

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN

**"SIMULACION DE COMUNICACION VEHICULO A VEHICULO (V2V)
EN ESCENARIOS URBANOS BASADO EN PROTOCOLO DSRC"**

EXAMEN COMPLEXIVO

Previa la Obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

AUTOR:

SALVADOR VALLEJO VALAREZO

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2025

Agradecimiento

A mis maestros de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

A mis compañeros que se hicieron mis amigos.

A mis familiares.

A mi esposa y mis hijos.

Dedicatoria

A mis hijos Hernán y Samuel

A mi esposa Kelly

A mi madre Alba

Declaración Expresa

Yo/Nosotros (nombre del o los estudiantes) acuerdo/acordamos y reconozco/reconocemos que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 11 de febrero del 2025

Ing. Salvador Vallejo
Valarezo

Evaluadores

PhD. Francisco Novillo Parales

PhD. Washington Medina Moreira

Indice

Abreviaturas	III
1 Descripción del problema.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Justificación del problema	1
1.3 Objetivos.....	2
1.4 Objetivos Generales	2
1.5 Objetivos Específicos	2
2 Marco Teórico.....	3
2.1 V2V (vehículo a vehículo)	3
2.2 Componentes y Protocolos de Comunicación.....	3
Desafíos en la Implementación	3
2.3 DSRC (Comunicaciones dedicadas de Corto Alcance)	4
2.4 Omnet.....	5
2.5 Veins.....	6
2.6 Artery	7
2.7 SUMO	8
2.8 Perdida de trayectoria (Path Loss).....	9
2.9 Shadowing	9
3 Diseño.....	10
3.1 Metodología	10
4 Análisis de Resultados.....	12
4.1 Análisis del Desempeño del Protocolo DSRC en un Entorno Urbano.	12
4.2 Relación entre Distancia y Path Loss.....	12
4.3 Relación entre Distancia y Shadowing.....	12
4.4 Evolución de la Distancia entre TX y RX en el Tiempo	13
4.5 Evolución del Path Loss en el Tiempo	13
4.6 Histograma del Shadowing	14
En la Fig. 12 tenemos un histograma en el que se puede apreciar que no se aprecia una distribución normal. Pero para estar seguros aplicaremos con ayuda del Minitab una prueba de normalidad usando el criterio de Anderson-Darling	14
5 Conclusiones	16
Referencias.....	18

Indice de figuras

Fig. 1. V2V comunicaciones Vehículo-a-Vehículo

Fig. 2. IEEE 802.11p DSRC Espectro

Fig. 3. Página de inicio entorno Omnet++

Fig. 4. Como trabaja Veins

Fig. 5. Artery

Fig. 6. Mapa SUMO

Fig. 7 . Instrucciones de captura de Datos

Fig. 8. Grafica de dispersión de Distancia vs Path Loss

Fig. 9. Gráfica de dispersión de Distancia vs Shadowing

Fig. 10. Gráfica de dispersión de Distancia vs Tiempo

Fig. 11. Histograma de Shadowing

Fig. 12. Grafica de probabilidad de Shadowing

Abreviaturas

Abreviatura	Significado
V2V	Vehículo-a-Vehículo
V2I	Vehiculos-a-Infraestructuras
DRSC	Dedicated Short-Range Communications
Omnet++	Objective Modular Network Testbed in C++
SUMO	Simulation of Urban MObility
Veins	Vehicles in Network Simulation

1 Descripción del problema

1.1 Descripción del problema.

Día a día la cantidad de vehículos inteligentes aumenta, cada día los sensores que poseen aumentan y la necesidad de conectarse entre sí para intercambiar información es mayor, ayudas como el punto ciego, señales en la vía, advertencias de accidentes o tráfico, cobros de peajes. Dentro de esta problemática el uso del protocolo de comunicación es adecuado es fundamental, el DRSC es un protocolo de rango corto, alrededor de 1 km, que nos permite una comunicación con tasas de 2 a 6 Mbps. El aumento de la penetración tecnológica en nuestra sociedad hace prever que para el 2040 hasta un 75% de los vehículos sean autónomos, lo cual necesariamente significara que vengan provistos de múltiples sensores para su correcto funcionamiento. [1].

Además, la correcta evaluación del desempeño del **DSRC** en escenarios urbanos es fundamental para garantizar su efectividad en aplicaciones críticas como la prevención de accidentes y la optimización del tráfico. Para ello, es necesario analizar factores como la **pérdida de trayectoria (Path Loss)** y el **shadowing**, los cuales pueden afectar significativamente la calidad de la señal. Simulaciones con herramientas como **OMNeT++**, **SUMO**, **Veins** y **Artery** permiten modelar y evaluar el impacto de estos fenómenos en la comunicación vehicular, proporcionando información clave para el diseño y optimización de futuras redes vehiculares.

El protocolo DRSC tiene la ventaja que permite una comunicación directa entre los móviles y que no necesitan de infraestructura dado es una tecnología de corto alcance. Es en este modelo de comunicaciones V2V que los móviles comparten todos los datos que se consideren relevantes con los vehículos que se encuentren en las cercanías. [2]

1.2 Justificación del problema

Con el gran aumento de tráfico vehicular, las demandas de movilidad urbana nos han dado como resultado un aumento exponencial de la cantidad de tráfico de información de sensores. Es por ello necesaria la identificación de tecnologías especializadas en la adquisición, recolección, y producción y procesamiento de grandes cantidades de datos. Se busca así mismo una operación eficiente de los

sistemas de transporte urbanos para garantizar un flujo vehicular seguro con los vehículos y los usuarios ya sean vehiculares o peatones. Todo este tráfico de información entre los diferentes móviles permitirá una menor tasa de accidentes y una mayor seguridad en nuestras avenidas. [3]

En este contexto, el protocolo **DSRC** juega un papel fundamental, ya que permite una comunicación **en tiempo real** entre los vehículos y su entorno, reduciendo los tiempos de respuesta ante incidentes y mejorando la toma de decisiones en la conducción autónoma. Sin embargo, para garantizar su eficiencia en escenarios urbanos con alta densidad vehicular, es necesario evaluar su desempeño considerando factores como **la interferencia, el path loss y el shadowing**, los cuales pueden afectar la calidad de la señal. El desarrollo de modelos y simulaciones precisas permitirá optimizar la implementación de estas tecnologías en el futuro, asegurando un transporte más inteligente y seguro.

1.3 Objetivos

1.4 Objetivos Generales

Evaluar el desempeño del protocolo DSRC para escenarios V2V urbanos con alta densidad de tráfico.

1.5 Objetivos Específicos

Modelar escenarios para los entes de un entorno V2V de alta densidad con OMNET++ y SUMO.

Implementar modelos V2V usando el protocolo DSRC en un contexto de alta densidad vehicular.

Definir los eventos de la comunicación trascendentales para casos vehiculares.

2 Marco Teórico

2.1 V2V (vehículo a vehículo)

La comunicación vehículo a vehículo (V2V) es una tecnología en desarrollo que permite a los vehículos intercambiar información en tiempo real, con el objetivo de mejorar la seguridad en las vías y vehículos tanto para los carros como para los peatones, optimizar el flujo de tráfico y sentar las bases para sistemas de transporte inteligentes. Esta comunicación directa entre vehículos facilita la transmisión de datos como la posición, velocidad y dirección, lo que permite anticipar y reaccionar ante situaciones potencialmente peligrosas en la carretera. [4]

2.2 Componentes y Protocolos de Comunicación

Un componente esencial en la comunicación V2V es el protocolo de *Dedicated short-range communications* (**DSRC**, Comunicaciones Dedicadas de Corto Alcance). Este protocolo está diseñado para ofrecer comunicaciones inalámbricas de baja latencia en entornos vehiculares, permitiendo la transmisión rápida de mensajes críticos para la seguridad. [5]

Desafíos en la Implementación

A pesar de sus beneficios, la adopción de V2V enfrenta desafíos significativos. La interoperabilidad entre diferentes fabricantes y modelos de vehículos es crucial para garantizar una comunicación efectiva. La seguridad cibernética también es una preocupación, ya que es vital proteger las comunicaciones contra posibles ataques o interferencias maliciosas. Además, la variabilidad en las condiciones del entorno, como edificios altos o condiciones climáticas adversas, puede afectar la calidad y fiabilidad de las señales de comunicación. [5]



Fig.1. V2V comunicaciones Vehículo-a-Vehículo

2.3 DSRC (Comunicaciones dedicadas de Corto Alcance)

EL DSRC es un protocolo de comunicaciones inalámbrico diseñado para el intercambio directo de datos entre vehículos, V2V, y entre vehículos e infraestructuras. Opera en el rango de banda de 5.8GHz, DSRC permite las transmisiones full dúplex de datos bidireccionales con baja latencia, que es un requisito esencial para aplicaciones de seguridad vial y sistemas de transporte inteligentes. Esta tecnología esta delineada por estándar IEEE 802.11p que ha sido adoptado en diversas regiones tales como Estados Unidos, Japón o Europa. [6]

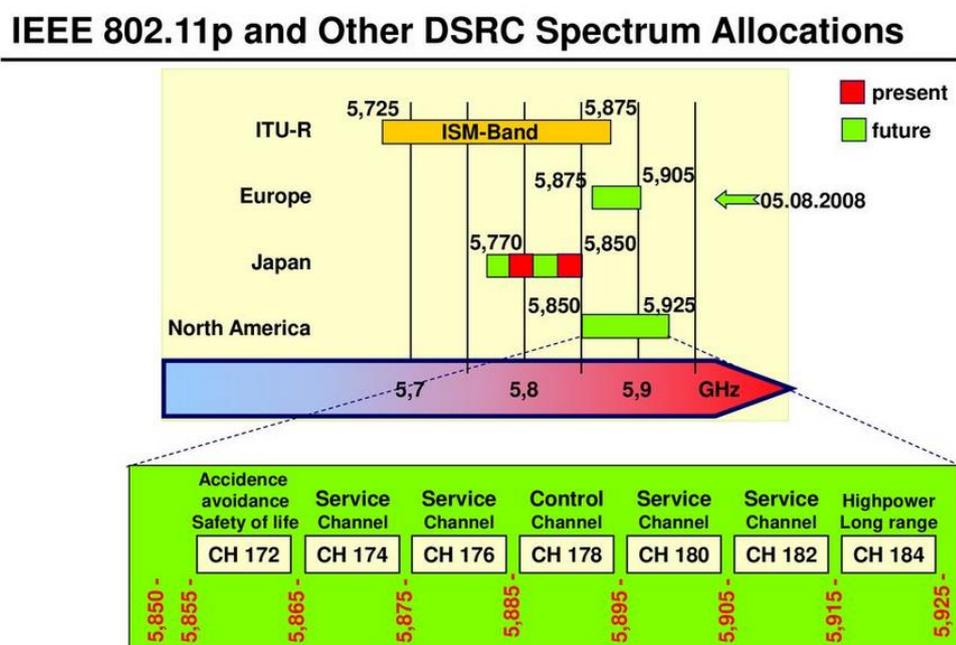


Fig. 2. IEEE 802.11p DSRC Espectro

DSRC es una aplicación ITS (Intelligent Transport System) que es una tecnología orientada a la seguridad, que también reduce las congestiones vehiculares y que por ese medio puede mejorar los patrones de movilidad. Este tipo de tecnología es en la actualidad ampliamente instalado y usado en los diversos medios de transporte habilitados con sensores y medios de comunicación de corto alcance lo cual también les permite la conexión con señales de tráfico o sensores de peaje. [7]

Son muchos los beneficios, sin embargo, también enfrenta problemas, entre ellos la falta de estandarización a nivel mundial, estas diferencias se refieren al espectro

usado, los canales, las tasas de transmisión de datos y los protocolos usados. En respuesta a estos desafíos se investigan el uso de tecnologías alternativas tales como el C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything) que es un medio de comunicación de celular a cualquier otro medio o dispositivo. [7]

2.4 Omnet

OMNeT++ es un entorno de simulación modular y extensible, ampliamente utilizado para la modelación de redes de comunicación, sistemas distribuidos y otras arquitecturas informáticas.

Una de las aplicaciones notables de OMNeT++ es en la simulación de redes vehiculares ad hoc (VANETs). Tal es el caso de un estudio realizado en 2021, se utilizó OMNeT++ junto con SUMO y Veins para modelar y simular el control del tráfico vehicular en horas pico en el centro de la ciudad de Ibarra, Ecuador. La investigación demostró que, mediante la implementación de una red VANET, es posible mejorar significativamente la movilidad y reducir la congestión vehicular en áreas urbanas. [8]

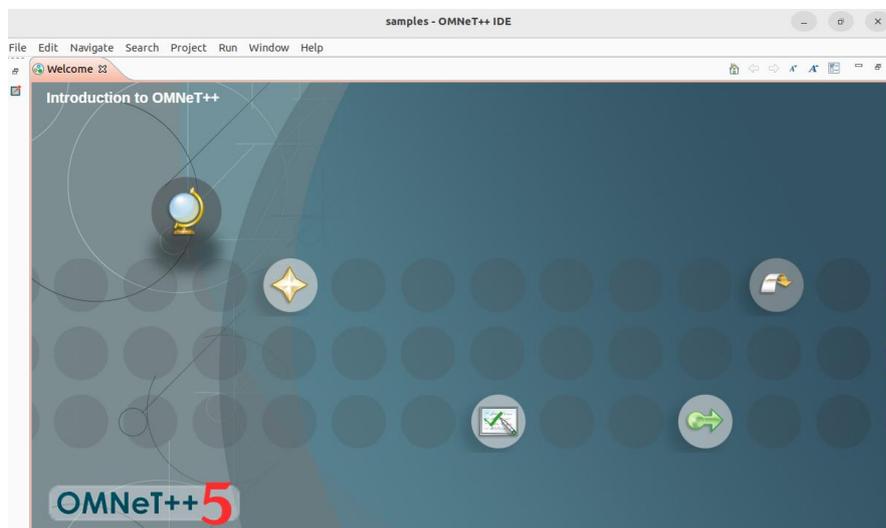


Fig. 3. Página de inicio entorno Omnet++

Con Omnet++ se han hecho investigaciones de redes de satélites de órbita terrestre baja (LEO). En 2021, Valentine y Parisi desarrollaron un modelo de simulación para constelaciones de satélites LEO dentro de OMNeT++ e INET. Este modelo fue validado comparando los resultados con trabajos existentes, demostrando la viabilidad de OMNeT++ para simular constelaciones de satélites

LEO y evaluar métricas como la latencia en diferentes configuraciones de constelaciones. [9]

En el ámbito de las redes vehiculares y la computación en la nube, Feraudo et al. (2024) presentaron una herramienta de simulación basada en OMNeT++ para entornos 5G compatibles con ETSI MEC. Esta plataforma permite a investigadores y desarrolladores diseñar, probar y mejorar aplicaciones que utilizan conceptos de computación vehicular y en el borde de la red. La herramienta extiende significativamente OMNeT++ y Simu5G, implementando una arquitectura compatible con ETSI MEC que aprovecha los recursos proporcionados por nodos en el borde de la red. [10]

OMNeT++ ha sido empleado en la simulación de redes de vehículos aéreos no tripulados (UAV). Lamenza et al. (2022) desarrollaron GrADyS-SIM, un marco de simulación para enjambres cooperativos de UAVs en misiones conjuntas. Este framework, creado para ayudar y verificar protocolos de comunicación, coordinación y conciencia de contexto, utiliza OMNeT++ y su suite de modelos INET, permitiendo la adición de versiones modificadas o personalizadas de componentes simulados, configuraciones de red y coordinación de vehículos. [11]

En el contexto de las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las Cosas (IoT), Hosseini et al. (2021) implementaron el Protocolo de Enrutamiento para Redes de Baja Potencia y Pérdida (RPL) en OMNeT++. Esta implementación facilita la evaluación de prototipos en fases iniciales de desarrollo y está disponible públicamente para la comunidad investigadora, destacando la adaptabilidad de OMNeT++ para simular protocolos específicos en entornos de IoT. [12]

2.5 Veins

Veins es un framework de código abierto diseñado para la simulación de redes vehiculares. Se basa en la integración de dos simuladores bien establecidos: OMNeT++, un simulador de red basado en eventos, y SUMO, un simulador de tráfico por carretera. Esta combinación permite a Veins ofrecer una suite completa de modelos para la simulación de comunicaciones intervehiculares (IVC), facilitando estudios detallados en el ámbito de las redes vehiculares. [13]

El funcionamiento de Veins se centra en la co-simulación, donde OMNeT++ y SUMO operan de manera sincronizada. OMNeT++ gestiona la simulación de la red de comunicaciones, mientras que SUMO se encarga de la simulación del tráfico vehicular. Esta integración permite que los eventos de tráfico y comunicación influyan mutuamente, proporcionando un entorno de simulación realista y detallado para el análisis de protocolos y aplicaciones en redes vehiculares. [13]

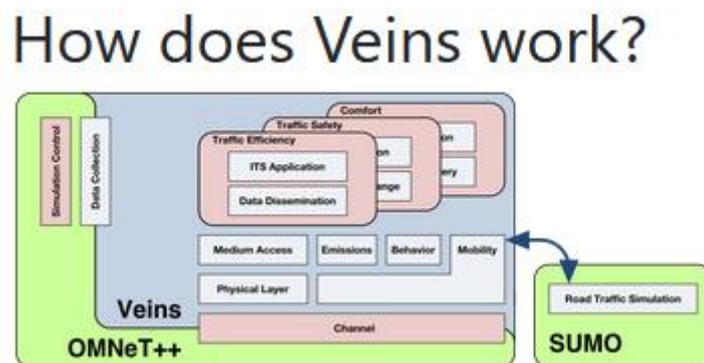


Fig. 4. Como trabaja Veins

Veins ha sido ampliamente utilizado en investigaciones recientes para evaluar diversos aspectos de las redes vehiculares. Por ejemplo, en un estudio de 2023, se empleó Veins para probar un método de observador móvil destinado a estimar el tráfico vial utilizando vehículos comunicantes. Este enfoque demostró el potencial de Veins para modelar y analizar métodos innovadores en la estimación y gestión del tráfico vehicular. [14]

2.6 Artery

Artery es un marco de simulación de código abierto diseñado para facilitar la investigación y el desarrollo de aplicaciones de comunicación vehículo a todo (V2X) basadas en el estándar europeo ETSI ITS-G5. Construido sobre el simulador de eventos discretos OMNeT++, Artery permite la simulación detallada de protocolos como GeoNetworking y BTP, y proporciona una arquitectura modular que incluye una capa intermedia (middleware) y facilidades según las especificaciones de la pila de protocolos ITS-G5. Esta estructura modular permite equipar a los vehículos simulados con múltiples servicios ITS-G5, ofreciendo una

plataforma flexible para evaluar diversas aplicaciones y protocolos en entornos vehiculares. [15]



Fig. 5. Artery

El funcionamiento de Artery se basa en la integración de OMNeT++ con el simulador de tráfico vehicular SUMO, lo que permite una co-simulación detallada de la movilidad vehicular y las comunicaciones V2X. A través de la interfaz Traffic Control Interface (TraCI), OMNeT++ y SUMO sincronizan el movimiento de los vehículos y las comunicaciones, proporcionando un entorno de simulación realista. [16]

En investigaciones recientes, Artery ha sido utilizado para evaluar la percepción colectiva en entornos vehiculares. Por ejemplo, en un estudio de 2023, se implementó un sistema de percepción colectiva asistido por MEC (Multi-access Edge Computing) utilizando Artery. Este trabajo destacó la capacidad de Artery para simular aplicaciones V2X avanzadas y su flexibilidad para integrarse con otras tecnologías emergentes, proporcionando una plataforma robusta para la investigación en comunicaciones vehiculares. [17]

2.7 SUMO

SUMO (Simulation of Urban Mobility) es un simulador de tráfico microscópico de código abierto que permite modelar sistemas de tráfico intermodales, incluyendo vehículos de carretera, transporte público y peatones. Es altamente portátil y está diseñado para manejar grandes redes, ofreciendo una amplia gama de herramientas para la creación de escenarios, como la importación de redes, cálculo de rutas y visualización. [18]

El funcionamiento de SUMO se basa en la simulación microscópica, donde se modela el movimiento individual de cada vehículo y peatón en el sistema de

tráfico. Utiliza un motor de simulación que permite la interacción en línea a través de la Interfaz de Control de Tráfico (TraCI), lo que facilita el control del comportamiento de todos los objetos de la simulación durante su ejecución. Además, SUMO permite la integración de vehículos automatizados en las simulaciones de tráfico y la evaluación de tecnologías de comunicación vehículo a todo (C2X) mediante el acoplamiento con simuladores de redes de comunicación como OMNeT++. [18]

2.8 Pérdida de trayectoria (Path Loss)

EL path loss es una variable de medición que cuantifica la reducción en la densidad de potencia de una señal electromagnética.

2.9 Shadowing

El shadowing es un fenómeno de atenuación de la señal en redes inalámbricas, causado por la presencia de obstáculos físicos como edificios, árboles o vehículos que bloquean o debilitan la propagación de las ondas de radio.

3 Diseño

3.1 Metodología

Para realizar nuestro estudio, vamos a implementar una simulación que emule un medio real urbano, para esto vamos a contar con varias herramientas digitales, primero para la construcción de nuestro medio urbano usaremos la aplicación SUMO (Simulation of Urban MObility) Simulación de movilidad urbana, una app en la que se puede generar mi escenario o invocar un mapa de una localidad del mundo real, en la misma se generan las calles o avenidas y aparte se crea un documento con el tráfico vehicular, en total tendremos 3 archivos:

*.net.xml: Define la red de tráfico, es decir las calles, semáforos, intersecciones, carriles, etc.

*.rou.xml: Define los vehículos y sus rutas, es decir como se mueven estos vehiculos, etc.

*.sumocfg: En este archivo se configuran o cargan los dos anteriores y además parámetros como intervalos de tiempo, salida de datos y etc.

Como estos archivos se los puede cargar en el programa Omnet++, para la simulación de tráfico de comunicación, pero para la implementación del protocolo DRSC, usamos la app Artery y Veins en el fondo, esto nos permitirá tener nuestra simulación completa.

Para obtener ahora si nuestras mediciones de las variables seleccionadas agregamos las reglas necesarias y alojamos las salidas en una carpeta de resultados.

Para esta simulación de tráfico vehicular se probaron varios diseños, pero por los equipos usado se prefirió una red de varias manzanas, con varios vehículos y no mas de 20 por vez. Así mismo se proyectó una duración de 15 minutos.

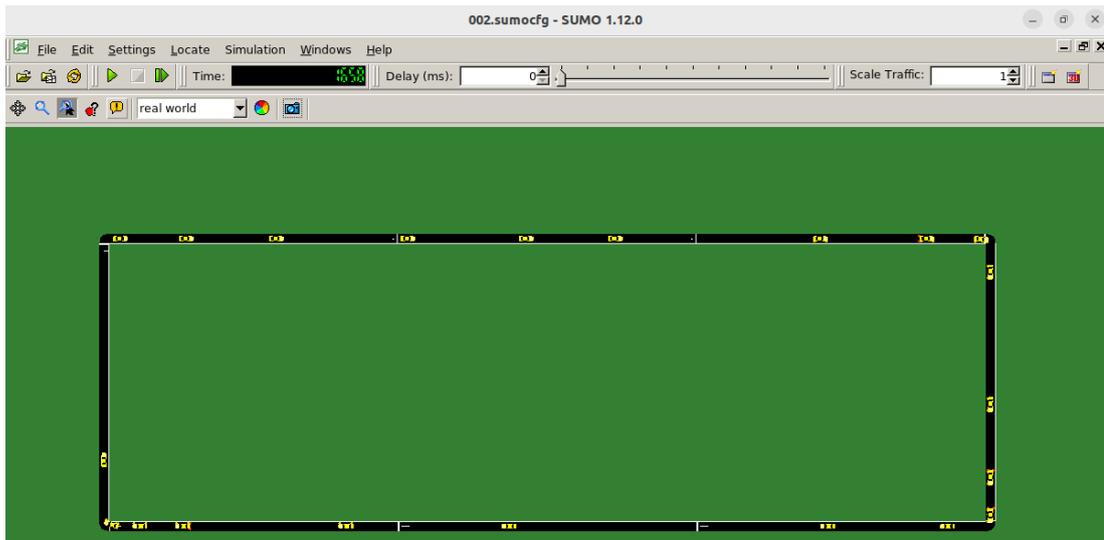


Fig. 6. Mapa SUMO

```
# Configuración de Path Loss y Shadowing  
**.node[*].nic.phy80211p.pathLossType = "BreakpointPathlossModel"  
**.node[*].nic.phy80211p.shadowingType = "LogNormalShadowing"
```

Fig. 7. Instrucciones de captura de Datos

4 Análisis de Resultados

4.1 Análisis del Desempeño del Protocolo DSRC en un Entorno Urbano.

Para todos los gráficos de esta sección se ha usado el programa MiniTab 18, por su capacidad de ofrecernos análisis más elaborados que otras plataformas.

4.2 Relación entre Distancia y Path Loss

Este gráfico permite observar cómo aumenta la pérdida de trayectoria a medida que la distancia entre el transmisor (TX) y el receptor (RX) se incrementa. Se espera una tendencia creciente en la path loss, siguiendo la ecuación de propagación en espacio libre, pero con variaciones debidas al entorno urbano. En distancias cortas, la pérdida es menor, mientras que en distancias largas la atenuación es más pronunciada debido a la absorción, difracción y reflexión de las ondas de radio. Tal como se espera los datos medidos son consistentes con los conceptos, pues el path loss debería ser siempre positivo. Fig.8.

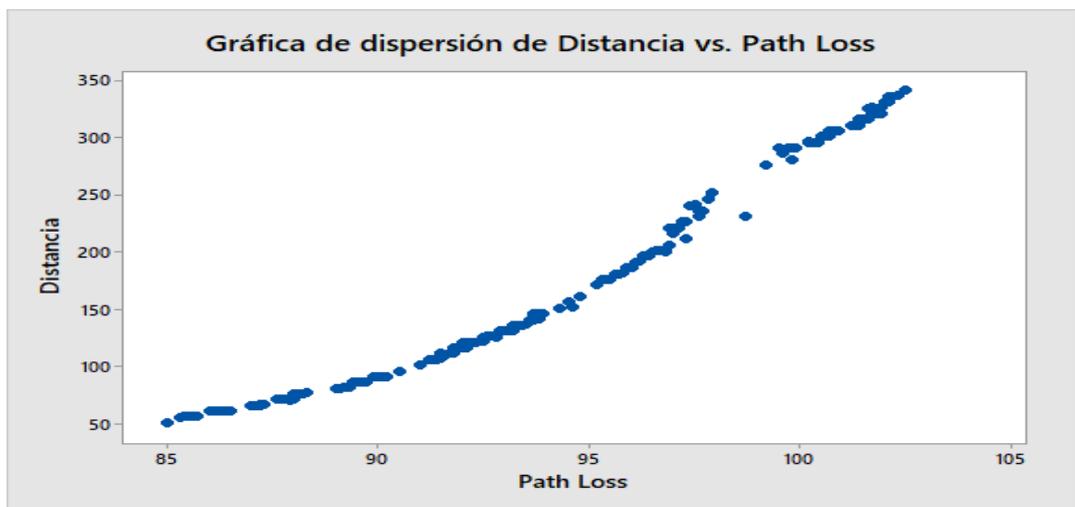


Fig. 8. Grafica de dispersión de Distancia vs Path Loss

4.3 Relación entre Distancia y Shadowing

Esta gráfica ayuda a evaluar la variabilidad de la señal debido a obstrucciones en el entorno urbano (edificios, vehículos, mobiliario urbano). El shadowing introduce fluctuaciones en la señal, generando pérdidas adicionales. Se espera que su distribución sea aleatoria y varíe en función de la distancia. Como se observa en la Fig 9 mientras la distancia es corta el shadowing es bajo, pero a medida que la

distancia entre el Tx y el Rx aumentan el shadowing aumenta y también se vuelve más errático debido a que los obstáculos no suelen guardar patrones precisos.

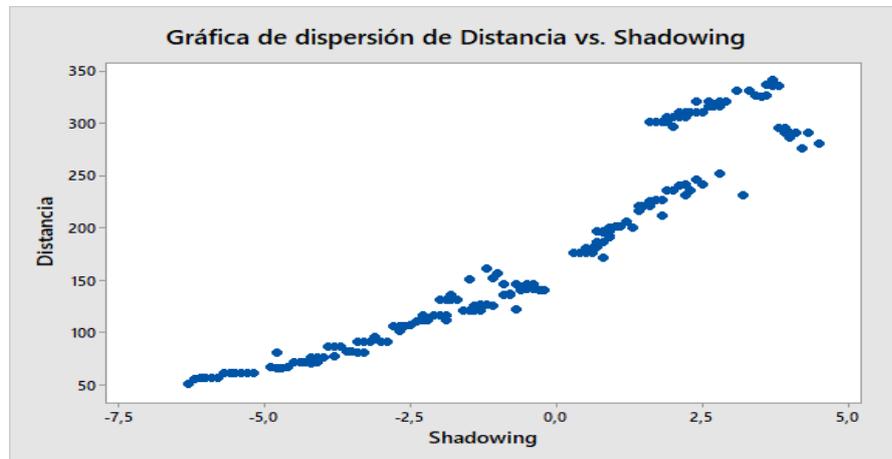


Fig. 9. Gráfica de dispersión de Distancia vs Shadowing

4.4 Evolución de la Distancia entre TX y RX en el Tiempo

Este gráfico permite entender cómo se mueven los vehículos y cómo varía la distancia entre emisor y receptor con el tiempo. Al ser una simulación de tráfico urbano, se esperan variaciones no lineales debido a cambios en la velocidad de los vehículos, intersecciones y congestión. Tal como se observa en la Fig. 10 las muestras recogidas no permiten sacar ningún patrón o relación entre ambas variables, tal como sería de esperar.

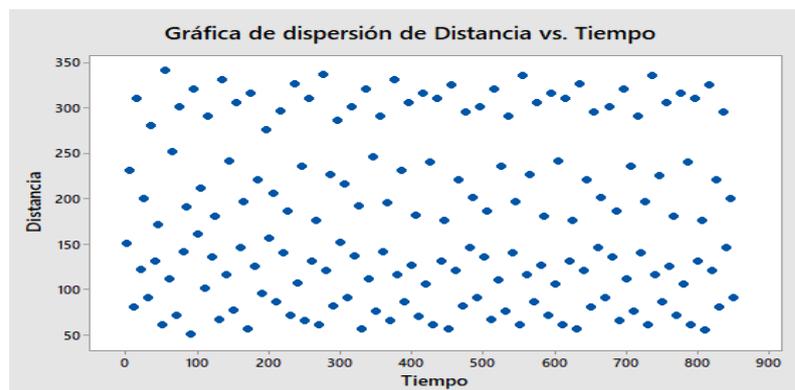


Fig. 10. Gráfica de dispersión de Distancia vs Tiempo

4.5 Evolución del Path Loss en el Tiempo

Este gráfico refleja cómo cambia la path loss a medida que los vehículos se desplazan. Se pueden identificar patrones de pérdida de señal relacionados con la movilidad, zonas de mayor interferencia o puntos críticos donde la comunicación DSRC podría fallar.

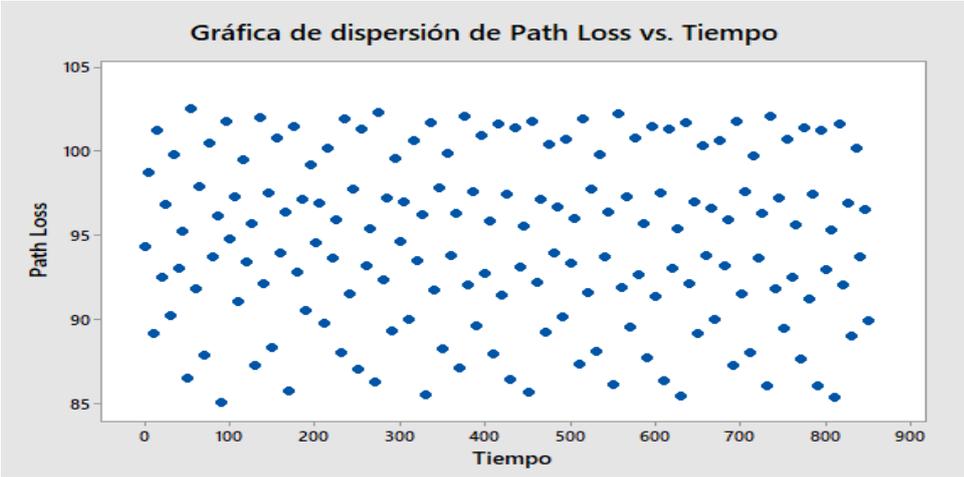


Fig. 11. Path Loss vs Tiempo

4.6 Histograma del Shadowing

En la Fig. 12 tenemos un histograma en el que se puede apreciar que no se aprecia una distribución normal. Pero para estar seguros aplicaremos con ayuda del Minitab una prueba de normalidad usando el criterio de Anderson-Darling

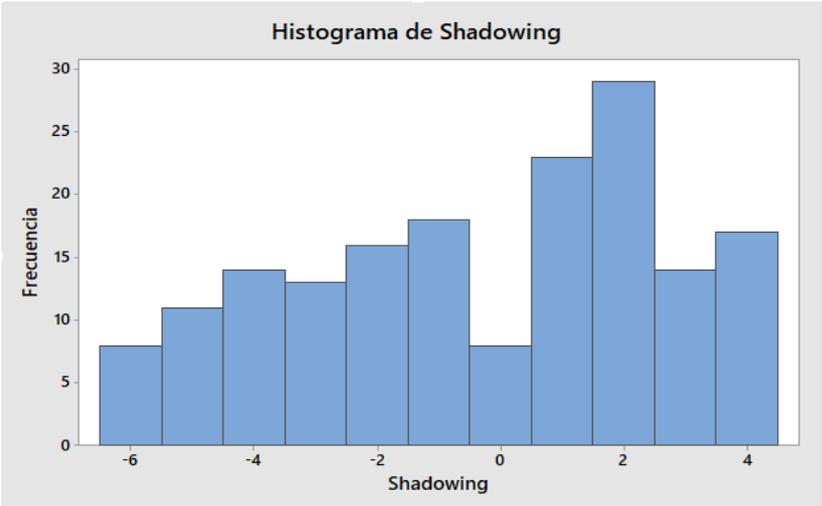


Fig. 12 Histograma de Shadowing

En la Fig. 13 podemos apreciar el resultado del análisis de la prueba AD de normalidad, tenemos una desviación estándar de 2,952 la cual es alta y nos da a entender que los valores están bastante dispersos con relación a la media, también la tener una muestra de 171 datos es alta la confianza que podemos tener en el análisis, finalmente el parámetro AD = 2.284 es bastante elevado con lo cual confirmamos que los daros están bastante dispersos y no siguen una normal.

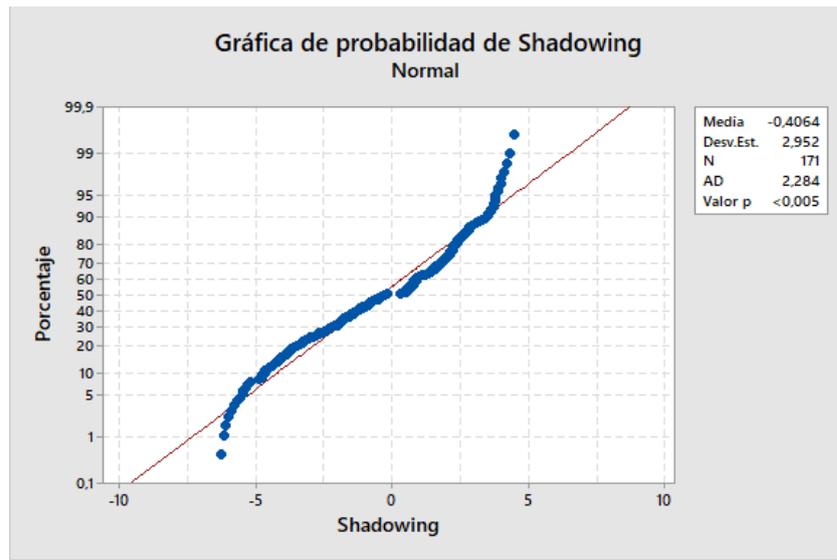


Fig. 13. Grafica de probabilidad de Shadowing

Finalmente dado que nuestro valor p es mucho menos que el valor base de 0.05 podemos descartar la hipótesis de que los datos tengan un comportamiento normal.

5 Conclusiones

Influencia de la Densidad de Tráfico en DSRC: El protocolo DSRC se ve afectado por la densidad de tráfico en entornos urbanos, lo que provoca un aumento de la **pérdida de señal (Path Loss)** debido a la propagación multitrayectoria.

Distribución del Shadowing: Los resultados de la prueba de **Anderson-Darling** indican que los valores de **Shadowing** no siguen una distribución normal, lo que es común en entornos urbanos con mucha interferencia de edificios y objetos que bloquean la señal.

Patrón de la Pérdida de Señal: El análisis de la **Path Loss** con respecto a la **Distancia** confirma que, a medida que aumenta la distancia entre los vehículos o puntos de medición, la **Path Loss** aumenta, lo que refleja la atenuación de la señal en escenarios con alta densidad de tráfico.

Modelo Log-Normal para Shadowing: Los datos de **Shadowing** podrían ajustarse mejor a una **distribución log-normal** en lugar de normal, como sugiere la falta de ajuste a una distribución normal en la prueba de Anderson-Darling.

Efecto de la Propagación Multitrayectoria: La variabilidad observada en los valores de **Shadowing** refleja el impacto de la **propagación multitrayectoria** en entornos urbanos, donde las señales reflejadas y difusas afectan la calidad de la comunicación.

Simulación de Escenarios Urbanos en OMNeT++: Los escenarios urbanos simulados en **OMNeT++** y **SUMO** proporcionan un entorno realista para analizar el rendimiento de protocolos DSRC en áreas con alta densidad vehicular.

Adecuación de Veins y Artery para Vehículos: **Veins** y **Artery** son herramientas efectivas para simular escenarios **V2V (Vehicle-to-Vehicle)** en OMNeT++, permitiendo el análisis de la interacción entre vehículos y su rendimiento bajo condiciones urbanas.

Impacto de la Interferencia en la Comunicación DSRC: Los resultados muestran que la **interferencia por la densidad de vehículos** y el **shadowing** pueden reducir significativamente la efectividad de las comunicaciones DSRC, lo que limita su rendimiento en escenarios urbanos con muchos obstáculos.

Intervalos de Medición para DSRC: El **intervalo de medición de la señal** debe ser adecuado para capturar las variaciones de **Path Loss** y **Shadowing** en entornos urbanos, y los intervalos más cortos pueden proporcionar una visión más detallada de la propagación de la señal.

Relación entre Distancia y Shadowing: En escenarios de alta densidad de tráfico, la relación entre la **Distancia** y el **Shadowing** es compleja, y el **Shadowing** tiende a ser más pronunciado en áreas donde la señal se ve más bloqueada por obstáculos.

Configuración de la Simulación en OMNeT++: La correcta configuración de **OMNeT++** con **SUMO**, **Veins**, y **Artery** es fundamental para obtener resultados precisos y confiables sobre el comportamiento del protocolo DSRC en el contexto simulado.

Necesidad de Modelos de Propagación Específicos: Es crucial utilizar modelos de propagación adecuados para simular correctamente la atenuación y el **shadowing** en diferentes tipos de escenarios urbanos, considerando las características específicas de las ciudades simuladas.

Importancia del Tamaño de Muestra en las Mediciones: Con un tamaño de muestra de 171 mediciones, los resultados de la simulación proporcionan una base sólida para hacer generalizaciones sobre la propagación en el entorno urbano simulado, pero es necesario un mayor número de mediciones para confirmar patrones.

Evaluación de la Calidad de la Comunicación: Las simulaciones revelan que los **vehículos** en entornos urbanos con alta densidad pueden experimentar **fallos en la comunicación** debido a la **reducción de la señal** causada por el **shadowing** y la **interferencia** de otros vehículos y obstáculos.

Mejora Continua en la Simulación: A medida que se obtienen más datos y se perfeccionan las configuraciones de simulación, los modelos de **OMNeT++** y **SUMO** pueden ajustarse mejor a las condiciones reales, lo que permite un análisis más preciso de la **eficiencia del protocolo DSRC** en distintos escenarios urbanos.

Referencias

- [1] H. Al-Tous, T. Ponnada y C. Studer, «Multipoint channel charting-based radio resource management for V2V communications,» *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, p. 132, 2020.
- [2] S. Raza, L. Wei y M. Ahmed, «An efficient task offloading scheme in vehicular edge computing,» *Journal of Cloud Computing*, vol. 9, p. 28, 2020.
- [3] J. J. Zambrano Macias, «ANÁLISIS DEL IMPACTO DE UN SISTEMA INTELIGENTE PARA LA GESTIÓN DE,» Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, 2024.
- [4] V. Mannava, D. Ramya, T. Loai y A.-R. Mohammad, «Vehicle to Vehicle (V2V) Communication Protocol:,» *ArXiv*, vol. 2102, nº 07306, 2021.
- [5] S. Ignacio, C. Maria, A. Oscar y U. Manuel , «A survey on road safety and traffic efficiency vehicular applications based on C-V2X technologies,» *arXiv e-prints*, vol. 33, p. 100428, 2022.
- [6] W. Telecommunications, «Dedicated Short Range Communications (DSRC) Service,» Federal Communications Commission, 30 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/mobility-division/dedicated-short-range-communications-dsrc-service>. [Último acceso: 20 Enero 2025].
- [7] T. Trainer, «DSRC (Dedicated short range communications),» Telecom Trainer, 27 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.telecomtrainer.com/dsrc-dedicated-short-range-communications/>. [Último acceso: 8 Febrero 2025].
- [8] J. R. Marcillo del Castillo, «Modelación y simulación de control de tráfico vehicular en horas pico para el centro de la ciudad de Ibarra, a través de una red Ad - Hoc Vanet,» Universidad Tecnica del Norte, Ibarra, 2020.
- [9] A. Valentine y G. Parisi, «Developing and experimenting with LEO satellite constellations in OMNeT++,» *arXiv*, Sussex, 2021.
- [10] A. Feraudo, A. Calvio y P. Ballavista, «A Novel OMNeT++-Based Simulation Tool for Vehicular Cloud Computing in ETSI MEC-Compliant 5G Environments,» Proceedings of the 13th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, Bologna, 2023.
- [11] T. Lamenza, M. Paulon, B. Perricone, B. Olivieri y M. Endler, «GRADYS-SIM - A OMNET++/INET SIMULATION FRAMEWORK FOR INTERNET OF FLYING THINGS,» *arXiv*, Rio de Janeiro, 2022.
- [12] H. Hosseini, E. Rojas y D. Carrascal, «Implementation of RPL in OMNeT++,» *arXiv*, Alcalá de Henares, 2021.

- [13] C. Sommer , «Veins,» 26 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://veins.car2x.org/>. [Último acceso: 2 Febrero 2025].
- [14] C. N. Van Phu, «A mobile observer method for the estimation of road traffic using communicating vehicles,» arXiv, Marne-la-Vallée, 2024.
- [15] Artery, «Artery,» 20 Agosto 2023. [En línea]. Available: <http://artery.v2x-research.eu/>. [Último acceso: 2 Febrero 2025].
- [16] J. Oliveira, E. Vieira, j. Almeida, J. Ferreira y P. Bartolomeu, «A Maneuver Coordination Analysis Using Artery V2X Simulation Framework,» Electronics 2024, Aveiro, 2024.
- [17] G. A. Kovács y B. László, «Implementation of MEC-Assisted Collective Perception in an Integrated Artery/Simu5G Simulation Framework,» Budapest, 2023.
- [18] German Aerospace Center, «SUMO,» 2024.