un incremento en las ventas del sector en general. La categoría de vehículos eléctricos ha visto un crecimiento notable. Actualmente representa el 2,6 % del mercado total de automóviles. De acuerdo con las cifras del sector, la cantidad de vehículos eléctricos vendidos pasó de 277 entre enero y mayo de 2023 a un total de 1.192 en el mismo lapso de 2025. Esto representa un aumento del 330 % (PRIMICIAS, Fiebre por los carros eléctricos: Ecuador pasó de tener 25 modelos disponibles en 2023 a 78 en 2025., 2025).

Figura 18

Venta de carros eléctricos en Ecuador



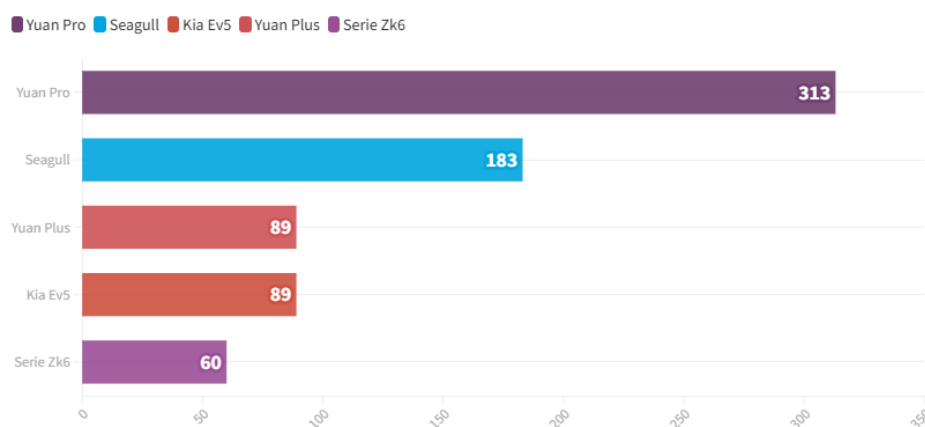
Nota. Tomado de “Fiebre por los carros eléctricos: Ecuador pasó de tener 25 modelos disponibles en 2023 a 78 en 2025”, (PRIMICIAS, Fiebre por los carros eléctricos: Ecuador pasó de tener 25 modelos disponibles en 2023 a 78 en 2025., 2025)

Las marcas han descubierto una nueva competencia, en la que las empresas chinas dominan gran parte del mercado. No obstante, otras marcas también están invirtiendo en la movilidad eléctrica.

Como resultado, el total de modelos aumentó de 25 en 2023 a 78 en 2025, lo que representa un incremento del 212% (PRIMICIAS, Fiebre por los carros eléctricos: Ecuador pasó de tener 25 modelos disponibles en 2023 a 78 en 2025., 2025).

Figura 19

Las 5 principales ventas de autos eléctricos en Ecuador



Nota. Tomado de “Fiebre por los carros eléctricos: Ecuador pasó de tener 25 modelos disponibles en 2023 a 78 en 2025”, (PRIMICIAS, Fiebre por los carros eléctricos: Ecuador pasó de tener 25 modelos disponibles en 2023 a 78 en 2025., 2025).

En la actualidad, las ventas globales de automóviles eléctricos desde enero hasta octubre de 2025 alcanzaron las 3.175 unidades, lo que representa un ascenso del 189,4% en comparación con el mismo periodo de 2024, cuando se comercializaron solo 1.097 coches. De acuerdo con cifras del ámbito automotriz, el número total de vehículos vendidos llegó a 100.740 unidades en los primeros diez meses de 2025, lo que equivale a un aumento general del 10,1% en comparación con 2024. Sin embargo, gran parte de este incremento se debe al sector de los vehículos eléctricos. (Foncesa, 2025).

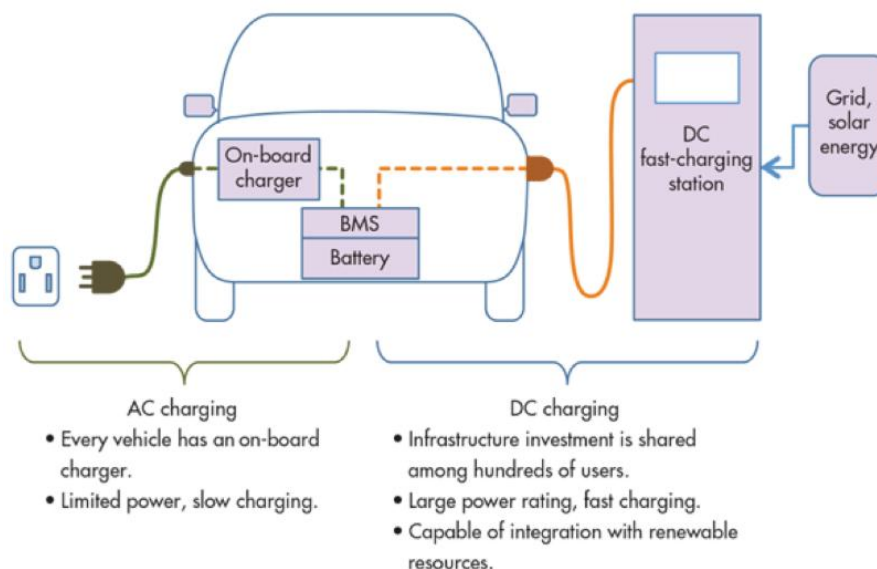
Tipos de carga en vehículos eléctricos

Todos los vehículos eléctricos cuentan con un cargador con un convertidor que convierte la corriente (CA) de la red eléctrica en corriente continua (CC), necesaria para cargar la batería. Sin embargo, los sistemas de carga rápida (CC) no requieren dicho dispositivo en el vehículo (Casa, 2023).

Con la carga CA, todos los componentes se encuentran dentro del vehículo, mientras que con la carga de CC, algunos o todos los componentes necesarios se encuentran fuera del vehículo, en la estación de carga. Esto significa que los componentes responsables de esta tarea se encuentran dentro del equipo externo (Casa, 2023).

Figura 20

Tipo de carga DC y AC



Nota. Tomado de “Overview on Battery Charging Systems for Electric Vehicles” (Dini, Saponara, & Colicelli, 2023)

En la *Figura 20*, se observa un sistema de carga lenta y rápida para vehículos eléctricos, que normalmente funcionan con corriente alterna o corriente continua, pero también pueden existir modelos híbridos, los tiempos de carga varían entre 15 y 30 minutos para el sistema de carga rápida y entre 5 y 8 horas para el sistema de carga lenta. Según la norma internacional IEC la potencia requería para el sistema de carga es de 50kW y 3,7 kW para el sistema de carga lenta. La IEC es una organización de normalización global que incluye a todos los comités nacionales de ingeniería eléctrica. Además, los cargadores rápidos pueden superar los 25.000 dólares mientras que los sistemas de carga lenta requieren una inversión significativamente menor (Garcia, 2017).

Tipos de conectores

Los vehículos electrónicos cuentan con un cargador incorporado con la finalidad de transformar la corriente alterna que se genera mediante la red de distribución en corriente continua para que se almacene en baterías. De esta forma cuando se quiere distribuir una potencia elevada, el procedimiento que se realiza es mediante una instalación que proporcione el vehículo a través de corriente continua con la que se suministran en las baterías (Garcia, 2017).

Conector Shuko (Tipo F)

Este tipo de cargadores ya vienen incluido de fabrica en todos los vehículos eléctricos y permiten realizar cargas de hasta 16 amperios con una tensión de 250 V. Funcionando bajo el modo de carta conocido como *TIPO 1*, considerando una carga lenta, y son comúnmente usados en bicicletas eléctricas y en vehículos como el *Renault Twizy* (Méndez, 2024).

Figura 21

Conector Shuko



Nota. Tomado de “Estaciones de carga para vehículos eléctricos (Electrolineras)” (Méndez, 2024).

Conector SAEJ1772 o IEC 62196-1 (Tipo 1)

Este tipo de conector es estándar que se usa en Estados Unidos, es aceptado en países como Japón y varias naciones europeas. Permite cargar los vehículos eléctricos con tensiones de hasta 250 V y corrientes que alcanzan los 80 A, consiguiendo potencias cercanas a 19,2 kW. Es compatible con los modos de carga 1, 2 y 3, y se usa en modelos como Nissa LEAF, Toyota Prius y Renault Kangoo (Méndez, 2024).

Figura 22

Conector SAE J1772



Nota. Tomado de “Estaciones de carga para vehículos eléctricos (Electrolineras)” (Méndez, 2024).

Conector Mennekes o IEC 62193 (Tipo 2)

Este conector representa un estándar utilizado en Europa, capaz de operar con una intensidad máxima de 63 A y una tensión de 500 V, lo que ayuda a suministrar potencias de hasta 43,5 kW. Tiene diferentes modalidades de carga entre ellas están la semi-rápida y la rápida. Es compatible con los modos de carga 2,3 y 4. Se usan en vehículos como Renault ZOE, BMW, Tesla y Porsche (Méndez, 2024).

Figura 23

Conector Mennekes (Tipo 2)



Nota. Tomado de “Estaciones de carga para vehículos eléctricos (Electrolineras)” (Méndez, 2024).

Conector CHAdeMO

Se usa para carga rápida de vehículos eléctricos fabricados en Japón. Dispone de 10 pines, lo que se dividen entre líneas de potencia y las de comunicación. Opera con corrientes de hasta 110 A, alcanza los 500 V los que ofrecen una potencia de 62,5 kW. Es compatible con los modos de carga 2,3 y 4 y se usa principalmente en vehículos de marca (Méndez, 2024).

Figura 24

Conector CHAdeMO



Nota. Tomado de “Proyecto para la implantación de una electrolinera sostenible en Boceguillas” (Garcia, 2017).

Conector CCS

Este conector fue fabricado por alemanes y norteamericanos para la carga de corriente continua. Tiene la ventaja de poder cargar de dos formas, una de sus características técnicas es que consta de 5 pines, protección a tierra. Su tipo de carga es lenta y rápida (García de Andrés, 2017). Tiene una intensidad máxima de 200 A y una tensión de hasta 850 V, es compatible con los modos de carga 2,3 y 4. Se usan en vehículos de la marca Porsche, Tesla, BMW y Volkswagen (Méndez, 2024).

Figura 25

Conector CCS



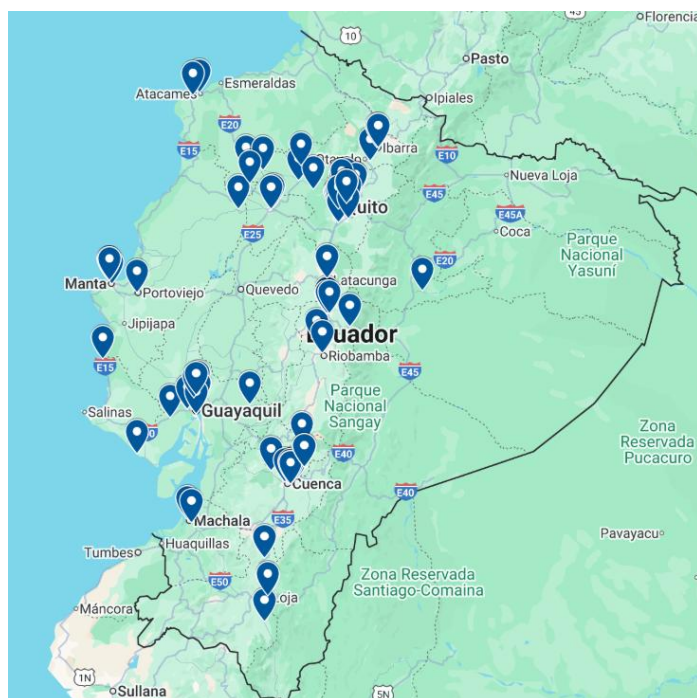
Nota. Tomado de “Proyecto para la implantación de una electrolinera sostenible en Boceguillas” (Garcia, 2017).

Puntos de carga para vehículos eléctricos en Ecuador

En un mundo que cada día valora más la necesidad de ser sostenibles, las estaciones de carga eléctrica emergen como una alternativa para fomentar la movilidad eléctrica y acelerar la llegada de vehículos ecológicos. Estas instalaciones de recarga, que son accesibles y prácticas, están jugando un papel clave en el avance hacia una flota de vehículos que no emite carbono ni otros contaminantes perjudiciales (Primicias, Electrolineras en Ecuador: impulso hacia la sostenibilidad y el futuro eléctrico., 2023). En Ecuador hasta diciembre de 2023 había 82 puntos de carga, que se le conoce como electrolineras distribuidas en las ciudades de Quito, Cuenca, Ambato, Loja, Puerto Ayora y Puerto Baquerizo Moreno, donde su número aumento al 161% en menos de un año con un total de 214 estaciones disponibles (Universo, 2024).

Figura 26

Puntos de carga vehículos eléctricos



Nota. Tomado de “¿Dónde están los puntos de carga (electrolineras) para carros electrificados y por qué impulsar una movilidad eléctrica en Ecuador?” (Universo, 2024).

Estaciones de carga Valle de los Chillos

La ciudad capital de Ecuador dispone de 22 puntos de recarga, de los cuales 20 son de carga lenta y 2 de carga rápida. Los puntos de carga lenta se distinguen por operar a 220v y ofrecer al automóvil 7 kW por hora. Estas instalaciones se localizan principalmente en aparcamientos públicos de parques, centros comerciales, la terminal de buses y el aeropuerto (Beltrán & Ávila, 2024). Las 2 estaciones de carga rápida están gestionadas por la Empresa Eléctrica Quito. En el sector del valle de los chillos se cuenta con una de las primeras estaciones de carga de vehículos eléctricos que está ubicado en el sector Huayna Cápac 129 y Fajardo, Sangolquí.

Figura 27

MegaKivi – Sangolquí



Nota. Tomado de “Mapa del Valle de los Chillos” (Google, 2025).

La tabla 3, ofrece un resumen de las estaciones de carga para vehículos eléctricos presentes en Ecuador. Esta información facilita la comprensión de la infraestructura actual de la red de carga en el país.

Tabla 3

Información de electrolinerías en el Ecuador

Ubicación	Cantidad	Puntos de carga
Quito	10	• KIA E-Ground • Empresa Eléctrica Av. Moran Valverde Quito. • CC El Bosque • Seres • ElectriMove • BYD Paseo San Francisco • Plancha del Rancho • Grupo Lader Cumbaya • Fundeportes • Chez Elena Guesthouse Hotel
Pumbo	2	• Arrayanes Country club • Plaza Marquesina
Sangolquí	1	• MegaKywi – Los Chillos
Guayaquil	4	• Condor Charger • Primax (Carlos julio Arosemena) • Primax Alpaso Puerto Azul • Mall del Norte
Manta	2	• Mantahost • Teojama Comercial
Ambato	2	• Electrolinería ISTT • Universidad Técnica Ambato
Quijos	1	• Gasolinera P&S
Quininde	1	• Lubricadora Brito
Portoviejo	1	• Cargador Novedades Karen
Latacunga	1	• Pepas Restaurante

Marco legal

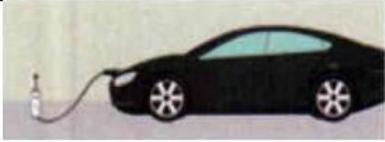
Servicio de Carga de Vehículos Eléctricos

En conformidad con las leyes actuales, la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica incluye un artículo que regula la venta de electricidad para la carga de vehículos eléctricos. En este contexto, la ARCONEL aprueba y publica el Pliego Tarifario para los Proveedores de Servicio de Carga de Energía para Vehículos Eléctricos, asegurando de esta manera la regulación y la claridad en la entrega de este servicio (ARCONEL, 2025).

Servicio de carga de energía a vehículos eléctricos límites máximos del costo

El precio por la carga será determinado por el proveedor que ofrece el servicio de carga, y estará limitado al máximo permitido (límite superior del costo del servicio de carga de vehículos eléctricos establecido por la ARCERNNR, aplicable a los usuarios de este servicio en las estaciones de carga disponibles. Las tarifas máximas para el servicio de carga de vehículos eléctricos indicadas en este marco normativo son de cumplimiento obligatorio para las personas físicas o jurídicas que estén autorizadas a brindar este servicio al firmar un acuerdo de suministro con la empresa de distribución eléctrica. Los detalles específicos del contrato de suministro para los proveedores del servicio de carga están descritos en la Regulación Nro. ARCERNNR 003/20, así como en las actualizaciones que emita la ARCERNNR al respecto (ARCONEL, 2025).

Tabla 4**Niveles de carga**

Nivel	Gráfico	Descripción
Nivel 1 AC		Corriente: Alterna (AC) Nivel de voltaje: 120V En términos generales, la carga de nivel 1 se refiere al uso de una toma de corriente doméstica estándar. Este tipo de carga se encuentra expandido en el sector residencial y en la mayoría de los lugares de trabajo
Nivel 2 AC		Corriente: Alterna (AC) Nivel de voltaje: hasta 240V El circuito exclusivo que requiere esta estación utiliza corrientes entre 20 a 80 amperios. Es común encontrar este tipo de carga en los lugares de trabajo y zonas de acceso público, aunque dependiendo de las condiciones, también presenta aplicaciones residenciales.
DCFC		Corriente: Continua (CC) Nivel de voltaje: usualmente hasta 480V de entrada. La carga rápida en DC- DCFC (DC Fast Charging), generalmente, se ubica a lo largo de corredores eléctricos donde existe tráfico

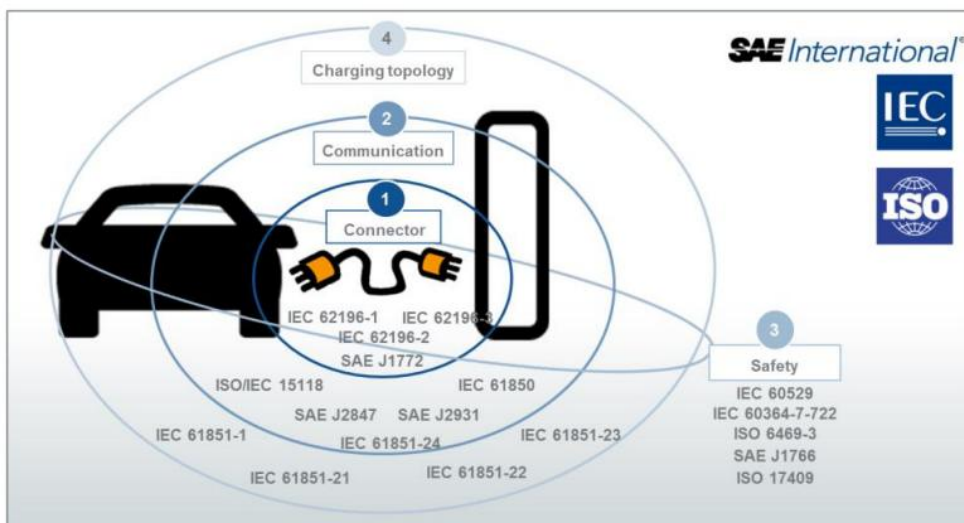
Nota. Tomado de “¿Estaciones de carga para vehículos eléctricos (Electrolineras) Caso de estudio Loja-Cuenca?” (Méndez, 2024).

Normativa para la Instalación de Puntos de Carga

Según la normativa de la instalación de los diferentes puntos de carga, exigen varios parámetros que deben cumplir para poder operar en el país, como se observa a continuación.

Figura 28

Normas internacionales para la interfaz de carga



Nota. Tomado de “Combined Charging: the universal charging system” (Mäki, 2015)

Normativa Nacional

En Ecuador en la actualidad no existe una regulación que gobierne el uso de las estaciones de carga. Sin embargo, hay un sistema de precios y servicios destinado al consumidor. Los propietarios de las electrolineras deben considerar las normas sugeridas por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNNR, 2023). El documento presenta un marco regulatorio, definiciones, campo de aplicación, sistema de tarifas y facturación. En el cuarto apartado de este documento, se aborda la estructura tarifaria para los precios máximos de los servicios de carga de vehículos eléctricos, resaltando elementos importantes como: Modos de Carga, Niveles de Carga, Tipos de Carga, Tipo de Vehículo Eléctrico y Clasificación de vehículos ligeros y pesados (Méndez, 2024).

Tabla 5**Estructura Tarifaria de Vehículos Eléctricos**

Tipo de Vehículo	Modo	Nivel	Tipo	Corriente	Potencia
Vehículo Liviano	Modo 3	Nivel 2-AC	Semi-Rápida	AC	≤ 22 kW
			Rápida	AC	> 22 kW
	Modo 4	DCFC	Ultra-Rápida	CC	≥ 50 kW
Vehículo Pesado	Modo 3	Nivel 2-AC	Rápida	AC	≥ 22 kW
	Modo 4	DCFC	Ultra-Rápida	CC	≥ 50 kW

Nota. Tomado de “¿Estaciones de carga para vehículos eléctricos (Electrolineras) Caso de estudio Loja-Cuenca?” (Méndez, 2024).

Capítulo 3

Metodología

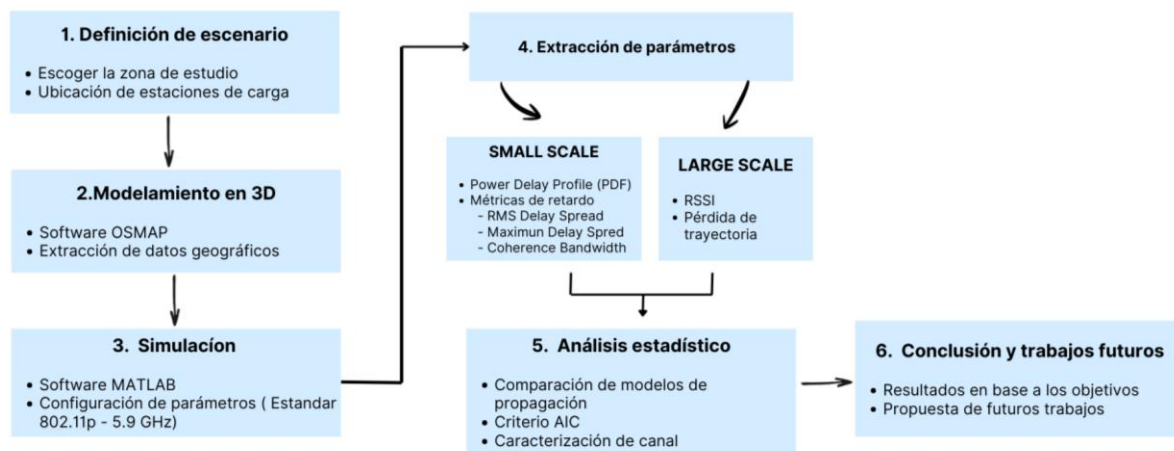
Este proyecto de integración curricular se orienta al análisis de las características de propagación del canal de comunicación en un sistema Vehículo-a-Infraestructura (V2I), enfocándose tanto en los efectos de gran escala como de pequeña escala. Para ello se considera el uso del protocolo IEEE 802.11p, tecnología empleada en entornos vehiculares y que opera dentro del rango de 5.9 GHz. La investigación se desarrolla bajo un enfoque experimental y cuantitativo, situándose en un escenario urbano del Valle de los Chillos, donde se toman en cuenta las electrolineras como puntos potenciales de soporte para la infraestructura de comunicación inteligente.

Fases del Desarrollo Metodológico

El desarrollo de la presente investigación se fundamenta en una metodología que se estructura en diferentes fases que están interconectada, como se observa en la figura 29.

Figura 29

Diagrama esquemático del procedimiento del estudio.



Definición y Análisis del Escenario

Descripción del escenario

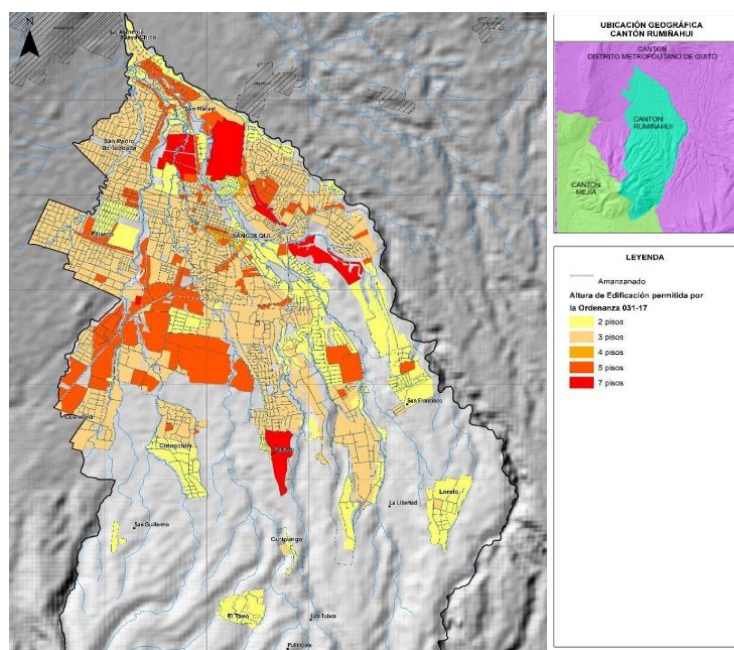
El presente estudio orientado a la caracterización del canal V2I bajo el estándar IEEE 802.11p considera como área de evaluación el tramo de la Avenida General Enríquez, comprendido entre las coordenadas 0°18'3.55"S, 78°27'35.96"O y 0°19'46.34"S, 78°27'3.82"O, lo que representa una extensión aproximada de 3.7 kilómetros. Tomando como punto de inicio el redondel del Triángulo y concluyendo en el redondel de Sangolquí, esta sección constituye una vía principal dentro del Valle de Los Chillos y soporta un flujo vehicular constante asociado a actividades comerciales, residenciales y de movilidad interparroquial. Debido a esta combinación de usos y a la variabilidad del tránsito, el entorno presenta condiciones altamente dinámicas para la propagación inalámbrica, caracterizadas por cambios frecuentes en la densidad vehicular, presencia de edificaciones, comercios y elementos urbanos que actúan como obstáculos o superficies reflectivas.

Justificación del Escenario

La Avenida General Enríquez fue seleccionada como área de análisis porque ilustra de manera efectiva un ambiente urbano auténtico, donde se combinan residencias, establecimientos comerciales y zonas de servicios, aportando así una notable diversidad al entorno. La fusión de estos elementos da lugar a una estructura vial que es irregular, con edificaciones de diferentes alturas y materiales, lo cual afecta directamente el comportamiento de las señales de radio. En este segmento se aprecia una alta concentración de edificaciones que funcionan como obstáculos y también como superficies que reflejan las señales, creando múltiples trayectorias de propagación. Además, a lo largo de la carretera se encuentran áreas con línea de vista y otras que no la tienen, lo que posibilita el estudio de condiciones de propagación variadas que son muy parecidas a las que ocurren en situaciones reales de comunicación entre vehículos.

Figura 30

Morfología de las edificaciones, altura de edificación



Nota. Tomado de “¿PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL?” (GAD, 2020).

Carga Vehicular

La Avenida General Enríquez constituye uno de los principales ejes viales del cantón Rumiñahui, conectando directamente con la Autopista General Rumiñahui, arteria principal que vincula el Valle de los Chillos con la ciudad de Quito. Por esta autopista circulan alrededor de 90,000 vehículos diariamente, lo que evidencia la intensa dinámica de movilidad en el sector.

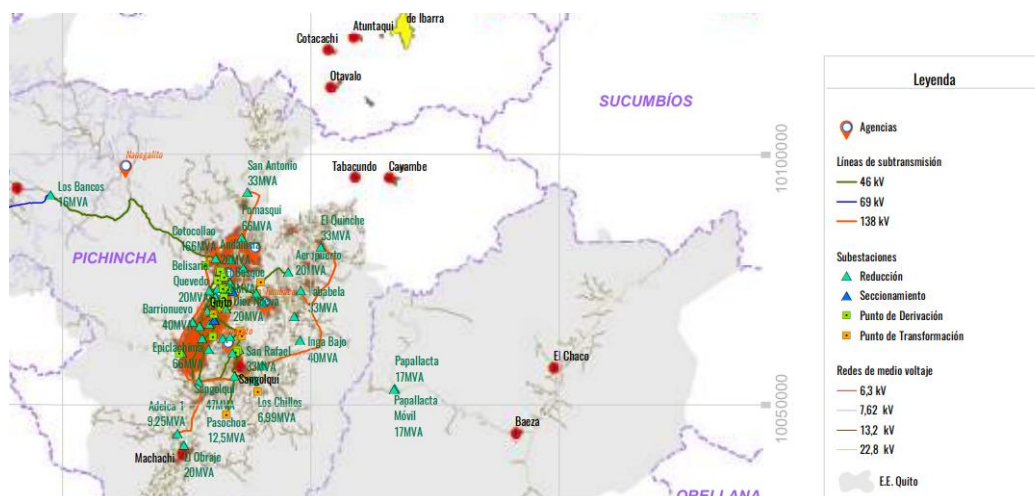
Energía eléctrica

En cuanto a la disponibilidad de infraestructura eléctrica, el tramo de estudio se beneficia de la cobertura proporcionada por la Empresa Eléctrica Quito (EEQ), entidad que ha desarrollado una sólida red de distribución en el Valle de los Chillos debido a la elevada demanda energética del sector. De acuerdo con información de (ARCOTEL, 2024). La zona cuenta con diversas subestaciones que proporcionan energía en media y alta tensión, capaces de soportar cargas de alta potencia como las requeridas por electrolineras.

En la Figura 31 se presenta el mapa de infraestructura eléctrica de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ). En el sector correspondiente al cantón Rumiñahui, se identifican las siguientes instalaciones:

Figura 31

Mapa de infraestructura eléctrica de Quito.



Nota. Tomado de: "Mapa Nro. 31: Infraestructura eléctrica de E.E. Quito". ARCONEL (2024).

Líneas de subtransmisión

El sector es atravesado por líneas de subtransmisión de 138 kV (línea naranja) y 46 kV (línea verde), Lo que garantiza la capacidad de suministro eléctrico necesaria para soportar cargas de alta potencia como las requeridas por estaciones de carga para vehículos eléctricos.

Selección del estándar 802.11p Banda 5.9 GHz

En la enmienda del estándar 802.11p, para añadir el acceso inalámbrico en entornos (WAVE), el estándar IEEE usa las aplicaciones en la banda de 5.9 GHz (5.85-5.925 GHz) (Everythingrf, 2020). Por ende, se en la simulación se va a trabajar en esa banda.

Modelos de propagación para el estudio

Se escogió un modelo ideal sin obstáculos se seleccionó el modelo Ray Tracing, ya que permite una caracterización determinística del canal cuando se considera de forma explícita los mecanismos físicos de propagación como reflexión, difracción y dispersión, este modelo resulta adecuado para analizar la propagación a 5.9 GHz, donde la longitud de onda es comparable con las dimensiones de los objetos urbanos. Adicionalmente se empleó el modelo de pérdidas de trayectoria en espacio libre (FSLP), porque representa un escenario ideal de línea de vista sin interferencias ni multiproyecto. Estos dos modelos permiten comparar un entorno idealizado con un modelado más realista del canal, consiguiendo un análisis de atenuación y el comportamiento de la señal en comunicaciones vehiculares.

Seguridad y riesgos

En el Cantón Rumiñahui se reconocen peligros naturales como los volcánicos, sísmicos, y los deslizamientos de tierra. Según la Secretaría de Gestión de Riesgos, la amenaza sísmica en toda el área del cantón es de gran severidad como esa muestra a continuación:

Figura 32

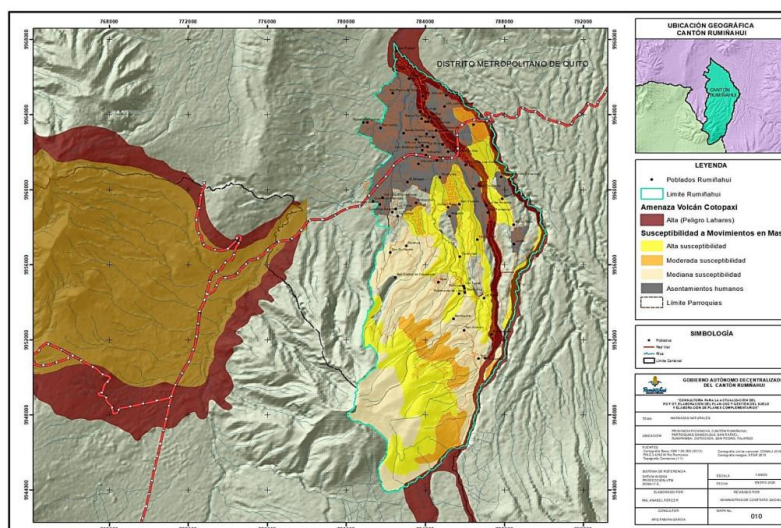
Amenazas existentes en el Cantón Rumiñahui

Amenaza		Superficie ha	Porcentaje %
Sísmica	Muy Alta Intensidad Sísmica	13544,44	100
Volcánica	Posibilidad Alta	1125,34	8,31
	Zonas de Mayor Peligro Lahares		
	Zonas de alta susceptibilidad a movimientos en masa	3976,41	29,35
Movimientos en masa, deslizamientos	Zonas de moderada susceptibilidad a movimientos en masa	1017,50	7,51
	Zonas de mediana susceptibilidad a movimientos en masa	3519,20	25,98

Nota. Tomado de “PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL” (GAD, 2020).

Figura 33

Amenazas naturales presentes en el Cantón Rumiñahui



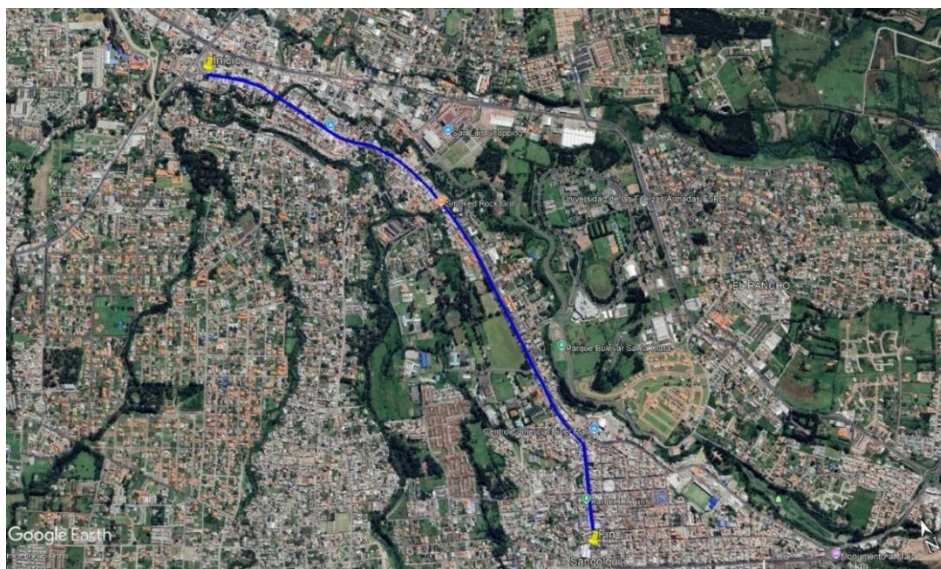
Nota. Tomado de “PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL” (GAD, 2020).

El tramo de estudio de la Avenida General Enríquez (zona amarilla/verde) se ubica en un área de moderada a mediana susceptibilidad a movimientos en masa, lo que representa condiciones favorables para la instalación de infraestructura V2I permanente. Estas particularidades convierten al corredor en un escenario idóneo para analizar los efectos large-scale (pérdidas de trayecto, atenuación por obstrucciones) y small-scale (dispersión temporal).

El desvanecimiento rápido y efectos Doppler) propios de las comunicaciones vehiculares del estándar IEEE 802.11p operando en 5.9 GHz. La configuración del tramo facilita la instalación de infraestructura V2I, incluyendo antenas, nodos vehiculares y estaciones ubicadas en electrolineras, favoreciendo la implementación de sistemas ITS y la evaluación realista del desempeño del canal en un entorno urbano complejo. En la figura 34 se observa el tramo del escenario completo de estudio en el Valle de los Chillos.

Figura 34

Escenario de simulación



Nota. Tomado de “Mapa del Valle de los Chillos” (Google, 2025).

Ubicación electrolineras

Los lugares viables para la ubicación de las electrolineras a lo largo de la zona de estudio es la Avenida General Enríquez basándonos en los datos identificador anteriormente. En esta primera ubicación existen diferentes tipos de escenarios donde existes, locales comerciales, residencia y otros servicios, lo que nos permite analizar el lugar para colocar las estaciones de cargar ya que existe movimiento de personas.

Teniendo en cuenta que alrededor de 90.000 vehículos circulan a diarios por esta avenida lo que existe una alta demanda de movimiento vehicular.

Punto 1: Sector Norte - Entrada al tramo de estudio

Coordenadas: 0°18'5.00"S, 78°27'34.50"O

Justificación: Zona de acceso al corredor de transporte desde San Rafael, zona comercial con gran visibilidad y fácil acceso.

Punto 2: Sector Centro-Norte - Zona Comercial

Coordenadas: 0°18'30.00"S, 78°27'25.00"O

Justificación: Espacio con gran concentración de locales comerciales y servicios. Existencia de locales comerciales lo que permite que los vehículos tomen un descanso mientras esperan que se cargue su vehículo.

Punto 3: Sector Central - El Triángulo

Coordenadas: 0°18'55.00"S, 78°27'18.00"O

Justificación: Existencia de locales comerciales para diferentes actividades y servicios, presentando una zona con gran cantidad de tráfico lo que indica una gran demanda posible de movimiento vehicular y un lugar estratégico.

Punto 4: Sector Centro-Sur - Zona Mixta

Coordenadas: 0°19'15.00"S, 78°27'12.00"O

Justificación: Zona con gran cantidad de residencias y comercios que ofrecen una perfecta área para la ubicación de electrolinera.

Punto 5: Sector Sur - Proximidad a Sangolquí

Coordenadas: 0°19'35.00"S, 78°27'6.00"O

Justificación: Existencia de subestaciones de gasolina lo que indica un mayor potencial para ubicar una electrolinera ya que cuenta con una instalación eléctrica, obteniendo una capacidad técnica en la zona.

Punto 6: Sector Sur - Salida del tramo de estudio

Coordenadas: 0°19'44.00"S, 78°27'4.50"O

Justificación: Punto estratégico de salida hacia otras parroquias del Valle de los Chillos. Zona residencial de clase media con potencial de adopción de vehículos eléctricos. Acceso a líneas de subtransmisión de 138 kV y 46 kV.

Zonas de estudio

Para este análisis se eligieron dos ubicaciones clave en el corredor vial con el propósito de mejorar el proceso de evaluación y simulación. Aunque se detectaron seis lugares posibles para la instalación de electrolineras, se comprende que las condiciones de operación y el comportamiento del consumo a lo largo de la Avenida General Enríquez son bastante uniformes, puesto que todos los lugares pertenecen a la misma vía y tienen características análogas en cuanto a uso del suelo, tráfico vehicular y sistemas eléctricos. Por ello, el análisis se enfocará en dos puntos representativos,

Los puntos seleccionados para el desarrollo del estudio son los siguientes:

Zona 1: El triangulo

Coordenadas: -0.3008072596638727, -78.45988091809801

Zona 2: River Mall

Coordenadas: -0.329759376761, -78.4507718274

La Tabla 6 se indica los parámetros de simulación para transmisores y receptores utilizando el método de Trazado de Rayos (RT) en MATLAB en los diferentes puntos de estudio, detallando las propiedades eléctricas de los elementos del sistema dentro del escenario urbano. Siguiendo la metodología de (Granda, y otros, 2018). Se estableció el Umbral de Potencia de Recepción (RST, por sus siglas en inglés Received Signal Threshold) tomando como referencia los valores de sensibilidad mínima del receptor especificados por diversos fabricantes de equipos de comunicación V2X basados en el estándar IEEE 802.11p.

Tabla 6

Parámetros de Tx y Rx para la simulación

Elemento	Parámetros	Valores
TX	Potencia transmitida	23 dBm
	Ganancia de transmisión	0 dB
	Frecuencia	5.9 GHz
	Altura	3 m
RX	RST	-100 dBm
	Ganancia de recepción	0 dB
	Frecuencia	5.9 GHz
	Altura	1.5 m
	Polarización	Isotrópica

Nota. Parámetros de propagación obtenidos del trabajo que se emplearon en escenarios urbanos. Obtenido de Deterministic Propagation Modeling for Intelligent Vehicle Communication in Smart Cities (Granda, y otros, 2018).

Capítulo 4

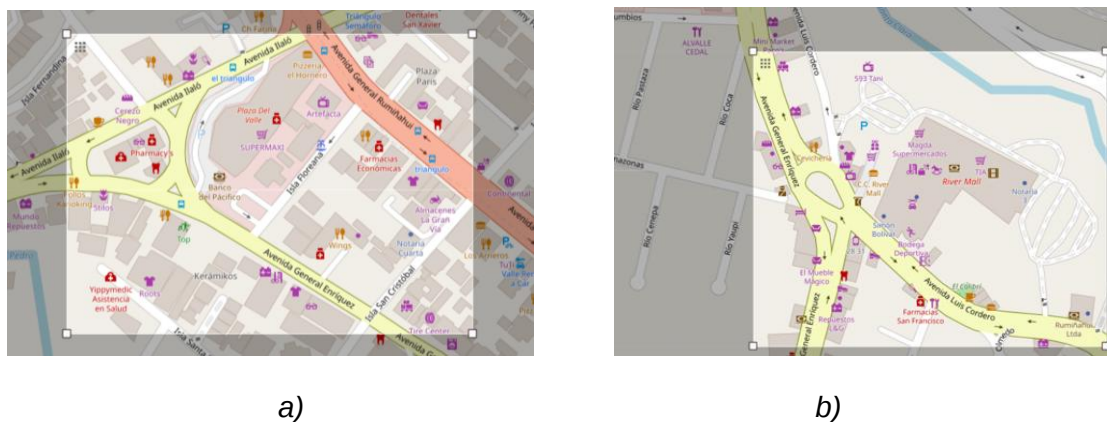
Proceso de simulación y resultados

Mapas georreferenciados

Los datos de OpenStreetMap (OSM) son de acceso público y pueden obtenerse directamente desde su plataforma en línea. El proceso de descarga consta de tres pasos: primero, se ingresan las coordenadas geográficas que delimitan la zona de estudio; posteriormente, se selecciona de forma manual el área específica de interés; y finalmente, se confirma la exportación para obtener el archivo en formato OSM. El área seleccionada resulta compatible y directamente utilizable en los programas de modelado y simulación empleados en el análisis.

Figura 35

Mapa en software OSM Zona de estudio 1 y Zona de estudio 2.



Nota. Área del mapa OSM. Obtenido de la página principal OpenStreetMap, en la imagen a, está ubicado la zona de estudio del punto 1: Triangulo, en la imagen b se muestra la ubicación del área de estudio del punto 2: River Mall. <https://www.openstreetmap.org/>.

Matlab

La integración de mapas OSM permite simular escenarios urbanos realistas, ya que estos archivos pueden procesarse directamente en MATLAB para extraer información geográfica relevante como edificaciones, calles y topografía. Los mapas en formatos .osm o .shp sirven como base para simulaciones de radiopropagación, mejorando la precisión en la representación de entornos urbanos, como se observa en la Figura 36. La visualización del mapa se realiza mediante el comando:

```
viewer = siteviewer("Buildings", osmFile);
```

Figura 36

Mapa OSM de la avenida General Enríquez - Triangulo y River Mall



a)



b)

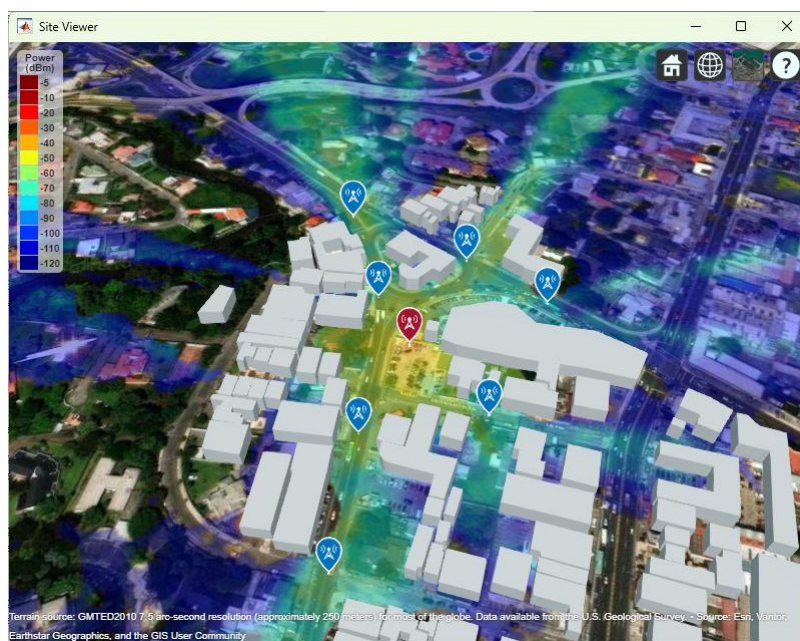
Nota. Mapa OSM para integrar datos de elevación del terreno en los espacios de trabajo de MATLAB.

Simulación

La simulación de la difusión de señales puede incluir todo el entorno de la ciudad o restringirse solo a las vías principales y secundarias, dado que la comunicación V2I implica estaciones de transmisión fijas y receptores que están en movimiento. Para llevar a cabo este análisis, es crucial establecer las coordenadas del transmisor y la ubicación de los receptores en cada carretera analizada, simbolizada por un vehículo que circula por las calles, cuyas coordenadas geográficas se especifican en la Tabla 7.

Figura 37

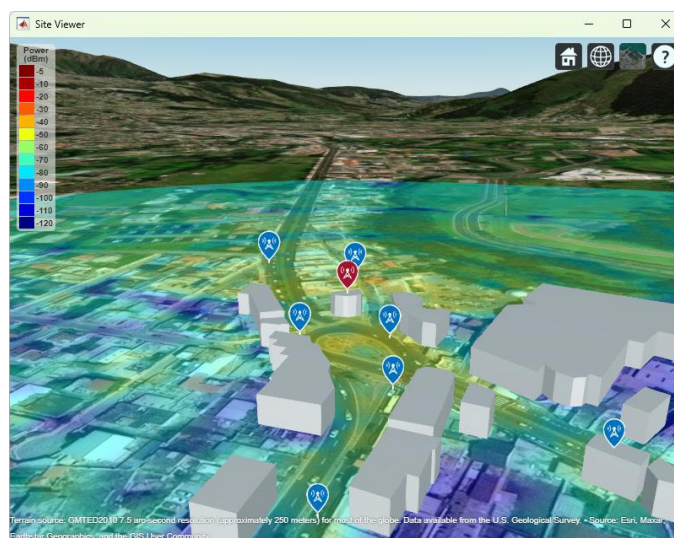
Mapa de cobertura de las ubicaciones del transmisor y los receptores Punto 1, Triangulo



Nota. Puntos del transmisor y los receptores para la simulación Punto 1.

Figura 38

Mapa de cobertura de las ubicaciones del transmisor y los receptores Punto 2, River Mall



Nota. Puntos del transmisor y los receptores para la simulación Punto 2.

Tabla 7

Coordenadas geográficas del transmisor y los receptores

Zona 1 - Triangulo

Elemento	Descripción	Coordenadas (latitud, longitud)
TX	Transmisor	-0.300807 22, -78.459880
RX1	Receptor 1	-0.299983, -78.459873
RX2	Receptor 2	-0.300231, -78.460373
RX3	Receptor 3	-0.300544, -78.461044
RX4	Receptor 4	-0.300705, -78.460899
RX5	Receptor 5	-0.300822, -78.460284
RX6	Receptor 6	-0.301187, -78.459638
RX7	Receptor 7	-0.301496, -78.459027

Zona 2 – River Mall

Elemento	Descripción	Coordenadas (latitud, longitud)
TX	Transmisor	-0.324451, -78.449591
RX1	Receptor 1	-0.323188, -78.450080
RX2	Receptor 2	-0.324177, -78.449741
RX3	Receptor 3	-0.324573, -78.449390
RX4	Receptor 4	-0.325162, -78.449531
RX5	Receptor 5	-0.323361, -78.449606
RX6	Receptor 6	-0.324171, -78.449411
RX7	Receptor 7	-0.324861, -78.448847

Nota. Detalle de las coordenadas donde se coloca el Transmisor y receptores para la simulación.

Resultados

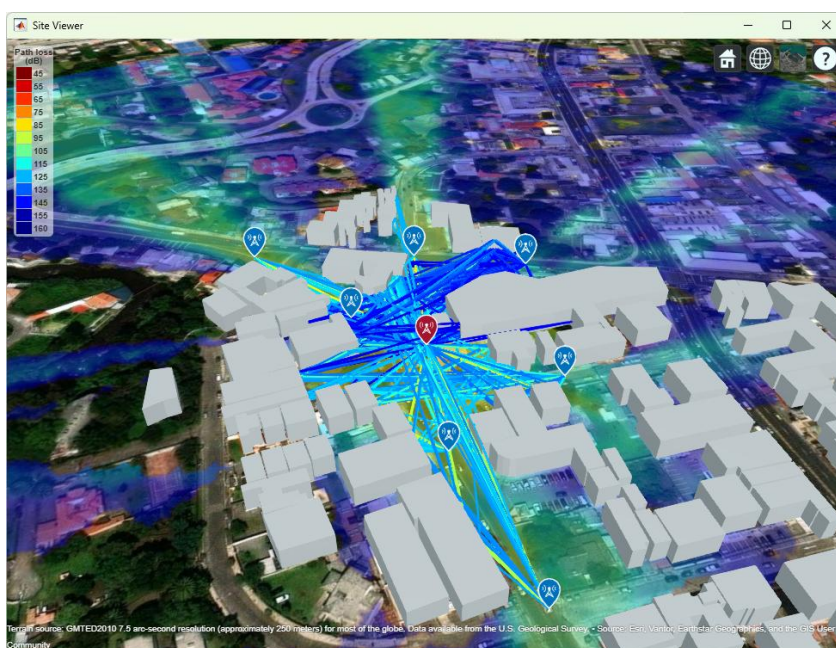
SMALL SCALE

Mapas de Cobertura y trazado de rayos

En MATLAB, existe una función *raytrace* que permite la simulación de las trayectorias de propagación en escenarios que tienen transmisores y receptores, lo que brinda información sobre las diversas rutas que puede seguir los rayos entre los puntos. La figura 39, representa cómo funciona este principio, que permite observar las trayectorias que toman los rayos desde el transmisor hasta los diferentes receptores.

Figura 39

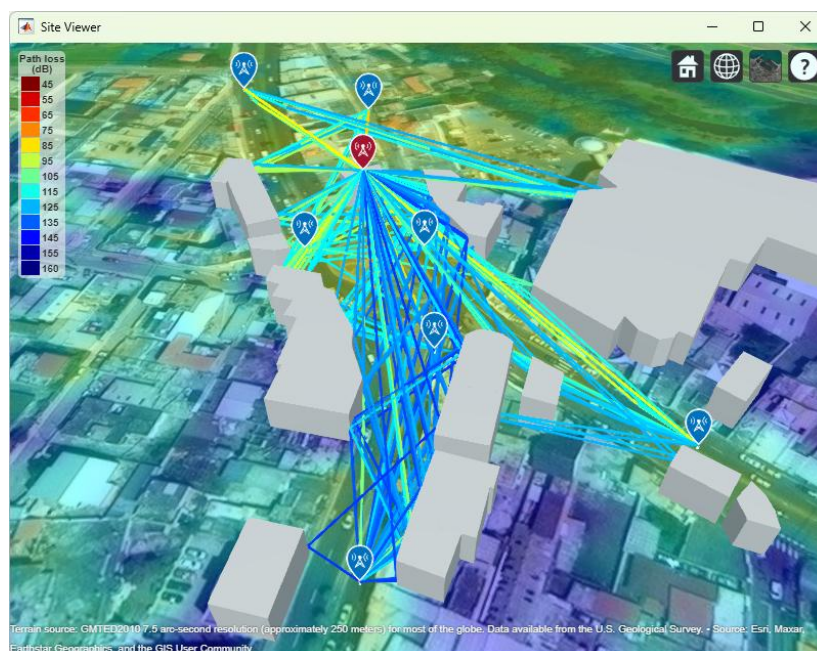
Zona del Triángulo en 3D con modelado Ray-Tracing



Nota. Funcionamiento de Ray Tracing desde el Transmisor (TX) y los receptores (RX's).

Figura 40

Zona River Mall en 3D modelada con Ray-Tracing.



Nota. Funcionamiento de Ray Tracing desde el Transmisor (TX) y los receptores (RX's) que simulan el movimiento del vehículo en la zona 2.

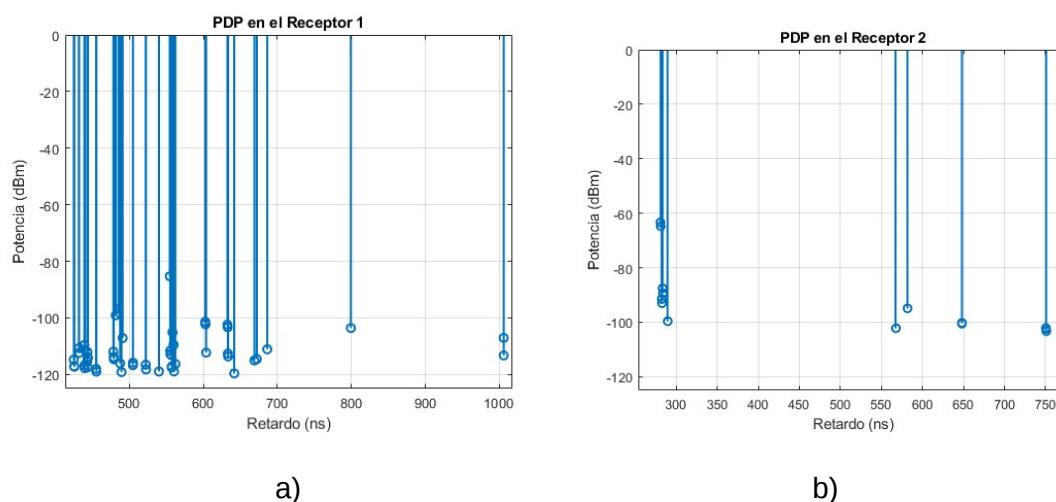
En las figuras 39 y 40 se observa el modelado en 3D de áreas urbanas mediante Ray-Tracing, donde se visualiza la distribución espacial de la señal V2I operando a 5.9 GHz desde el transmisor (indicador rojo) hacia los receptores vehiculares (indicadores azules). Los trazados azules ilustran las múltiples rutas de propagación calculadas por el modelo, destacando componentes reflejadas que interactúan con las estructuras edificadas, además del mecanismo de difracción en los vértices de las edificaciones que facilita cobertura hacia receptores sin visibilidad directa. En la figura 39 se observa una diferenciación cromática en las trayectorias que indica la calidad del enlace, donde las líneas verdes y amarillas evidencian condiciones favorables con proximidad a LOS, esta variación permite identificar que los receptores en vías principales experimentan mejores condiciones de enlace comparados con zonas laterales.

Perfil de Retardo de Potencia (PDP)

Como los rayos que transmiten desde el emisor y el receptor, indica como cada ruta con diferentes niveles de potencia y retardos en el tiempo. Esto es importante debido a que se evalúa la cantidad de trayectorias y la intensidad de la señal que viaja en el canal de comunicación, permitiendo conseguir los efectos de la dispersión de línea de vista directa y cuando existen obstáculos presentes en el canal.

Figura 41

Resultados PDF en el Receptor 1 y 2 de la zona del Triángulo.

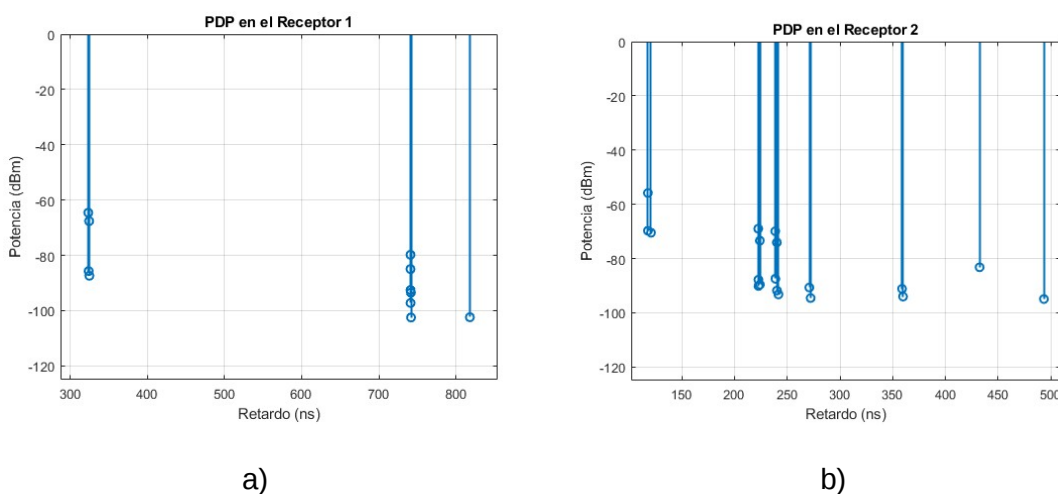


Nota. La figura muestra el perfil de retardo de potencia (PDP) en los receptores 1 y 2.

En la figura 41 indica como que el Receptor 1 obtiene una dispersión temporal más amplia, con trayectorias que consiguen retardos próximos a los 1000 ns y varias componentes con diferentes niveles de potencia relativamente altos, permitiendo indicar un entorno con múltiples reflexiones. En cambio, en el Receptor 2 indica un grupo de trayectorias más concentrado, con retardos que no llegan a los 750 ns y un número reducido de componentes relevantes, indicando un canal menos dispersivo. Las señales en el Receptor 2 muestran más atenuación, representando una posición menos favorable en relación al transmisor.

Figura 42

Resultados PDF en el Receptor 1 y 2 de la zona de estudio en el punto 2.



Nota. La figura muestra el perfil de retardo de potencia (PDP) en los receptores 1 y 2.

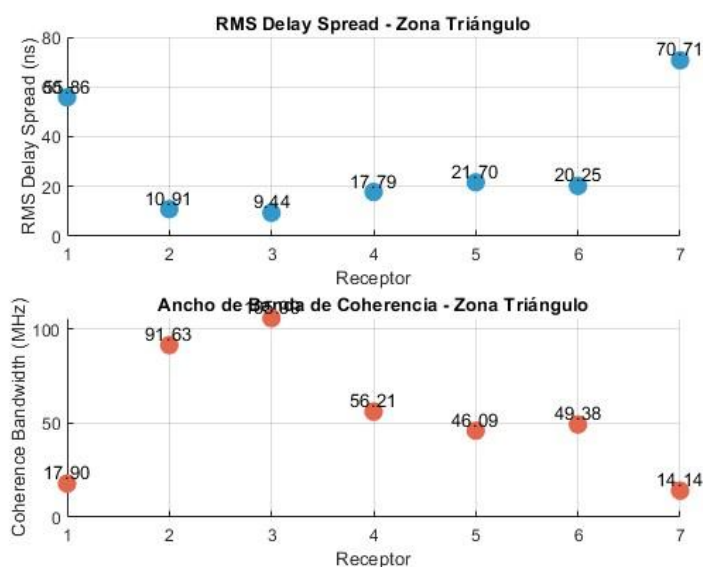
En la figura 42, el primer receptor consigue un rango de retardos más extenso, con componentes que consiguen valores cercanos a los 800 ns y diversas trayectorias de potencia moderada, representando un entorno con más reflexiones y una propagación más dispersa. A diferencia del receptor 2 que concentra la mayoría de sus trayectorias en un intervalo más pequeño, por debajo de los 500 ns, consiguiendo una menor dispersión temporal y un canal más confiable. Las señales en el receptor 2 consiguen niveles de potencia más bajos con respecto al receptor 1, lo que indica la presencia de obstrucciones o una distancia mas alejada del transmisor.

RMS Delay Spread

Este parámetro permite cuantificar la dispersión temporal del canal y evaluar su impacto en la calidad del enlace inalámbrico. A continuación, en la figura 43, se presenta los valores de obtenidos en la simulación para cada receptor, los cuales reflejan diferencias en multipropagación dentro del entorno de estudio.

Figura 43

RMS Delay Spread de los receptores en la zona del Triángulo

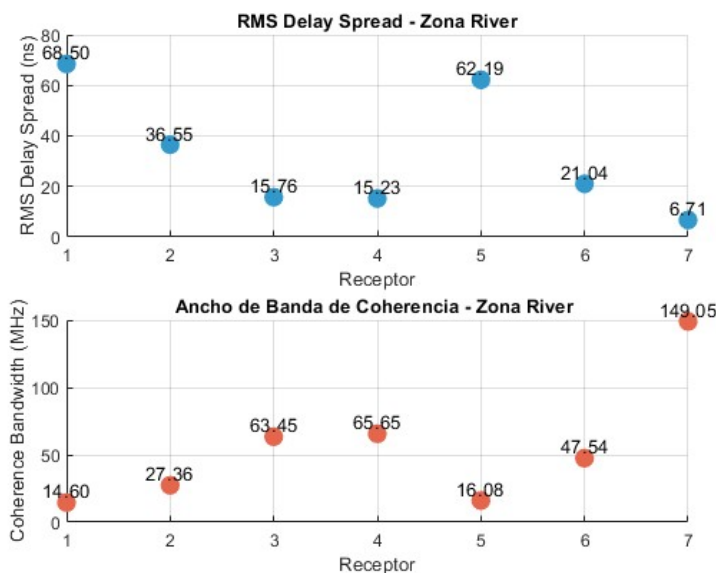


Nota. Se presenta la dispersión temporal y el ancho de banda de coherencia medidos en cada receptor de la zona del Triángulo.

En la figura 43 el área del Triángulo se observa una considerable variación entre los receptores, donde se obtienen los valores más altos en los receptores 1 y 7 (aproximadamente 65 ns y 70 ns), lo que sugiere una amplia dispersión temporal y la existencia de diversas trayectorias reflejadas. En cambio, los receptores 2, 3 y 4 presentan valores considerablemente más bajos (entre 9 y 18 ns), lo que indica un canal más consistente y menos multipropagación. Esta tendencia se refleja directamente en el ancho de banda de coherencia, que resulta ser mayor en los receptores con baja dispersión (por encima de 90 MHz), mientras que disminuye de manera notable en los receptores con mayor RMS Delay Spread, alcanzando su punto más bajo en los receptores 1 y 7 (17 MHz y 14 MHz).

Figura 44

RMS Delay Spread de los receptores de la zona del River Mall



Nota. Se presenta la dispersión temporal y el ancho de banda de coherencia medidos en cada receptor de la zona del River Mall.

En la figura 44, se visualiza un cambio notable en el RMS Delay Spread en la Zona River, obteniendo diferencias en la dispersión temporal del canal entre los diferentes receptores. Indicando altos valores registrados en los receptores 1 y 5 indicando zonas con mayores cambios de trayectoria, lo que podría perjudicar pérdida de la señal y provocar un incremento en la interferencia entre símbolos. Por otro lado, receptores como el 3, 4 y 7 muestran retardos bajos, representando condiciones de propagación más limpias y menos dispersión. Esta tendencia se indica de manera opuesta en el ancho de banda de coherencia, donde valores más bajos se identifican con vías que tienen más especificaciones en respecto a la frecuencia.

LARGE SCALE

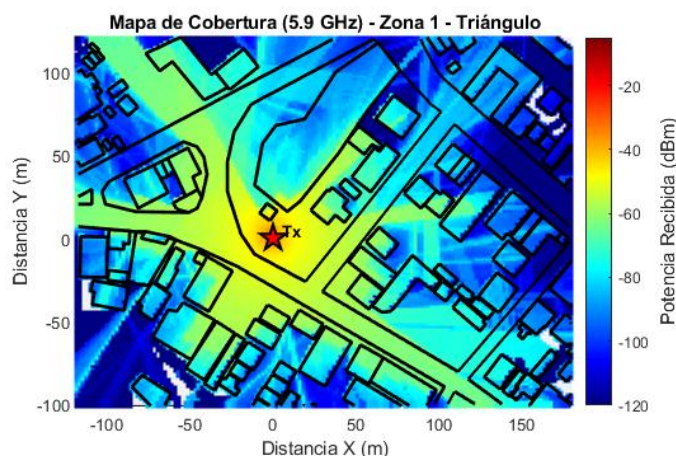
Zona 1 - Triangulo

Mapa de calor del RSSI: método Ray-Tracing

El mapa de calor se generó mediante un análisis de matriz (GRID) del área de estudio, con dimensiones de 304.78 m de ancho por 224,28 m de alto. La matriz está compuesta por 150x150 puntos, obteniendo un total de 22.5000 mediciones en el área, donde cada punto tiene una resolución espacial de 1.76 m.

Figura 45

Mapa de Cobertura RSSI zona del Triángulo



Nota. Se presenta el mapa de cobertura RSSI en la zona del Triángulo, identificando las áreas donde existe mayor y menor cobertura de comunicación.

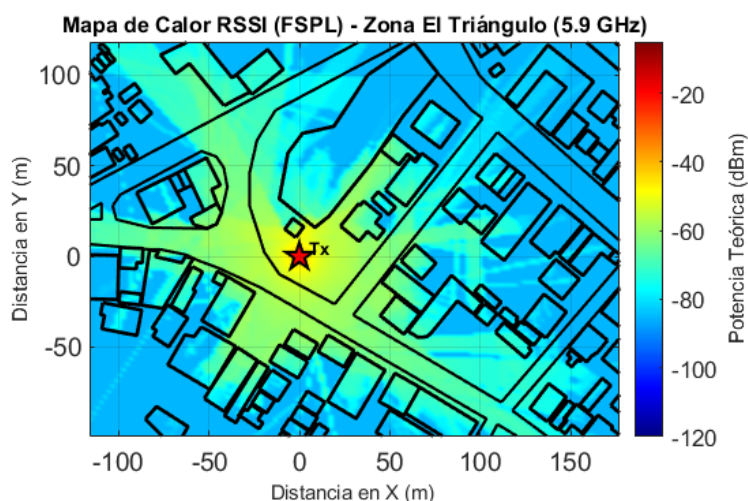
En la figura 45 se observa el mapa de calor del RSSI en el área simulación del Triángulo donde se representa la geometría de los edificios y las calles, para la estimación del RSSI se empleó el modelo de trazado de dos rayos (Ray-Tracing), el cual permite identificar y analizar las trayectorias de propagación que se generan entre el transmisor y receptor.

Las zonas en tonalidad rojiza y amarillas, concentradas alrededor del transmisor y a lo largo de la vía principal, representan niveles de señales superiores a -80 dBm, lo que indica escenarios favorables para el establecimiento del enlace. Con respecto a las regiones con una tonalidad azules y verdes, localizadas en zonas posteriores a las edificaciones y en vías transversales, presentan valores de RSSI entre -100 y -120 dBm, demostrando obstrucciones directas identificando áreas críticas donde el desempeño de la comunicación puede verse considerablemente afectado.

Mapa de RSSI – FSPL

Figura 46

Mapa de calor RSSI con modelo FSPL, en la zona del Triángulo



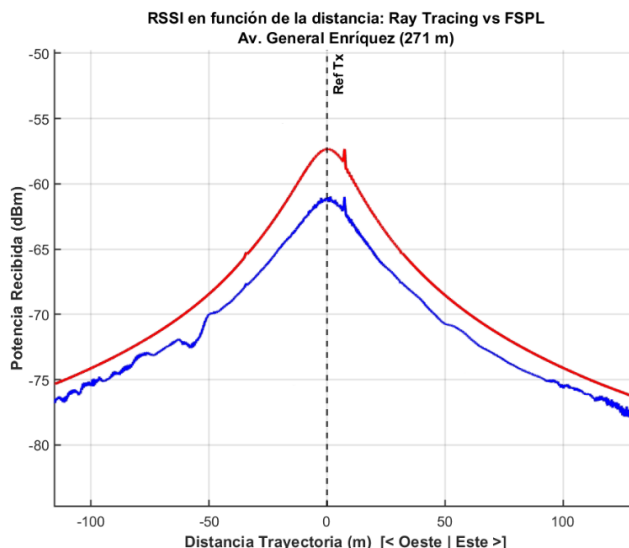
Nota. Simulación mapa RSSI utilizando modelo FSPL en la zona del triángulo.

En la figura 46 se observa que la mayor potencia recibida se concentra alrededor del punto del transmisor, alcanzando valores cercanos a -20 dBm en la zona central. Conforme la señal se propaga, los niveles de RSSI disminuyen progresivamente hasta rangos de -80 dBm y -100 dBm en las áreas más alejadas. La cobertura no es completamente uniforme, lo que evidencia la influencia de la geometría urbana y la disposición de las edificaciones.

En las esquinas del área más alejadas del transmisor predominan valores por debajo de -100 dBm, limitando significativamente la calidad del enlace. Este comportamiento confirma que la distancia es el principal factor de atenuación bajo el modelo FSPL.

Figura 47

Modelo de teórico (FSPL) vs modelo simulado en la calle principal.



Nota. Curva comparativa entre la calle principal y secundaria.

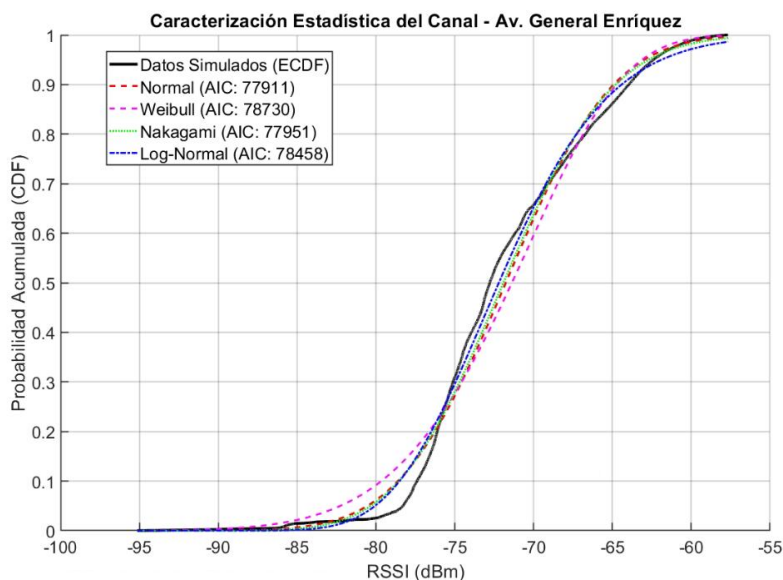
En la figura 47 se puede apreciar la comparación entre el modelo teórico FSPL y la simulación con Ray Tracing para la Av. General Enríquez. Como era de esperarse, la línea roja (FSPL) se mantiene por encima de la azul (Ray Tracing) a lo largo de toda la trayectoria, mostrando valores que van desde -58 dBm en el centro hasta aproximadamente -73 dBm en los extremos. Por su parte, el Ray Tracing registra valores un poco más bajos, llegando hasta -78 dBm en las zonas más alejadas. La diferencia entre ambos modelos ronda los 5-7 dB, lo cual tiene sentido si consideramos que estamos en una zona urbana donde hay edificios, reflexiones y otros obstáculos que el FSPL no toma en cuenta.

Es interesante notar que las curvas están más juntas cerca del transmisor y se van separando hacia los extremos, lo que indica cómo van aumentando las pérdidas adicionales conforme nos alejamos y hay más interacción con el entorno.

Análisis estadístico

Figura 48

Comparación entre ECDF del RSSI medido y modelos teóricos



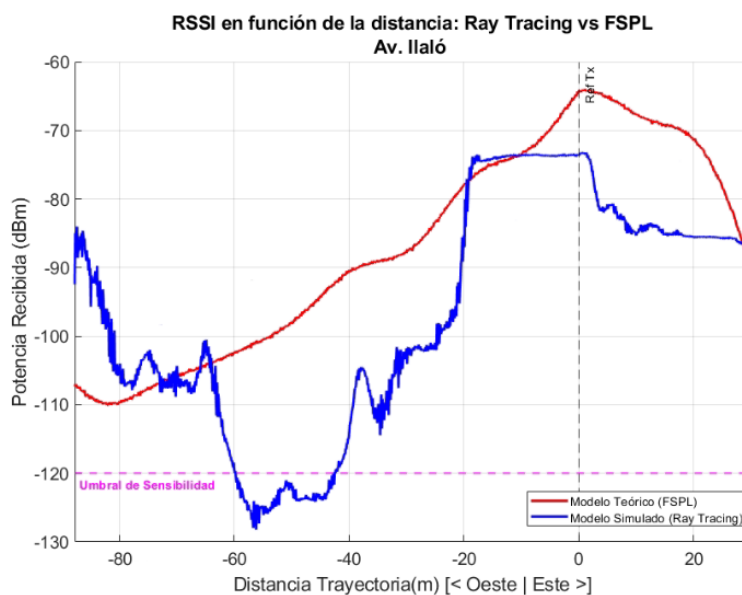
Nota. Curva estadística utilizando diferentes modelos.

La figura 48, se observa la comparación entre ECDF del RSSI registrado junto a los diversos modelos teóricos en la Av. General Enríquez, se observa que los datos simulados presentan un comportamiento típico de señales de RF en entornos urbanos. Los cuatro modelos evaluados (Normal, Weibull, Nakagami y Log-Normal) se ajustan de forma bastante aceptable en la parte media de la distribución, especialmente en el intervalo de -80 a -70 dBm, donde se concentra la mayor parte de los datos. Sin embargo, al analizar los extremos de la distribución, se pueden notar diferencias más significativas entre las predicciones de los modelos y las mediciones reales.

Entre los modelos revisados, el Log-Normal fue el que mejor se adaptó, aunque el Nakagami también presentó un rendimiento notable. Estos hallazgos sugieren que en esta vía se presenta un desvanecimiento característico de áreas donde no siempre hay una línea de vista directa y donde la señal se dispersa de manera moderada, lo que resulta ser información valiosa para la planificación de redes móviles en dicha área.

Figura 49

Modelo de teórico (FSPL) vs modelo simulado en la calle secundaria



Nota. Resultados de las curvas en las diferentes avenidas.

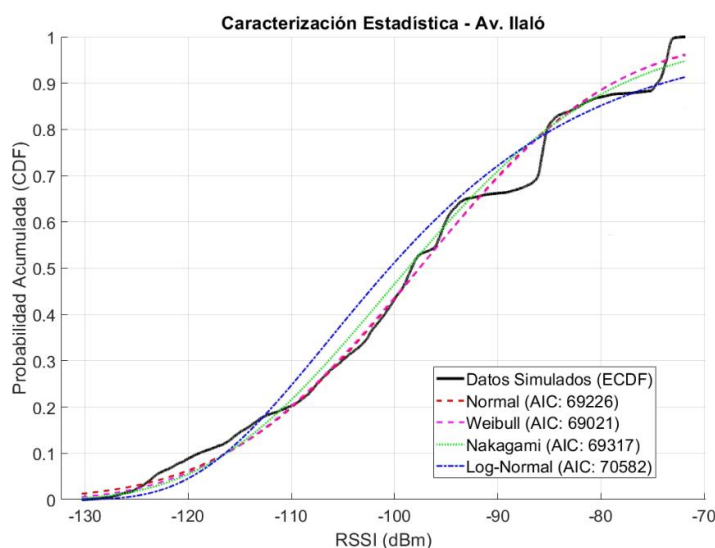
La figura 49 se observa que en la Av. Ilaló muestra un comportamiento muy diferente al de la calle principal. Aquí vemos que el FSPL (rojo) se mantiene bastante estable alrededor de -70 dBm, mientras que el Ray Tracing (azul) presenta caídas drásticas que llegan hasta -125 dBm en la zona izquierda, cayendo incluso por debajo del umbral de sensibilidad -120 dBm.

Esto demuestra que esta vía secundaria ofrece condiciones bastante más complicadas para la difusión de la señal, sobre todo en la zona oeste, donde la cobertura se ve notablemente afectada debido a obstáculos y a los efectos de rutas múltiples que son comunes en áreas urbanas densas.

Análisis estadístico

Figura 50

Comparación entre ECDF del RSSI medido y modelos teóricos Av. Ilaló



Nota. Resultados estadísticos usando los datos simulados y diferentes modelos.

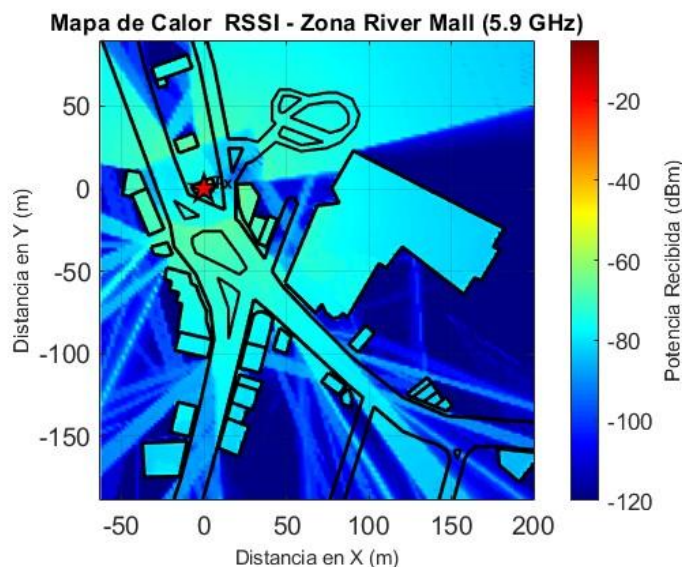
La figura 50 muestra la caracterización estadística del RSSI, hace la comparación entre la distribución empírica y varios modelos teóricos mediante la función de distribución acumulativa. De acuerdo con el criterio AIC, el modelo Weibull presenta el menor valor, indicando menor divergencia en los datos simulados en este escenario. Esto sugiere que la señal presenta una mayor variabilidad, propia de entornos con condiciones de propagación más irregulares. Los modelos Normal y Nakagami presentan un ajuste cercano, aunque con diferencias en las colas de la distribución.

Zona 2 – River Mall

Mapa de calor del RSSI: método Ray-Tracing

Figura 51

Mapa de Calor RSSI en la zona del River Mall



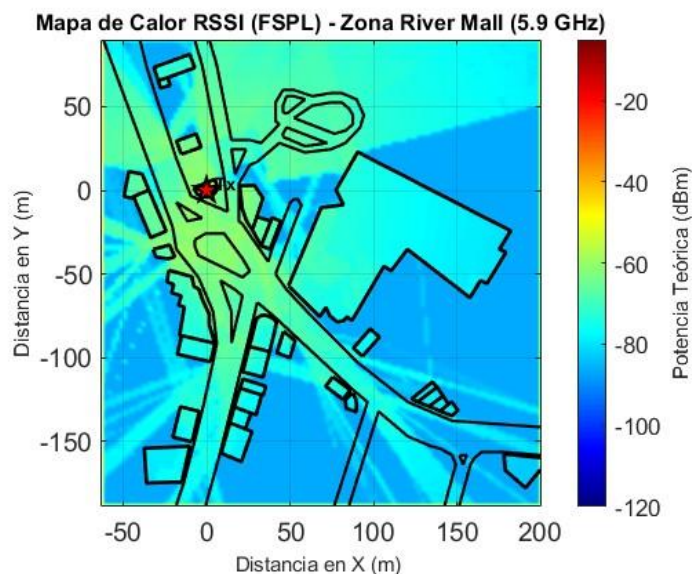
Nota. Simulación mapa RSSI utilizando modelo Ray Traicing en la zona del River Mall, observando diferentes zonas que recibe menos potencia.

En la Figura 51 se observa que la mayor potencia recibida se concentra en las inmediaciones del punto de acceso, con niveles cercanos a -30 dBm en las zonas más próximas. A medida que la señal se propaga por la zona del River Mall, la cobertura se vuelve altamente irregular, presentando regiones con valores entre -60 y -90 dBm. Se identifican zonas de sombra donde la potencia cae por debajo de -100 dBm, principalmente detrás de edificaciones y estructuras grandes. La presencia de múltiples trayectorias y reflexiones genera patrones no uniformes de cobertura. Este comportamiento refleja de manera más realista los efectos de bloqueo y multitrayecto propios de un entorno urbano complejo.

Mapa de RSSI – FSPL

Figura 52

Mapa de calor RSSI con modelo FSPL, en la zona del River Mall

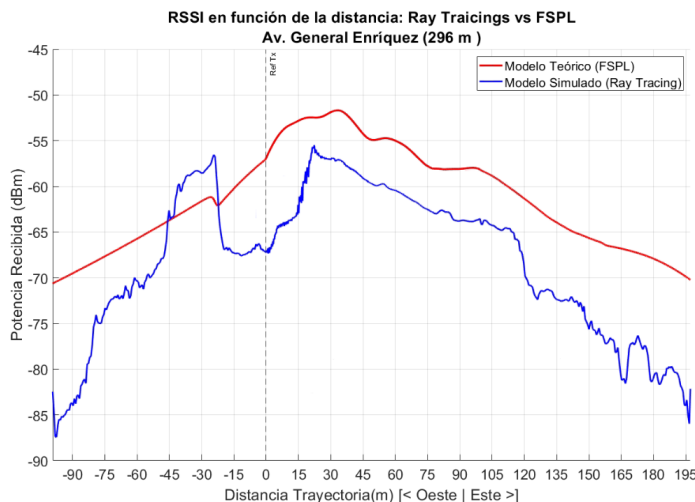


Nota. Simulación mapa RSSI utilizando modelo FSPL en la zona del River Mall.

Como se observa en la figura 52 el mapa de calor obtenido con el modelo FSPL muestra una distribución de señal ideal y simétrica alrededor del transmisor. En las zonas próximas al TX se registran niveles de RSSI superiores a -60 dBm, mientras que a distancias de 100 a 150 metros la potencia disminuye hasta valores entre -80 y -100 dBm. En las esquinas del área simulada se alcanzan niveles inferiores a -110 dBm, donde la comunicación resulta prácticamente inviable. Este modelo no considera la presencia de edificaciones, por lo que la señal atraviesa las estructuras sin pérdidas adicionales. Como resultado, la cobertura mostrada es poco representativa del comportamiento real en un entorno urbano.

Figura 53

Modelo de teórico (FSPL) vs modelo simulado en la calle principal.



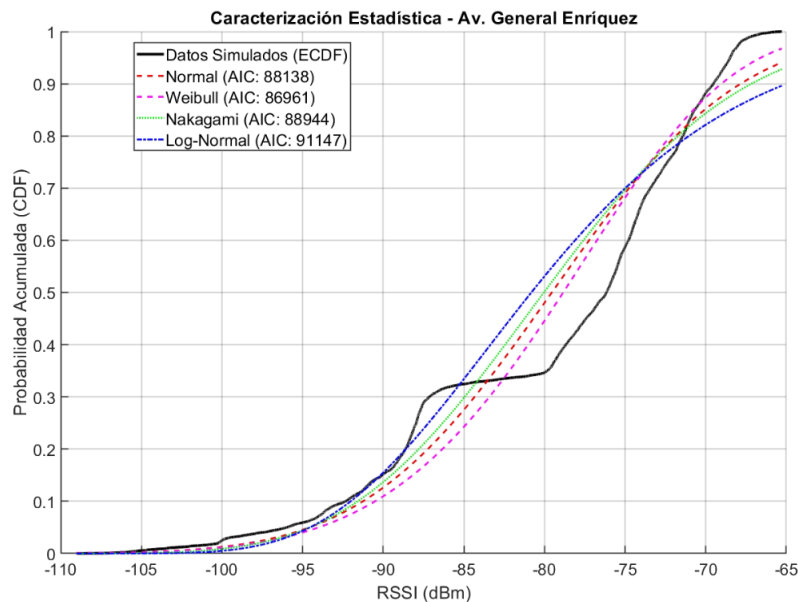
Nota. Curva del modelo teóricos frente al modelo simulado, obteniendo una comparación donde se muestra el comportamiento en las diferentes calles.

En la figura 53, muestra cómo varía el RSSI con la distancia a lo largo de la Av. General Enríquez (296 m), contrastando el modelo teórico FSPL (en rojo) con el modelo obtenido mediante Ray Tracing (en azul). En el punto más cercano al transmisor (0 m), el modelo teórico indica aproximadamente -55 dBm, mientras que el modelo simulado muestra cerca de -60 dBm. Al desplazarse hacia el extremo oeste, el FSPL se aproxima a -70 dBm, mientras que el modelo simulado se reduce hasta casi -85 dBm, y en el extremo este, el modelo teórico alcanza aproximadamente -72 dBm, mientras que el simulado cae incluso por debajo de -88 dBm. La variación entre ambas curvas se encuentra entre 5 y 16 dB, lo que refleja pérdidas adicionales provocadas por obstáculos, reflexiones y el impacto de múltiples trayectorias típico del entorno urbano real.

Análisis estadístico

Figura 54

Comparación entre ECDF del RSSI medido y modelos teóricos

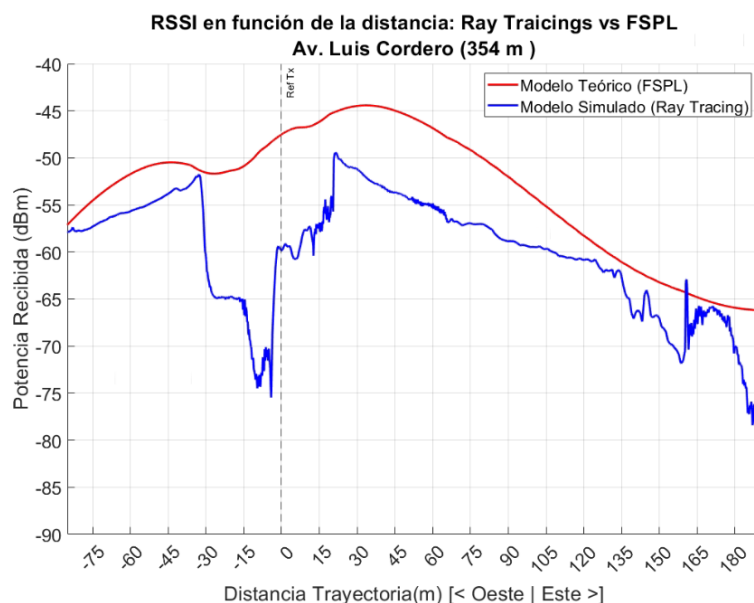


Nota. Obtención de las curvas, analizando el comportamiento mediante el uso de diferentes modelos.

La figura 54, se puede notar que la curva empírica (ECDF) exhibe un patrón semejante a las distribuciones teóricas, aunque presenta ligeras variaciones en la parte central del RSSI, en torno a -85 a -75 dBm, donde el comportamiento real resulta menos uniforme. De acuerdo con el criterio AIC, la distribución Normal ofrece el mejor ajuste (AIC más bajo), lo que implica que la fluctuación de la señal en esta situación puede ser razonablemente modelada con este enfoque. Las distribuciones Weibull y Nakagami también se aproximan bastante, aunque con pequeñas variaciones en la pendiente. Por otro lado, la Log-Normal es la que muestra una mayor discrepancia respecto a los datos obtenidos.

Figura 55

Modelo de teórico (FSPL) vs modelo simulado en la calle secundaria.



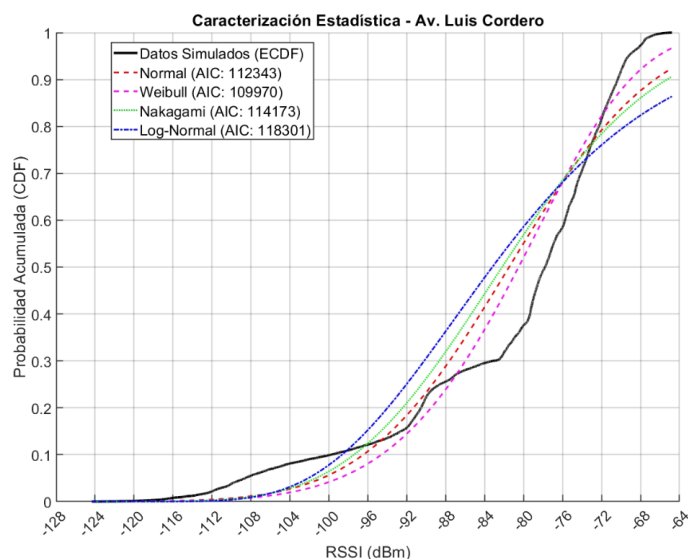
Nota. Curva del modelo teóricos frente al modelo simulado, observando como el modelo teórico tiene un comportamiento más ideal sin picos con respecto al modelo simulado.

En esta figura 55, se caracteriza la propagación a 5.9 GHz, La Av. Luis Cordero presenta condiciones de propagación heterogéneas a 5.9 GHz. El FSPL se mantiene entre -45 y -66 dBm (rojo), mientras que el Ray Tracing registra variaciones significativas de -52 a -80 dBm (azul). Se observan caídas críticas de señal en -75 dBm y -80 dBm, indicando zonas de obstrucción severa. En contraste, el tramo central exhibe condiciones más favorables con diferencias de 5-8 dB entre modelos, típicas de escenarios LOS o NLOS leve. La alta variabilidad espacial del Ray Tracing refleja la geometría urbana irregular de esta vía, con alternancia entre zonas abiertas y obstruidas que impactan significativamente la calidad de la cobertura.

Análisis estadístico

Figura 56

Comparación entre ECDF del RSSI medido y ajuste de modelos teóricos



La figura 56 presenta la función de distribución acumulada empírica (ECDF) del RSSI medido en la Av. Luis Cordero, comparada con varios modelos teóricos de distribución. De acuerdo con los valores del criterio de información de Akaike mostrados en la leyenda, el modelo Weibull es el menos divergente a los datos, con un AIC de 81297, seguido por el modelo Normal. Este resultado indica que la señal en esta vía secundaria presenta una variabilidad elevada, propia de entornos con presencia significativa de obstrucciones. En la zona central de la distribución, entre -110 y -90 dBm, los modelos siguen de manera aceptable el comportamiento de los datos medidos, aunque en los extremos se observan mayores desviaciones. La curva empírica muestra que cerca del 50% de las mediciones se encuentran por debajo de -100 dBm, lo que confirma condiciones de propagación desfavorables dominadas por escenarios sin línea de vista y pérdidas importantes por sombra.

Conclusiones y trabajos futuros

Conclusiones

El presente trabajo permitió desarrollar y aplicar de manera satisfactoria una metodología de caracterización del canal de comunicación V2I en la banda de 5.9 GHz, basada en el análisis comparativo entre el modelo teórico de pérdida en espacio libre (FSPL) y simulaciones determinísticas mediante Ray Tracing, considerando un entorno urbano real del Valle de los Chillos.

El modelo tridimensional con el análisis de comportamiento de la señal en las diferentes avenidas principales y secundarias permiten analizar los resultados los cuales indican el comportamiento del enlace inalámbrico en diferentes condiciones reales de propagación, alcanzando las reducciones de los modelos teóricos, adicionalmente a través del estudio de los niveles de potencia recibidas (RSSI) se logró verificar que el modelo de espacio libre obtuvo un incremento de la señal en base se incrementa la distancia, lo que demuestra que el adecuado para situaciones ideales con línea de vista. A diferencia de los modelos de Ray Traicing que muestran una gran variación de potencia recibidas, principalmente en tramos que tienen edificaciones o diferentes de estructuras, en varas zonas del recorrido obtuvieron diferencias mayores a 12 dB entre los dos modelos implementados, lo que muestra que el modelo de espacio libre tiende a sobrestimar la verdadera cobertura del sistema cuando no se tiene en consideración los impactos del entorno.

En situaciones donde hay línea de vista (LOS), especialmente en calles importantes, la conexión a 5.9 GHz se mantuvo con valores de RSSI en rangos de operación constantes, variando aproximadamente entre -60 dBm y -85 dBm a distancias inferiores a 200 metros. Sin embargo, en zonas con obstrucciones parciales o totales (NLOS), especialmente en calles secundarias, la potencia recibida disminuyó de forma considerable, alcanzando valores inferiores a -100 dBm en ciertos tramos, lo que compromete la calidad y confiabilidad del enlace.

Estos resultados reflejan la sensibilidad del canal a la geometría urbana y confirman la necesidad de considerar la ubicación estratégica de los nodos de transmisión.

El estudio del comportamiento de la señal mostró que la propagación a 5.9 GHz experimenta efectos de multitrayectoria significativos, aunque son menos graves que en bandas de frecuencias milimétricas. Las simulaciones de Ray Tracing hicieron posible detectar reflexiones y difracciones provocadas por edificios cercanos, que influyen tanto en la degradación como, en algunos casos, en la recuperación parcial de la señal en áreas donde la línea de visión se interrumpe de manera temporal. Este fenómeno explica las variaciones tomadas en las curvas de RSSI y evidencia que la señal no disminuye de manera constante, sino que está profundamente afectada por su entorno inmediato.

Con respecto a los parámetros de pequeña escala, el estudio del perfil de retardo de potencia junto con la dispersión de retardo demostró que zonas con urbanizaciones mixtas la dispersión temporal del canal permanece dentro de los rangos del estándar IEEE 802.11p que puede gestionar sin ningún problema. Sin embargo en lugares con una alta cantidad de obstáculos se identificó que existió un gran aumento en el tiempo de retardo debido a la existencia de multitrayectoria, lo que podría afectar la calidad de la conexión y si no se toma en cuenta el margen correcto durante el diseño del sistema, los resultados podrían confirmar la fortaleza del estándar para diferentes aplicaciones V2I, siempre y cuando exista una planificación efectiva, el estudio de los parámetros de gran escala consiguió evidenciar que el exponen de pérdida de trayectoria no se mantiene igual a lo largo del escenario que se analizó, cambia según el tipo de avenida y la cantidad de construcciones existentes. En las calles principales el comportamiento del canal es similar al modelo teórico, mientras que en las calles secundarias se observa un incremento significativo en las pérdidas por trayectoria. Lo que demuestra que la planificación de las redes V2I en zonas urbanas no se deben basarse en un solo modelo general, ya que se necesita un análisis específico para poder garantizar una cobertura eficiente.

Los mapas de cobertura RSSI generados con resoluciones espaciales del orden de 1.7 a 2 metros permitieron identificar zonas con buena conectividad y áreas críticas con cobertura deficiente. Estos resultados demuestran que las electrolineras pueden funcionar como nodos estratégicos de comunicación V2I, siempre que su ubicación permita maximizar la línea de vista hacia las vías principales. Asimismo, se evidencia que en zonas NLOS es necesario considerar el uso de múltiples puntos de acceso o estaciones adicionales para evitar zonas ciegas y garantizar la continuidad del servicio.

Finalmente, los resultados en esta investigación nos ofrecen una base técnica y sólida para poder diseñar y organizar sistemas V2I que operan en 5.9 GHz, especialmente en la zona del Valle de los Chillos. Cuando comparamos los modelos teóricos con simulaciones más precisas nos indican que existe una minimización de incertidumbre con respecto al proceso de dimensionamiento de la red, consiguiendo tener criterios técnicos para urbanizaciones, operadores de telecomunicaciones y diferentes organizaciones reguladoras de estos sistemas. Es importante destacar que para este estudio la propagación del canal en diferentes lugares estratégicos como en nuestro caso son las electrolineras es importante saber cómo se comporta ya que con esa información que nos brinda podemos establecer sistemas de comunicaciones. Además, fortalece de forma eficiente datos de la infraestructura y los automóviles para poder analizar diferentes soluciones inteligentes que se puede implementar en el transporte, la creación de infraestructura de comunicación vehicular adapta las condiciones urbanas que existen en nuestro país, para fortalecer una red de transporte inteligente y conectada.

Trabajos futuros

A partir del análisis realizado, se identifican varias líneas de trabajo que permitirían ampliar y complementar los resultados obtenidos. Una de ellas corresponde a la realización de mediciones en campo que posibiliten contrastar los resultados de simulación con datos reales, fortaleciendo así la validez del modelo empleado. Se podría extender el estudio hacia otros estándares de comunicación vehicular, como LTE-V2X o 5G-V2X, con el objetivo de comparar su desempeño frente al estándar IEEE 802.11p en escenarios similares. También resultaría pertinente analizar el impacto de diferentes configuraciones de antenas, potencias de transmisión y alturas de instalación, orientadas a optimizar la cobertura V2I en estaciones de carga. Finalmente, futuras investigaciones podrían incorporar escenarios con mayor dinamismo vehicular y variaciones en la densidad de tráfico, permitiendo un análisis más profundo del comportamiento temporal del canal y su aplicación en entornos urbanos inteligentes.

Referencias

- ARCERNNR. (2023). *EL DIRECTORIO DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES*. Obtenido de <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2023-07/Regulacion-Nro.-ARCERNNR-004-23-Reclamos.pdf>
- ARCONEL. (2025). *Servicio de Carga de Vehículos Eléctricos*. Obtenido de https://arconel.gob.ec/servicio-de-carga-de-vehiculos-electricos/?utm_source
- ARCOTEL. (2024). *MAPA DEL SECTOR ELECTRICO*. Obtenido de <https://www.ruminahui-aseo.gob.ec/wp-content/uploads/PDYOT-2020-2025.pdf>
- Azpilicueta, L., Rawat, M., Rawat, K., & Ghannouchi, F. (2014). *Convergence analysis in deterministic 3D ray launching radio channel estimation in complex environments*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/264270644_Convergence_Analysis_in_Deterministic_3D_Ray_Launching_Radio_Channel_Estimation_in_Complex_Environments
- Beltrán, J., & Ávila, F. (2024). *Análisis de puntos de carga para vehículos eléctricos en el distrito metropolitano de Quito en el año 2022*. Obtenido de <https://doi.org/10.32645/13906925.1288>
- Blanco, J., Hernández, C., & Salcedo, O. J. (2010). *ESTADO DEL ARTE EN REDES VANET Y CADENAS DE MARKOV*. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/REDES/article/view/7158>
- Calderón, I. (2024). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS DE PROPAGACIÓN PARA 4G EN EL VALLE DE TUMBACO*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27050/1/TTS1628.pdf>
- Casa, Á. D. (2023). *Diseño de un prototipo de Electrolinera para la recarga de vehículos eléctricos usando Energía Fotovoltaica*. Obtenido de

<https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/51d7bf6a-8684-4445-92ea-28f92b5d833a/content>

Dini, P., Saponara, S., & Colicelli, A. (2023). *Overview on battery charging systems for electric vehicles*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2079-9292/12/20/4295>

Duraiarasu. (2024). *Driving Into The Future: Connected Vehicle Innovations*. Obtenido de <https://www.electronicsforu.com/technology-trends/driving-into-future-connected-vehicle-innovations>

Ebyte. (2024). *Application of LoRa in Indoor Positioning*. Obtenido de <https://www.cdebyte.com/news/699>

Eshteivi, K., Fredj, K. B., Kaddoum, G., & Gagnon, F. (2017). *Performance analysis of peer-to-peer V2V wireless communications in the presence of interference*. Obtenido de Performance Analysis of Peer-to-Peer V2V Wireless Communications in the Presence of Interference

Everythingrf. (2020). *What is IEEE 802.11p?* Obtenido de https://www.everythingrf.com/community/what-is-ieee-802-11p?gad_source=1&gad_campaignid=197404533&gbraid=0AAAAADxGRBMDNyc4rzOohuTHVZgedWf93&gclid=Cj0KCQiAiKzIBhCOARIsAKpKLAP8FWtjRXdauYl7rC6guQZoZUVQtHHzCbFd5ldiFRau8z6TZLwGCzMaAiqIEALw_wcB

Farnell. (2025). *Transforming Mobility: The Architecture and Solutions of V2X Communication in Electric Vehicles*. Obtenido de <https://si.farnell.com/transforming-mobility-the-architecture-and-solutions-of-v2x-communication-in-electric-vehicles-trc-ar>

Foncesa, D. (2025). *La venta de carros eléctricos se dispara en Ecuador: el mercado crece casi 190% en 2025*. Obtenido de <https://www.radiopichincha.com/venta-carros-electricos-ecuador-mercado/>

Fratilescu, P. (2019). *Evaluación y modelado de las comunicaciones entre vehículos (V2V)*. Obtenido de <https://oa.upm.es/56676/>

- GAD. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Rumiñahui 2020–2025 (PDOT)*. Obtenido de <https://www.ruminahui-aseo.gob.ec/wp-content/uploads/PDYOT-2020-2025.pdf>
- Gamudan, A. (2024). *Understanding the basics of radio propagation*. Obtenido de <https://prida.africa/wp-content/uploads/2024/04/Session-2-Understanding-the-basics-of-radio-propagation.pdf>
- Garcia, A. (2017). *Proyecto para la implantación de una electrolinera sostenible en Boceguillas*. Obtenido de https://oa.upm.es/48467/1/PFG_Carlos_Garcia_Andres.pdf
- Google. (2025). *Mapa del Valle de los Chillos, Quito, Ecuador*. Obtenido de <https://www.google.com/maps>
- Granda, F., Azpilicueta, L., Vargas-Rosales, C., Celaya-Echarri, M., Lopez-Iturri, P., & Aguirre, E. A. (2018). *Deterministic Propagation Modeling for*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/S18072133>
- Guijarro, R. (2019). *Análisis del protocolo IEEE 802.11p en sistemas de comunicación vehiculares V2X*. Obtenido de <https://openaccess.uoc.edu/server/api/core/bitstreams/fbd6641a-98f7-4183-b26c-2a5f38cdefdd/content>
- Kim, H. (2015). *Wireless communications systems design*. Obtenido de <https://www.wiley.com/en-us/Wireless+Communications+Systems+Design+-p-9781118610152>
- Kumar, R. (2024). *Which components are involved in EV charging power management?* Obtenido de https://www.evengineeringonline.com/which-components-are-involved-in-ev-charging-power-management/?utm_source
- Mäki, K. (2015). *Integration of electric transportation with smart grids*. Obtenido de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/imports/events/115/5.KariMaki.pdf>

- Marcillo, P., Valdivieso, Á., & Hernández, M. (2022). *Security in vehicle-to-infrastructure communications*. Obtenido de https://openaccess.cms-conferences.org/publications/book/978-1-958651-29-2/article/978-1-958651-29-2_15
- Méndez, E. A. (2024). *Estaciones de carga para vehículos eléctricos (Electrolineras)*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9c072d0b-6447-4445-8566-e82db88ffdb4/content>
- Milania, M. (2022). *Analisis Performansi Bit Error Rate (Ber) Pada Repetition Codes Dan Uncoded Pada Sistem 5g Dengan Frekuensi 26 GHz*. Obtenido de <https://repository.ittelkom-pwt.ac.id/8303/>
- Moustafa, H., & Zhang, Y. (2009). *Vehicular networks: techniques, standards, and applications*. . Obtenido de <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/1610418>
- Mueck, M., & Gaie, C. (2025). *Introduction to the European Intelligent Transport Systems Regulation*. In *European Digital Regulations*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/389271657_Introduction_to_the_European_Intelligent_Transport_Systems_Regulation
- Naeem, M. A., Chaudhary, S., & Meng, Y. (2024). *Road to Efficiency: V2V Enabled Intelligent Transportation System*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2079-9292/13/13/2673>
- Nocedal, J. M. (2006). *RF Jamming* . Obtenido de https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/nocedal_d_jm/
- Orozco, A. M., Llano, G., & Michoud, R. (2012). *Redes vehiculares Ad-hoc: aplicaciones basadas en simulación*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/308084262_Redes_vehiculares_Ad-hoc_aplicaciones_basadas_en_simulacion
- Orozco, O., Chavarro, D., & Calderón, O. (2013). *Impacto de la Velocidad y Modelo de Movilidad en una Comunicación de Datos de una Red Vehicular*. Obtenido de

- https://www.researchgate.net/publication/273447388_Impacto_de_la_Velocidad_y_Modelo_de_Movilidad_en_una_Comunicacion_de_datos_de_una_Red_Vehicular
- Orozco, S., & Llano, G. (2014). *Aplicaciones para redes VANET enfocadas en la sostenibilidad ambiental*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702014000200007
- Parra, R. (2019). *Análisis mediante simulación de la propagación de señales UHF en túneles subterráneos en base al modelo de trazado de rayos (Caso de estudio Metro de Quito) (Trabajo de titulación de pregrado)*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20928>
- Primicias. (2023). *Electrolineras en Ecuador: impulso hacia la sostenibilidad y el futuro eléctrico*. Obtenido de https://www.primicias.ec/nota_comercial/autos/actualidad/electrolineras-ecuador-impulso-sostenibilidad-futuro-electrico.
- PRIMICIAS. (2025). *Fiebre por los carros eléctricos: Ecuador pasó de tener 25 modelos disponibles en 2023 a 78 en 2025*. Obtenido de <https://www.primicias.ec/economia/carros-electricos-modelos-marcas-crecimiento-precios-98758/>
- PRIMICIAS. (2025). *Lo bueno, lo malo y las acciones pendientes de la Autopista General Rumiñahui, al suroriente de Quito*. Obtenido de <https://www.primicias.ec/quito/autopista-general-ruminahui-peaje-puente-conocoto-prefectura-90223/>
- Quistial, A. (2016). *Modelo matemático adaptado de pérdidas de trayectoria mediante el análisis de propagación en la banda de 850 MHz para una zona urbana de Quito*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16924/1/CD-7505.pdf>
- Rappaport, T. (2002). *Wireless communications. Principles and practice* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Rgbsi. (2025). *7 Types of Vehicle Connectivity*. Obtenido de <https://blog.rgbsi.com/7-types-of-vehicle-connectivity>

- Rubio, L. R. (2011). *Propagation aspects in vehicular networks*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/221911724_Propagation_Aspects_in_Vehicular_Networks
- Sachdev, M. (3 de enero de 2019). *What is Vehicle to Infrastructure V2I Technology?* Obtenido de <https://blog.rgbsi.com/what-is-v2i-technology>
- Shi, B. (2025). *An Overview of Wireless Communication Propagation Models*. Obtenido de https://www.ewadirect.com/proceedings/ace/article/view/21639?utm_source
- Stephens, D., Schroeder, J. L., & Klein, R. (2015). *Performance requirements, vol. 1, introduction and common requirements*. Obtenido de <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/3592>
- Toscano. (2025). *¿Qué es una electrolinera y cómo funciona?* Obtenido de <https://toscano.es/2025/04/15/que-es-una-electrolinera-y-como-funciona/>
- Treviño, J. (2003). *Propagación de RF en las bandas: LF, MF, HF, VHF, UHF y VHF*. Obtenido de https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/trevino_c_jt/
- Universo. (2024). *¿Dónde están los puntos de carga (electrolineras) para carros electrificados y por qué impulsar una movilidad eléctrica en Ecuador?* Obtenido de https://www.eluniverso.com/noticias/informes/cuantos-y-donde-estan-los-puntos-de-carga-electrolineras-para-carros-electrificados-y-por-que-impulsar-una-movilidad-electrica-en-ecuador-nota/?utm_source
- Wedel, J. W., Schünemann, B., & Radusch, I. (Diciembre de 2009). *V2X-based traffic congestion recognition and avoidance*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/221450143_V2X-Based_Traffic_Congestion_Recognition_and_Avoidance
- Youtopia. (2025). *El auge del vehículo eléctrico impulsa la demanda energética*. Obtenido de <https://youtopiaecuador.com/auge-vehiculo-electrico-ecuador-demanda-energetica/>

Zamora, I. M. (2015). *Conferencia 3 Análisis de radiopropagación* . Obtenido de

<https://www.slideshare.net/slideshow/lecture-3-analisis-radioprop-p1/48340005>

Zárate, J. A. (2017). *Radiocomunicaciones. Desarrollo de Sistemas Ciberfísicos*. Obtenido de

<https://openaccess.uoc.edu/items/3efd4b25-99e8-4dc1-a662-24052196243b#page=1>