

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**“Caracterización del canal de comunicaciones V2X en ambientes
de alta densidad vehicular en el caso de erupción del volcán
Cotopaxi”**

Autores:

Brayan Edmundo Gallo Sánchez
Javier Alejandro Romero Patiño

Director del Proyecto: Ing. Fausto Granda, PhD.

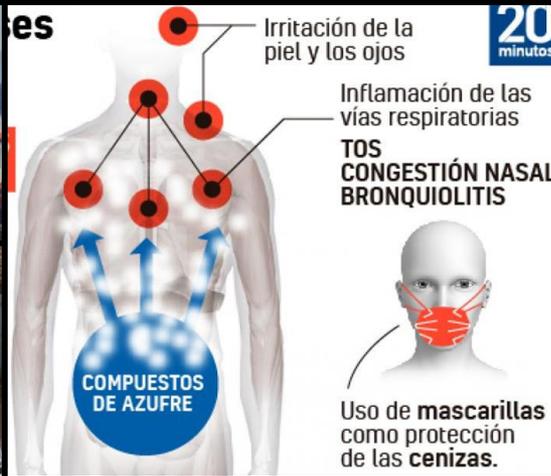


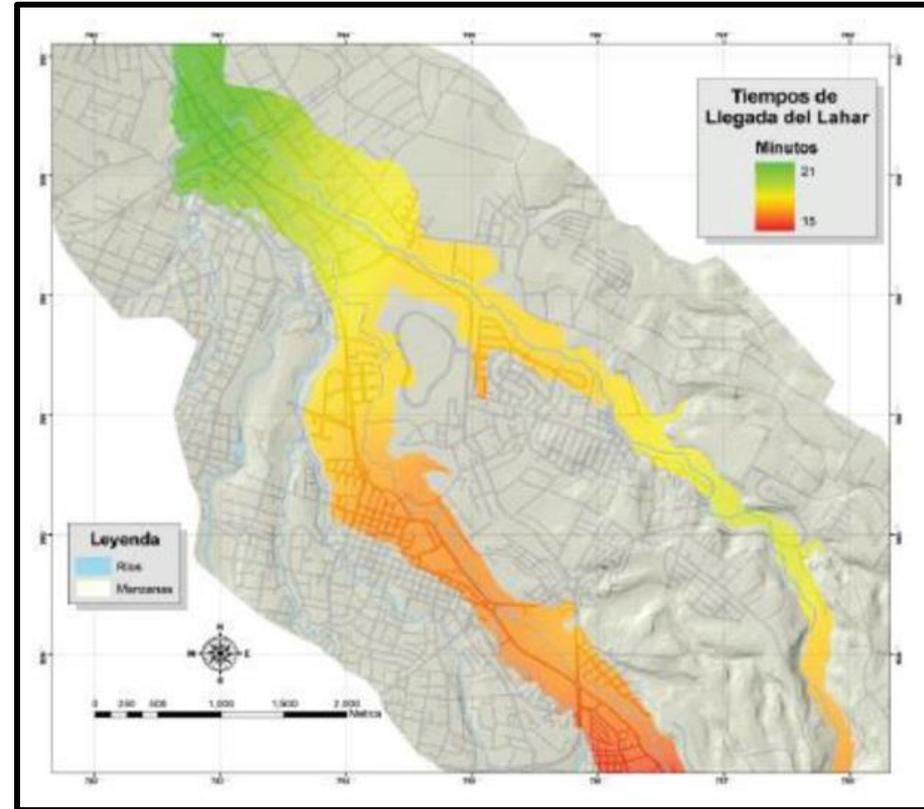
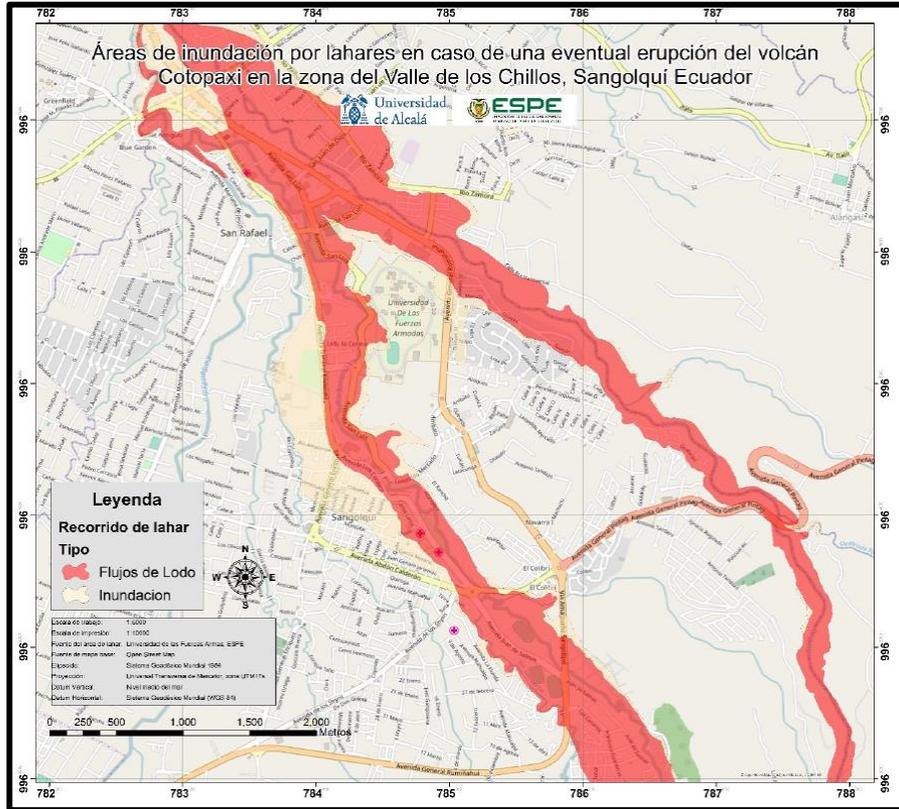
Agenda

- 1 Introducción
- 2 Objetivos
- 3 Marco Teórico
- 4 Diseño e implementación
- 5 Pruebas y resultados
- 6 Conclusiones y recomendaciones

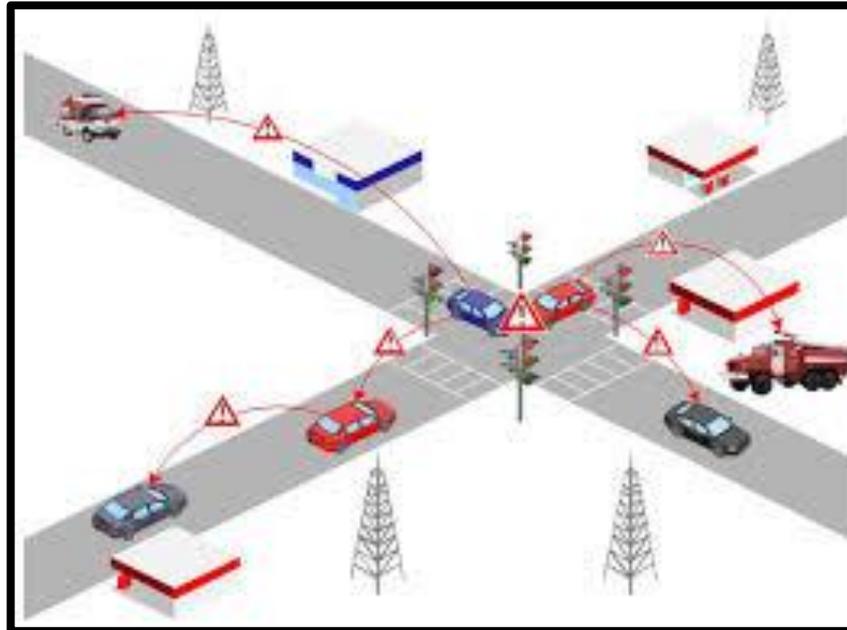


Introducción





ESPE
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Objetivos

Objetivo general

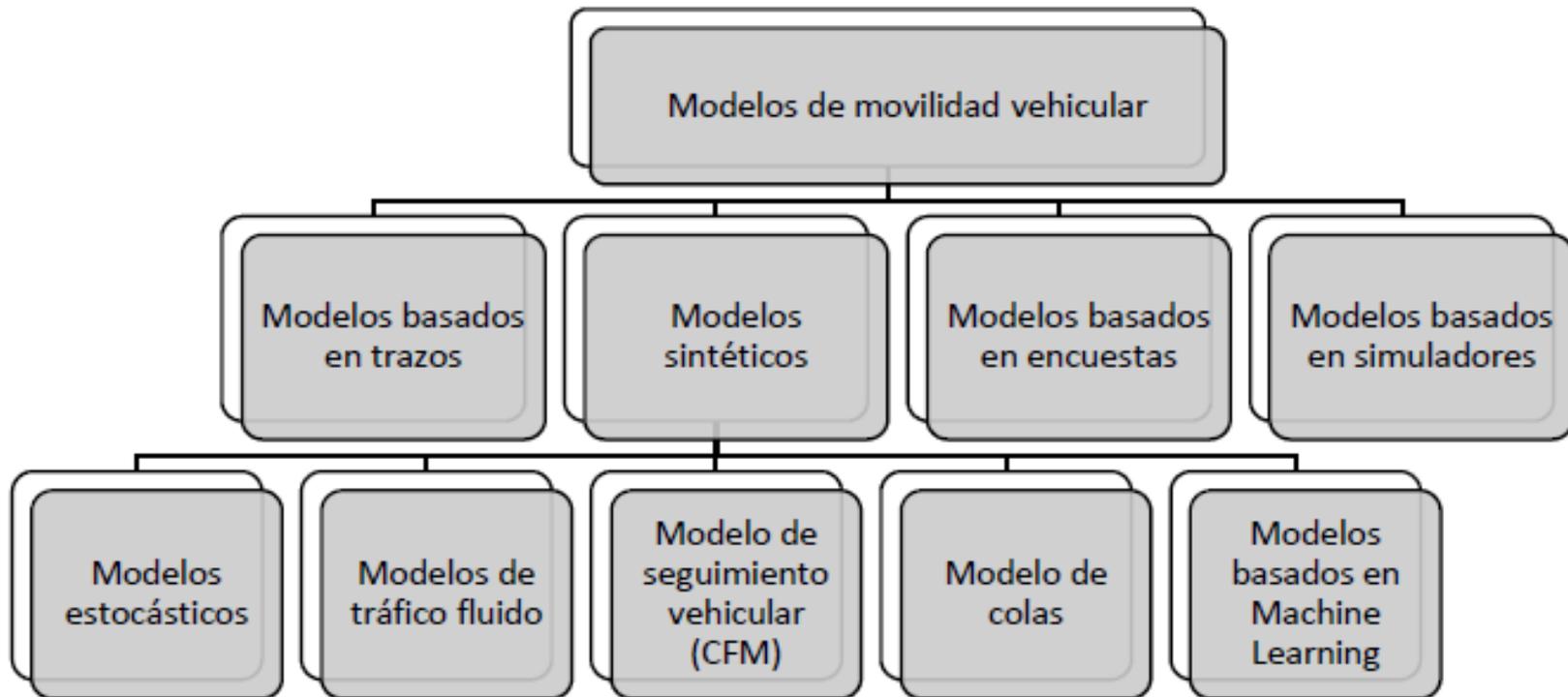
- Caracterizar el canal de comunicaciones V2X en ambientes de alta densidad vehicular en el caso de erupción del volcán Cotopaxi.

Objetivos específicos

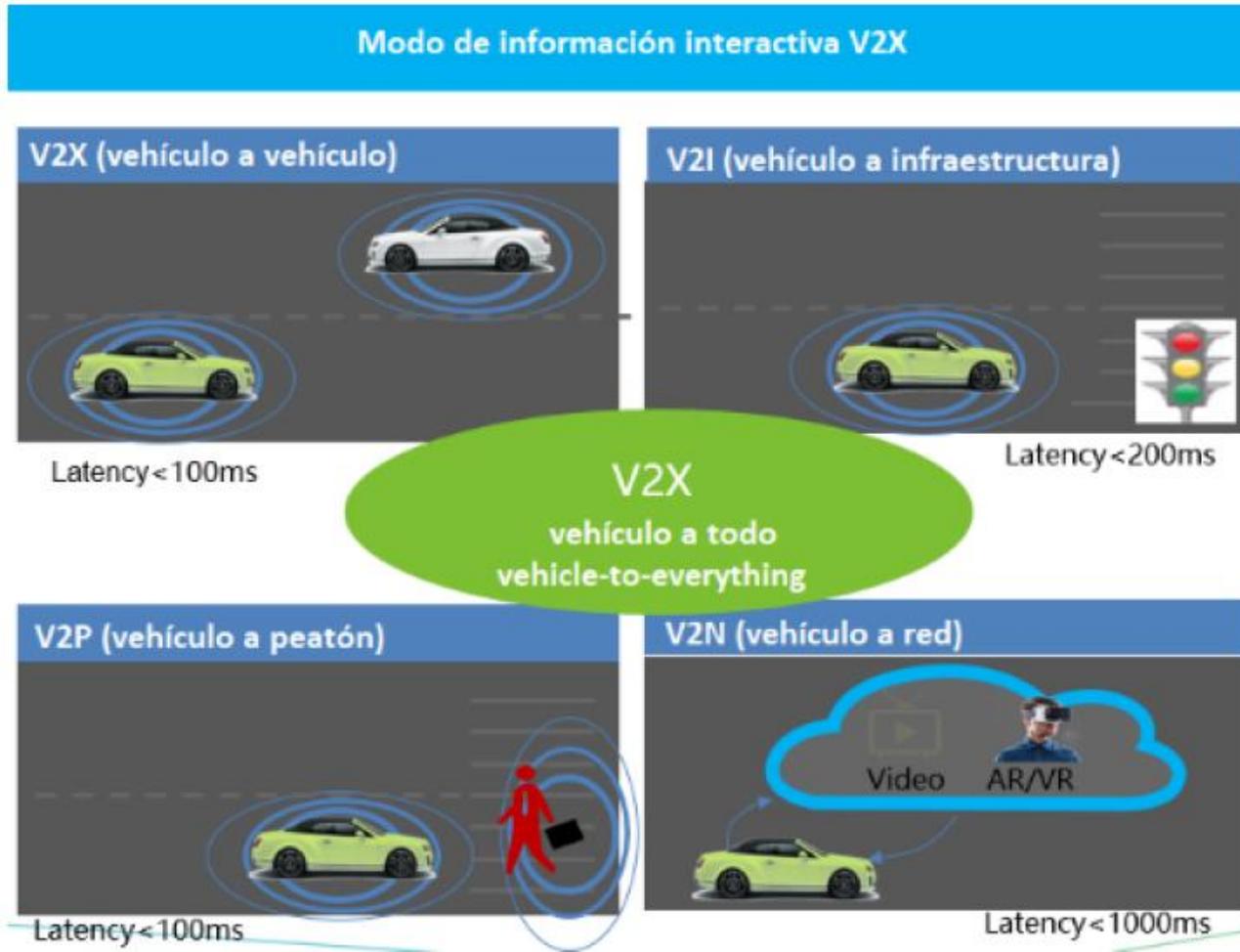
- Identificar las principales afectaciones en la redes viales del Cantón Rumiñahui producidas durante los procesos eruptivos del volcán Cotopaxi a lo largo de los años.
- Diseñar un entorno urbano/rural 3D de multipropagación con alta densidad vehicular seleccionando el modelo de propagación más adecuado.
- Simular al menos dos escenarios de flujo vehicular empleando herramientas de mapas georreferenciados, redes VANET y movilidad vehicular con el modelo de tráfico vehicular microscópico de Krauss.
- Evaluar el desempeño de la red vehicular para el análisis de parámetros de radio propagación (capa física) y comunicación de datos (capa de red).



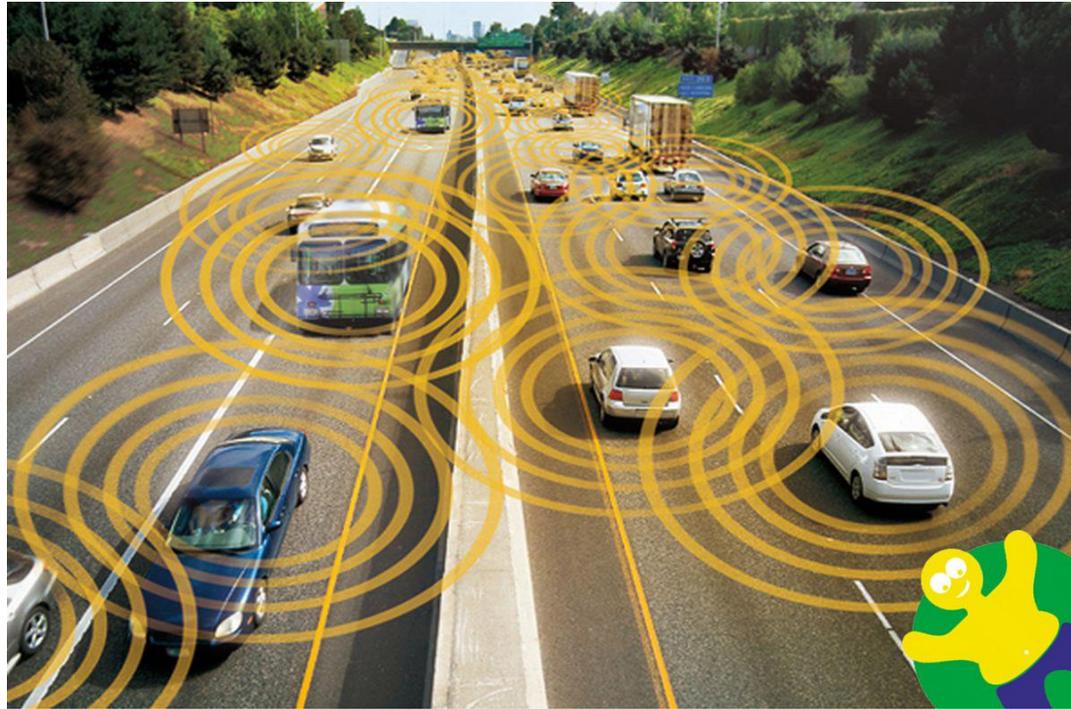
Movilidad vehicular



Redes vehiculares Ad-Hoc (VANET)



Características de las comunicaciones V2X



Topología variable

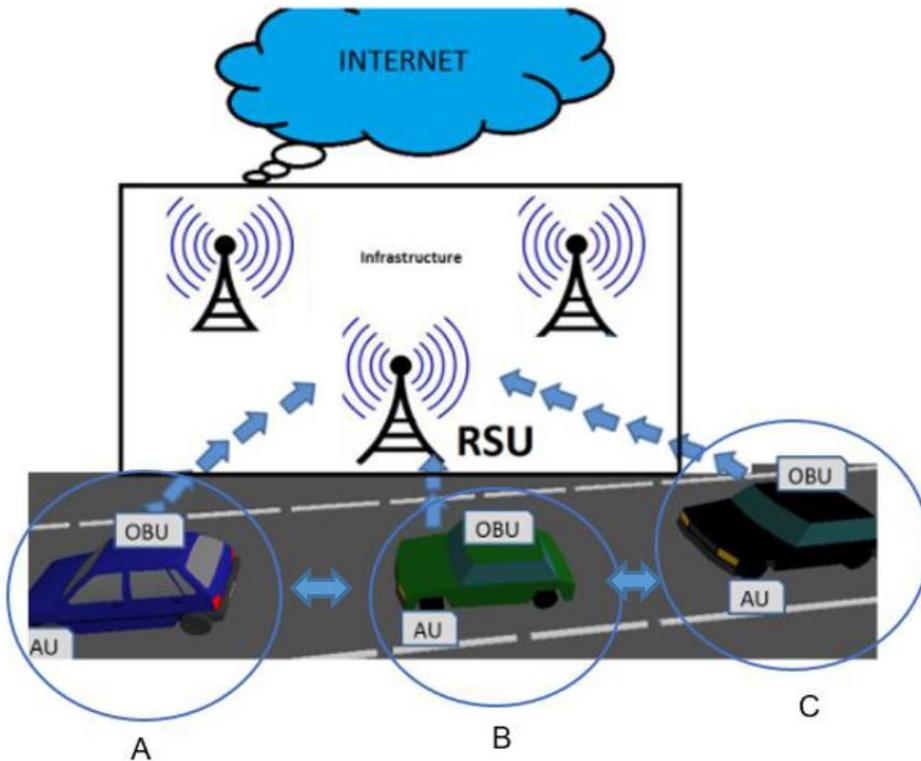
Red sin
administración
centralizada

Nodos
autoconfigurables

Alto suministro de
energía



Estructura de una red VANET

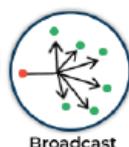
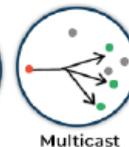
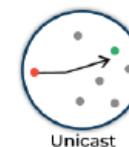


KEY DIFFERENCES BETWEEN TCP AND UDP FOR ORGANIZATIONS



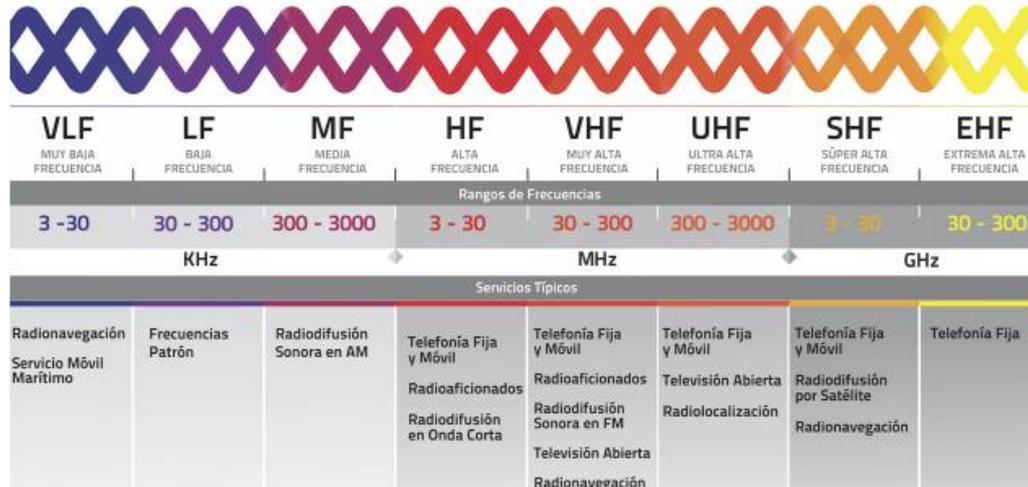
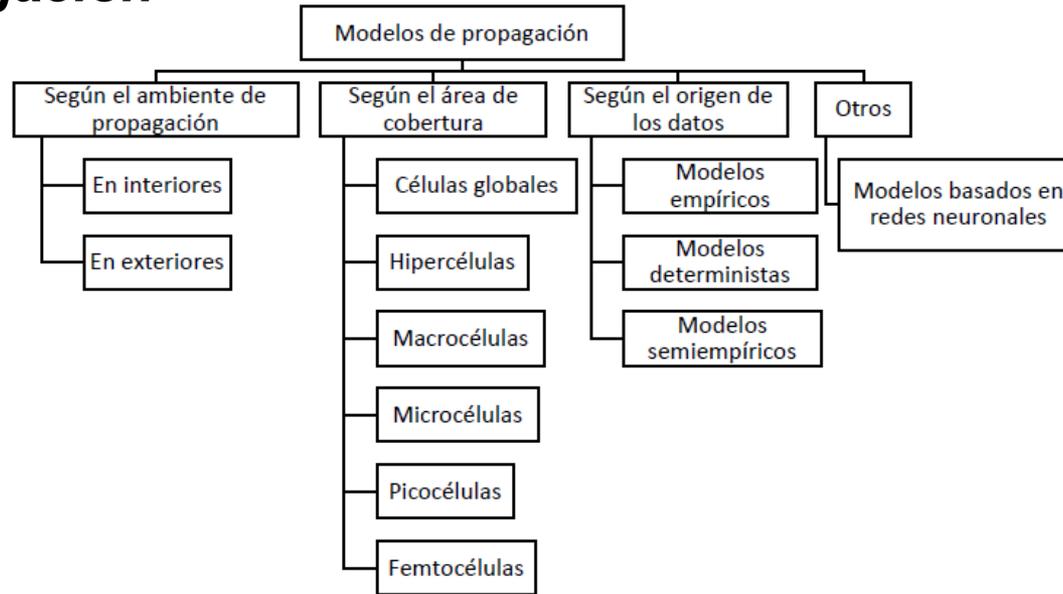
- Slower but more reliable transfers
- Typical Applications:
 - File Transfer Protocol
 - Web Browsing
 - Email

- Faster but not guaranteed transfer ("Best Effort")
- Typical Applications:
 - Live streaming
 - Online Games
 - VoIP



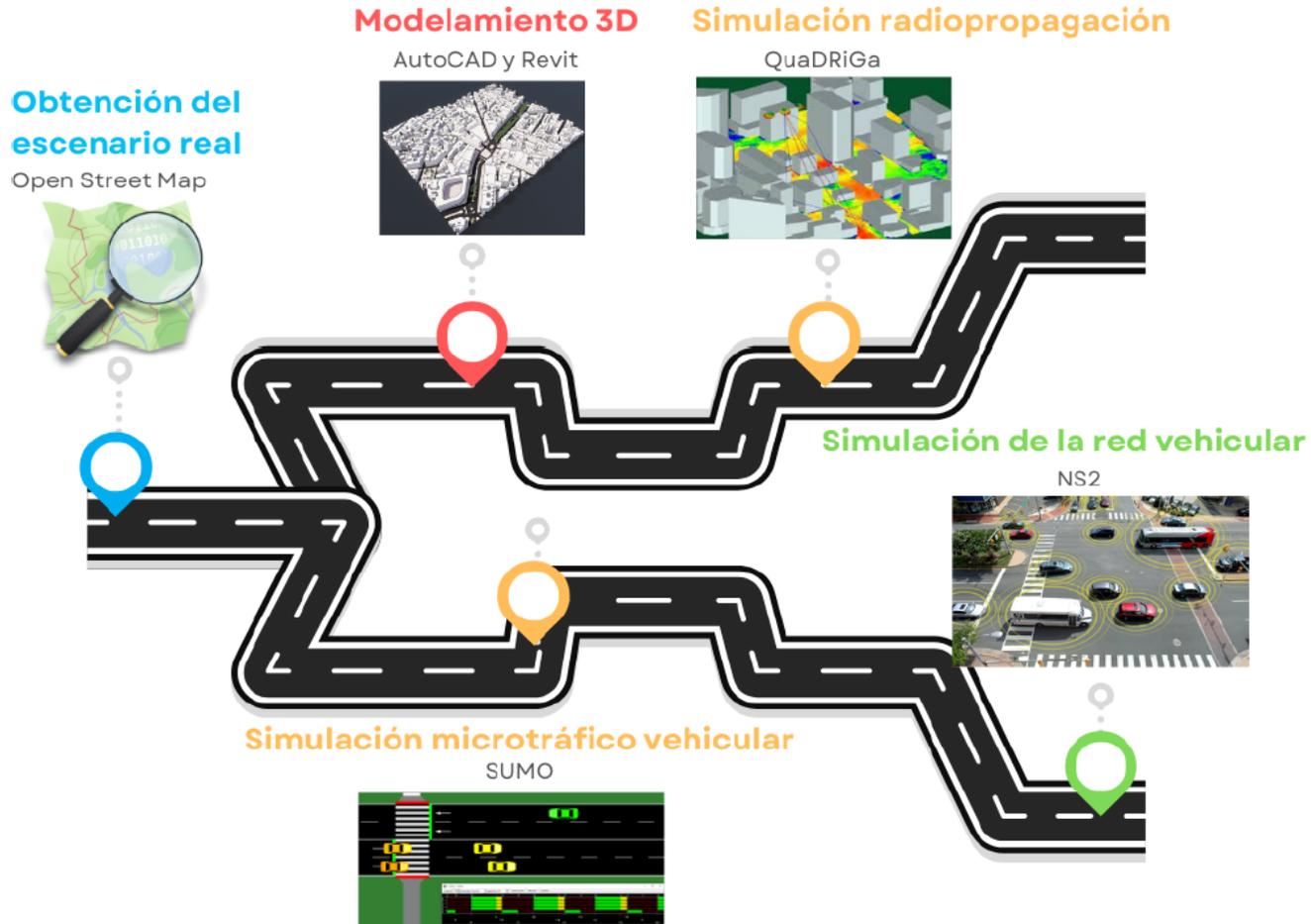
Marco teórico

Radio propagación



Diseño e implementación

Etapas de desarrollo



Diseño e implementación

Simulación de movilidad vehicular



Disco local (C:) > Tesis C > redondel

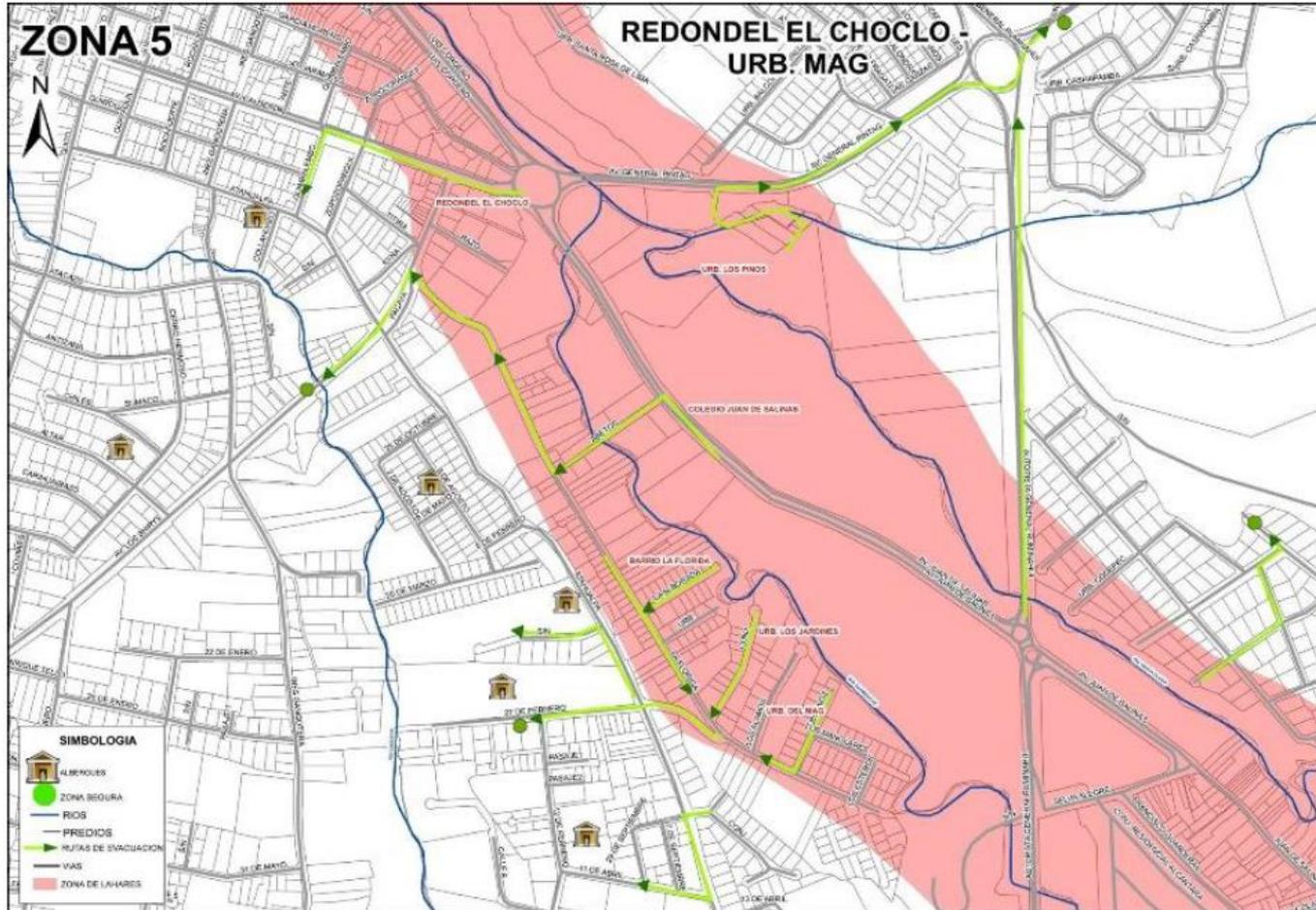
Buscar en redondel

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
randomTrips.py	19/07/2022 1:14	Python File	39 KB
redondel.bat	05/10/2022 17:25	Archivo por lotes ...	1 KB
redondel.net.xml	05/10/2022 16:57	Documento XML	301 KB
redondel.osm	05/10/2022 13:50	Archivo OSM	703 KB
redondel.poly.xml	05/10/2022 17:07	Documento XML	6 KB
redondel.rou.xml	05/10/2022 17:10	Documento XML	11 KB
redondel.sumo.cfg	05/10/2022 17:17	Archivo CFG	1 KB
trips.trips.xml	05/10/2022 17:10	Documento XML	8 KB
typemap.xml	17/02/2022 23:11	Documento XML	4 KB



Diseño e implementación

Rutas de evacuación para la zona de riesgo 5 de Rumiñahui

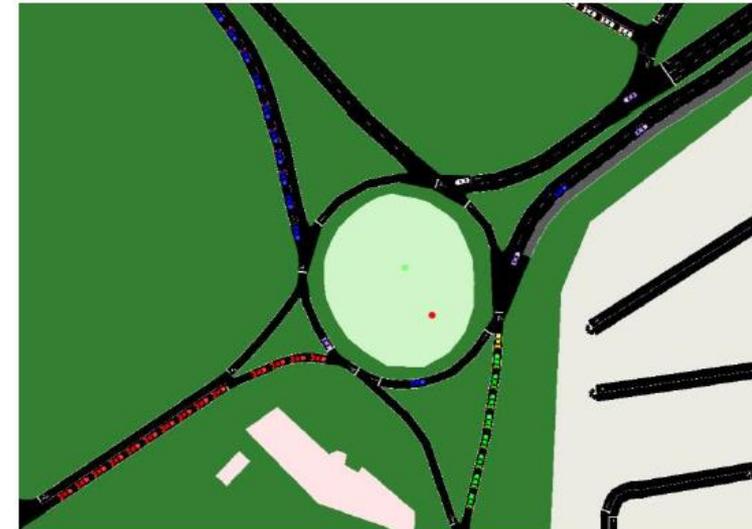


Diseño e implementación

Establecimiento de flujo vehicular

Identificador	Ruta	Color
Route 0	Av. General Pintag (O-E) / Redondel / Av. General Pintag (O-E)	Red
Route 1	Av. General Rumiñahui (S-N) / Av. General Pintag (O-E)	Green
Route 2	Av. General Rumiñahui (N-S) / Redondel / Av. General Pintag (O-E)	Blue
Route 3	C.A / Redondel / Av. General Pintag (O-E)	Grey
Route 4	Calle Los Jilgueros Urb. San Ignacio de Castapamba / Av. General Pintag (O-E)	Cyan
Route 5	Calle De los Gorriones Urb. San Ignacio de Castapamba / Av. General Pintag (O-E)	Magenta
Route 6	Av. General Pintag (E-O) / Redondel / Av. General Pintag (O-E)	Purple

*Ejecución del primer escenario de movilidad en SUMO.
Redondel del Colibrí*



Diseño e implementación

Identificador	Ruta	Color
Route 0	Av. General Pintag (O-E) / Redondel Colibrí / Av. General Pintag (O-E)	
Route 1	Calle Florida / Calle Los Abetos / Av. Juan de Salinas / Redondel Selva Alegre / Av. General Rumiñahui (S-N) / Av. General Pintag (O-E)	Blue
Route 2	Av. Juan de Salinas (E-O) / Redondel Selva Alegre / Av. General Rumiñahui (S-N) / Av. General Pintag (O-E)	Green
Route 3.1	Av. General Pintag (E-O) / Redondel Colibrí / Av. General Pintag (E-O) / Redondel Monumento al Maíz / Av. Abdón Calderón (E-O)	Yellow
Route 3.2	Av. General Pintag (E-O) / Redondel Colibrí / Av. General Pintag (O-E)	Yellow
Route 4	Av. Luis Cordero (N-S) / Redondel Monumento al Maíz / Av. Juan de Salinas (N-S) / Calle Los Abetos / Calle Florida.	Cyan
Route 5.1	Av. E20 (S-N) / Redondel Selva Alegre / Av. General Rumiñahui (S-N) / Redondel Colibrí / Av. General Pintag (O-E)	Red
Route 5.2	Av. E20 (S-N) / Redondel Selva Alegre / Av. Juan de Salinas (S-N) / Redondel Monumento al Maíz / Av. Juan de Salinas (N-S) / Calle Los Abetos / Calle Florida.	Red

Identificador	Ruta	Color
Route 6	Av. Luis Cordero (N-S) / Redondel Monumento al Maíz / Av. Abdón Calderón (E-O)	Orange
Route 7	Av. General Rumiñahui (N-S) / Redondel Colibrí / Av. General Rumiñahui (O-E)	Purple

*Ejecución del segundo escenario de movilidad en SUMO.
Integración de redondeles*



Diseño e implementación

Red VANET



```
set val(chan) Channel/WirelessChannel ;# channel type
set val(prop) Propagation/TwoRayGround ;# radio-propagation model
set val(netif) Phy/WirelessPhyExt ;# network interface type
set val(mac) Mac/802_11Ext ;# MAC type
set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue ;# interface queue type
set val(ll) LL ;# link layer type
set val(ant) Antenna/OmniAntenna ;# antenna model
set val(ifqlen) 50 ;# max packet in ifq
set val(nn) 743 ;# number of mobilenodes
set val(rp) AODV ;# routing protocol

set tcp [new Agent/TCP]
$tcp set class 2
set sink [new Agent/TCPSink]
$ns_ attach-agent $node_0 $tcp

$ns_ attach-agent $node_3 $sink

$ns_ connect $tcp $sink
set ftp [new Application/FTP]
$ftp attach-agent $tcp
$ns_ at 10.0 "$ftp start"

$node_98 set X_ 390
$node_98 set Y_ 300
$node_98 set Z_ 3
$ns_ at 1.0 "$node_98 setdest 390 300 3"
$ns_ at 1.0 "$node_98 label RSU"
```

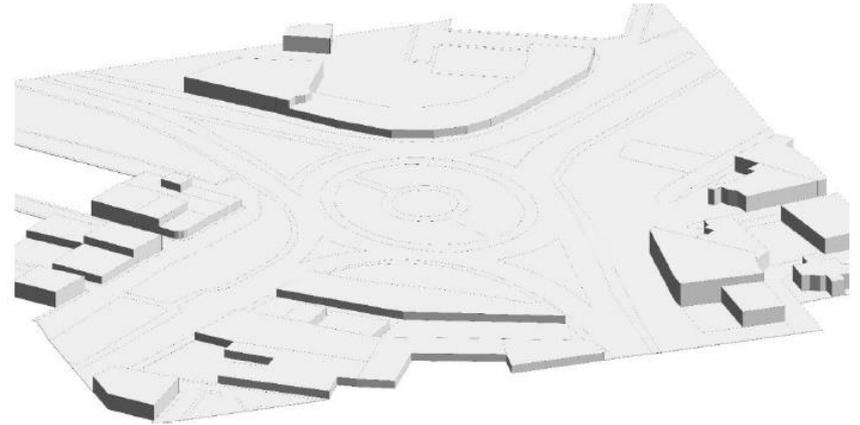
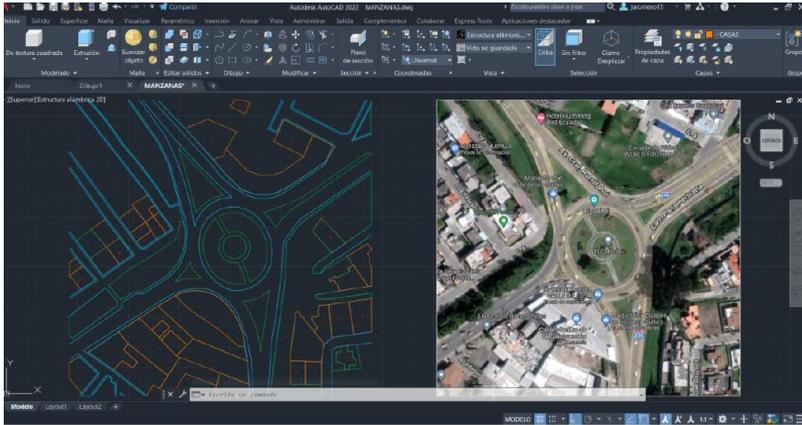


Parámetros	Valor y especificación
Ancho de banda	10 MHz
Velocidad bits	3 Mbps
Modulación	BPSK
Tasa de código	½
Modelo de propagación	Two Ray Ground
Subportadoras de datos	48
Duración del símbolo	8 us
Potencia de transmisión	0.1 W – 20 dBm
Tipo de antena	Omnidireccional
Protocolo de enrutamiento	AODV
Velocidad "Car 1" y "Car 2" en el escenario 1	40 km/h o 11.11 m/s
Velocidad "Car 1" en el escenario 2	40 km/h o 11.11 m/s
Velocidad "Car 2" en el escenario 2	50 km/h o 13.89 m/s



Diseño e implementación

Modelamiento 3D



Escenario 1

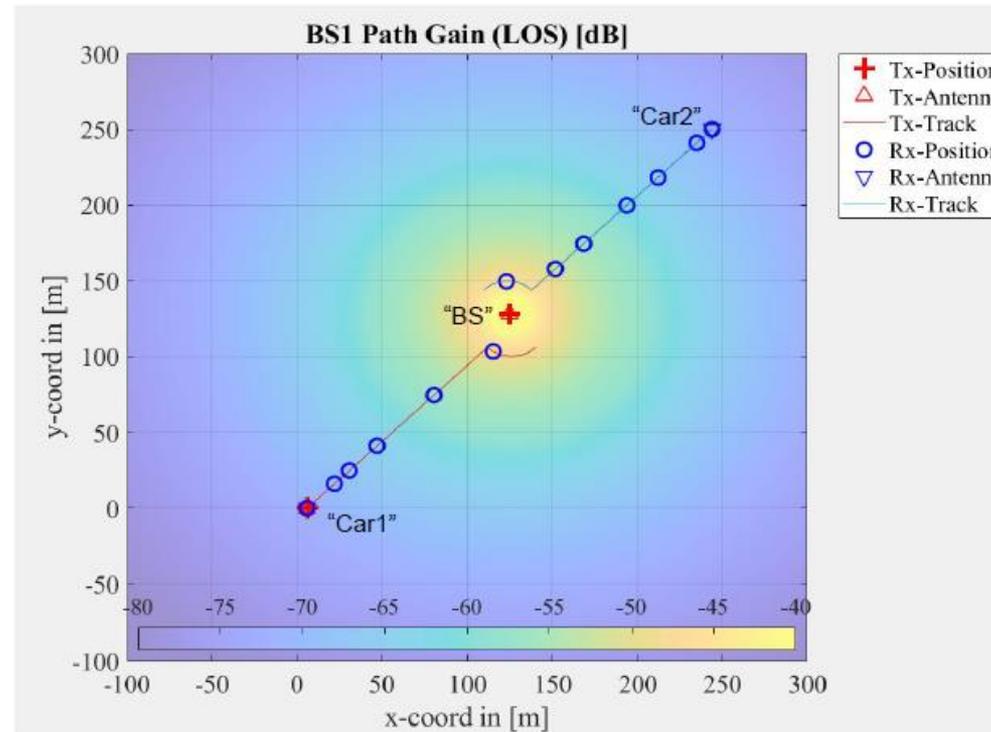
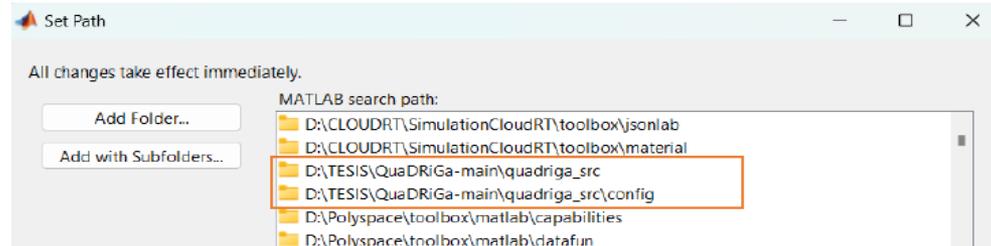


Escenario 2



Diseño e implementación

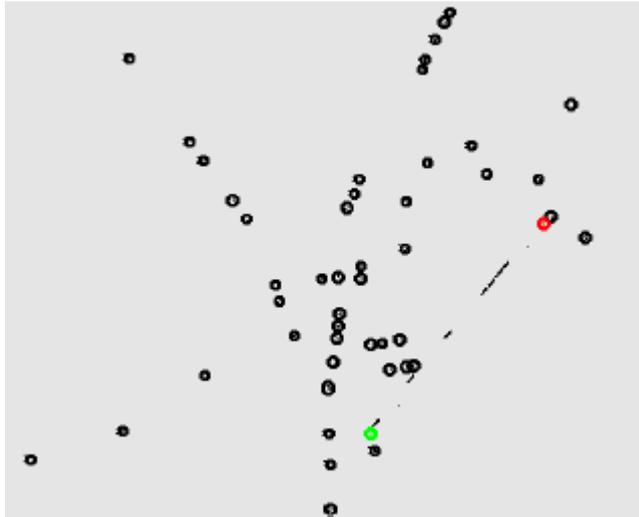
Radiopropagación Quadriga



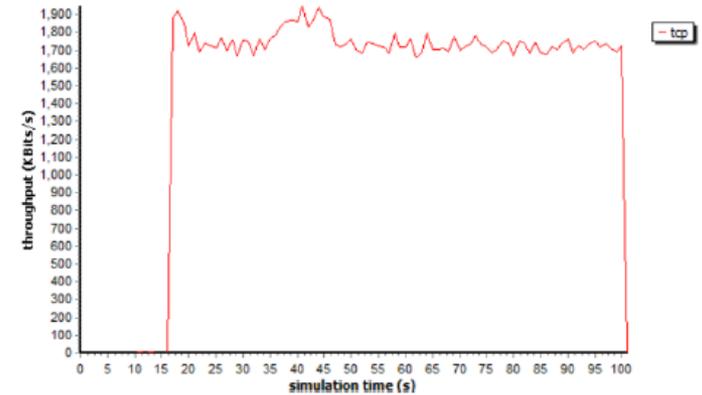
Resultados

Escenario 1

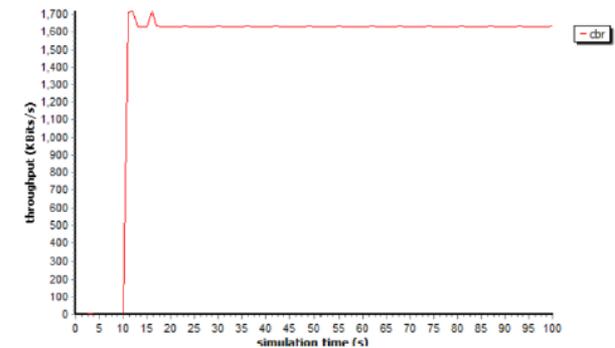
Comunicación V2V – Una conexión



Throughput TCP primer escenario V2V: caso 1



Throughput UDP primer escenario V2V: caso 1

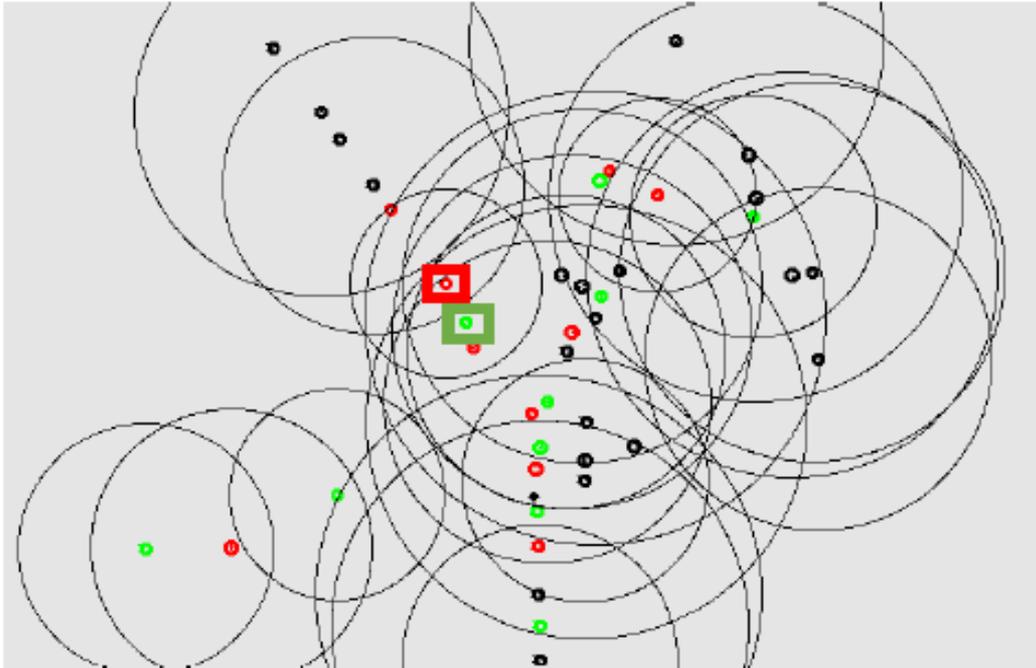


Parámetro	TCP	UDP
Throughput [Kbps]	1704	1592
Packet Delivery Ratio [%]	99.96	94.16
Packet Loss	12	2062
Average End to End Delay [s]	0.031	2.389E-03
Jitter [s]	1.694E-03	3.780E-05



Resultados

Comunicación V2V – Diez conexiones

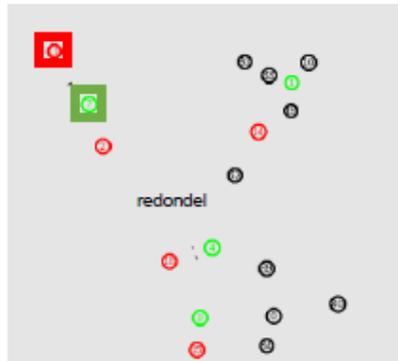
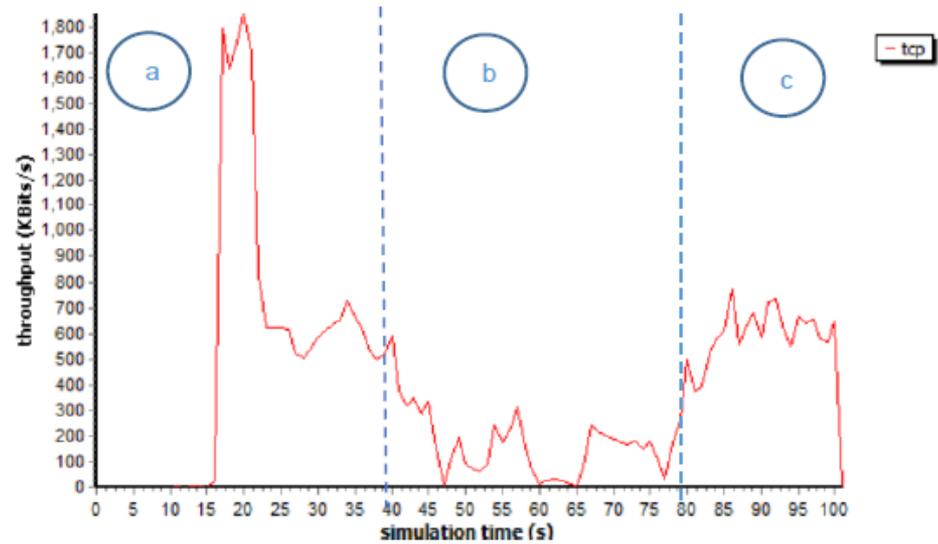


Parámetro	TCP	UDP
Throughput [Kbps]	440	416
Packet Delivery Ratio [%]	99.55	69.53
Packet Loss	41	2807
Average End to End Delay [s]	0.087	0.018
Jitter [s]	8.363E-03	2.290E-03

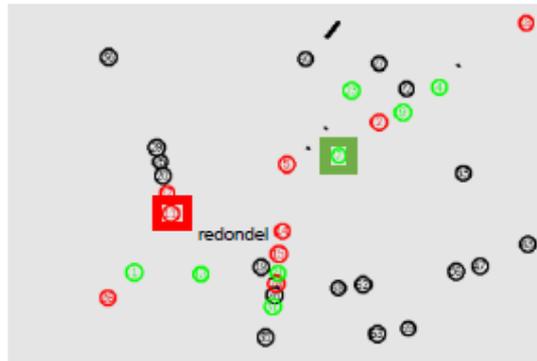


Resultados

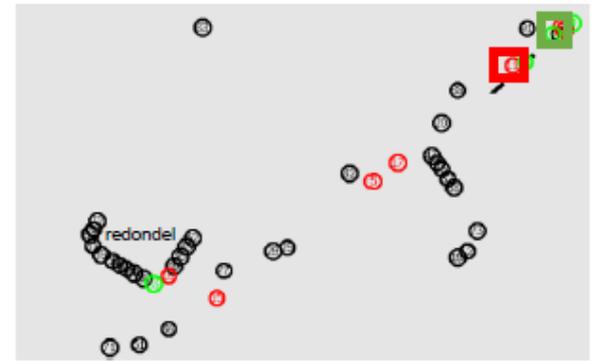
Throughput TCP primer escenario V2V: caso 2



a)



b)

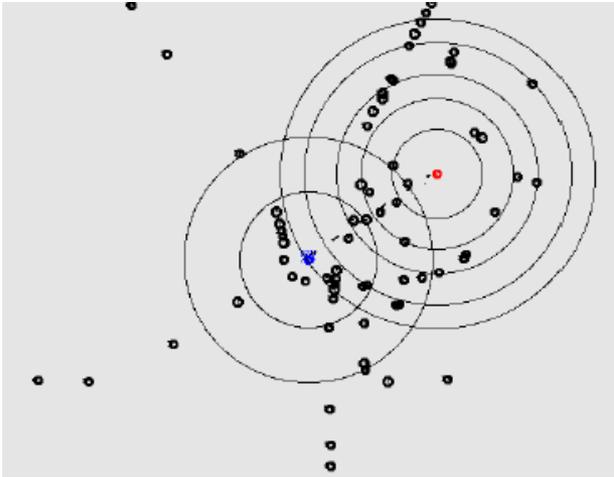


c)

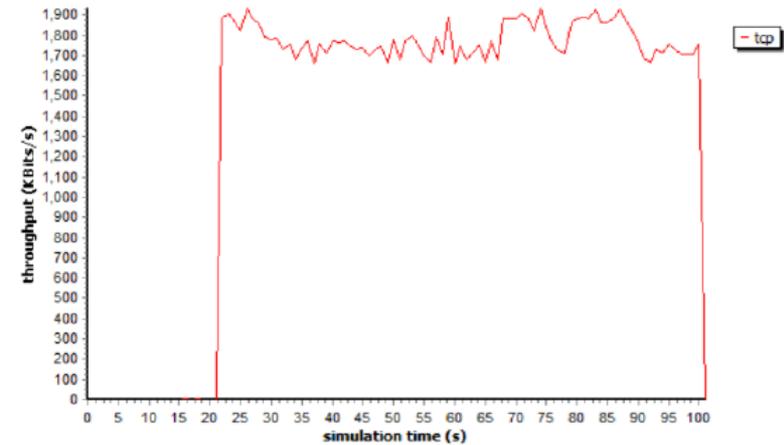


Resultados

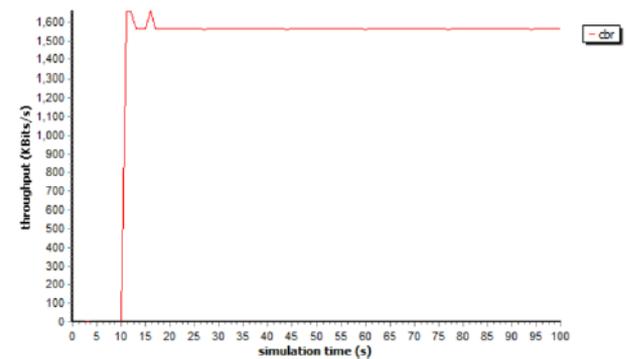
Comunicación V2I – Una conexión



Throughput TCP primer escenario V2I: caso 1



Throughput UDP primer escenario V2I: caso 1



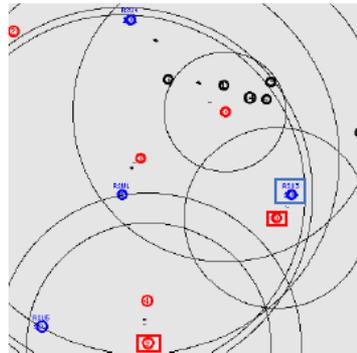
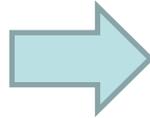
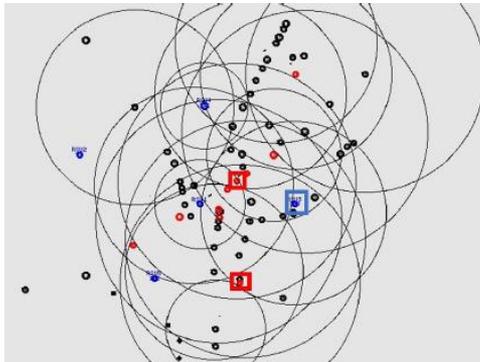
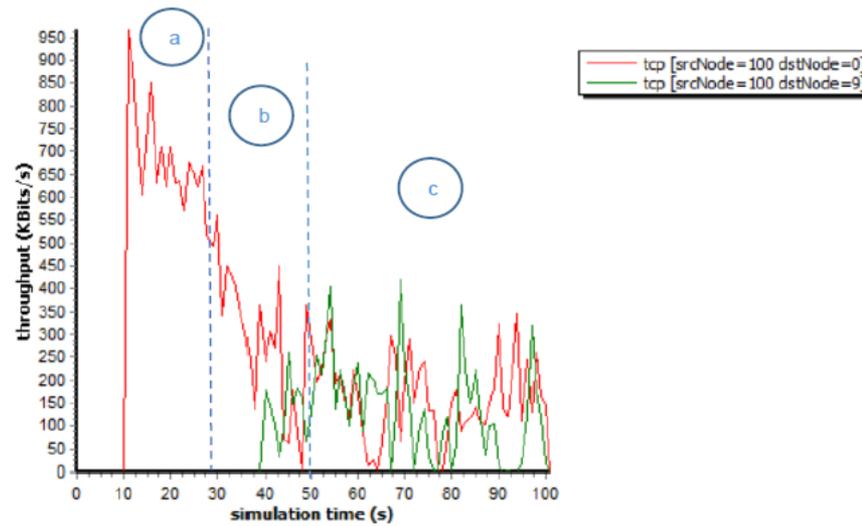
Parámetro	TCP	UDP
Throughput [Kbps]	1736	1520
Packet Delivery Ratio [%]	99.99	94.16
Packet Loss	1	1975
Average End to End Delay [s]	0.029	2.427E-03
Jitter [s]	1.614E-03	3.897E-05



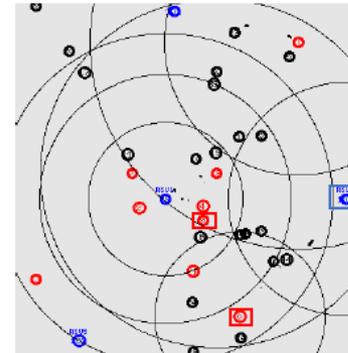
Resultados

Comunicación V2I – Diez conexiones

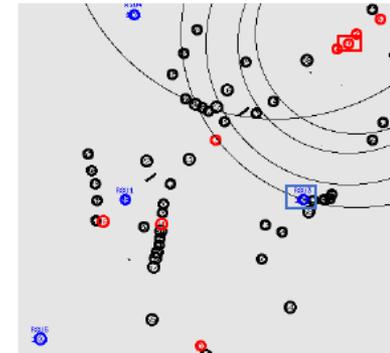
Throughput TCP primer escenario V2I: caso 2



a)



b)



c)

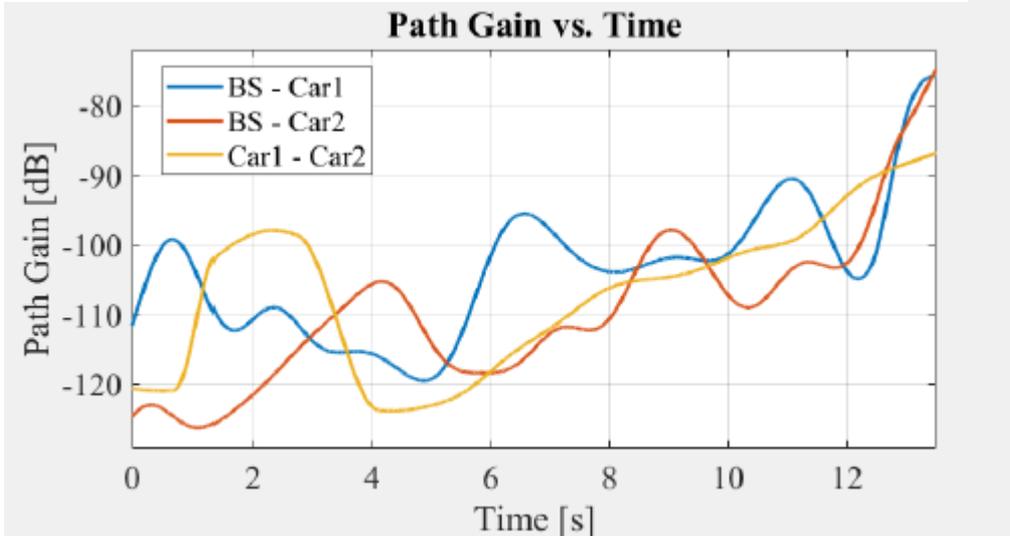
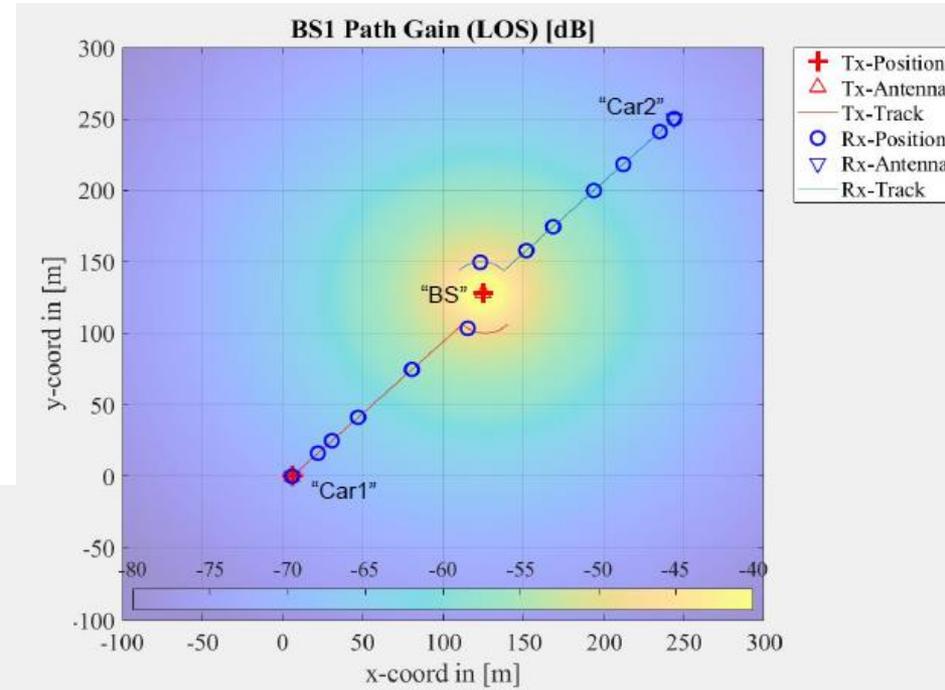


Resultados

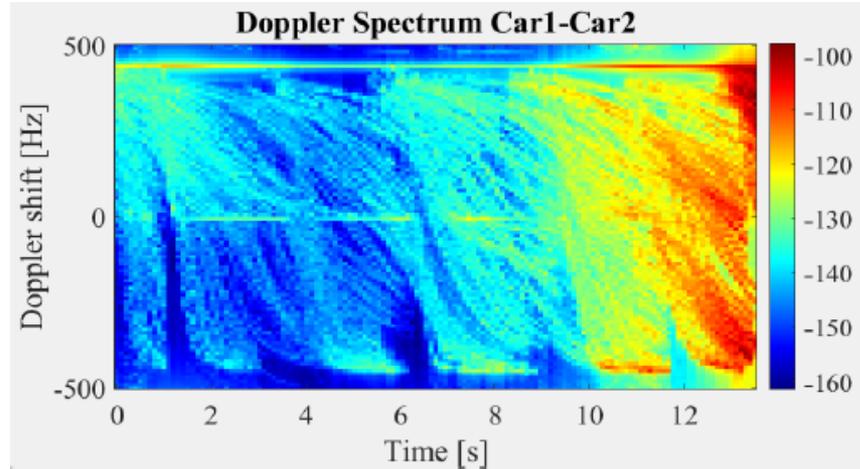
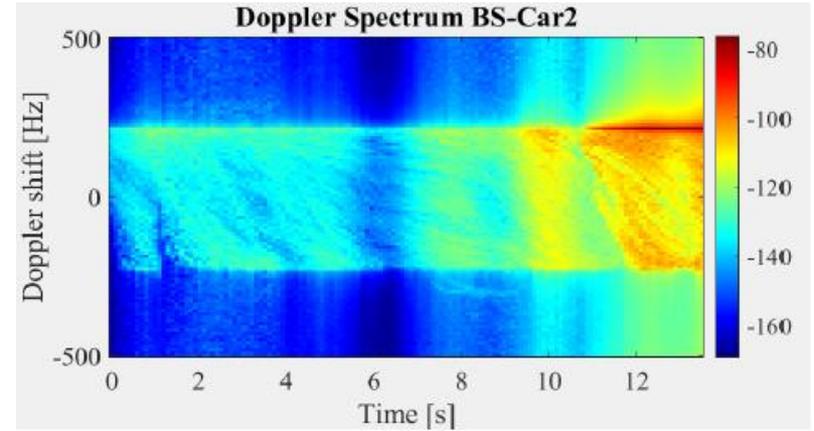
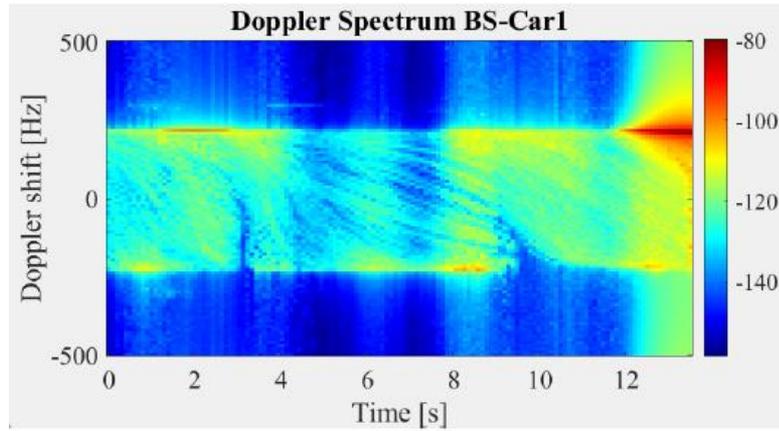
Parámetro	TCP		UDP		
	Nodo	Nodo 0	Nodo 9	Nodo 0	Nodo 9
Throughput [Kbps]		288	128	280	88
Packet Delivery Ratio [%]		99.69	97.81	95.33	86.49
Packet Loss		20	44	300	272
Average End to End Delay [s]		0.112	0.224	0.156	0.285
Jitter [s]		1.074E-02	2.833E-02	7.486E-03	2.356E-02



Resultados



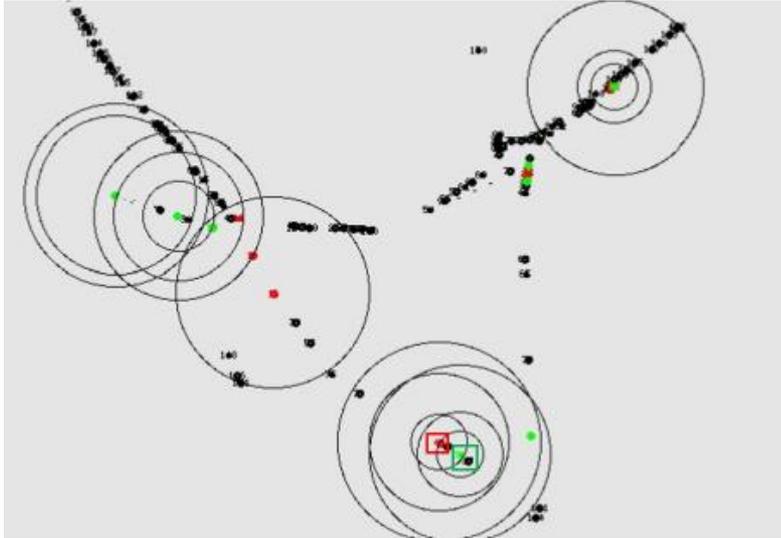
Resultados



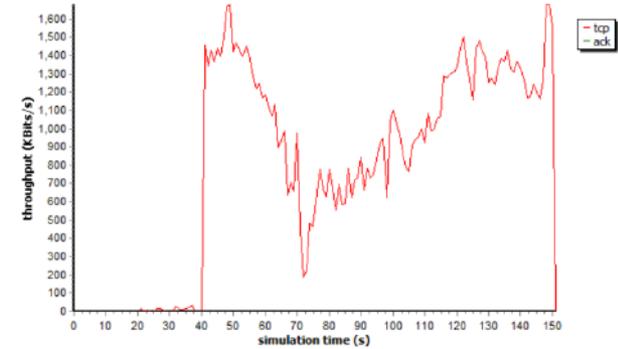
Resultados

Escenario 2

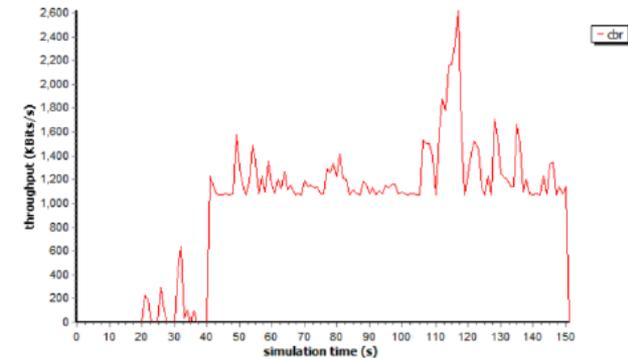
Comunicación V2V – Diez conexiones



Throughput TCP segundo escenario V2V: caso 2



Throughput UDP segundo escenario V2V: caso 2

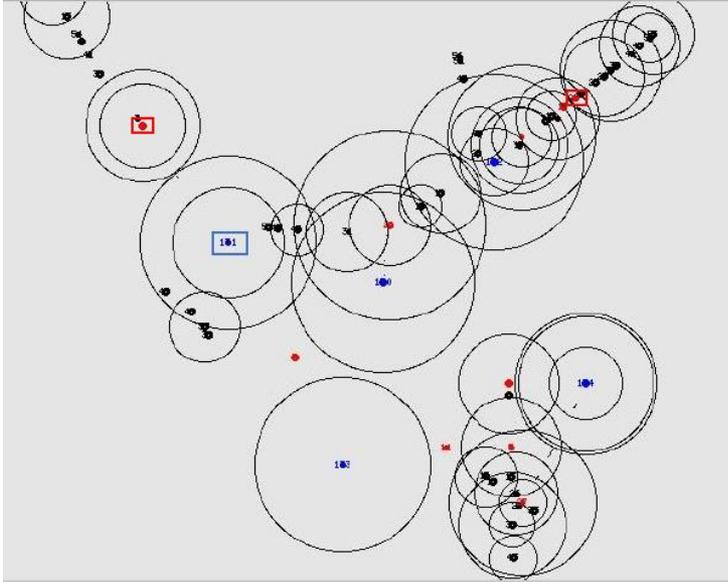


Parámetro	TCP	UDP
Throughput [Kbps]	1048	776
Packet Delivery Ratio [%]	95.13	73.99
Packet Loss	51	7393
Average End to End Delay [s]	0.047	0.132
Jitter [s]	3.138E-03	3.125E-03

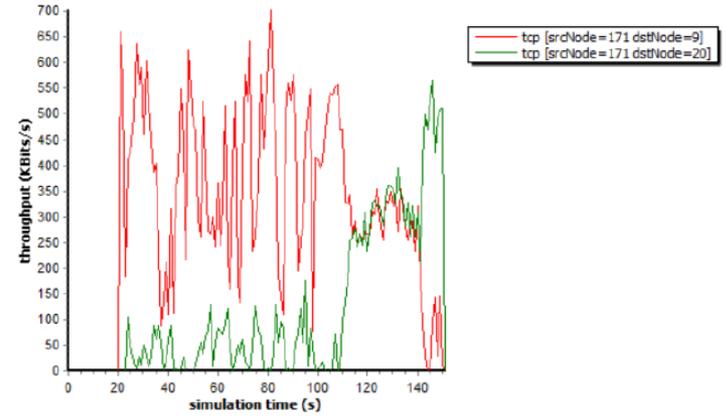


Resultados

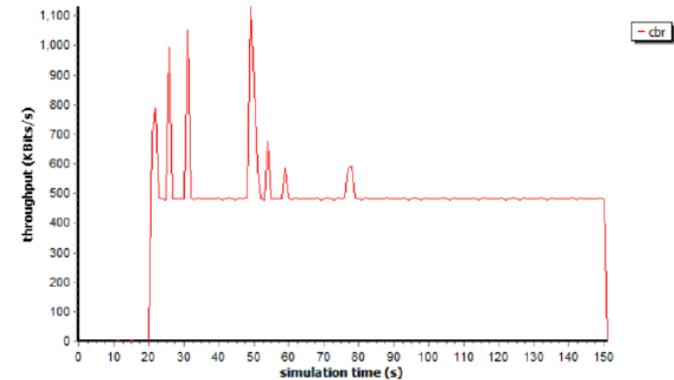
Comunicación V2I – Diez conexiones



Throughput TCP segundo escenario V2I: caso 2



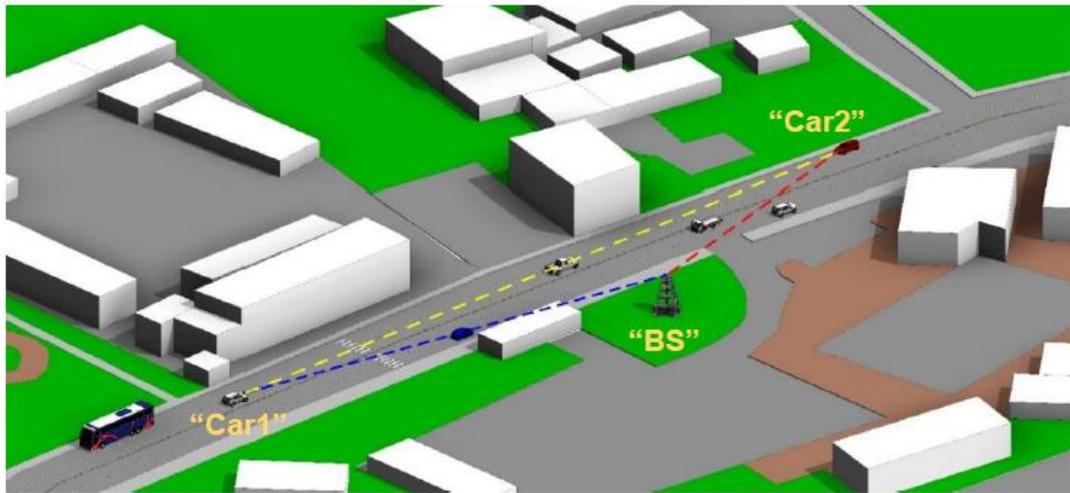
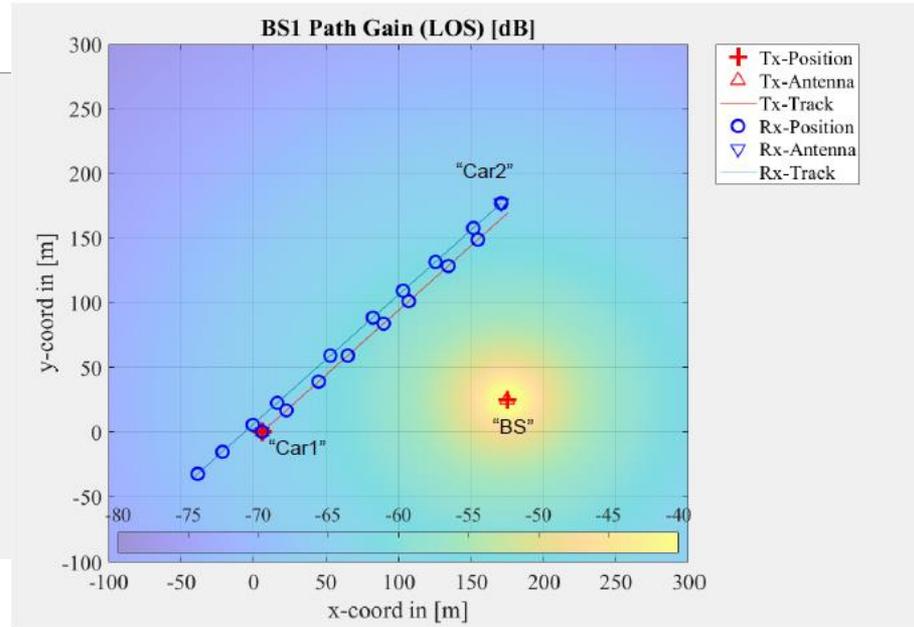
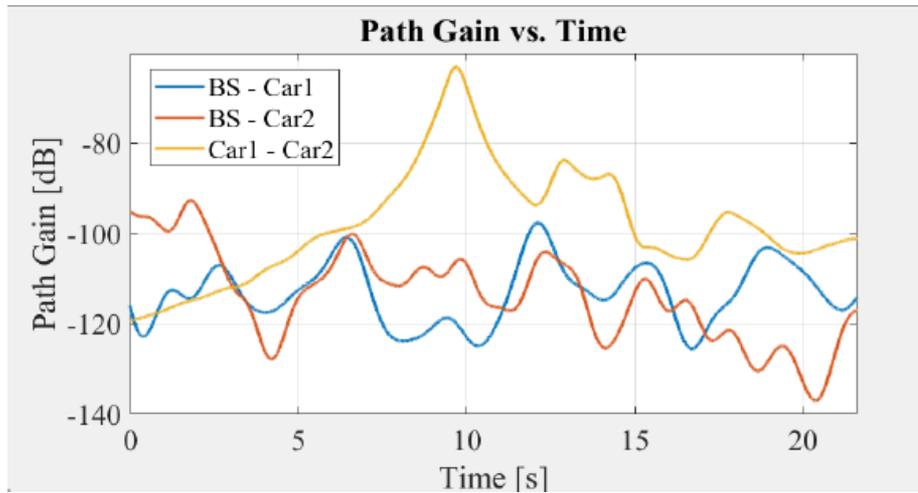
Throughput UDP segundo escenario V2I: caso 2



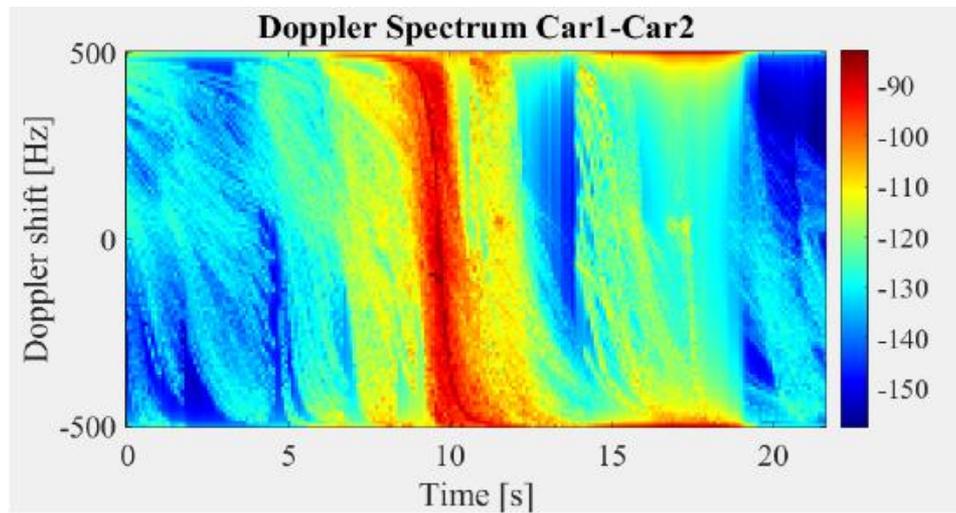
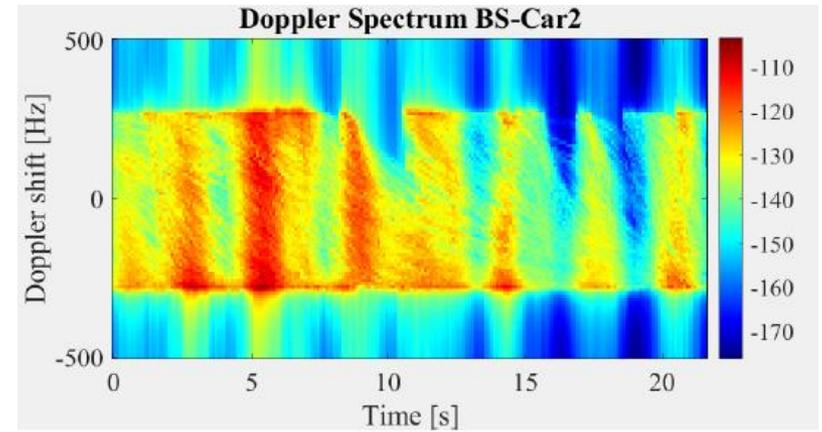
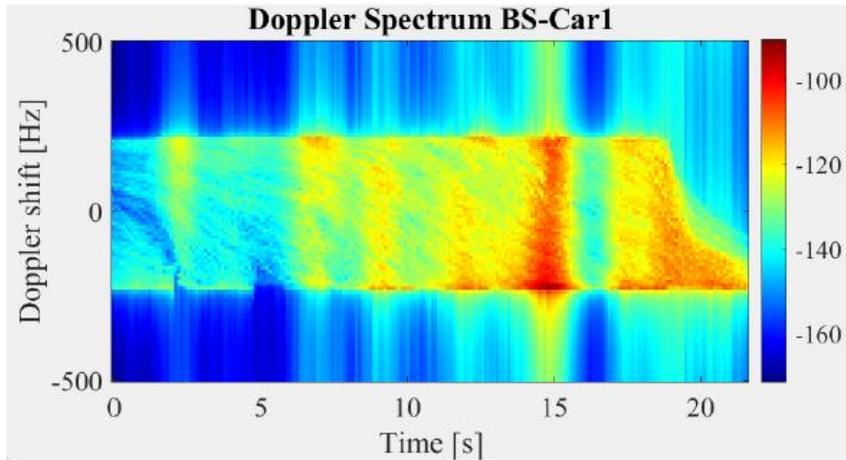
Parámetro	TCP		UDP	
	Nodo 9	Nodo 20	Nodo 9	Nodo 20
Nodo	Nodo 9	Nodo 20	Nodo 9	Nodo 20
Throughput [Kbps]	344	128	344	128
Packet Delivery Ratio [%]	99.80	98.20	78.77	56.98
Packet Loss	20	72	2339	1754
Average End to End Delay [s]	0.178	0.238	6.075E-03	0.041
Jitter [s]	1.093E-02	2.316E-02	1.939E-03	2.938E-03



Resultados



Resultados



Conclusiones

- La eventual erupción del volcán Cotopaxi constituye en una gran amenaza para la zona del Valle de los chillos particularmente para la población de Sangolquí. A través de los diferentes procesos eruptivos se ha identificado que, debido a las características morfológicas de estas zonas, los riesgos potenciales de desbordamiento de los ríos Santa Clara, Pita y sus desembocaduras son elevados lo cual ha provocado serias afectaciones en las vías estratégicas de tránsito durante este evento debido al aumento de tráfico en las principales rutas de emergencia, disturbios, daños en las estructuras viales, accidentes vehiculares, llegando incluso al colapso total de la red vial que empeora la situación prevista frente a la llegada de lahares afectando principalmente a ocho sectores ubicados en el cantón Rumiñahui denominados como zona de riesgo.
- Para la comunicación V2V es necesario establecer un valor de potencia para el protocolo IEEE 802.11p de 0.1 [W] equivalente a 20 [dBm], mientras que para la comunicación V2I se necesita aumentar este valor a 1 [W] equivalente a 30 [dBm] debido a que la presencia de infraestructura requiere de mayor potencia para lograr comunicación con los nodos a medida que estos se alejan al tratarse de una estación fija, así como también, se requiere de una altura mayor a 2.5 [m] con el fin de evitar la obstaculización de la señal con otras estructuras o elementos fijos y lograr una mejor línea de vista.



Conclusiones

- Los datos obtenidos nos permiten comprobar que el protocolo de transporte UDP presenta menor tiempo de retardo en los diferentes casos y escenarios analizados debido a que no existe retransmisión de paquetes ni garantiza la entrega de estos a su destino. Las simulaciones alcanzan valores de throughput de 1736 [kbps] empleando el protocolo TCP en la comunicación V2I del primer escenario con una sola conexión y 1752 [kbps] para el segundo escenario en condiciones similares, además, se obtuvo valores de delay correspondientes a 0.029 [s] y 2.427E-03 [s] en TCP y UDP respectivamente para el primer escenario, mientras que para el segundo escenario, estos valores son 2.981E-02 [s] en TCP y 2.675E-03 [s] en UDP.
- En ambos escenarios presentados, el rendimiento de la red se ve afectado considerablemente a medida que aumenta el número de conexiones debido a la presencia de interferencias generadas a partir del intento de comunicación entre los diferentes vehículos en el mismo espacio y tiempo. Este fenómeno afecta en gran medida al protocolo UDP, que a pesar de tener menor tiempo de delay y jitter, se obtiene mayor pérdida de paquetes registrando en el primer escenario el valor más bajo de PDR de 69.53% y en el segundo escenario de 56.98%.



Conclusiones

- Los resultados obtenidos en el análisis de radiopropagación evidencian mejores resultados para el primer escenario correspondiente al sector del redondel del Colibrí en la que la ganancia en el enlace BS-Car1 alcanza un valor de -75 [dB] al igual que el enlace BS-Car2, mientras que la relación Car1-Car2 alcanza un valor de -95[dB]. Respecto al análisis de potencia se puede determinar que la respuesta en relación al tiempo depende en gran medida del posicionamiento de los vehículos y la RSU en el instante de estudio.
- Dentro del análisis de ganancia, existe una tendencia creciente en los tres enlaces generados para el primer escenario durante todo el trayecto, mientras que para el segundo escenario las curvas de enlace presentan una tendencia inicial creciente durante 10 [s] y posterior a este tiempo la tendencia es decreciente debido a que, para este caso, los vehículos se aproximan en direcciones contrarias y se encuentran a los 10 [s] de iniciar su trayecto en donde alcanzan su mayor pico de ganancia, a medida que se alejan nuevamente entre sí, la comunicación se desmejora y su ganancia nuevamente decrece.
- La frecuencia en el análisis de espectro Doppler se efectúa en un rango aproximado entre -225 [Hz] a 225 [Hz] en los enlaces formados con la estación base, mientras que para los enlaces entre vehículos que circulan a 40 [km/h], la variación de frecuencia aumenta a un rango entre -500 [Hz] a 500 [Hz] para ambos escenarios obteniendo el mayor error porcentual de 2.89 % al relacionar los valores simulados y calculados en el enlace vehículo a vehículo del primer escenario.



Trabajos futuros

- Llevar a cabo un estimado de real medido del flujo vehicular a través del uso de sensores en los escenarios de análisis previo al desarrollo de las actividades a fin de realizar el estudio con modelamientos y simulaciones con mayor realidad a través de datos actualizados e incorporar posteriormente en los vehículos diferentes aplicaciones para el entrenamiento en tiempo real de la red y determinar las diferencias respecto al escenario simulado.
- Realizar la implementación de la red VANET empleando otros protocolos de comunicación y modelos de propagación como es el caso de Ray Tracing, Nakagami, espacio libre, entre otros, con el fin de establecer las diferencias, analizar el desempeño de la red y determinar el efecto que provoca la utilización entre los diferentes modelos.
- Comprobar el comportamiento de la red utilizando otros simuladores de movilidad vehicular, redes VANET y radiopropagación para establecer las ventajas, desventajas y diferencias respecto a las herramientas empleadas en el presente proyecto.
- Incluir los diferentes tipos de comunicación de redes VANET en los escenarios definidos para que se los pueda simular de forma simultánea y establecer el análisis respectivo considerando que en el presente proyecto los casos de V2V y V2I han sido analizados de forma independiente para diferentes números de conexiones.



Muchas Gracias

Brayan Gallo | Javier Romero



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA