



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

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

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

Elaborado por:

Borja Chico Jhonny Alexander

Director del Proyecto:

PhD. Granda Gutiérrez Fausto Lenin

Sangolquí, 2026

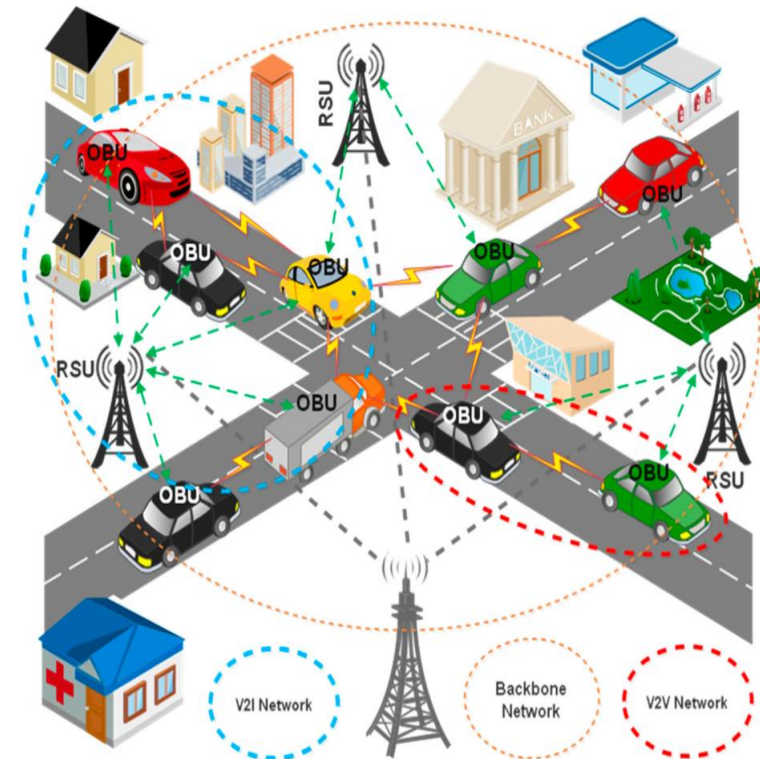


- INTRODUCCIÓN
- OBJETIVOS
- METODOLOGÍA
- RESULTADOS
- CONCLUSIONES



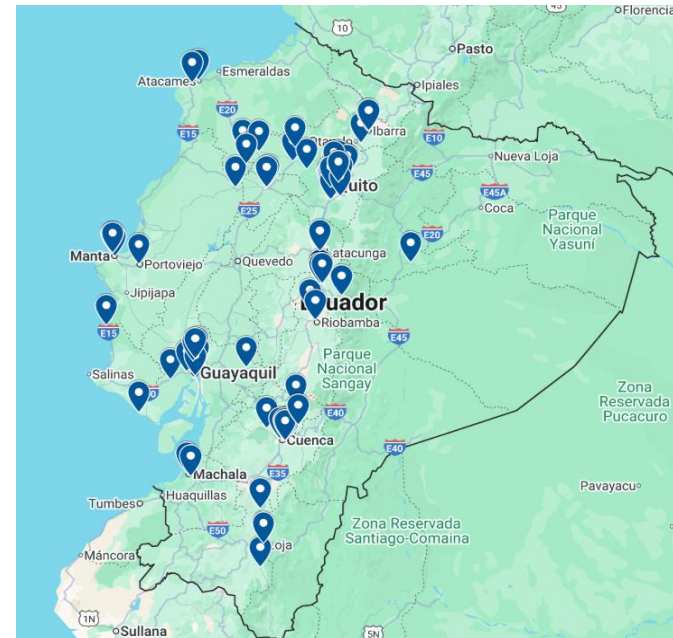
Introducción

- La movilidad eléctrica está transformando la infraestructura vial.
- Las estaciones de carga evolucionan hacia puntos de conectividad inteligente.
- La comunicación V2I permite intercambio de datos en tiempo real vehículo-infraestructura.
- La calidad del enlace depende de la propagación de la señal de radio.
- Este estudio evalúa enlaces V2I bajo el estándar IEEE 802.11p.



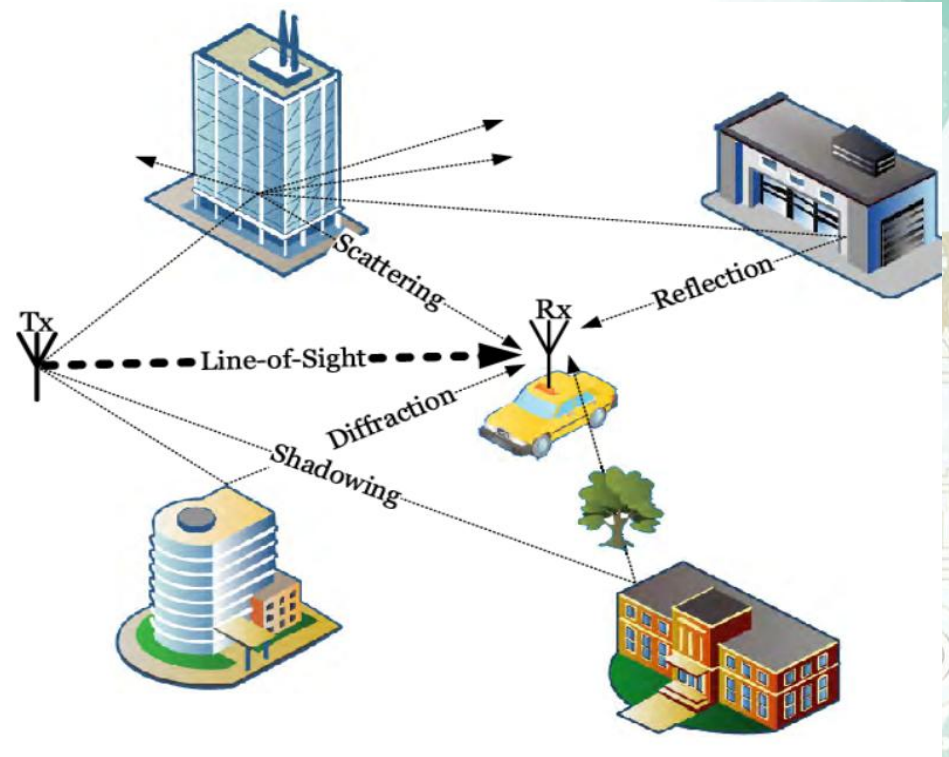
Problemática

- Estaciones de carga enfocadas solo en energía, no en comunicación V2I.
- Aumento de vehículos eléctricos y la demanda de infraestructura en Ecuador.
- No se identifican suficientes estudios publicados en el país sobre el canal IEEE 802.11p en escenarios reales.
- Esta falta de información técnica limita la planificación de cobertura y el diseño eficiente de redes V2I.



Fundamentos Técnicos

- Comunicación V2I
- Estándar IEEE 802.11p
- Propagación radio en entornos reales
- Modelado determinístico - Ray Tracing



Objetivos

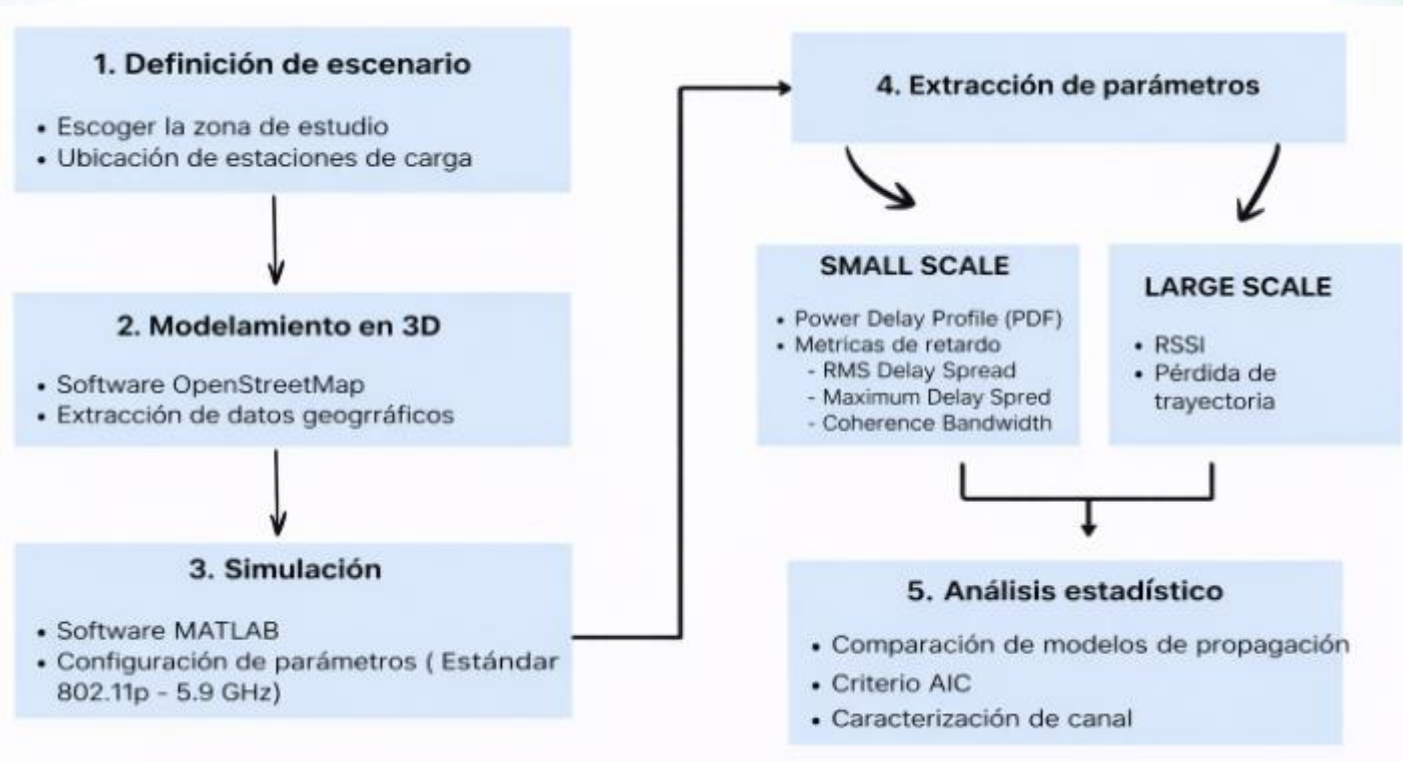
Objetivo general

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).

Metodología



Metodología

Escenario de simulación

Tramo de estudio de la Avenida General Enríquez

Zona 1 - Triángulo



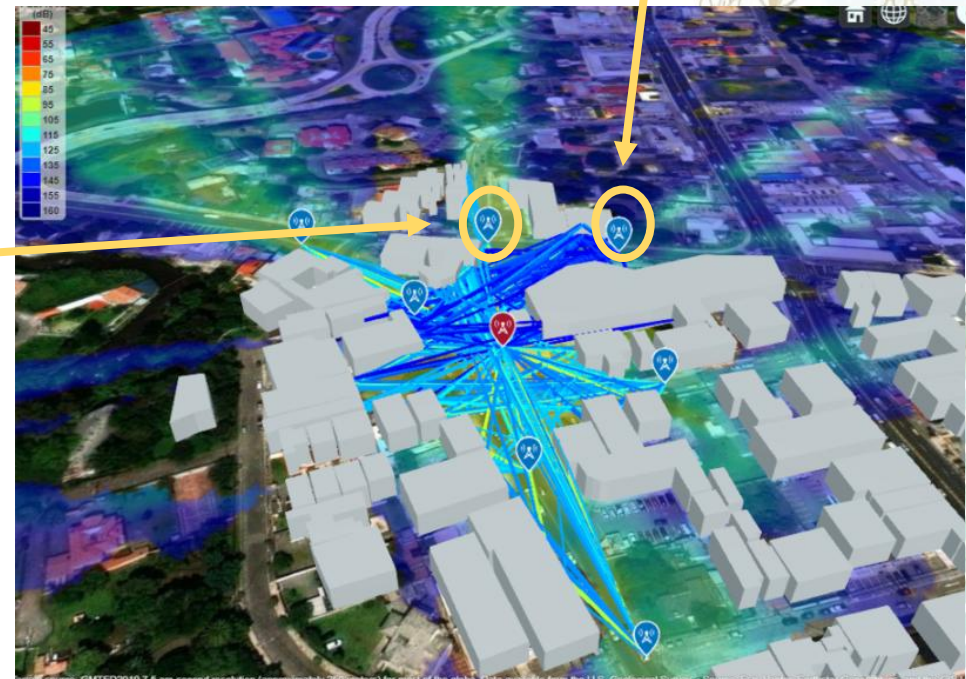
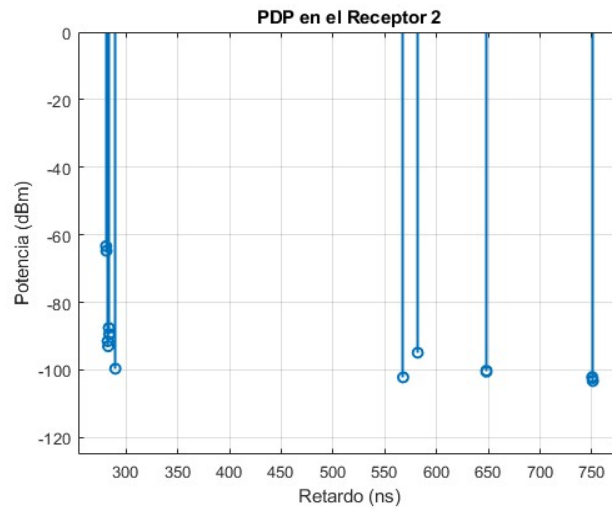
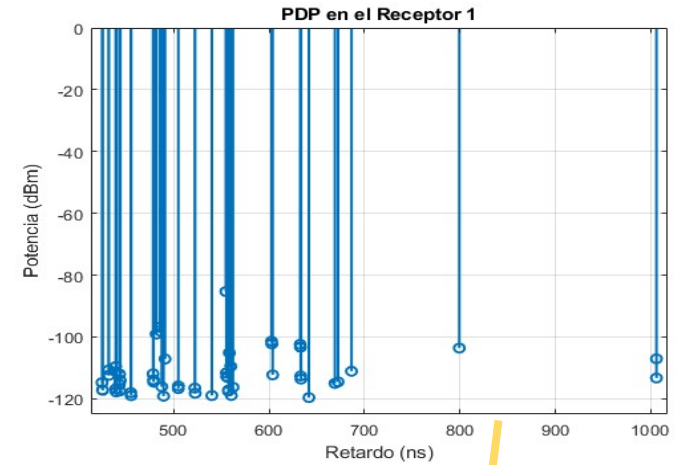
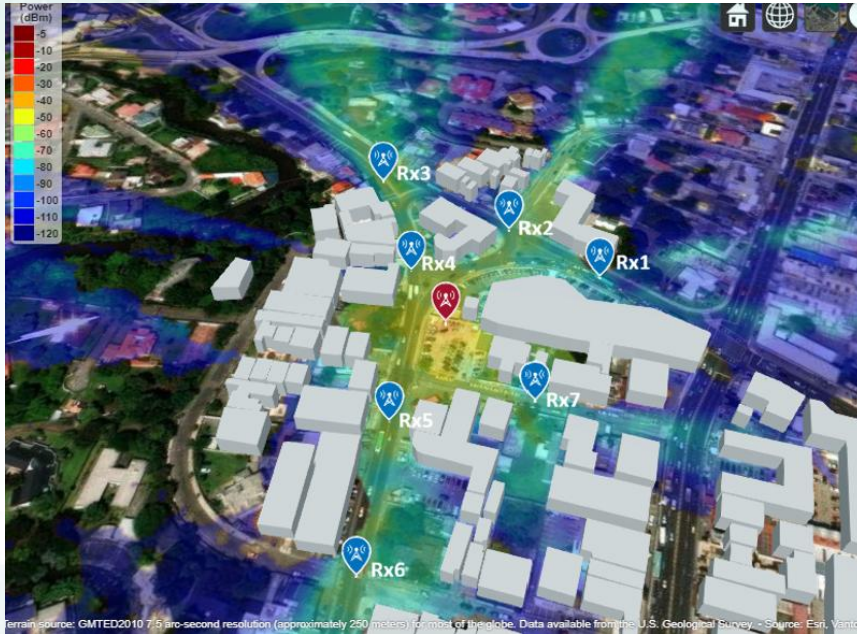
Zona 2 – River Mall

Configuración de simulación

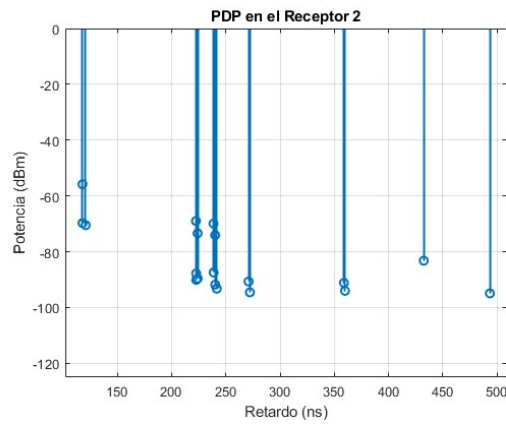
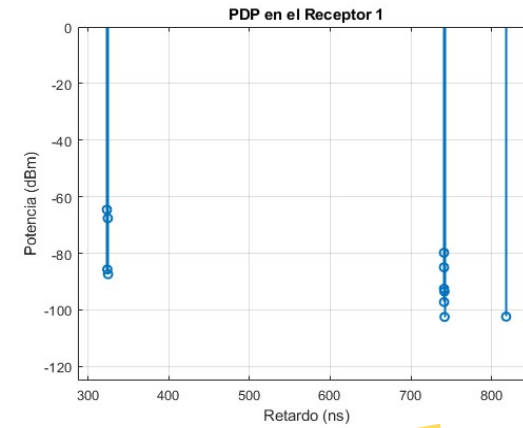
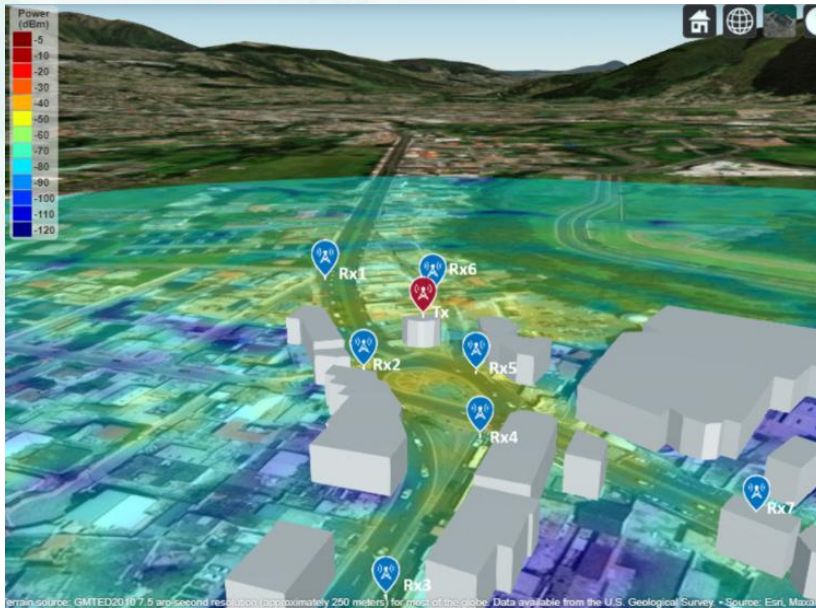
Elemento	Parámetros	Valores
TX	Potencia transmitida	23 dBm
	Ganancia de transmisión	0 dB
	Frecuencia	5.9 GHz
	Altura	3 m
RX	RST	-100 dBm
	Ganancia de recepción	0 dB
	Frecuencia	5.9 GHz
	Altura	1.5 m
	Patrón de radiación	Isotrópico



Resultados Small scale - Zona 1

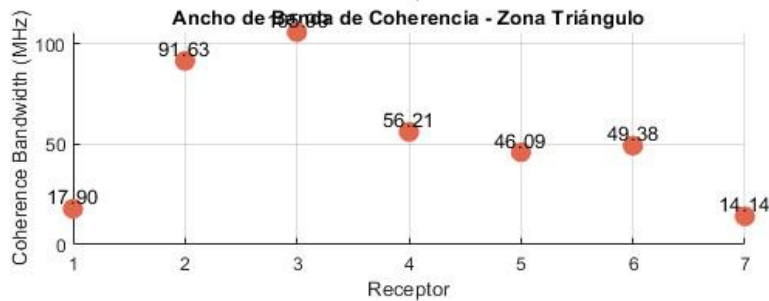
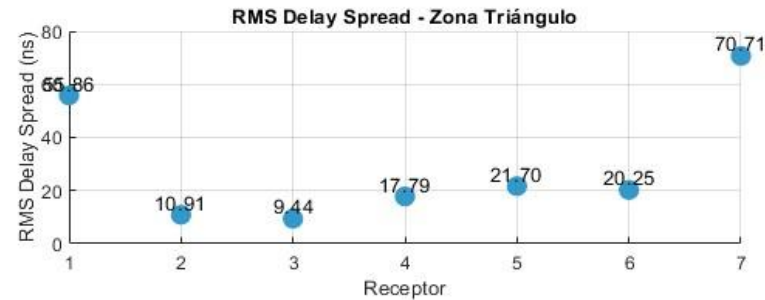


Resultados Small scale - Zona 2



Resultados - Small scale

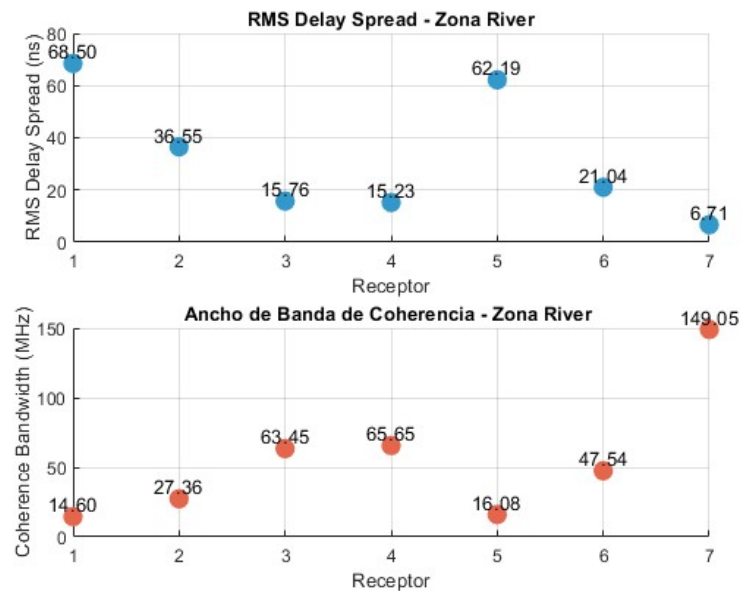
RMS Delay Spread y Ancho de Banda de Coherencia



Receptor	RMS Delay Spread (ns)	Coherence Bandwidth (MHz)
1	55.86	17.9
2	10.91	91.63
3	9.44	105.66
4	17.89	56.21
5	21.7	46.09
6	20.25	49.38
7	70.71	14.14

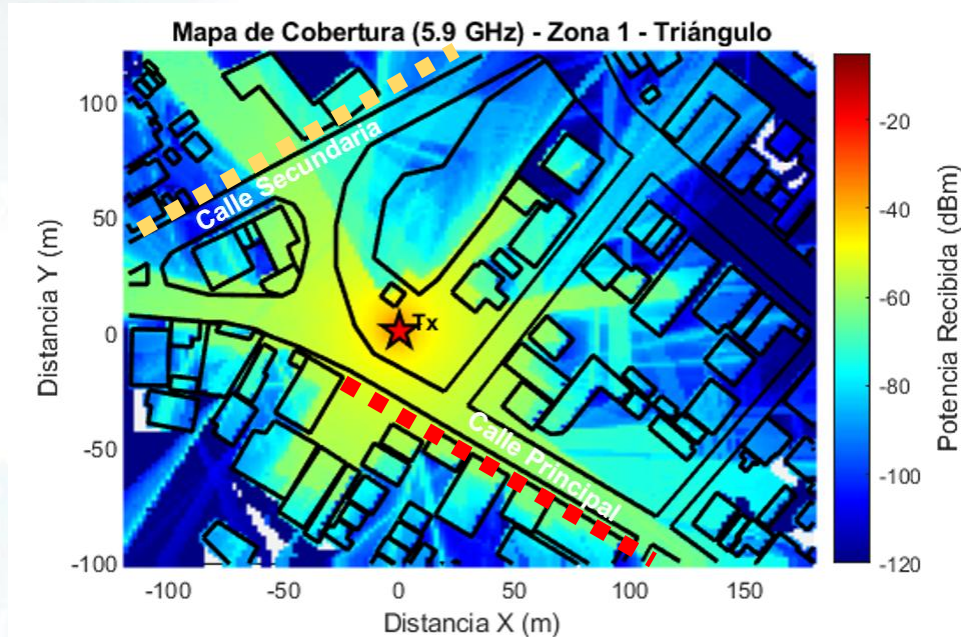
Dispersión temporal

Receptor	RMS Delay Spread (ns)	Coherence Bandwidth (MHz)
1	68.5	14.6
2	36.55	27.36
3	15.76	63.45
4	15.23	65.65
5	62.19	16.08
6	21.04	47.54
7	6.71	149.05



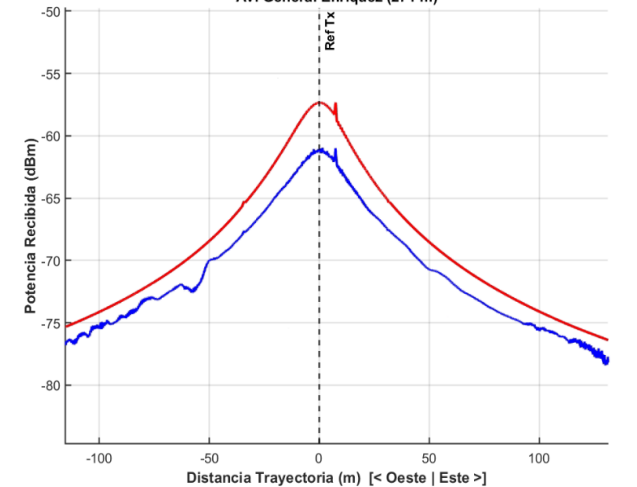
Resultados Large scale - Zona 1

Mapa de calor del RSSI con modelo Ray Tracing

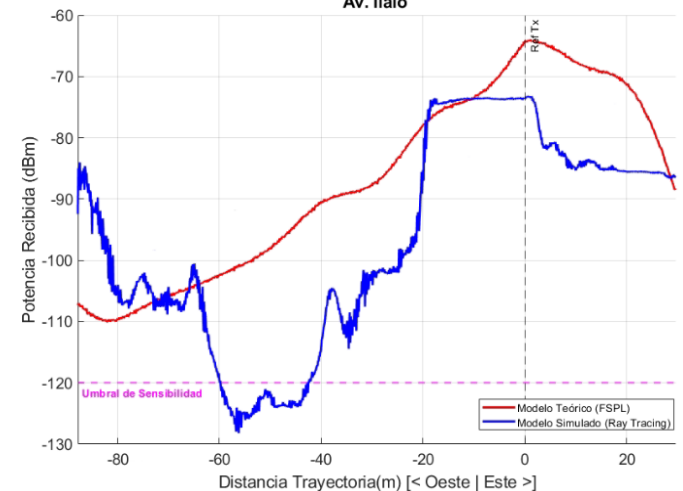


- La potencia disminuye con la distancia y los obstáculos del entorno urbano.
- Ray Tracing muestra variaciones reales del canal por reflexiones y bloqueos.
- FSPL presenta un comportamiento idealizado y más uniforme.

RSSI en función de la distancia: Ray Tracing vs FSPL
Av. General Enriquez (271 m)



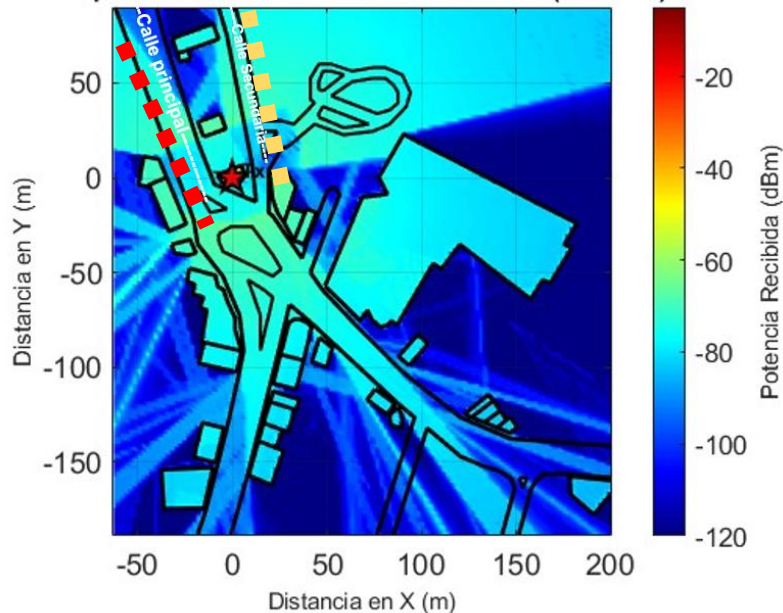
RSSI en función de la distancia: Ray Tracing vs FSPL
Av. Ilaló



Resultados Large scale - Zona 2

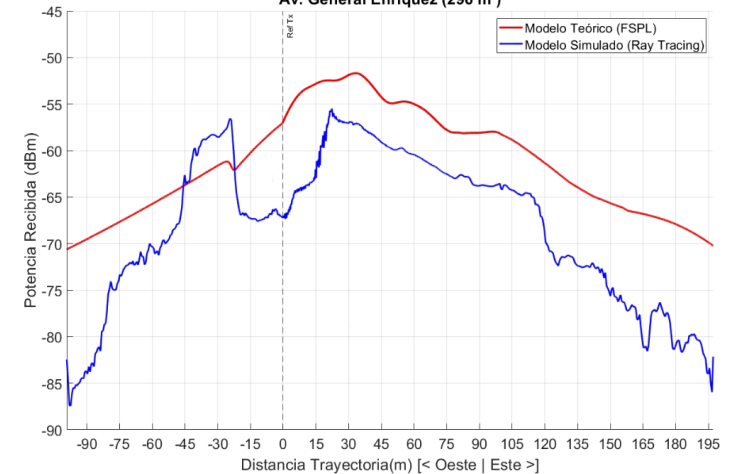
Mapa de calor del RSSI con modelo Ray Tracing

Mapa de Calor RSSI - Zona River Mall (5.9 GHz)

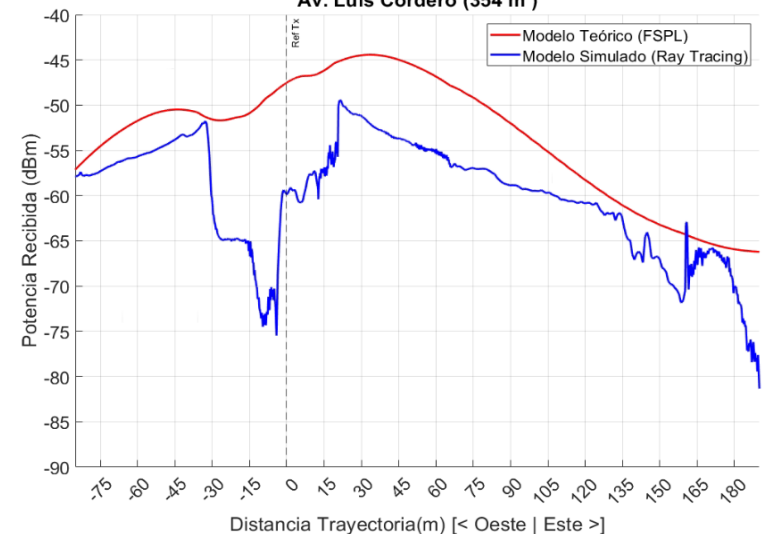


- La cobertura presenta zonas irregulares de señal por la geometría urbana del entorno.
- El modelo simulado evidencia pérdidas adicionales que no predice el modelo teórico.
- La propagación está fuertemente influenciada por bloqueos y trayectorias no directas.

RSSI en función de la distancia: Ray Traicings vs FSPL
Av. General Enríquez (296 m)



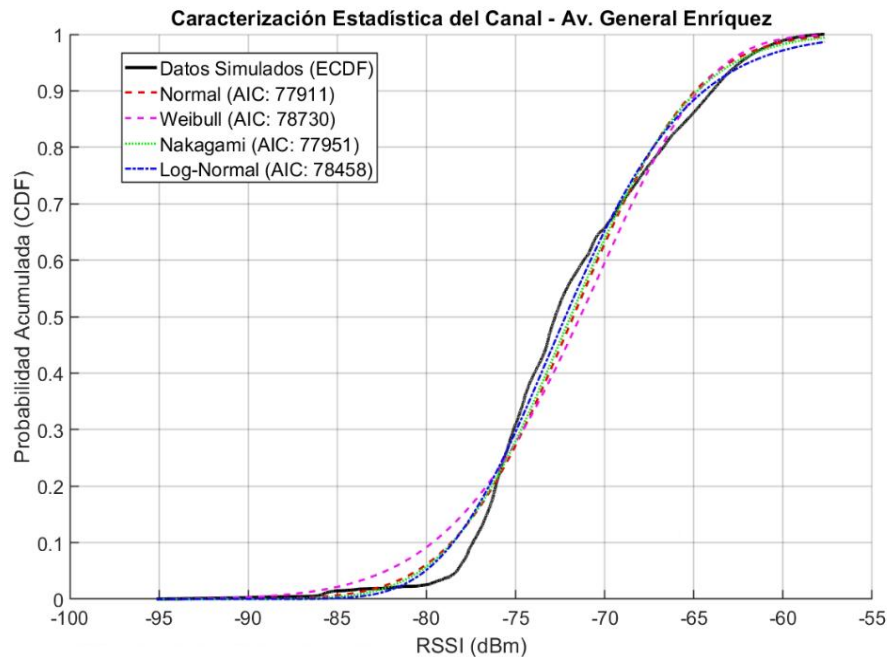
RSSI en función de la distancia: Ray Traicings vs FSPL
Av. Luis Cordero (354 m)



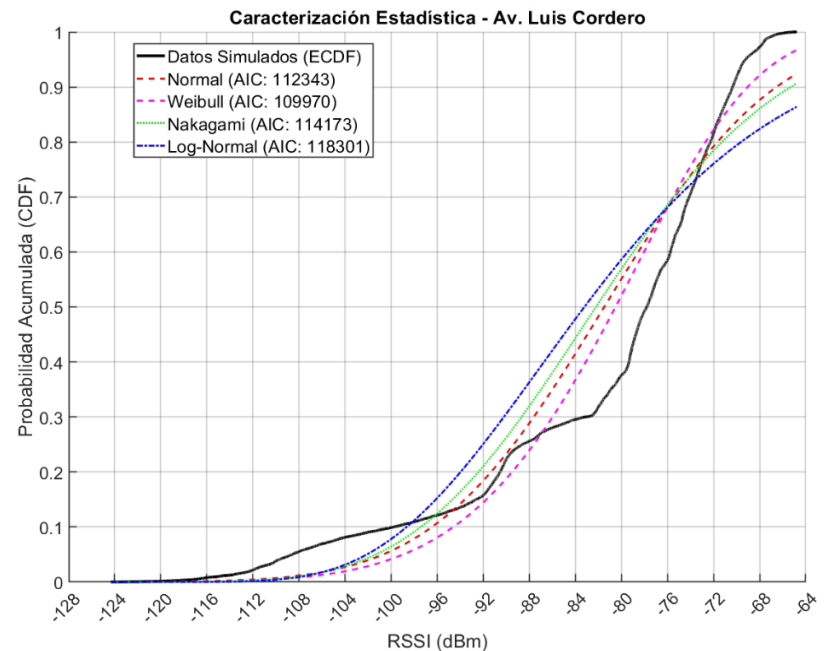
Resultados

Caracterización Estadística del RSSI

Zona 1 - Triángulo



Zona 2 – River Mall



- Las gráficas muestran la caracterización del RSSI en ambas zonas.
- Modelo AIC es mas bajo en la zona 1, presenta baja divergencia con respecto a la distribución teórica

Conclusiones

- El modelo Ray Tracing mostró diferencias de 8-10 dB respecto a FSPL, confirmando que en entornos urbanos reales se requieren modelos que consideren la geometría real del entorno, para capturar reflexiones, difracciones y bloqueos que el modelo teórico no considera.
- La Zona 1 (Triángulo) presentó menor dispersión temporal, con RMS Delay Spread promedio de 45 ns y valores máximos hasta 70 ns, que garantiza canal estable para comunicaciones V2I en estaciones de carga.
- La Zona 1 es mejor según RSSI porque mantiene valores entre -52 y -78 dBm con menor variabilidad, mientras que la Zona 2 cae hasta -90 dBm con mayor fluctuación, además la Zona 1 ofrece 80-90% de cobertura adecuada para servicios V2I.
- La caracterización estadística permitió verificar que las estaciones de carga en Zona 1 pueden ofrecer servicios V2I confiables, mientras que en Zona 2 se limita a aplicaciones no críticas debido a regímenes múltiples de propagación y mayor incertidumbre del canal.

Trabajos futuros

- Realizar mediciones en campo para validar los resultados de simulación con datos reales.
- Extender el análisis a tecnologías LTE-V2X y 5G-V2X para comparar desempeño.
- Evaluar el rendimiento frente al estándar IEEE 802.11p en diferentes escenarios
- Analizar el efecto de distintas configuraciones de antenas en la cobertura.
- Incorporar escenarios con mayor dinamismo vehicular y variación de tráfico.

Bibliografía

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

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/>

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>

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

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>



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

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

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

Elaborado por:

Borja Chico Jhonny Alexander

Director del Proyecto:

PhD. Granda Gutiérrez Fausto Lenin

Sangolquí, 2026