



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

SISTEMA *CONTEXT-AWARE* PARA LA SELECCIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DE  
MECANISMOS DE DISEMINACIÓN EN REDES VEHICULARES AD-HOC

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA  
INGENIERÍA MENCIÓN ELÉCTRICA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO

ALEXIS DANILO YÁÑEZ INOSTROZA

PROFESORA GUÍA:  
DRA. SANDRA CÉSPEDES UMAÑA  
PROFESOR CO-GUÍA:  
DR. JAVIER RUBIO-LOYOLA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
DR. CESAR A. AZURDIA MEZA  
DRA. ERIKA ROSAS OLIVOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por CONICYT Chile a través del proyecto  
RETRACT ELAC2015/T100761.

SANTIAGO DE CHILE  
2019



RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO Y GRADO DE MAGÍSTER  
EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA MENCIÓN ELÉCTRICA  
POR: ALEXIS DANILO YÁÑEZ INOSTROZA  
FECHA: 2019  
PROF. GUÍA: DRA. SANDRA CÉSPEDES UMAÑA  
PROF. CO-GUÍA: DR. JAVIER RUBIO-LOYOLA

## SISTEMA *CONTEXT-AWARE* PARA LA SELECCIÓN Y PARAMETRIZACIÓN DE MECANISMOS DE DISEMINACIÓN EN REDES VEHICULARES AD-HOC

El desarrollo del transporte en las sociedades del siglo XXI y el aumento explosivo de vehículos presentes en la ciudad, ha traído consigo diversos problemas, tales como: congestión del tráfico en avenidas importantes, empeoramiento de la calidad de aire, el aumento de muertes a causa de accidentes de tráfico, entre otros.

Las Tecnologías de Información y Comunicaciones (TICs) ofrecen en este ámbito una oportunidad para poder paliar los problemas asociados al tráfico vehicular dentro de las ciudades. Las llamadas redes vehiculares ad-hoc (*Vehicular Ad-hoc Networks VANETs*) que se han desarrollado bajo el concepto de las *Smart Cities*, permiten la confección de un abanico de aplicaciones que explotan mecanismos de comunicación para poder manejar el tráfico, dar mensajes de alertas, implementar esquemas cooperativos, entre otros. Estas redes forman parte de los Sistemas Inteligentes de Transporte (*Intelligent Transportation Systems ITS*) que en el último tiempo han despertado el interés de distintas instituciones tanto de carácter privado o público, aportando a su desarrollo, investigación e implementación.

El desarrollo de este tipo de redes presenta nuevos desafíos, dado que se enfrentan a nuevas dificultades que en las redes digitales convencionales no se experimentan, tales como: topología dinámica, tráfico de red variable, altas velocidades, etc. Surge a partir de estas características, la implementación de un sistema consciente del contexto (*Context-Aware System*), que permita mejorar el desempeño de mecanismos de diseminación para aplicaciones de seguridad, las cuales requieren de reducidos tiempos de retardo en el traspaso de información. Para lograr este objetivo es necesario que el sistema sea capaz de identificar el escenario de tráfico vehicular y el escenario de tráfico de la red. En este trabajo se propone un sistema consciente del contexto donde para la primera clasificación se utiliza un modelo ya existente ampliamente validado, que luego de algunos ajustes es posible utilizarlo en escenarios urbanos tipo intersección, mientras que para la segunda, se desarrolla un clasificador basado en redes neuronales que permite la discriminación de los escenarios de interés. Ambas fases de clasificación se desarrollan con base en información no directa que maneja cada nodo o vehículo.

Los resultados muestran que efectivamente se puede mejorar el desempeño de protocolos de diseminación a través de ajustes de sus parámetros, en concordancia del escenario en el cual se desenvuelven. La estimación de tráfico vehicular resulta ser exitosa utilizando el modelo propuesto, mientras que la clasificación de la carga del tráfico de la red de comunicaciones en escenarios de baja y alta densidad vehicular puede llegar al 99 % y 94,5 % respectivamente, de muestras clasificadas exitosamente.



*A la memoria de mi Padre.  
A mi Madre.  
A mi Hijo y a mi Compañera de vida.*



# Agradecimientos

El producto de nuestro de trabajo, de nuestro esfuerzo, de nuestro carácter no se remite sólo a nosotros como individuos. Soy/somos el resultado de un sinfín de experiencias buenas o malas, de los lazos emocionales y afectivos que con el tiempo vamos creando. Somos el producto del amor de nuestros padres, madres, parejas, compañeros, amigos, enemigos y todas las personas que de una u otra forma contribuyen a la esencia de nuestro ser.

Quiero agradecer en primer lugar, a mi Madre y a mi Padre, que hace poco mas de 9 años me vieron partir con un montón de expectativas y motivaciones, buscando un camino para mi vida. Recuerdo con mucha nostalgia, todas esas veces que me iban a dejar al Rodoviario de Temuco y no se iban del anden hasta que mi bus partía, gracias infinitas por apoyarme en todo este proceso, por confiar en mí, por apoyarme en momentos difíciles y por amarme de manera incondicional toda mi vida.

Gracias a Francisca por acompañarme en todo el proceso de esta tesis, dándome animo, aliento y momentos de trabajo extra cuando los necesité. Gracias por ser tan buena compañera, madre, nuera y amiga. A mi Amaru por alegrarme todos los días y por hacerme tan feliz, por darme a conocer el amor de padre, y por que sus ojos de felicidad curan cualquier mal rato.

Gracias a la familia que elegí acá en Santiago, a les cabres de la Casa, con los que luché y protesté (y seguimos luchando) contra este modelo mercantil, que encarcela por ser pobre, que mata por defender la tierra y que saquea nuestra riqueza, con los/las que forjamos nuestro carácter en las frías noches de invierno del 2011. A los cabros de la FAE, que entre tanta hostilidad académica pudimos darnos un tiempo de relajo y de contención. A mis compañeros del Laboratorio de Comunicaciones Avanzadas, con los cuales siempre se podía ser mas ameno el trabajo diario, gracias por celebrar los cumpleaños y por crear una complicidad mutua. A los compas que conocí en la UNE en los CEIEs y en las protestas estudiantiles.

Imposible dejar fuera de mis agradecimiento a mi profesora guía Sandra, sin su ayuda no podría haber logrado ni un ápice de lo que es esta tesis, gracias por su paciencia, por su tiempo, por su comprensión, cordialidad y humanidad. Gracias a mi profesor co-guía Javier, por su tiempo, apoyo y por su cordial recibimiento en Ciudad Victoria.





# Tabla de contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
1.1. Motivación Y Antecedentes . . . . .	4
1.2. Definición del Problema . . . . .	5
1.3. Hipótesis . . . . .	6
1.4. Objetivos . . . . .	6
1.4.1. Objetivo General . . . . .	6
1.4.2. Objetivos Específicos . . . . .	7
1.5. Metodología . . . . .	7
1.5.1. Simulación de eventos discretos . . . . .	7
1.5.2. Clasificador de escenario de red . . . . .	8
1.5.3. Herramientas . . . . .	8
<b>2. Redes Vehiculares</b>	<b>10</b>
2.1. Redes Ad-Hoc . . . . .	10
2.2. Arquitectura de las redes vehiculares . . . . .	11
2.3. Aplicaciones en VANETs . . . . .	14
2.3.1. Aplicaciones de Seguridad . . . . .	15
2.3.2. Fuente de datos en aplicaciones de seguridad . . . . .	16
2.4. Desarrollo de Protocolos en VANETs . . . . .	17
2.4.1. DSRC - WAVE . . . . .	18
2.5. Protocolos de Diseminación . . . . .	19
2.5.1. Métricas de Evaluación de Desempeño . . . . .	20
2.6. Sistemas <i>Context-aware</i> . . . . .	20
<b>3. Revisión y Evaluación Crítica del Estado del Arte</b>	<b>22</b>
3.1. Diseminación en VANETs . . . . .	22
3.1.1. Mecanismos de Diseminación Escogidos . . . . .	26
3.2. Sistemas <i>Context-Aware</i> en entornos vehiculares . . . . .	28
<b>4. Sistema propuesto: CASSaM - <i>Context-aware system for Safety Messages</i></b>	<b>30</b>
4.1. Arquitectura Propuesta . . . . .	30
4.2. Parámetros para establecer el contexto . . . . .	31
4.3. Caracterización de escenarios que impactan en el desempeño de los mecanismos de diseminación . . . . .	32

4.4. Evaluación del impacto de la modificación de parámetros sobre los mecanismos de diseminación . . . . .	35
4.5. Diseño del mecanismo de clasificación de escenarios . . . . .	40
4.5.1. Estimación del tráfico vehicular . . . . .	40
4.5.2. Clasificación de la carga del tráfico de red . . . . .	41
<b>5. Resultados</b>	<b>49</b>
5.1. Estudio de caso particular . . . . .	50
<b>6. Conclusiones y trabajo futuro</b>	<b>52</b>
6.1. Conclusiones y discusión . . . . .	52
6.2. Trabajo Futuro . . . . .	53
<b>7. Anexos</b>	<b>54</b>
7.1. Publicaciones relacionadas a la tesis . . . . .	54
7.2. Códigos de los escenarios de simulación . . . . .	55
7.3. Código de Clasificador de Redes Neuronales . . . . .	55
<b>Bibliografía</b>	<b>59</b>

# Índice de Tablas

2.1. Requerimiento para aplicaciones de seguridad activas, (fuente: Adaptada de [1]).	16
2.2. Asignación de espectro para DSRC/WAVE, (fuente: Adaptada de [2]) . . . . .	19
4.1. Definición de la carga del tráfico en la red, (fuente: Elaboración propia). . . . .	34
4.2. Parámetros de Simulación . . . . .	35
4.3. Longitud de Segmentos en el escenario, (fuente: Elaboración propia). . . . .	42
4.4. Definición de características de clasificadores, (fuente: Adaptada de [3]). . . . .	42
4.5. Comparación de velocidad de predicción y memoria utilizada para diferentes tipos de árboles, (fuente: [3]). . . . .	43
4.6. Desempeño para árboles de decisión, (fuente: Elaboración propia). . . . .	43
4.7. Comparación de velocidad de predicción y memoria utilizada para variantes del método KNN, (fuente: [3]). . . . .	44
4.8. Desempeño de clasificación para variantes del método KNN, (fuente: Elaboración propia). . . . .	44
4.9. Comparación de velocidad de predicción y memoria utilizada para diferentes variantes de SVM, (fuente: [3]). . . . .	45
4.10. Desempeño para maquina de soporte vectorial SVM, (fuente: Elaboración propia). . . . .	45
4.11. Desempeño para Red neuronal artificial para diferentes densidades vehiculares, (fuente: Elaboración propia). . . . .	47

# Índice de Ilustraciones

1.1. Arquitectura <i>Veins Framework</i> , (fuente: Adaptada de [4]). . . . .	9
2.1. Ilustración red ad-hoc, (fuente: Elaboración propia). . . . .	11
2.2. Ilustración de la arquitectura en redes vehiculares, (fuente: Adaptada de [5]).	12
2.3. Ejemplos de equipos comerciales utilizados como OBU, Locomate OBU, (fuente: [6]). . . . .	13
2.4. Ejemplo de equipo comercial utilizado como RSU, Locomate RSU, (fuente: [6]).	13
2.5. Procesamiento en Sistema <i>Context Aware</i> , (fuente: Adaptada de [7]). . . . .	21
3.1. Esquema de red vehicular y mensaje <i>broadcast</i> , (fuente: Adaptada de [8]). . .	23
3.2. Taxonomía de Mecanismos de diseminación, (fuente: Elaboración propia). . .	25
4.1. Arquitectura del sistema CaSSaM (fuente: Elaboración propia). . . . .	31
4.2. Vistas del escenario de estudio, (fuente: Elaboración propia). . . . .	33
4.3. Evaluación de <i>Slotted 1-persistence</i> para diferentes cargas de la red y baja densidad vehicular $\lambda = 15,6$ [ <i>veh/km/ln</i> ], (fuente: Elaboración propia). . . .	37
4.4. Evaluación de <i>Slotted 1-persistence</i> para diferentes cargas de la red y alta densidad vehicular $\lambda = 73,4$ [ <i>veh/km/ln</i> ],(fuente: Elaboración propia). . . . .	38
4.5. Evaluación de TrAD para diferentes cargas de la red y densidad vehicular $\lambda$ , (fuente: Elaboración propia). . . . .	39
4.6. Segmentos en el escenario, (fuente: Elaboración propia). . . . .	41
4.7. Arquitectura de la red neuronal artificial, (fuente: Elaboración propia). . . .	46
4.8. Matriz de confusión para escenario de baja densidad vehicular, (fuente: Elaboración propia). . . . .	48
4.9. Matriz de confusión par escenario de alta densidad vehicular, (fuente: Elaboración propia). . . . .	48
5.1. Mejoras en las métricas al utilizar <i>CaSSaM</i> para parametrizar el protocolo <i>Slotted-1-persistence</i> , (fuente: Elaboración propia). . . . .	51

# Acrónimos

**OMS** Organización Mundial de la Salud

**VANETs** Vehicular Adhoc Networks

**ITS** Intelligent Transportation Systems

**FCW** Forward Collision Warning

**DSRC** Dedicated Short-Range Communications

**WAVE** Wireless Access in Vehicular Environments

**OBU** On Board Unit

**RSU** Road Side Unit

**V2V** Vehicle to vehicle

**V2I** Vehicle to Infrastructure

**WLAN** Wireless Local Area Network

**RCP** Resources Command Processor

**GW** Gateway

**BS** Base Station

**LTE** Long Term Evolution

**IEEE** Institute of Electrical and Electronics Engineers

**AU** Application Unit

**PDA** Personal Digital Assistant

**QoS** Quality of Service

**OBD** On Board Diagnostics

**CAN** Controller Area Network

**GPS** Global Position System

**UI** Users Interfaces

**RPM** Revoluciones Por Minuto

**RDS** Radio Data System

**LCD** Liquid Crystal Display

**TIC** Tecnologías de Información y Comunicaciones

**IP** Internet Protocol

**MAC** Media Access Control

**CSMA-CA** Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

**PDR** Packet Delivery Ratio

**ROI** Region Of Interes

**MTM** Map Throughput Metric

**DTN** Delay Tolerant Network

**MFC** Message Frequency Control

**TPC** Transmit Power Control

**WSM** Wave Safety Message

**CBR** Channel Busy Ratio

**ACK** Acknowledgment

**NTIB** Normalized Times Into Back-off

**NBR** Normalized Broadcast Received

**WSA** Wave Service Advertisement message

**BSM** Basic Safety Message

**NDN** Number of Detected Neighboring

**KNN** K-Nearest Neighbors

**SVM** Support Vector Machine

**RNA** Red Neuronal Artificial

**CASSaM** Context-aware System for Safety Messages

# Capítulo 1

## Introducción

En este capítulo se presenta a modo de introducción al trabajo realizado, la motivación, antecedentes, descripción del problema, objetivos, metodología y las herramientas que se utilizan para dar forma al trabajo. Estas secciones pretenden bosquejar un marco donde se concibe y desarrolla el problema principal, con el objetivo de facilitar la comprensión del trabajo expuesto posteriormente.

### 1.1. Motivación Y Antecedentes

Los nuevos avances en tecnologías de información y comunicaciones se han expandido a diversas áreas, gracias a un crecimiento explosivo de dispositivos que pueden ser introducidos en diversos rubros de la producción y actividad humana. Sin duda alguna que estos avances han presentado grandes ventajas que antes eran impensadas, siendo las redes inalámbricas uno de los descubrimientos más importantes que aportan un sinnúmero de beneficios, gracias a que prescindan de cableado y permiten movilidad de los terminales o nodos, reduciendo los costos de producción y permitiendo una comunicación versátil.

Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) los accidentes de tránsito son la causa principal de muerte en el grupo de 15 a 29 años de edad. Más del 90 % de las muertes relacionadas con accidentes de tránsito se producen en países de ingresos medios o bajos, a pesar de que estos cuentan aproximadamente con el 50 % del parque automotriz mundial. La mitad de las personas que mueren por esta causa en todo el mundo son “usuarios vulnerables de la vía pública”, es decir: peatones, ciclistas y motociclistas [9].

Las redes vehiculares VANETs (*Vehicular Ad-Hoc Networks*) han surgido como una de las soluciones más prometedoras para reducir los accidentes de tránsito y mejorar la eficiencia en sistemas de transporte inteligentes (*Intelligent Transportation Systems (ITS)* [10]). Estos sistemas pueden soportar una gran variedad de aplicaciones, las cuales buscan dar solución a problemas que surgen en el contexto del transporte vehicular [5], como por ejemplo: Alta tasa de mortalidad a causa de accidentes vehiculares [9], congestión de tráfico en ciudades altamente pobladas, lo que conlleva altas emisiones de  $CO_2$  [11], aumento en los tiempos de



viaje y consumo de combustibles, entre otras.

Las redes vehiculares pueden ayudar a sopesar estos problemas, sin embargo, su implementación posee aún grandes desafíos [5, 12]. Por lo cual, para que este tipo de tecnologías sea verdaderamente un aporte para solucionar problemáticas transversales, se necesita que su desempeño sea robusto y eficiente, en concordancia a los requerimientos de cada aplicación [1].

Unas de las aplicaciones más prometedoras tiene relación al envío de mensajes de alerta, para poder notificar eventos de importancia sobre el contexto vehicular de manera rápida y eficiente (por ejemplo: colisiones, condiciones climáticas adversas, mal comportamiento de conductores, adelantamientos etc.) de esta manera, los conductores pueden tomar una decisión para evitar posibles accidentes. Las aplicaciones de seguridad pueden reducir significativamente la cantidad de accidentes en la ruta, según [13] es posible reducir en un 60% el número de colisiones gracias a la advertencia de colisión frontal (*Forward Collision Warning - FCW*).

Los mensajes de seguridad deben transmitirse a los vehículos cercanos lo más rápido y confiable posible [14], garantizar la confiabilidad de mensajes de emergencia con bajo retardo es un problema desafiante para el diseño del protocolo de disseminación [5], dado que las redes vehiculares se caracterizan por desarrollarse sobre contextos altamente dinámicos. Es por esto que los sistemas context-aware [15, 16] pueden ser de gran utilidad, ya que pueden realizar la identificación de contextos hostiles para la comunicación necesaria en las aplicaciones.

Frente a lo expuesto, se hace imperante dar solución a las falencias que puedan tener las aplicaciones de seguridad, para que sean capaces de dar una respuesta contundente y robusta frente a los problemas ya mencionados.

## 1.2. Definición del Problema

Las aplicaciones de seguridad utilizan mecanismos de disseminación que deben gran parte de su éxito, a la calidad en la comunicación de los nodos o vehículos participantes en la red o zona de interés. Este desempeño está directamente relacionado con el escenario en el que tiene lugar la implementación de la red, es decir el contexto vehicular.

En la actualidad existen muchas propuestas de mecanismos de disseminación que buscan enfrentar situaciones adversas al intercambio de información en este tipo de redes. Sin embargo no conocen el estado real del contexto vehicular, dan solución a un escenario en específico y por lo general utilizan valores pre-establecidos que no son modificados durante la operación. Por otra parte, aquellas propuestas que realizan adaptación al mecanismo, en su mayoría solo consideran características referentes al tráfico vehicular, desconociendo los efectos que se producen en la red de comunicación.

En ambientes de alta densidad suele ocurrir el efecto de tormenta de *broadcast* [17], que ocurre cuando una gran cantidad de nodos emiten mensajes con información relevante. Sin embargo, si se utilizan mecanismos de disseminación adecuados, dado que la conectividad de la red es mayor los mensajes pueden ser disseminados con un menor retardo, característica

imprescindible para los mensajes de seguridad. Por otro lado, existen escenarios de baja densidad vehicular donde la estabilidad de la red es muy baja, es decir, se tienen intermitencias en la comunicación de los vehículos que afectan al desarrollo adecuado de los mecanismos de diseminación.

Por lo tanto, un problema importante al cual deben enfrentarse las diferentes aplicaciones desplegadas en las redes vehiculares, con énfasis en las aplicaciones de seguridad que utilizan mensajes de alerta, es el bajo rendimiento que pueden tener frente a escenarios de diferente naturaleza que afectan el desempeño de éstas.

### 1.3. Hipótesis

Con base en lo expuesto en la descripción del problema, surge la necesidad de poder encontrar una solución para detectar de manera concisa, rápida y eficiente, el escenario en el cual se ven envueltos los participantes de la red vehicular, principalmente aquellos escenarios que impactan de manera importante el desempeño de los mecanismos de diseminación utilizados en las aplicaciones de seguridad. De esta forma se pretende probar en esta tesis que:

1. Es posible descubrir con alto nivel de precisión el escenario o contexto en el que se encuentran los nodos de una red vehicular a partir de información no directa del estado de la red de comunicaciones, además de la información del estado del tráfico vehicular que puede ser inferida de forma cooperativa.
2. El desempeño de los mecanismos de diseminación mejora cuando se realiza una selección y parametrización acorde al contexto en el que se encuentran los nodos de la red vehicular.

### 1.4. Objetivos

A continuación se presenta el objetivo general y los objetivos específicos que posee el trabajo de investigación.

#### 1.4.1. Objetivo General

Diseñar, implementar y validar la propuesta de un sistema *context-aware* introducido en redes vehiculares, para la detección de diversos escenarios que impactan en el desempeño de mecanismos de diseminación encargados de la entrega de mensajes de alerta para aplicaciones de seguridad vial.

## 1.4.2. Objetivos Específicos

Para poder lograr el objetivo general, se hace necesario cumplir con los siguientes objetivos específicos:

1. Reconocer y caracterizar los diferentes escenarios que impactan en el desempeño de los mecanismos de diseminación de mensajes de seguridad en una red vehicular.
2. Evaluar el impacto de la modificación de parámetros sobre los mecanismos de diseminación para mejorar su desempeño frente a los diferentes escenarios.
3. Diseñar un mecanismo de clasificación de escenarios, con base en los escenarios caracterizados anteriormente a través de algoritmos de *Machine Learning* implementados de forma supervisada.
4. Analizar, validar y comparar los resultados del sistema propuesto sobre un escenario dinámico a partir de simulaciones ajustadas al escenario de estudio.

## 1.5. Metodología

En esta sección se describen los aspectos metodológicos con los cuales fue posible lograr los objetivos mencionados en la Sección [1.4.2](#).

### 1.5.1. Simulación de eventos discretos

En consideración a que la implementación real de una red vehicular comprende la utilización de vehículos, además del despliegue de dispositivos electrónicos necesarios para la creación de la red, se descarta la posibilidad de realizar experimentos que permitan la confirmación de la hipótesis planteada en la sección [1.3](#). Debido a esto, en este trabajo se utilizan simuladores basados en eventos discretos para poder realizar el estudio del desempeño y parametrización de los mecanismos de diseminación, así como la implementación del sistema que en este documento se propone.

La utilización de simuladores de eventos discretos permite la evaluación de escenarios que contemplan la movilidad de los vehículos y el intercambio de información en ventanas de tiempo muy reducidas (del orden de los micro-segundos). Además, es posible manejar diferentes densidades vehiculares para un escenario de estudio y permite observar el comportamiento de la red frente a un medio físico realista, que utiliza modelos que se ajustan tanto a pérdidas por el espacio libre, como también, a obstrucciones referentes a edificios o monumentos, de zonas geográficas particulares.

Gracias a esta herramienta (descrita en mayor profundidad en la Sección [1.5.3](#)) es posible realizar los siguientes pasos para lograr los objetivos señalados en la Sección [1.4.2](#).

1. En primer lugar, se configura un escenario en el cual se disponen vehículos en una intersección mediante trazas vehiculares reales, estableciendo comunicación inalámbrica

entre ellos.

2. Se implementan mecanismos de diseminación de mensajes de alerta que son activados cuando un evento de emergencia ocurre en el escenario.
3. Se realizan variaciones en el escenario correspondiente a los niveles de tráfico vehicular como también a configuraciones en la carga de la red de comunicaciones.
4. Se estudia el desempeño de los mecanismos de diseminación frente a las diferentes configuraciones del escenario de estudio y se varían algunos de los parámetros.
5. A través de los datos generados se escogen métricas adecuadas que permiten la discriminación del estado del tráfico vehicular y del tráfico en la red de comunicaciones.

### 1.5.2. Clasificador de escenario de red

Para lograr la discriminación del estado del tráfico de la red de comunicaciones, se utilizan algoritmos de aprendizaje de máquinas para realizar la clasificación en forma supervisada. Se decide utilizar estos algoritmos ya que permiten explotar los datos generados por las simulaciones, con las cuales se construyen múltiples métricas, aprovechando de esta manera la capacidad de resolver problemas de clasificación asociadas a múltiples características. Por otro lado, la facilidad con la que se pueden construir diversos escenarios, facilita la supervisión de la clasificación que se despliega en estos algoritmos. En otras palabras, es posible identificar los escenarios que se buscan clasificar, mediante la configuración de las simulaciones que determinan el comportamiento de la red de comunicaciones. En resumen es posible lograr lo siguiente:

1. A partir de las métricas obtenidas, se implementa un modelo ajustado para el escenario de estudio, con el objetivo de descubrir el estado del tráfico vehicular y se construyen clasificadores para poder discriminar el estado de carga del tráfico de la red de comunicaciones.
2. Finalmente, se analizan los resultados de forma cuantitativa para evaluar el éxito de la implementación del sistema propuesto.

### 1.5.3. Herramientas

En esta sección se detallan las principales herramientas que permiten lograr los objetivos mencionados en la Sección 1.4.2.

#### 1.5.3.1. Simulaciones

La simulación de los escenarios de interés se realiza en el simulador *OMNet++* [18], basado en el lenguaje de programación *C++*. Gracias al *Framework Veins* [4,19], una extensión que permite la simulación de ambientes vehiculares, tomando por una parte modelos de movilidad generados por el Simulador de Movilidad Urbana *SUMO* [20], y que, gracias a la interfaz de control de tráfico que este simulador ofrece *TraCI* [21], permite recuperar valores de objetos

simulados y manipular su comportamiento “en línea” (ver Figura 1.1). Para la comunicación entre vehículos se utiliza una red vehicular basada en la pila de protocolos DSRC/WAVE, en la cual se implementan los mecanismos de disseminación de interés.

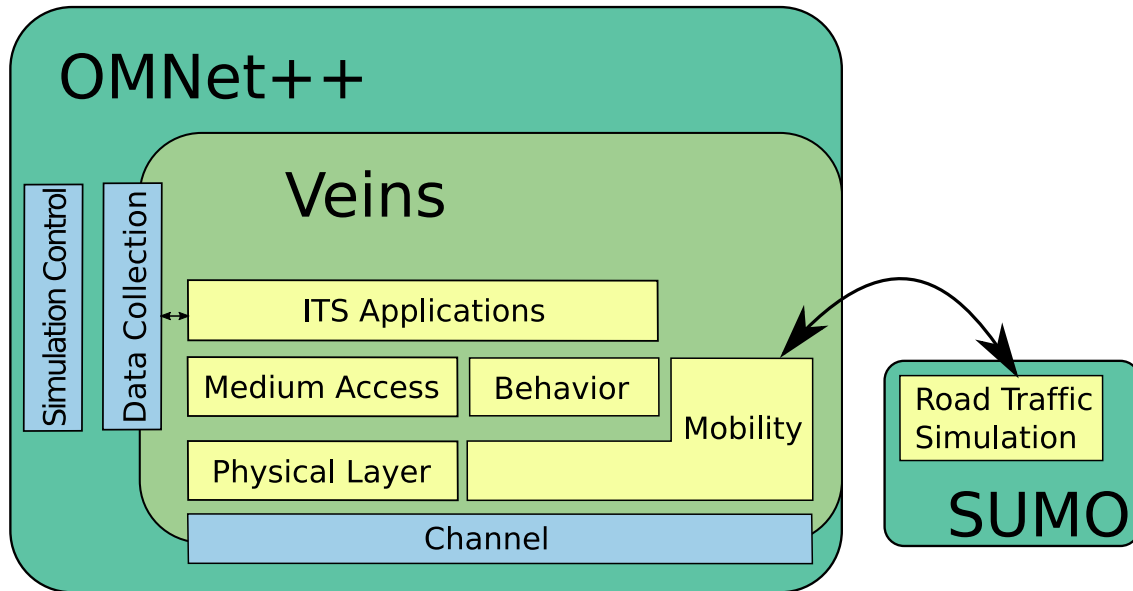


Figura 1.1: Arquitectura *Veins Framework*, (fuente: Adaptada de [4]).

### 1.5.3.2. Recolección de datos

Para la recolección de los datos de interés se utilizan programas realizados en *Python*<sup>TM</sup> con los cuales es posible recorrer los datos generados por el simulador y escoger aquellos que son de relevancia para el desarrollo de ésta tesis.

### 1.5.3.3. Procesamiento de datos

Para el diseño y construcción de los algoritmos de aprendizaje supervisado se utiliza MATLAB®. En particular la aplicación de clasificadores *Classification Learner App* [22] y el *toolbox* de redes neuronales *Neural Networks*<sup>TM</sup> [23].

# Capítulo 2

## Redes Vehiculares

Las redes vehiculares o *Vehicular Networks* en inglés son una nueva clase de redes inalámbricas que han surgido gracias a los avances de las tecnologías de acceso inalámbrico y la industria automotriz. Éstas redes son formadas espontáneamente entre vehículos en movimiento equipados con una interfaz inalámbrica (*On Board Units OBU*). También son conocidas como VANETs (*Vehicular Ad-Hoc Networks*), consideradas la primera aplicación de redes ad-hoc en la vida real, en las cuales se establece comunicación entre vehículos cercanos o con equipamiento fijo en la ruta [24].

### 2.1. Redes Ad-Hoc

Una red ad-hoc (ver Figura 2.1) se compone de una serie de nodos<sup>1</sup> que poseen una interfaz inalámbrica, cada nodo puede ser consciente de la presencia de otros nodos dentro de su rango. A éstos nodos se les llama vecinos, simplemente porque se pueden establecer enlaces de comunicación inalámbrica directa y bidireccional entre ellos, por ejemplo, si el nodo  $a$  de la Figura 2.1 necesita enviar un mensaje al nodo  $d$ , se necesita que los nodos  $b$  y  $c$  re-envíen este mensaje, es decir, establecer la ruta necesaria para que el mensaje llegue a su destinatario. En una red ad-hoc, cada nodo forma parte fundamental dentro de la red y a diferencia del esquema cliente-servidor, estos poseen una jerarquía similar, por lo que no existe un nodo que centralice la información y establezca señalización de control o esquemas de enrutamiento. Por esta razón la propagación de mensajes se basa principalmente en esquemas de *broadcasting*, es decir, cada nodo envía la información a todos los vecinos que se encuentren dentro de su radio de cobertura. Una de las ventajas de utilizar esta arquitectura, es que puede establecer comunicación entre nodos sin necesidad de utilizar ninguna infraestructura fija, como puntos de accesos o estaciones base. Esta característica convierte la arquitectura *ad-hoc* en un esquema atractivo para ser utilizado dentro de redes conformadas por nodos móviles.

---

<sup>1</sup>Unidad básica de la red que pueden enviar y recibir información, en esta tesis se utiliza nodo y vehículo con el mismo significado

Los nodos y enlaces forman un grafo. Cualquier par de nodos, no directamente conectados pueden conectarse entre sí, si es que existe un camino compuesto de enlaces individuales, lo que se conoce como comunicación de multi-saltos. Por ejemplo, en el caso en que  $a$  quiere entregar un mensaje a  $d$ , éste es entregado a través de 3 saltos ( $a-b-c$ ) para llegar al destino final. Las unidades de datos o paquetes se enrutan a través de los enlaces dispuestos. Cada nodo configura de forma autónoma su dirección de red y puede resolver la forma de llevar un mensaje a un destino, utilizando la ayuda de otros nodos. Cada nodo también desempeña un papel activo en el re-envío de datos para otros nodos [25].

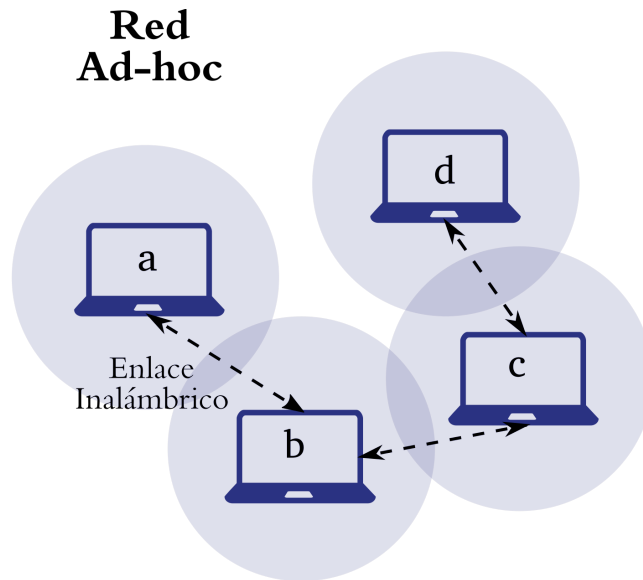


Figura 2.1: Ilustración red ad-hoc, (fuente: Elaboración propia).

## 2.2. Arquitectura de las redes vehiculares

Avances recientes en tecnologías inalámbricas y tendencias en redes ad-hoc, han permitido desplegar diversas arquitecturas para las redes vehiculares sobre escenarios como: autopistas, caminos rurales y ciudades. Estas arquitecturas permiten la comunicación entre vehículos y entre vehículos y equipamientos cercanos fijos en la ruta (*Road Side Unit [RSU]*). De esta forma se hace posible establecer tres alternativas disponibles para el uso de las VANETs (ver Figura 2.2):

1. Red inalámbrica pura entre vehículos (*vehicle-to-vehicle [V2V]*), lo cual permite una comunicación autónoma que prescinde de apoyo de equipos en infraestructura.
2. Una columna vertebral cableada con conexión inalámbrica de último salto, que puede ser vista como una red *WLAN* para red vehicular.
3. Una arquitectura híbrida entre vehículos y la infraestructura (*[V2V], vehicle-to-infrastructure [V2I]*), que no se realiza con el equipamiento fijo de una manera constante, si no que puede ser explotada para adquirir información de interés cuando está disponible.

En el último caso, los vehículos pueden comunicarse con la infraestructura ya sea de

manera directa o utilizando un mecanismo llamado “multi-salto” (*multi-hop*) que permite adquirir la información de la infraestructura, pero a través del re- envío de la información por los vehículos más cercanos al punto de acceso o estación base [24].

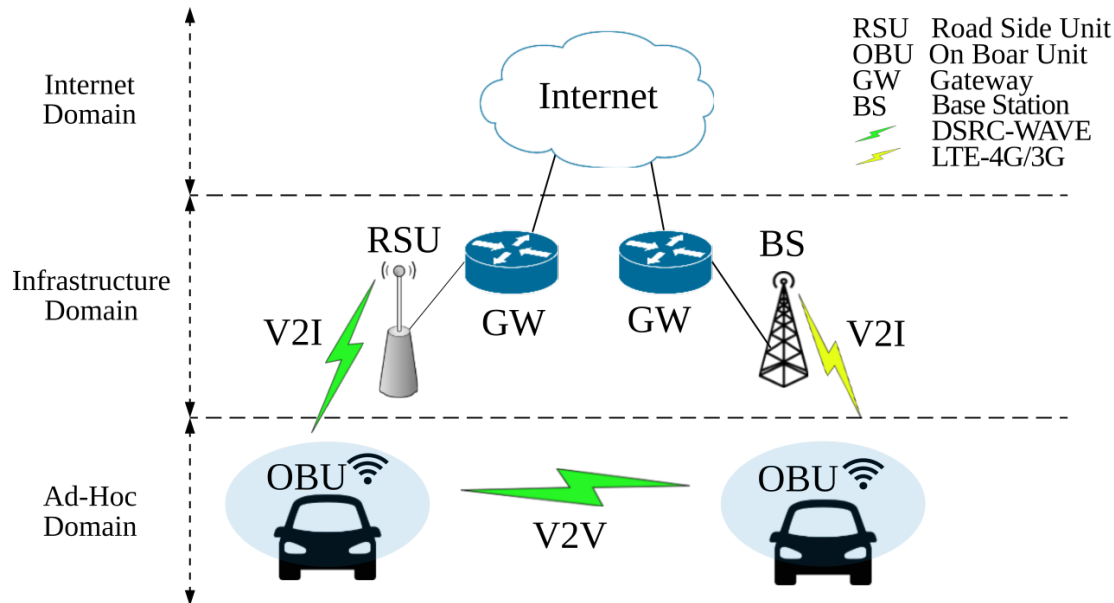


Figura 2.2: Ilustración de la arquitectura en redes vehiculares, (fuente: Adaptada de [5]).

Una descripción más profunda de las unidades de comunicación se detalla a continuación:

- *On Board Unit - OBU*

Es un dispositivo de comunicación inalámbrica, instalado al interior de los vehículos, el cual es usado para intercambiar información con una RSU u otras OBU. Con recursos RCP (*resources command processor*), así como recursos que incluyen lectura/escritura para almacenar la información recibida o enviada pertenecientes a las aplicaciones de seguridad vial. La OBU está equipada con un dispositivo de red para la comunicación inalámbrica de corto alcance, basada en la tecnología de radio IEEE 802.11p. Este dispositivo (ver Figura 2.3) de red se utiliza para enviar, recibir y re-encaminar datos [26].

- *Application Unit (AU)*

Es una unidad situada dentro del vehículo que permite ejecutar múltiples aplicaciones las cuales pueden usar la capacidad de comunicación de la OBU. Las AUs pueden ser equipos dedicados a: aplicaciones de seguridad vial, sistema de navegación con capacidad de comunicación o como dispositivo móvil como puede ser un asistente personal digital (PDA, Personal Digital Assistant) que ejecute aplicaciones de Internet. La AU puede conectarse de forma física en la OBU, sin embargo la distinción entre la AU y la OBU es lógica [26].

- *Road Site Unit (RSU)*

Es un dispositivo ubicado usualmente en posiciones fijas a lo largo de carreteras, en sitios importantes como intersecciones o aparcamientos (ver Figura 2.4). La RSU está equipada con un dispositivo de red para la comunicación inalámbrica de corto alcance basada en la tecnología de radio IEEE 802.11p. También, puede estar equipada con



otros dispositivos de red inalámbricos cuyo propósito es la comunicación con una red basada en infraestructura. Las principales funciones asociadas a la RSU son [26] :

1. Extender el rango de comunicación de la red ad-hoc mediante la redistribución de información hacia las OBU, y hacia otras RSU dado el intercambio de información con las OBU.
2. Proveer a las OBU conectividad a Internet u otras redes de infraestructura.
3. Proveer aplicaciones de seguridad vial tales como advertencias de accidentes, zonas de trabajo, entre otras que usan la comunicación V2I.

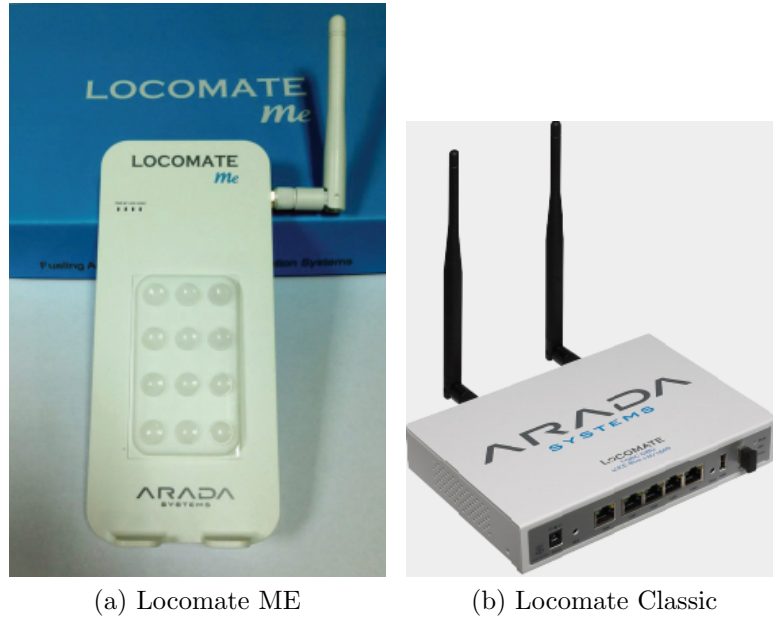


Figura 2.3: Ejemplos de equipos comerciales utilizados como OBU, Locomate OBU, (fuente: [6]).



Figura 2.4: Ejemplo de equipo comercial utilizado como RSU, Locomate RSU, (fuente: [6]).

## 2.3. Aplicaciones en VANETs

Las redes vehiculares han captado la atención de gobiernos, la industria y el mundo académico, ya que pueden ofrecer una serie de servicios muy atractivos. En primera instancia las investigaciones se centraron en entregar mayor seguridad al transporte público, sin embargo actualmente la demanda de servicios que no se centran en la seguridad en el transporte ha comenzado a incrementar, pues, las redes vehiculares pueden ser útiles para mejorar la eficiencia del tráfico, pero también es posible que los usuarios puedan acceder a contenido multimedia de Internet [27, 28]. Es así como las aplicaciones implementadas sobre VANETs se puedan dividir en los siguientes 3 grupos [29]:

- **Seguridad en la Ruta** – Este tipo de aplicaciones tienen como objetivo reducir los accidentes de tránsito y mejorar la seguridad vial. Por un lado, mediante intercambios de información en tiempo real, los vehículos son capaces de identificar posibles colisiones e informar a los conductores o iniciar automáticamente los sistemas de control del vehículo para responder a los eventos inminentes. Por otro lado, después de una colisión de vehículos se producen los intercambios de información en tiempo real, que notifican a otros vehículos para evitar entrar en el lugar de riesgo. Por lo tanto, estas aplicaciones de seguridad juegan un papel vital en la reducción de los accidentes de tráfico [30, 31]. Tales aplicaciones tienen requisitos estrictos de retraso de transmisión de mensajes y fiabilidad. En las redes de vehículos, los mensajes de seguridad deben ser entregados a los vehículos cercanos de la manera más rápida y confiable posible.
- **Gestión del tráfico** – En la actualidad, la gestión del tráfico en algunas intersecciones importantes en un entorno urbano sigue dependiendo de las intervenciones manuales. Debido a las consideraciones de costos, es difícil lograr una gestión eficiente del tráfico en las carreteras o caminos rurales. Sin embargo, es probable que las direcciones de tráfico soportadas por las comunicaciones vehiculares abarquen más segmentos de carretera, lo que puede mejorar la eficiencia de la gestión del tráfico, reducir la congestión del tráfico y ahorrar tiempo de viaje a los usuarios [32]. Comparado con las aplicaciones de seguridad, este tipo de aplicaciones no tiene requisitos de retraso y fiabilidad, lo que significa que se puede tolerar un pequeño retardo de transmisión o pérdida de paquetes.
- **Entretenimiento** – El objetivo de este tipo de aplicaciones es hacer que la vida de los usuarios al interior de los vehículos sea cómoda y entretenida a través de las comunicaciones vehiculares. Por ejemplo, los usuarios que viajan pueden disfrutar de servicios multimedia continuos y ubicuos de Internet, por ejemplo, *streaming* de video, navegación web, descarga de archivos, etc., a través de *V2V* o *V2I* en redes vehiculares [33]. Este tipo de aplicaciones tiene requisitos de *QoS* como la continuidad y alto rendimiento [34].

El trabajo de investigación desarrollado en esta tesis tiene relación con el primer grupo dentro de la categorización descrita anteriormente y desarrollada en [5].

### 2.3.1. Aplicaciones de Seguridad

Las aplicaciones de seguridad son consideradas una de las más importantes dentro de las redes vehiculares, debido a que pueden proporcionar información de vital importancia a los conductores, como alertas de peligro en la ruta y advertencias de colisión vehicular. La diseminación de los mensajes a través del mecanismo de *broadcast* en multi-saltos es considerado uno de los enfoques más efectivos en redes móviles distribuidas. En particular en la mayoría de las aplicaciones de seguridad en redes vehiculares, la entrega de estos mensajes de alerta están confinados en un área en específico, donde deben ser diseminados de manera rápida y eficiente [5].

A continuación se menciona algunas de las aplicaciones de seguridad implementadas en VANETs [1, 35–40].

- **Prevención colaborativa de colisiones:** Cuando se produce un accidente de tráfico, la diseminación oportuna de un mensaje de alerta hacia los demás conductores puede proveer de un tiempo adicional para que puedan tomar una decisión adecuada y de esta manera poder evitar colisiones en cadena o por alcance.
- **Alarma de freno emergente:** En ocasiones la línea de vista de un conductor de un vehículo es limitada, por ejemplo: debido a algún obstáculo en frente o por el mal tiempo como niebla, lluvia o nieve. En estos casos, si un conductor al frente frena repentinamente los conductores detrás de él podrían no tener tiempo para reaccionar de forma oportuna debido a los obstáculos en la visión, ocasionando accidentes de tráfico. La diseminación oportuna del accionamiento del freno de forma repentina del vehículo que está delante hacia los vehículos que van detrás de él, permite que estos últimos puedan reaccionar frente a este evento evitando posibles accidentes.
- **Advertencia de cambio de pista:** Cuando un vehículo cambia de pista puede colisionar con vehículos adyacentes debido a diferencias en las velocidades de cada vehículo o efecto de puntos ciegos en la visión del conductor. Gracias a las comunicaciones vehiculares, es posible alertar al conductor cuando un cambio de pista puede ser peligroso.
- **Advertencia de Semáforo:** Para proporcionar una alerta temprana de semáforos, es posible instalar una RSU en las intersecciones. Gracias a comunicaciones V2I entre la infraestructura y vehículos, se puede enviar un mensaje de advertencia temprana al vehículo que está por violar las normas de tráfico.
- **Advertencia en curvas peligrosas:** Cuando un vehículo entra en una curva, puede producirse un deslizamiento o colisión del vehículo debido a la alta velocidad del vehículo. Cualquiera de las situaciones anteriores pueden causar daño al vehículo e incluso la muerte. Sin embargo, si el vehículo obtiene información de la velocidad recomendada o superficie de la carretera gracias a mensajes de advertencia emitidos periódicamente por una RSU en la curva, puede calcular un límite de velocidad, lo que puede evitar con éxito accidentes de tráfico.

En la tabla 2.1 se muestran los requerimientos de algunas de las aplicaciones de seguridad mencionadas anteriormente.

Tabla 2.1: Requerimiento para aplicaciones de seguridad activas, (fuente: Adaptada de [1]).

Caso de uso	Modo de comunicación	Mínima frecuencia de transmisión	Latencia crítica (ms)
Alerta de colisión en intersección	Mensaje de <i>broad-casting</i> periódico	10 Hz	$\leq 100\ ms$
Asistencia cambio de pista	Cooperación consciente entre vehículos	10 Hz	$\leq 100\ ms$
Alerta de adelantamiento	<i>Broadcast</i> de estado de adelantamiento	10 Hz	$\leq 100\ ms$
Alerta de colisión frontal	Mensaje de <i>broad-casting</i>	10 Hz	$\leq 100\ ms$
Alerta cooperativa de colisión próxima	Cooperación consciente entre vehículos asociada a uni-transmisión	10 Hz	$\leq 100\ ms$
Alerta de vehículo de emergencia	Mensaje de <i>broad-casting</i> periódico permanente	10 Hz	$\leq 100\ ms$
Asistencia de fusión cooperativa	Cooperación consciente entre vehículos asociada a uni-transmisión	10 Hz	$\leq 100\ ms$
Alerta de riesgo de colisión	Mensaje de evento periódico por tiempo limitado	10 Hz	$\leq 100\ ms$

### 2.3.2. Fuente de datos en aplicaciones de seguridad

Los datos que fluyen dentro de una red vehicular pueden ser adquiridos de distintas fuentes. Desde el año 1996 todos los vehículos están equipados con una interfaz de diagnóstico a bordo (OBD). Esta interfaz permite conectarse a través de *Controller Area Network (CAN)* u otro estándar similar con el computador a bordo del vehículo, desde el cual se puede obtener datos en tiempo real del vehículo, tales como la velocidad, revoluciones de motor entre otras. Además, sensores ubicados en el exterior del vehículo pueden aportar con mayor información, como también los ya conocidos sistemas de posicionamiento global (*Global Position System - GPS*) ampliamente utilizados hoy en día [41].

Sin embargo, la información en el ambiente vehicular también puede ser extraída a través de sensores dispuestos en las autopistas como lo son las espiras inductivas que son capaces de contar la cantidad de vehículos que circula en un carril.

Un aspecto de gran relevancia es como esta información extraída de los vehículos o de la ruta es entregada a los conductores, las llamadas interfaces del usuario (*Users Interfaces - UI*) son las encargadas de hacer esta información legible para cada conductor. Cabe destacar además que la respuesta a diferentes estímulos tiene un tiempo de reacción diferente dependiendo del conductor. Estudios muestran que el tiempo de reacción típico de un conductor es 0,75s, pero a este tiempo se debe sumar el tiempo de percepción/decisión. En [42] se muestra que un 85 % de los conductores demoran al menos 2,5s en responder a una situación anormal en la ruta. Esto significa que cualquier aplicación de seguridad debe considerar este margen de reacción del conductor. Uno de los aspectos importantes sobre la interfaz con el usuario es minimizar el tiempo que toma el sistema para informar al conductor.

La interfaz vehicular con el usuario no ha sufrido muchos cambios en las últimas décadas. El tablero común muestra el kilometraje del vehículo, la velocidad, las RPM, la temperatura del aceite y el tanque de combustible. Desde la introducción de las computadoras a bordo, la radio digital (RDS) y sistemas de audio, también es común tener una pequeña pantalla LCD (*Liquid Crystal Display*) que muestra algunos datos a bordo, como el consumo promedio de combustible o información de audio.

## 2.4. Desarrollo de Protocolos en VANETs

El desarrollo de estándares de comunicación se lleva a cabo en diferentes organizaciones que disponen de instancias para la construcción de éstos a partir de grupos de trabajo o *workshops*.

- IEEE-SA: El IEEE Standards Association (IEEE-SA) [43] es una organización dentro del El Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica o (*Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE*) que desarrolla a nivel mundial estándares en una amplia gama de industrias, incluyendo: energía, biomedicina y cuidado de la salud, tecnología de la información y robótica, telecomunicaciones y domótica, el transporte, la nanotecnología, aseguramiento de la información, y muchos más.

Esta institución desarrolla estándares para habilitar la comunicación en ambientes vehiculares, los cuales abarcan aspectos de la seguridad [44] como también del acceso del medio y la distribución y manejo de canales [45] dentro del espectro dedicado a las tecnologías de comunicaciones vehiculares.

- ETSI: *European Telecommunications Standards Institute* o Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones [46] es una organización sin fines de lucro con más de 850 organizaciones de miembros en todo el mundo, procedentes de 66 países y cinco continentes. Los miembros incluyen las principales compañías del mundo y organizaciones innovadoras de *I + D*. La Unión Europea la reconoce oficialmente como una Organización Europea de Estándares. Posee un área enfocada a realizar estándares de comunicación para problemas relacionados con el transporte. Algunos ejemplos de sus estándares producidos son las especificaciones de servicio básico para la conciencia cooperativa en entornos vehiculares [47] y especificaciones de servicio básico para notificaciones de ambiente descentralizadas [48].

- ITU: *International Telecommunication Union* o Unión Internacional de Telecomunicaciones [49] es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las Tecnologías de la Información y la Comunicación – TIC.

Asignan el espectro radioeléctrico y las órbitas de satélite a escala mundial, elaboran normas técnicas que garantizan la interconexión continua de las redes y las tecnologías, y se esfuerzan por mejorar el acceso a las TIC de las comunidades insuficientemente atendidas de todo el mundo.

En el área de los sistemas inteligentes de transporte han trabajado en la cooperación con otras instituciones para lograr estándares globales. Desarrollan las llamadas recomendaciones donde se proponen sistemas con miras a lograr una estandarización global como por ejemplo en la recomendación [50] donde se detalla la arquitectura presente en vehículos pero como compuerta de enlace de la información que puedan recabar.

- SAE International: *Society of Automotive Engineers* Organización enfocada en la movilidad de los profesionales en la ingeniería aeroespacial, automoción, y todas las industrias comerciales especializadas en la construcción de los vehículos. El principal objetivo de la sociedad es el desarrollo de los estándares para todos los tipos de vehículos, tanto a nivel estructural como a nivel de comunicaciones dentro de ellos, como la integración de los sensores y actuadores, los cuales están dispuestos dentro de una red llamada *Control Area Network -CAN*. Sin embargo, esta institución también desarrolla protocolos para establecer comunicación en ambientes vehiculares. En [51] se puede ver las diferencias entre los protocolos propuestos por la SAE y por la IEEE para entornos vehiculares, sus principales diferencias y debilidades.
- IETF: *Internet Engineering Task Force* es una gran comunidad internacional abierta de diseñadores de redes, operadores, proveedores e investigadores preocupados por la evolución de la arquitectura de Internet y el buen funcionamiento de Internet. Aunque su nombre apunta directamente a Internet, también desarrollan propuestas de normas o estándares para el desarrollo de redes. Uno de los grupos relacionado con redes vehiculares es el grupo de trabajo llamado *IP Wireless Access in Vehicular Environments (ipwave)*. Este grupo trabaja en casos de uso de arquitecturas vehículo a vehículo (V2V) y vehículo a infraestructura (V2I) donde la pila de protocolos IP podría ser bien adaptada como tecnología de red y trabaja en desarrollar una solución basada en IPv6 para establecer conectividad directa y segura entre un vehículo y otros vehículos o sistemas estacionarios, considerando la naturaleza dinámica de este tipo de redes [52].

### 2.4.1. DSRC - WAVE

La IEEE ha desarrollado en el último tiempo estándares para las comunicaciones en contexto vehicular, las cuales poseen particularidades muy diferentes a otro tipo de redes. Por lo mismo, se han conformado grupos de desarrollo que crean y proponen estándares de comunicación con base en otras tecnologías o protocolos, definiendo cada capa para la comunicación inalámbrica necesaria. En las capas mas bajas se define la tecnología DSRC (Dedicated Short-Range Communication) que corresponde a una tecnología de comunicación de corto alcance, adoptada por las redes vehiculares y que en el último tiempo ha sido impulsada tanto por instituciones ligadas a la academia como también por la industria automotriz. Esta tecnología busca desarrollar estándares de comunicación inalámbrica para apoyar la implementación de

diversas aplicaciones ITS, convirtiéndose en una pieza clave para la próxima generación de comunicaciones vehiculares [53].

En 1999, la Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos (FCC) asignó 75 [MHz] de espectro con licencia en la banda de 5,9 GHz a DSRC. En la tabla 2.2 se muestra la asignación de espectro para cada región.

Tabla 2.2: Asignación de espectro para DSRC/WAVE, (fuente: Adaptada de [2])

País o Región	Frecuencia [MHz]
ITU-R (Banda ISM)	5725 - 5875
Europa	5795 - 5815 , 5855/5875 - 5905/5925
Estados Unidos	902-928, 5850 -5925
Japón	715 - 725, 5770 - 5850

Esta tecnología adopta el protocolo IEEE 802.11-2012 [54] el cual maneja las capas física y en la capa MAC adopta el protocolo CSMA/CA.

En las capas superiores encontramos la familia de estándares *WAVE* - (*Wireless Access in Vehicular Environments*) donde el grupo de trabajo 1609 ha desarrollado una serie de estándares, compuesto por IEEE P1609.1, P1609.2, P1609.3 y P1609.4, el primero es el estándar de administración de recursos. Éste define los servicios e interfaces de la aplicación de administración de recursos así como también el formato de los mensajes transmitidos, ofreciendo acceso para aplicaciones y otras arquitecturas. P1609.2 define la seguridad, como el formateo seguro de mensajes, procesamiento e intercambio de mensaje. P1609.3 define los servicios de enrutamiento y transporte, ofrece una alternativa a IPv6; también define el manejo de la información base para la pila de protocolos. Por último, P1609.4 opera en la capa MAC teniendo estrecha relación con el protocolo 802.11-2012.

## 2.5. Protocolos de Diseminación

El intercambio de información entre vehículos es una parte importante de las aplicaciones desplegadas sobre las VANETs y su manejo tiene real incidencia en el desempeño y funcionalidad de éstas. Al tratarse de ambientes móviles y heterogéneos, en circunstancias de alta o baja densidad vehicular, la forma con la cual se disemina la información se ve enfrentada a diferentes desafíos. Por lo cual, en la actualidad existen muchos trabajos con diferentes enfoques que intentan dar respuesta al problema del intercambio y propagación de información relevante del tráfico.

A diferencia de los algoritmos de enrutamiento, en los cuales se busca descubrir una ruta donde viaja la información de dos nodos, las estrategias de diseminación de la información se enfocan en entregar información de un evento o alerta, a todos los nodos, o a un grupo en particular ubicado en una zona geográfica específica. Por consiguiente la diseminación de información tiene en consideración la carga de la red y al mismo tiempo se debe asegurar de hacer entrega de la información, a nodos que la necesitan, para poder tomar una decisión de manera oportuna, por lo que se necesita una baja latencia o retardo.

El concepto de diseminación de información es a menudo referida a la difusión de datos, puede ser vista como una forma limitada y controlada de como la información fluye a través de la red [24].

### 2.5.1. Métricas de Evaluación de Desempeño

En las aplicaciones de seguridad es muy importante utilizar métricas adecuadas para el desempeño de los mecanismos de diseminación. Por ejemplo, Tian *et al.* [55] utiliza las siguientes métricas para evaluar el desempeño de un mecanismo de diseminación.

- Razón de Entrega de Paquetes (*Packet Delivery Ratio - PDR*): Representa el promedio del número de mensajes recibido por los vehículos dentro de un área de interés (*Region of Interest - ROI*), como porcentaje del número total de mensajes enviados por el nodo fuente. Esta métrica también es llamada como cobertura de diseminación (*Coverage of data dissemination*).
- Número de transmisiones (*Number of Transmissions*): Corresponde al número total de transmisiones realizadas por *broadcasting*<sup>2</sup>.
- Retardo (*Delay*): Es el promedio del intervalo de tiempo que ocurre desde que el nodo emisor envía un paquete hasta que es recibido por cada vehículo en el área de interés.
- Velocidad de Diseminación (*Data Dissemination Speed*): Esta métrica representa la rapidez con la que el mensaje es diseminado hacia los vehículos en el área de interés. Para adquirir esta medida, el nodo emisor envía solo una vez un mensaje y luego se calcula en la simulación el incremento de cobertura en función del tiempo. Si la cobertura incrementa de forma significativa en un tiempo pequeño, significa que el protocolo de diseminación tiene un alto desempeño con respecto a esta métrica.

Por otro lado, Hassanabadi *et al.* [31] definen dos nuevas métricas para medir el desempeño del mecanismo de envío periódico de mensajes de seguridad, las que se detallan a continuación:

- Probabilidad de Éxito (*Probability of success*): Se define  $P_s(n)$  como la probabilidad de recepción exitosa de  $n$  mensajes por un nodo inactivo si hay  $n$  nodos activos
- *Map Throughput Metric - MTM*: Basicamente toma la métrica anterior y la multiplica por el número de nodos activos  $n$ , para obtener una medida normalizada del éxito en la entrega de paquetes. Se calcula como:

$$MTM = nP_s(n)$$

## 2.6. Sistemas *Context-aware*

Los sistemas *context-aware* se caracterizan por ser sistemas conscientes o sensibles de la situación (o contexto) en el cual se desarrollan, tanto en términos físicos, virtuales o entorno

---

<sup>2</sup>**Broadcasting** - Transmisión de un salto simple de un paquete a todos los nodos que se encuentren dentro del radio de transmisión del nodo emisor.



del usuario [56]. Se entiende por contexto “Cualquier información que pueda usarse para caracterizar la situación de una entidad. Una entidad es una persona, lugar u objeto que se considera relevante para la interacción entre un usuario y una aplicación, incluido el usuario y las aplicaciones en sí” [15]. Éstos sistemas son capaces de adaptarse, explotando el conocimiento adquirido a través de sensores, de otros nodos o de infraestructura dispuesta en la ruta.

La historia de los sistemas *context-aware* comienza con Want *et al.* [57], quienes desarrollaron un sistema de localización de etiquetas activas, que basado en la tecnología infrarroja puede determinar la ubicación actual de un usuario. Esto se utilizó para reenviar llamadas telefónicas a un teléfono cercano al usuario. En ambientes vehiculares los sistemas *context-aware* han estado focalizados principalmente al área de reconocimiento y localización de servicios en la ruta [58, 59].

De acuerdo a [7], los sistemas context-aware pueden ser explotados en las redes vehiculares atendiendo 2 grandes desafíos, solicitud de información y diseminación de la información. Para el primero se tiene el problema de que las solicitudes de información pueden desarrollarse en ambientes de red sobrecargada, lo que induce a que la información solicitada por un nodo hacia otro grupo de nodos, o a la infraestructura, llegue con un retardo demasiado alto.

Por otro lado, la diseminación de mensajes también depende directamente del estado de la red de comunicaciones. Debido a esto, los autores de [7] proponen una arquitectura basada en sistemas *context-aware* (ver Figura 2.5) para ajustar los mecanismos de solicitud de información, y la diseminación de la información de relevancia, que soportan el uso de diferente servicios desplegados en la red de comunicaciones. Esta propuesta consta básicamente de 3 grandes etapas:

1. Adquirir datos del contexto
2. Procesar los datos del contexto
3. Realizar diseminación inteligente

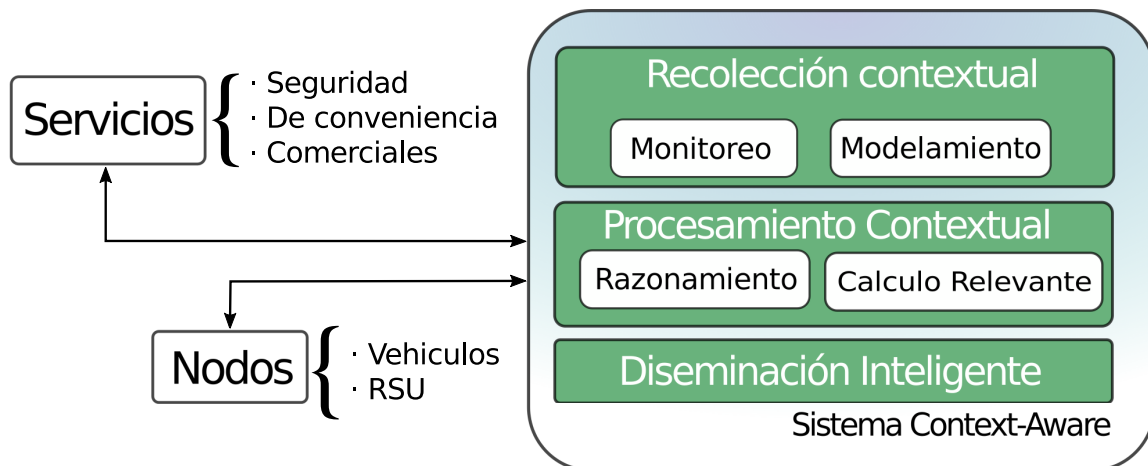


Figura 2.5: Procesamiento en Sistema *Context Aware*, (fuente: Adaptada de [7]).

# Capítulo 3

## Revisión y Evaluación Crítica del Estado del Arte

En este capítulo se realiza la revisión de estudios y artículos previos con relación a dos temáticas principales: La diseminación de mensajes en redes vehiculares *ad-hoc* y el desarrollo de Sistemas *context-aware* orientados a entornos vehiculares.

### 3.1. Diseminación en VANETs

En esta sección se estudian protocolos que aborden el problema de diseminación de la información en VANETs orientados principalmente a aplicaciones de seguridad. Las redes vehiculares *ad-hoc* se desarrollan en ambientes donde los nodos o vehículos se encuentran en movimiento, y donde se necesita obtener información precisa de forma rápida para los demás nodos. Hasta el momento se han propuesto diversos esquemas y protocolos que abordan los principales problemas de las comunicaciones en este tipo de redes [60, 61].

Debido a que el tema de interés se centra en aplicaciones de seguridad que utilizan la diseminación de mensajes de emergencia en tiempo real, y que éstos mensajes necesitan ser transmitidos de manera rápida y eficiente, se descartan en la revisión aquellos trabajos que utilizan infraestructura, dado que el trabajo se centrará en redes *ad-hoc* donde la arquitectura de la conexión se realiza entre vehículos (V2V). Se debe considerar además que los eventos que se necesitan comunicar pueden ocurrir en cualquier lugar dentro de la red vehicular, por lo tanto la arquitectura mencionada es probablemente la más recurrente o la que puede soportar este tipo de comunicación. Un mecanismo ampliamente utilizado en diseminación, es el de entregar la información en multi-saltos, es decir, la información se disemina utilizando diferentes nodos como repetidores información [62].

Para ejemplificar este mecanismo, tomaremos la red vehicular de la Figura 3.1. En esta figura se muestra una red vehicular, en la que el vehículo de color rojo (Nodo Fuente) necesita enviar un mensaje de interés para todos los vehículos. Sin embargo, no todos los nodos de la figura pueden establecer comunicación directa, porque no se encuentran en su radio de

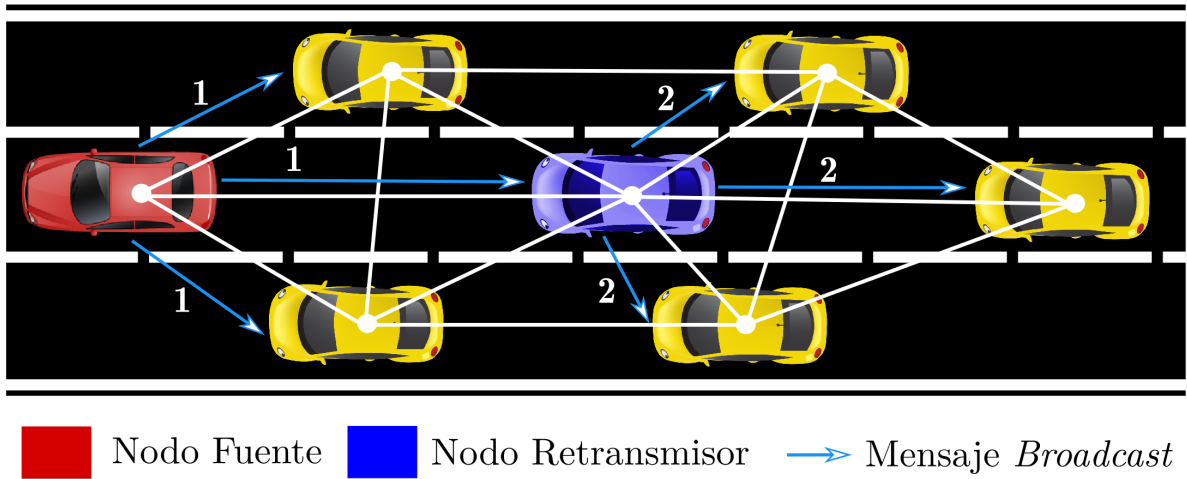


Figura 3.1: Esquema de red vehicular y mensaje *broadcast*, (fuente: Adaptada de [8]).

cobertura, lo que define el primer salto del mensaje. Por otro lado, si todos los nodos vecinos realizaran retransmisión del mensaje (como ocurre con algunos mecanismos de enrutamiento en redes ad-hoc como *flooding* [63]), se tendría una alta probabilidad de que ocurra colisión de paquetes, o la llamada tormenta de *broadcast* [17]. Para evitar estos problemas, podemos ver que los vehículos dentro del escenario de la Figura 3.1 pueden re-transmitir o no el mensaje. En el caso ideal, sólo el vehículo azul actuaría como Nodo Retransmisor, de esta forma el mensaje llegaría a todos los nodos en solo 2 saltos.

Para obtener la información de la posición de cada nodo, comúnmente se implementan dispositivos que utilizan el sistema de posicionamiento global (GPS por su sigla en inglés), con los cuales es posible obtener la información de la posición geográfica. Sin embargo, en algunos ambientes como túneles o autopistas sobrepuestas, la precisión de esta tecnología se puede ver afectada en gran medida [64]. Por otra parte, existe una propuesta de protocolo de diseminación, basada en la posición relativa de los nodos, es decir, solo se hace necesario conocer la distancia entre nodos. Esto lo hace posible mediante la instalación de antenas direccionales que entregan información geográfica, a través de la evaluación de la intensidad de la señal recibida de un nodo vecino, facilitando además el esquema de comunicación [65]. Esta propuesta puede solucionar el problema de la carencia de exactitud de la información recibida por GPS en algunos ambientes, sin embargo, la implementación puede ser costosa y difícil, debido a que su éxito depende directamente de la construcción de estándares para que cada vehículo cuente con esta tecnología.

Un problema muy común que ocurre en la diseminación de mensajes en redes vehiculares es la llamada tormenta de “*broadcast*” [17], que se produce cuando muchos vehículos envían información al mismo tiempo. Al ser un gran número de fuentes se producen colisiones de paquetes, provocando de esta manera que disminuya la calidad en la comunicación y que eventos como accidentes no puedan ser asistidos y diseminados, lo cual presenta un problema grave si consideramos que estos sistemas buscan ser eficientes en términos de la entrega de información. Este problema está relacionado con redes más densas desarrolladas comúnmente en ambientes urbanos altamente congestionados.

Un mecanismo básico para realizar la supresión de *broadcast* dentro de los nodos vecinos es el conocido mecanismo de *slotted-1-persistence* [66], este mecanismo (que luego se despliega en el protocolo detallado en [62]) busca escoger los nodos que retransmiten el mensaje *broadcast* en base a la distancia que existe entre ellos y el nodo fuente.

También existen protocolos que consideran escenarios de vehículos más distanciados donde la estabilidad de la red es muy baja. Esta área la estudia las llamadas redes tolerantes al retardo (DTN por su sigla en inglés) para explotar oportunidades de intermitencias en la red [67, 68]. Además, en las VANETs las intermitencias en la red no solo se deben a que los nodos estén alejados, sino que también a obstáculos entre la línea de vista que producen efectos conocidos como *shadowing* [69, 70]. Por otra parte, existen protocolos que pueden abordar escenarios de alta o baja densidad vehicular [71], como también esquemas dedicados a eventos de interés sobre ambientes urbanos [72], y otros enfocados a dar una alerta de accidentes en la ruta [73]. En la disseminación de mensajes de seguridad el mecanismo de transmisión por multi-saltos es clave para que la información fluya de forma rápida y eficiente, en torno existen diversas propuestas, algunas enfocadas a realizar el re-envío de forma oportunista [14], otros buscan modificar de manera dinámica como se realiza *beaconing*<sup>1</sup> para descongestionar la red [74]. También se han aplicado algoritmos genéticos capaces de explotar el aprendizaje evolutivo para modificar las funciones de membresía de conjuntos difusos utilizados en esquemas de disseminación, en los cuales se establecen métricas para escoger los nodos de re-transmisión basados en el nodo emisor del mensaje [75]. Este trabajo muestra ventajas en comparación con los conjuntos difusos diseñados en base a la intuición y a la información que pueden manejar los autores. Sin embargo la aplicación real de este tipo de sistemas de aprendizaje, posee algunas limitaciones o complicaciones, tales como:

- Tiempo en la iteración de generaciones para el ajuste de los conjuntos difusos.
- Carga de procesamiento que cada vehículo necesita, para ejecutar algoritmos de esta naturaleza.
- Ajuste del sistema para cada escenario específico.

Por otro lado, existen trabajos orientados a solucionar el problema en zonas geográficas determinadas, como lo son las intersecciones [76]. Mientras otras propuestas, se ocupan solo del primer salto en la disseminación [77]. Para poder atacar el problema de tener diversos escenarios en la topología de las redes VANETs, se han propuesto esquemas que apuntan a un “*beaconing*” dinámico, es decir con base en el escenario, se define la frecuencia, potencia o el canal en el cual se establece la transmisión de mensajes. De acuerdo a la variables que estos modifican se pueden clasificar en los siguientes categorías [78]:

1. *Message frequency control* (MFC)
2. *Transmit power control* (TPC)
3. *Miscellaneous* (Multichannel Switch)
4. *Hybrid* (Combinación de las anteriores)

Por otra parte, una propuesta innovadora presentada en [79], tiene un enfoque hacia las

---

<sup>1</sup>Mecanismo por el cual los nodos envían información particular de forma periódica a todos los nodos vecinos dentro de su alcance, lo cual aumenta los niveles de conocimiento cooperativo dentro de la red vehicular.

mismas variables de estado de los nodos utiliza la variación de la aceleración para adecuar la forma en que el mecanismo de “*beaconing*” se ejecuta.

Se pueden tomar en consideración diferentes parámetros para comparar la eficiencia entre los protocolos, por ejemplo: carga normalizada de ruteo, pérdidas de paquetes, tasa de transmisión y latencia. También es de gran importancia considerar la eficiencia energética relacionada a cada protocolo. Bajo el supuesto de que en un futuro todos los vehículos estarán habilitados para la comunicación, se pueden generar desbalances en el uso del procesamiento de cada nodo. En [80] se estudia el uso eficiente de la energía para poder implementarlo en sistemas de transporte inteligente, integrando diferentes tipo de vehículos (desde microvehículos hasta camiones de gran envergadura) y asignando roles dentro del intercambio de información considerando la capacidad de computo de cada uno de los tipos de vehículos. Por último, en [55] se presenta otra innovadora propuesta, dado que su naturaleza adaptativa, está estrechamente relacionada con el contexto a nivel de la red de comunicaciones.

Como resumen, en la Figura 3.2 se presenta la taxonomía de los mecanismos de diseminación revisados en esta sección.

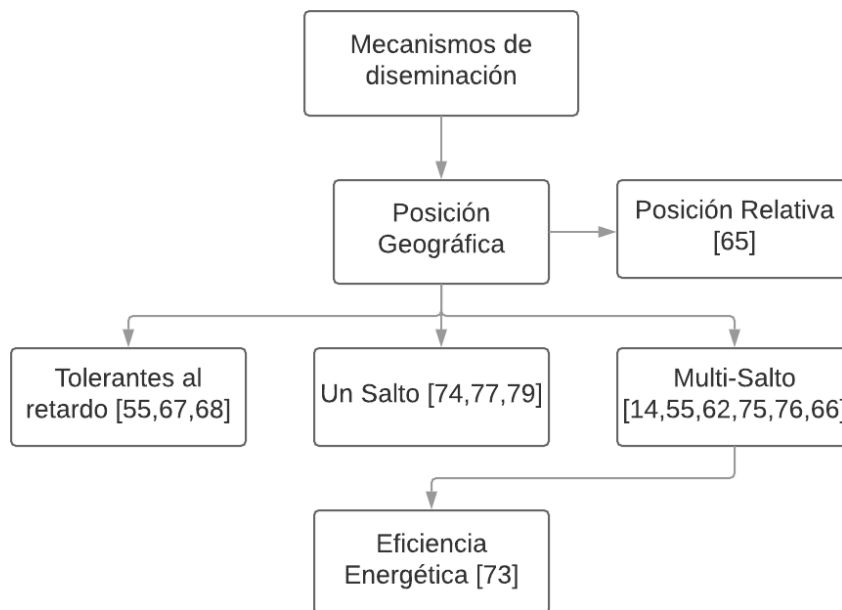


Figura 3.2: Taxonomía de Mecanismos de diseminación, (fuente: Elaboración propia).

Luego de estudiar los protocolos anteriormente mencionados, se procede a escoger dos protocolos para implementarlos en una simulación con la cual sea posible realizar un estudio de desempeño frente a diferentes escenarios y que tenga la posibilidad de modificar sus parámetros para que se ajusten al contexto vehicular. Para realizar esta elección se consideraron los siguientes criterios:

1. Mención o utilización reiterada en diversos artículos: Se considera como mecanismo relevante de estudio, aquellos altamente citados en la literatura estudiada y que son referentes de buen desempeño.

2. Parametrizable: Se consideran mecanismos cuyo desempeño dependa de parámetros que son configurados con anterioridad.
3. Innovación: Se consideran mecanismos que utilicen de métricas no comunes dentro de la literatura estudiada.

A continuación se detalla con mayor profundidad los protocolos seleccionados para este estudio.

### 3.1.1. Mecanismos de Diseminación Escogidos

- **Slotted 1-persistence Broadcasting [66]**

Se trata de un protocolo que entrega la prioridad de retransmisión al nodo más lejano del nodo de transmisión. Para eso, el protocolo utiliza un tiempo de espera antes de retransmitir, que varía de acuerdo a la distancia entre los nodos. Suponiendo que se tienen 2 nodos en un escenario en particular, el primero designado por  $i$  y el segundo por  $j$ , donde  $i$  es el nodo que origina el mensaje y  $j$  el nodo re-transmisor. Se tiene que la distancia relativa entre los nodos  $i$  y  $j$ , se define como  $D_{ij}$ . Cada nodo posee un rango de transmisión denominado  $R$ . El retardo generado para la re-transmisión de un mensaje se calcula según la Ecuación (3.1):

$$T_{S_{ij}} = S_{ij} \times \tau, \quad (3.1)$$

donde  $\tau$  es el retardo estimado de un salto, que se refiere a la suma del retardo de propagación y del retardo de acceso al medio.  $S_{ij}$  se calcula como se muestra en la Ecuación (3.2):

$$S_{ij} = N_S \left( 1 - \left[ \frac{\min(D_{ij}, R)}{R} \right] \right), \quad (3.2)$$

$N_S$  corresponde al número asignado de “slot”. Según los autores se debe escoger  $N_S$  en función de la densidad del tráfico. Por ejemplo, en [79] se recomienda fijar  $N_S = 5$  para las horas punta o escenario congestionado, mientras que para escenarios con baja densidad se recomienda  $N_S = 3$ .

Cuando un nodo recibe un paquete, el nodo verifica la identificación del paquete y realiza un “re-broadcast” con una probabilidad de 1 con el “time slot”  $T_{S_{ij}}$  asignado. Si recibe un paquete por primera vez y no ha recibido ningún duplicado antes, el protocolo asigna el “time slot”, en caso contrario, el protocolo descarta el paquete.

Principalmente se ha escogido este protocolo porque soluciona el problema de “Broadcast Storm” [17], y necesita únicamente la información sobre la posición del nodo receptor y emisor para funcionar. Además, es uno de los protocolos más mencionados en la literatura por su antigüedad y simpleza. Se observa que cumple con los dos primeros criterios de selección, ya que se menciona en un 53% de los trabajos estudiados presentes en la Figura 3.2. Además su desempeño depende de parámetros como se aprecia en la Ecuación (3.2).

- **The traffic adaptive data dissemination (TrAD) protocol [55]**

Este protocolo utiliza el mecanismo de *beaconing* de manera adaptativa, de manera que, con base en el escenario en el cual se presenten los móviles (urbano o en autopista) el mecanismo escoge entre dos formas de realizar *broadcast*, que ayudan a mejorar el desempeño de la red de cada escenario. Además, este mecanismo asigna ciertos roles a los vehículos, dependiendo de la posición en el lugar de interés, específicamente al momento de utilizar el mecanismo *Store-carry-forward*. Para evitar el llamado efecto de tormenta de *broadcast*, TrAD asigna diferentes retardos en la retransmisión de los mensajes de seguridad WSM (*Wave Safety Messages*), tomando el siguiente esquema: en primer lugar, el nodo fuente del mensaje de seguridad establece una lista de prioridad tomando como base una función de utilidad ( $U_{TX}$ ) descrita en la Ecuación 3.3 de acuerdo a [55] como sigue:

$$U_{TX} = \omega_{\text{CBR}} \left( \frac{N + D}{2} \right), \quad (3.3)$$

donde  $D$  corresponde a la razón entre la distancia entre el emisor y receptor del mensaje, y el radio de cobertura de la comunicación inalámbrica, la cual, se calcula como se muestra en la Ecuación (3.4):

$$D = \min \left( \frac{\text{Dist}_{sn}}{\text{max.RadioRange}}, 1 \right), \quad (3.4)$$

donde  $\text{Dist}_{sn}$  es la distancia entre el emisor y el receptor respectivo, y  $\text{max.RadioRange}$  corresponde al máximo rango de comunicación posible del enlace inalámbrico.

Por otra parte,  $N$  corresponde al cociente entre el número de vecinos del nodo receptor y el número máximo de posibles vecinos. Este valor se obtiene a partir de la Ecuación (3.5) como sigue:

$$N = \min \left( \frac{\#\text{Neighbor}}{\text{max.}\#\text{Neighbor}}, 1 \right), \quad (3.5)$$

donde  $\#\text{Neighbor}$  es el número de vecinos en la vecindad y  $\text{max.}\#\text{Neighbor}$  es el número pre-establecido máximo de vecinos.

Por último,  $\omega_{\text{CBR}}$  es definido como una función lineal por tramos en términos del *CBR* (*Channel Busy Ratio*), como se muestra en la Ecuación 3.6:

$$\omega_{\text{CBR}} = \begin{cases} 1 & 0 < \text{CBR} < 0,6 \\ 1 - \text{CBR} & 0,6 \leq \text{CBR} < 0,8 \\ 0,001 & 0,8 \leq \text{CBR} < 1 \end{cases}, \quad (3.6)$$

el nodo emisor obtiene la información mencionada a través de los mensajes periódicamente emitidos por los vehículos en su vecindad (llamados *beacons*), los cuales, contienen la información requerida. Con esta información, el nodo emisor envía el *ranking* realizado a sus vecinos. Luego de la recepción del mensaje de seguridad, los nodos receptores verifican su lugar en el *ranking*, y asignan un retardo de re-transmisión del mensaje  $\text{Delay}_{TX}$ . De acuerdo con [55], este valor se calcula como se muestra en la Ecuación (3.7):

$$Delay_{TX} = R \cdot t_i, \quad (3.7)$$

donde  $R$  corresponde a la posición del nodo receptor en el *ranking* compartido por el nodo fuente del mensaje de seguridad y  $t_i$  es el retardo estimado de un salto, que se refiere a la suma del retardo de propagación y del retardo de acceso al medio.

Se escoge este protocolo para el estudio de su desempeño frente a diferentes escenarios, debido a que toma en consideración el estado de la red de comunicaciones, además de la información adquirida por el tráfico vehicular. Con esto se cumple con el tercer criterio de selección, ya que es el único mecanismo (dentro de la literatura estudiada) que considera el estado de la red vehicular para efectuar la diseminación del mensaje.

## 3.2. Sistemas *Context-Aware* en entornos vehiculares

En [15] se describen diversos proyectos que han utilizado sistemas *context-aware* para la detección de eventos de interés. Los autores clasifican los trabajos estudiados separando aquellos orientados a aplicaciones de seguridad, entretenimiento o manejo del tráfico. De aquellos trabajos referidos a aplicaciones de seguridad principalmente se remiten a la detección de eventos a partir de información obtenida del contexto. Solamente un trabajo estudiado por los autores aborda el problema de la diseminación de información de un mensaje de alerta de accidente considerando la información del contexto vehicular [81]. En este trabajo se propone un algoritmo que se basa principalmente en las posiciones geográficas de los nodo emisor y re-transmisor, y realiza una lista de sus vecinos con la misma información para decidir posteriormente si retransmitir el mensaje o no.

Por otra parte, existen trabajos que usan sistemas *context-aware* orientados al enrutamiento sobre redes vehiculares. En [82] se busca entregar acceso a Internet para soportar aplicaciones interactivas y de entretenimiento. En [83] se utiliza la información del contexto vehicular referente a la locación de fuente y destino para establecer un mecanismo de enrutamiento que busca disminuir la pérdida de paquetes debido a una saturación en el caché de cada vehículo, además de evitar la sobrecarga de la red. En [84] se evalúa el contexto vehicular (es decir, velocidad de cada nodo y distancia inter-vehicular) para la selección de la velocidad de transmisión con el objetivo de adaptarse a las condiciones de la capa de enlace y con esto obtener mejoras en las transmisión de datos entre vehículos.

En [85] se establece la clasificación de diferentes mecanismos de diseminación mediante los cuales se ejecutan diferentes aplicaciones que a través de estos mecanismos obtienen el desempeño adecuado. La principal contribución que se propone es que cada nodo al ser consciente del escenario utilice la forma de *broadcasting* adecuada. Por otra parte, en [86] se muestra cómo obtener/entregar información acerca del contexto, información que es utilizada para aplicaciones que funcionan principalmente a través de solicitudes orientadas a entregar diferentes servicios. Se establecen dos mecanismos (*push/pull*) dependiendo de la información entregada o solicitada, los cuales son escogidos si la información es o no de carácter urgente.

La propuesta presentada en [87] desarrolla un sistema sensible al contexto diseñado para



detectar posibles colisiones y activar mecanismos de seguridad incluso antes de que ocurra un accidente. El análisis presentado examina la información que puede adquirirse de sensores dispuestos en los vehículos (datos previos al accidente) para predecir una determinada colisión y su gravedad y de esta forma lanzar una alerta oportuna. También existen propuestas para mejorar la forma en que se adquiere la información para evitar redundancia en la información recolectada por un grupo de nodos [88]. En [89] se presenta un protocolo context-aware en la capa de control de acceso al medio (MAC) basada en redes bayesianas, el cual muestra una mejora sustancial en comparación con el mecanismo de CSMA/CA adoptado por IEEE 802.11p/WAVE, dado que este último disminuye su desempeño en ambientes de alta congestión debido a la ventana de contención utilizada.

# Capítulo 4

## Sistema propuesto: CASSaM - *Context-aware system for Safety Messages*

En este capítulo se detalla el diseño del sistema propuesto y se realiza el estudio del desempeño de cada protocolo de diseminación escogido, frente a un escenario de intersección urbana y a diferentes condiciones de tráfico en la red y de tráfico vehicular. Además, se detalla la elección de métricas de interés para la discriminación de escenarios que realiza el sistema y las herramientas con las cuales es posible realizar esta clasificación.

### 4.1. Arquitectura Propuesta

Para el diseño de la arquitectura del sistema propuesto se debe considerar que el contexto vehicular puede ser estudiado desde dos perspectivas.

- **Tráfico Vehicular**

Una caracterización del tráfico vehicular considera los patrones de movilidad de los vehículos que participan en calles o carreteras. Sus principales características son: densidad vehicular de una ruta o región, velocidad de los vehículos y la distancia intervehicular.

- **Tráfico de la Red**

Para caracterizar el tráfico de una red de comunicaciones vehicular se debe considerar que este tipo de redes al funcionar de manera distribuida (red ad-hoc) generalmente no usan un mecanismo de acuso de recepción (*acknowledgment* - *ACK*), esto implica que no se puede detectar la pérdida de mensajes debido a colisiones de paquetes o entornos de comunicación adversos [76]. Sin embargo, gracias al protocolo CSMA (*Carrier sense multiple access*) es posible evaluar el estado de la red mediante el tiempo de ocupación del canal [90]. Además, se puede tener una estimación del fallo de acceso al medio, considerando los paquetes en cola para ser transmitidos. Por último, a partir de la

información de cuantos paquetes en *broadcast* son recibidos, es posible inferir el grado de ocupación de la red.

En la Figura 4.1 se muestra la arquitectura general del sistema *Context-aware* propuesto. El propósito del sistema es clasificar el escenario en el que se encuentra operando un nodo de la red VANET en un escenario de intersección urbana, a partir de información no-directa que combina información de la red de comunicaciones y del tráfico vehicular.

A partir de la información recolectada, y de modelos desarrollados para establecer la clasificación referente a los diferentes escenarios en que se ven inmersos los nodos, el sistema *Context-aware* entrega como salida la caracterización de un escenario particular, el cual, posteriormente es descrito de manera concisa a través de una variable que se define como **descriptor** y que facilita el reconocimiento de diversos escenarios. Con esta información es posible modificar los parámetros (tal como el parámetro  $N_s$  en la Ecuación (3.2) del mecanismo *Slotted-1 persistence* descrito en la sección 3.1.1) que caracterizan el funcionamiento de un protocolo para que se adapte al escenario descrito, o de otra forma, escoger sobre un conjunto de protocolos. De esta forma, a partir de la información contextual recibida, es posible tomar una decisión para tener una mejor disseminación del mensaje en cuestión.

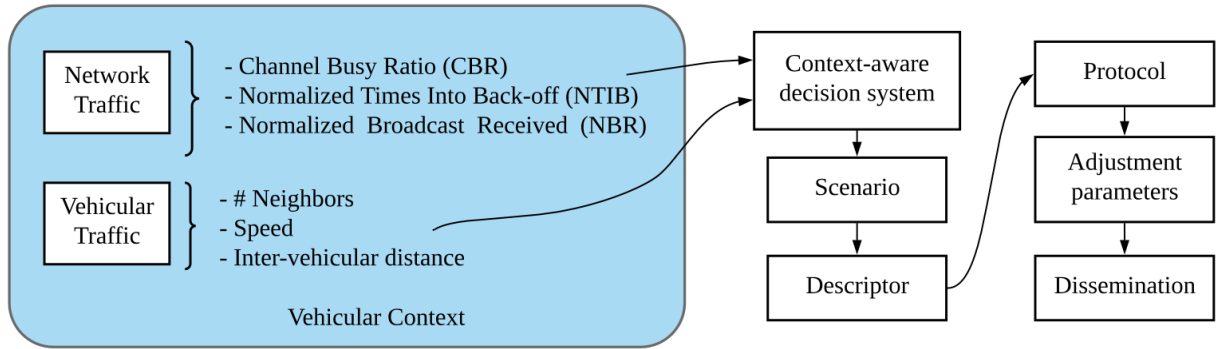


Figura 4.1: Arquitectura del sistema CaSSaM (fuente: Elaboración propia).

## 4.2. Parámetros para establecer el contexto

Tal como se muestra en la Figura 4.1, el diseño del sistema propuesto se alimenta de la información que puede ser recolectada por cada nodo de manera distribuida. Estos parámetros caracterizan el escenario en el que se desenvuelven los nodos.

En primer lugar el estado de la red de comunicaciones se obtiene a partir de las siguientes estadísticas:

- *Channel Busy Ratio (CBR)*: El *channel busy ratio* o razón de ocupación del canal se obtiene de la capa MAC, donde se monitorea el tiempo en el cual el canal está ocupado,

por lo tanto no se envían paquetes en esos instantes. Este mecanismo es usado por el protocolo CSMA/CA y la estadística se obtiene de la siguientes ecuación:

$$CBR = \frac{t_{busy}}{t_{interval}} \quad (4.1)$$

Donde  $t_{busy}$  corresponde al tiempo de ocupación del canal y  $t_{interval}$  corresponde al tiempo en el cual se revisa el estado del canal. En este caso se utiliza  $t_{interval} = 1$  [segundo] [55].

- *Normalized Times Into Back-off (NTIB)*: Este número corresponde a la cantidad de veces que el protocolo CSMA/CA no realiza la transmisión de un paquete debido a que el canal se encuentra ocupado. Este conteo se realiza en una ventana de tiempo de 1 [s].
- *Normalized Broadcast Received (NBR)*: Corresponde al número de paquetes recibidos por *broadcast* desde otros vehículos en la red, en una ventana de tiempo de 1 [s].

La elección de estas métricas tiene relación con el estudio de las estadísticas que se pueden extraer a partir de la capa MAC. Considerando que se trata de una red ad-hoc donde la arquitectura se remite a una comunicación basada en *broadcast*, estas métricas son las que pueden caracterizar de mejor forma los escenarios de estudio.

Por otro lado, para establecer el estado del tráfico vehicular se usan las siguientes fuentes de información:

- Número de vecinos: El número de vecinos se obtiene gracias a la confección de una lista donde se almacena la dirección de mensajes recibidos a través del *beaconing*.
- Velocidad: Esta información es extraída directamente del computador dispuesto dentro del vehículo y puede ser actualizada en tiempo real.
- Distancia inter-vehicular: Este aspecto puede ser extraído de los *beacons* como también de sensores o radares dispuestos en el vehículo.

De este último grupo de estadísticas es posible inferir el escenario con respecto al tráfico vehicular. Diversos trabajos donde se aplican modelos matemáticos para la relación existente entre estas variables y la congestión vehicular, han logrado identificar y predecir con exactitud el grado de congestión vehicular local en donde se encuentra un vehículo [91–95].

### 4.3. Caracterización de escenarios que impactan en el desempeño de los mecanismos de diseminación

Para la caracterización de los escenarios se considera lo mencionado en la Sección 4.1, en donde las condiciones en las que se desarrollan las redes vehiculares dependen básicamente del tráfico de la red y del tráfico vehicular. Por consiguiente, se realizan simulaciones con diferentes configuraciones tanto para la densidad vehicular como para la carga en el tráfico de la red de comunicaciones.

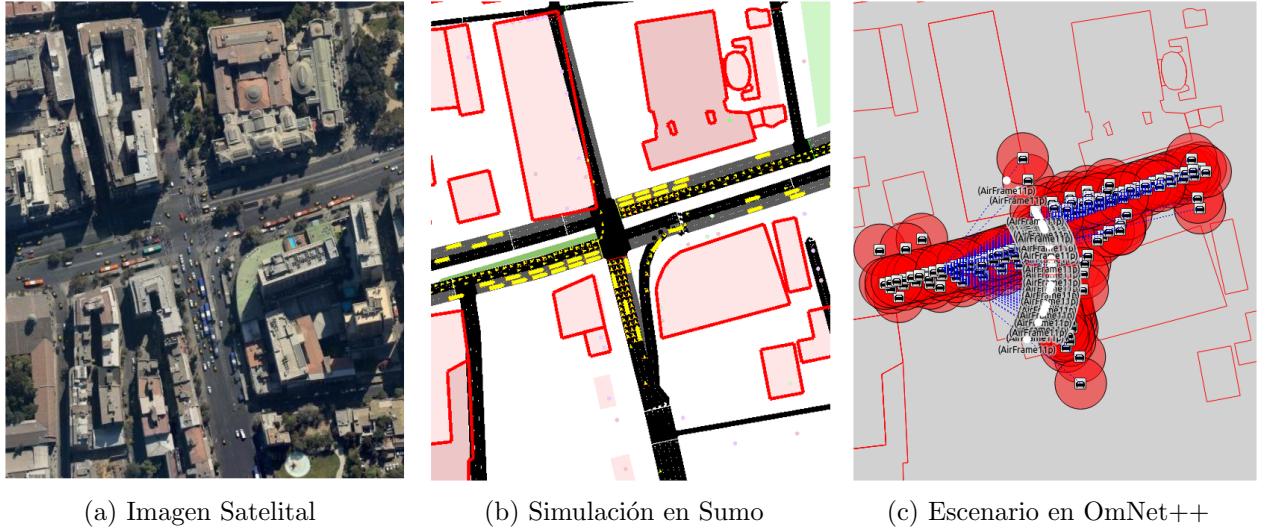


Figura 4.2: Vistas del escenario de estudio, (fuente: Elaboración propia).

El escenario de estudio se simula a través del simulador bidireccional *VEINS* [19], debido a que posee las facultades de simular la movilidad de los vehículos en la intersección y el intercambio de información que ocurre entre ellos. Además utiliza modelos de propagación de señales realistas, que consideran la atenuación del espacio y de los posibles obstáculos dispuestos en el escenario. Por otra parte, el simulador provee los protocolos de la capa MAC. En particular, se utiliza en este caso el protocolo CSMA/CA.

El escenario realista de simulación corresponde a una de las intersecciones más concurridas de la ciudad de Santiago, Chile. Esta intersección posee de 3 a 4 pistas por vía. En la Figura 4.2, se pueden apreciar tres diferentes vistas del escenario de estudio. En la Figura 4.2a se muestra una vista satelital del mapa, en donde se realiza la simulación. En la Figura 4.2b es posible observar el escenario desde el simulador de movilidad vehicular *SUMO*, este simulador entrega movilidad a cada uno de los vehículos dispuestos en el escenario, siguiendo patrones realistas. Por otra parte, en la Figura 4.2c es posible observar el escenario a través del simulador de red *OMNet++*.

A la intersección bajo estudio se ingresan vehículos con dos diferentes densidades: baja densidad, correspondiente a  $15,6$  [ $veh/km/ln$ ] y alta densidad, correspondiente a  $73,4$  [ $veh/km/ln$ ] (cantidad de vehículos por kilómetro por el número de pistas). Estas densidades y sus unidades replican el valor característico de los conjuntos difusos reportados en [93]. Se simulan  $10$  [s] por cada densidad vehicular y en el instante de tiempo  $t = 5$  [s] se genera un accidente, el cual dispara la diseminación de un mensaje de seguridad.

El escenario es evaluado bajo diferentes configuraciones de los siguientes parámetros de la red de comunicaciones:

- **Frecuencia de *beaconing*:** Se utilizan dos valores para este parámetro  $2$  [Hz] y  $10$  [Hz]. Éstos mensajes entregan información importante para las aplicaciones de seguridad, referida al estado de cada vehículo, en particular la posición, velocidad, aceleración, e identificación del nodo.

- **Utilización de mensajes *Wave Service Advertisement messages (WSA)*:**  
Estos mensajes son utilizados para emular tráfico existente en la red, referido a otro tipos de aplicaciones, ya que en ambientes realistas el canal de comunicación no es de uso exclusivo para las aplicaciones de seguridad. La frecuencia de envío de estos mensajes es fija y corresponde a 1 [Hz], es decir cada nodo envía este tipo de mensaje en *broadcast* cada 1 segundo.

La definición de cada escenario de acuerdo a la carga en el tráfico de la red de comunicaciones se detalla en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Definición de la carga del tráfico en la red, (fuente: Elaboración propia).

Carga de la red	Frecuencia de <i>beaconing</i>	Uso de Mensajes WSA
1	2 [Hz]	no
2	10 [Hz]	no
3	10 [Hz]	si

Durante la simulación la ocurrencia del accidente genera un mensaje para ser diseminado en todo el escenario. Este mensaje es creado solo una vez por el nodo emisor, es decir, solo un paquete de tipo *Wave Short Message* es generado para observar el comportamiento en el primer instante de diseminación. El mensaje de seguridad es retransmitido por los nodos vecinos a lo largo y ancho de la región de interés (*region of interest ROI*). De acuerdo a esto, la tasa de entrega de paquetes (*packet delivery ratio - PDR*) es calculado solamente para un mensaje de seguridad, por lo que este porcentaje corresponde a la cantidad de nodos que recibieron exitosamente el mensaje en la región de interés sobre la cantidad total de nodos en el escenario. Se ejecutan 20 corridas para cada escenario, realizando un total de 320 simulaciones. En la Tabla 4.2 se muestra el detalle de los valores usados para los parámetros más importantes en el simulador bi-direccional VEINS [19] empleados en esta evaluación.

Tabla 4.2: Parámetros de Simulación

<b>Capa Física</b>	
Frecuencia	5,89 <i>GHz</i> [54]
Modelo SimplePathLoss	$\alpha = 2,6$ [96]
Potencia de transmisión	20 <i>mW</i> [19]
Sensibilidad del receptor	-89 <i>dBm</i> [19]
Ruido térmico	-110 <i>dBm</i> [19]
Tipo de antena	Monopolo [19]
<b>Capa de enlace</b>	
<i>Bit rate</i>	6 <i>Mbps</i> [19]
Ventana de contención	[15, 1023] [54]
<i>Slot time</i>	13 $\mu s$ [54]
SIFS	32 $\mu s$ [54]
DIFS	58 $\mu s$ [54]
<b>Mensajes</b>	
Frecuencia de <i>Beaconing</i>	2 <i>Hz</i> and 10 <i>Hz</i> (Tabla 2.1)
Tamaño de <i>Beacon</i>	256 <i>bits</i> [19]
Frecuencia WSA	1 <i>Hz</i> [19]
Tamaño WSA	250 <i>bits</i> [19]
Tamaño WSM	1024 <i>bits</i> [19]
<b>Tráfico vehicular</b>	
densidad vehicular	15,6 y 73,4 <i>veh/km/ln</i> [93]
Max vel.	19 <i>m/s</i> [19]
Tipo de vehículos	Buses y automóviles
<b>Slotted-1-Persistence</b> [66]	
$\tau$	5 <i>ms</i>
<i>Range</i>	500 <i>m</i>
$N_s$	2,3,5,7
<b>TrAD</b> [55]	
$\alpha$	10
# Max.Neighbors	25
$t_i$	5 <i>ms</i>
Max.Range	366 <i>m</i>

#### 4.4. Evaluación del impacto de la modificación de parámetros sobre los mecanismos de diseminación

Para comenzar nuestra discusión sobre el desempeño del mecanismo *Slotted 1-persistence* (expuesto en la sección 3.1.1), debe notarse que, según nuestro conocimiento, los efectos de  $N_s$  (ver ecuación (3.2)) no se han evaluado en la literatura para escenarios de diferente densidad. Los valores  $N_s = 3$  y  $N_s = 5$  son los sugeridos por los autores de este mecanismo para escenarios de baja y alta densidad, respectivamente [66].

A continuación, se presenta una evaluación del desempeño del protocolo considerando

dos valores de  $N_s$  para cada escenario de densidad de tráfico vehicular, para baja densidad empleamos los valores de  $N_s = 2$  y  $N_s = 3$ ; para alta densidad se emplean valores de  $N_s = 5$  y  $N_s = 7$ .

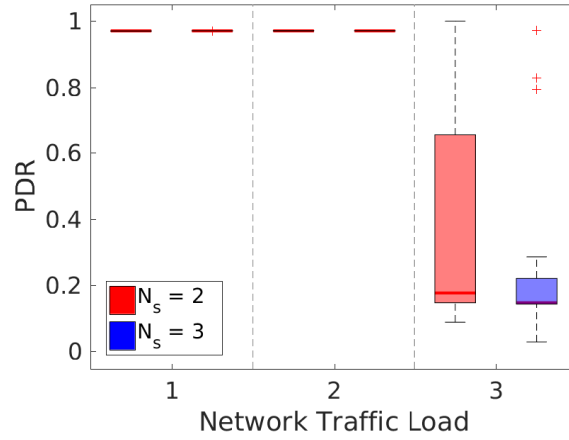
En el escenario de baja densidad, podemos observar en la Figura 4.3 los diferentes comportamientos del protocolo para diferentes cargas de red (en las figuras escrito como *Network traffic load*). En particular, los resultados en las figuras 4.3a y 4.3b muestran que cuando la carga de la red es alta (es decir, 10 Hz de frecuencia de *beaconing* y utilizando mensajes WSA) el PDR se reduce casi a 40 % y la demora de extremo a extremo (*End to end delay*) aumenta en casi 200 %. La velocidad de difusión (*Dissemination speed*) mostrada en la Figura 4.3c aumenta en el mismo escenario, sin embargo debe analizarse junto con el PDR, es decir, lo que ocurre es que existe una alta velocidad de difusión pero para un número reducido de entregas exitosas de paquetes. Además, se podría sugerir usar  $N_s = 2$ , el cual es mejor para cualquier contexto dado en baja densidad vehicular, independientemente de la carga en el tráfico la red de comunicaciones. Aunque el promedio de PDR, retardo de extremo a extremo y velocidad de diseminación son muy similares en ambos casos, se observa que la dispersión de datos es mejor en  $N_s = 2$ .

En el caso del escenario de alta densidad, se observa en la Figura 4.4 que el empleo de  $N_s = 7$  en lugar de  $N_s = 5$  puede resultar en un mejor rendimiento del protocolo cuando la alta densidad vehicular se combina con una carga de red tipo 1 o 2. En tales escenarios, cuando  $N_s = 7$ , el PDR que se muestra en la Figura 4.4a aumenta alrededor de un 10 % en promedio, con un retardo de extremo a extremo reducido y una mayor velocidad de diseminación (ver las figuras 4.4b y 4.4c). Sin embargo, en el caso de la carga de red 3 la velocidad de diseminación disminuye cerca de un 60 % en promedio en comparación con  $N_s = 5$ , en cuyo caso no sería el valor recomendado si las aplicaciones tienen un requisito estricto sobre esta métrica.

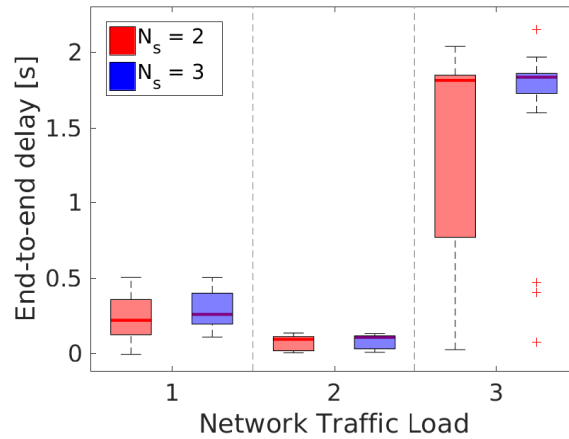
La Figura 4.5 corresponde a la evaluación del protocolo TrAD (Descrito en la sección 3.1.1). Se realizaron pruebas con el protocolo para las dos densidades vehiculares y las diferentes cargas de red. Cabe notar que no se proporcionan valores de parámetros en esta evaluación ya que el protocolo emplea una técnica de retransmisión adaptativa integrada al protocolo.

Los resultados muestran la alta capacidad del protocolo para adaptarse a diferentes escenarios de operación, lo que ofrece buenos resultados incluso cuando el escenario se vuelve más hostil (alta densidad / alta carga de red). Sin embargo, este protocolo implica una complejidad adicional, ya que requiere más capacidad computacional en cada nodo y una sobrecarga adicional agregada a los mensajes tipo (*Basic Safety Message - BSM*).

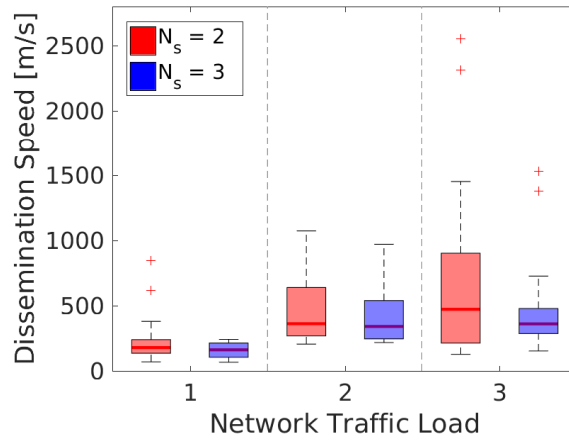




(a) Tasa de entrega de paquetes

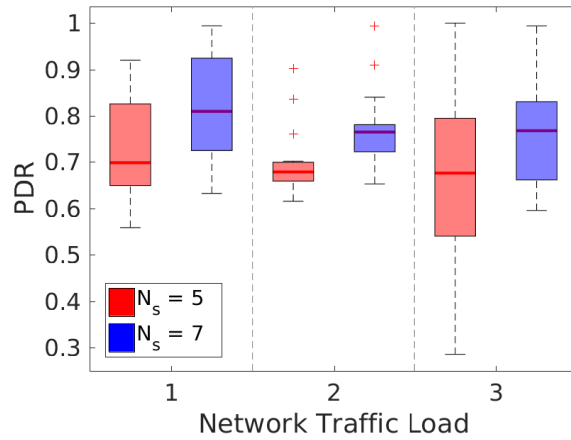


(b) Retardo de extremo a extremo

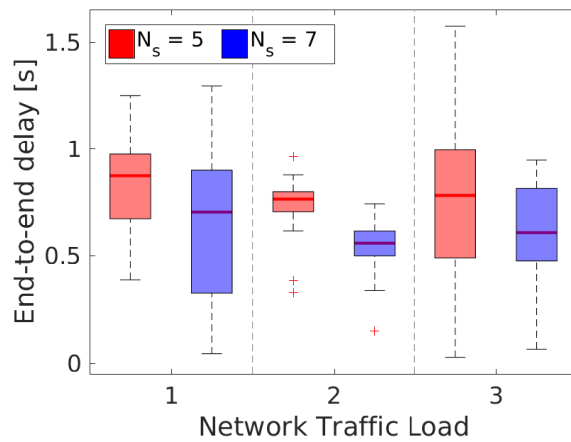


(c) Velocidad de diseminación

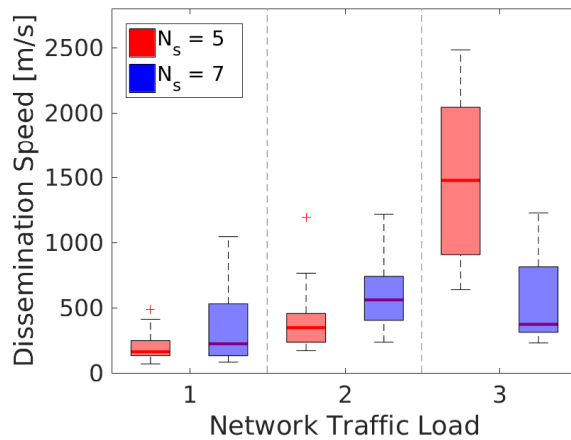
Figura 4.3: Evaluación de *Slotted 1-persistence* para diferentes cargas de la red y baja densidad vehicular  $\lambda = 15,6$  [veh/km/ln], (fuente: Elaboración propia).



(a) Tasa de entrega de paquetes

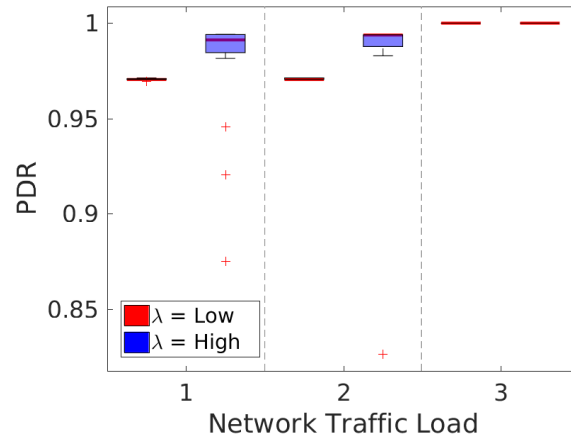


(b) Retardo de extremo a extremo

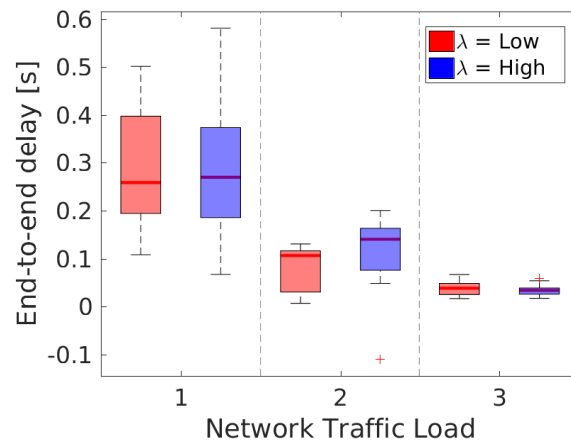


(c) Velocidad de diseminación

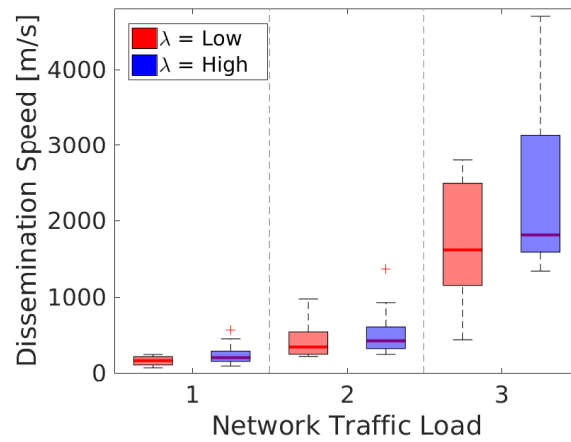
Figura 4.4: Evaluación de *Slotted 1-persistence* para diferentes cargas de la red y alta densidad vehicular  $\lambda = 73,4$  [veh/km/ln],(fuente: Elaboración propia).



(a) Tasa de entrega de paquetes



(b) Retardo de extremo a extremo



(c) Velocidad de diseminación

Figura 4.5: Evaluación de TrAD para diferentes cargas de la red y densidad vehicular  $\lambda$ , (fuente: Elaboración propia).

## 4.5. Diseño del mecanismo de clasificación de escenarios

En esta sección se detalla el proceso de clasificación de escenarios correspondiente a la estimación del tráfico vehicular y clasificación de la carga del tráfico de la red de comunicaciones. Los escenarios de estudio tienen relación con la evaluación del desempeño de los protocolos de disseminación descritos en la Sección 4.4. Por lo tanto, se espera poder determinar los escenarios que afectan el desempeño de los protocolos de disseminación.

### 4.5.1. Estimación del tráfico vehicular

Como ya ha sido mencionado en la sección 4.2, existen trabajos de diversos autores que han desarrollado algoritmos y modelos para la estimación del grado de tráfico vehicular en VANETs. Para el sistema propuesto en este trabajo es fundamental poder conocer el nivel de densidad en la vecindad de un nodo o vehículo pues esta característica tiene directa relación con el funcionamiento de la red inalámbrica, el cual a su vez impacta en el desempeño de diversas aplicaciones y en particular de protocolos orientados a la disseminación de mensajes de seguridad. Las redes vehiculares tienen el potencial de brindar un ambiente cooperativo en el cual la información de cada nodo puede ser compartida a todos los nodos de la red inalámbrica.

En [97] se propone un modelo en el cual, a partir de la información compartida en la red, es posible realizar una estimación de tráfico en tiempo real. Además se caracteriza y define la densidad de tráfico basado en datos obtenidos por la compañía *Skycomp* [98] con el cual se construyen conjuntos difusos para caracterizar los niveles de tráfico observados. La estimación de tráfico se realiza mediante la Ecuación (4.2) según [97]:

$$Density\ Estimation = \frac{NDN}{(d_{NeighFront} + d_{NeighBack}) \cdot N_L}, \quad (4.2)$$

donde  $NDN$  corresponde al número de vecinos detectados en el primer salto de comunicación,  $N_L$  al número de pistas que posee el tramo de carretera en cuestión,  $d_{NeighFront}$  corresponde a la distancia con el vecino más lejano hacia adelante, mientras que  $d_{NeighBack}$  corresponde al vecino más alejado hacia atrás. De esta forma se realiza la estimación de la distancia utilizada por un grupo de vehículos.

Para el caso de modelar la estimación de tráfico para un escenario de intersección, es necesario realizar algunos cambios sobre este modelo de estimación. Se propone entonces un modelo similar pero con algunas modificaciones, tal como se muestra en la Ecuación (4.3):

$$Intersection\ Density\ Estimation = \frac{NDN}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot N_{Li}}. \quad (4.3)$$

Como se trabaja sobre una región de interés podemos fijar la distancia que cubren los vehículos dispuestos dentro del escenario, por lo cual  $NDN$  continua siendo el mismo valor que en el modelo original, mientras que  $S_i$  corresponde a la distancia de los segmento aledaños a la intersección y  $N_{L_i}$  al número de pistas que posee cada segmento, esto debido a que las calles pueden tener diferente número de pistas.

A modo de ejemplo se puede observar en la Figura 4.6 la disposición de los segmentos para el escenario de simulación, con lo cual al aplicar la Ecuación (4.3) se obtiene la estimación de tráfico como sigue:

$$Intersection\ Density\ Estimation = \frac{NDN}{S_1 \cdot 4 + S_2 \cdot 4 + S_3 \cdot 4 + S_4 \cdot 4}. \quad (4.4)$$



Figura 4.6: Segmentos en el escenario, (fuente: Elaboración propia).

Los valores de la longitud de cada segmento se detallan en la Tabla 4.3. Con estos valores se tiene que el modelo solo depende de la cantidad de vecinos detectados por cada nodo dentro del escenario, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Intersection\ Density\ Estimation = \frac{NDN}{2,248} \frac{[veh]}{[Km \cdot ln]}, \quad (4.5)$$

#### 4.5.2. Clasificación de la carga del tráfico de red

En esta sección se presenta la evaluación de diferentes algoritmos propuestos para la clasificación de la carga en el tráfico de la red de comunicaciones, correspondiente a los

Tabla 4.3: Longitud de Segmentos en el escenario, (fuente: Elaboración propia).

Segmento	Longitud [Km]
$S_1$	0.2083
$S_2$	0.2083
$S_3$	0.0768
$S_4$	0.088

escenarios mencionados en la Tabla 4.1. Los modelos de clasificación toman como entrada la información particular de cada nodo referente a las métricas claves detalladas en la Sección 4.2 (CBR, NBR y NTIB) y entregan como resultado la clase correspondiente a la carga de tráfico en la red.

Para las siguientes tres pruebas de clasificación, es decir, para los algoritmos de Árboles de decisión, K vecinos mas cercanos y Máquinas de soporte vectorial, se utilizó la aplicación *Classification Learner App* [22] y los datos obtenidos de los escenarios simulados que corresponden aproximadamente a 5,000 muestras en el escenario de baja densidad.

Para comprender las tablas comparativas entre diferentes versiones del clasificador (tablas 4.5, 4.7 y 4.9) se utilizan las definiciones que se muestran en la Tabla 4.4, en la cual se definen los diferentes grados en cuanto a la velocidad de clasificación y el uso de memoria empleado. Por otro lado, las tablas referentes al desempeño de los clasificadores (tablas 4.6, 4.8 y 4.10), muestran el porcentaje de éxito de la clasificación, correspondiente al conjunto de validación de los modelos entrenados a partir de las muestras mencionadas anteriormente.

Tabla 4.4: Definición de características de clasificadores, (fuente: Adaptada de [3]).

Velocidad		Uso de Memoria	
Rápido	0.01 [s]	Bajo	1 [MB]
Medio	1 [s]	Medio	4 [MB]
Lento	100 [s]	Alto	100 [MB]

#### 4.5.2.1. Árboles de decisión

Los árboles de decisión corresponden a un método que consta de diferentes fases en las cuales, a partir de las características de una muestra, se puede establecer una predicción, decisión o clasificación. Cuando son utilizados como clasificadores son comúnmente llamados árboles de clasificación. En su topología los nodos o raíces del árbol corresponden al valor de las características de una muestra, mientras que las ramas corresponden a un umbral o intervalo de esa característica, que en combinación con todas las demás, entregan un resultado final que es representado como una hoja del árbol.

A medida que se tienen mayores divisiones o ramas, el árbol adquiere mayor complejidad y aumentan los recursos computacionales para su implementación. Sin embargo, este método de clasificación es uno de los mas simples y que utilizan muy pocos recursos computacionales en comparación con otros métodos o algoritmos, por lo que son ampliamente usados en

problemas de minería de datos [99]. En esta implementación se usan tres tipos de arboles para la clasificación:

- **Árbol simple:** Posee un número máximo de 4 divisiones.
- **Árbol Medio:** Posee un número máximo de 20 divisiones.
- **Árbol Complejo:** Posee un número máximo de 100 divisiones.

En la Tabla 4.5, se puede apreciar que la velocidad y uso de memoria para cada tipo de árbol es similar.

Tabla 4.5: Comparación de velocidad de predicción y memoria utilizada para diferentes tipos de árboles, (fuente: [3]).

Clasificador	Velocidad de predicción	Memoria utilizada
Árbol Simple	Rápido	Bajo
Árbol Medio	Rápido	Bajo
Árbol Complejo	Rápido	Bajo

Los resultados para este clasificador se muestran en la tabla 4.6, en la cual es posible observar que mientras más complejo sea el árbol, es decir con mayor número de divisiones o ramas, mejor resultado entrega para la clasificación de las muestras, obteniendo como máximo un 97,8% de muestras clasificadas exitosamente en el conjunto de validación del modelo.

Tabla 4.6: Desempeño para árboles de decisión, (fuente: Elaboración propia).

Algoritmo de clasificación	% de muestras clasificadas exitosamente
Árbol Simple	80.5
Árbol Medio	91.9
Árbol Complejo	97.8

#### 4.5.2.2. K vecinos más cercanos

El método de los k vecinos más cercanos (en inglés, *k-nearest neighbors* KNN) es un método de clasificación supervisada que utiliza diferentes métricas para evaluar la distancia entre muestras en el espacio de las características. De esta forma se puede clasificar una muestra considerando la distancia hacia los puntos de entrenamiento dispuestos en el espacio de características que luego de la evaluación resulten más cercanos, entregando finalmente la clase correspondiente a ese grupo de vecinos [100]. En esta implementación se utilizan seis variantes de este método detalladas a continuación:

- *Fine* KNN: Utiliza la distancia euclidiana y el número determinado de vecinos es 1.
- *Medium* KNN: Utiliza la distancia euclidiana y el número determinado de vecinos es 10.
- *Coarse* KNN: Utiliza la distancia euclidiana y el número determinado de vecinos es 100.

- *Cosine* KNN: Utiliza la similitud coseno y el número determinado de vecinos es 10.
- *Cubic* KNN: Utiliza la distancia cúbica y el número determinado de vecinos es 10.
- *Wighted* KNN: Utiliza la distancia ponderada y el número determinado de vecinos es 10.

En la Tabla 4.7 se puede apreciar la velocidad y uso de memoria para cada variante de KNN.

Tabla 4.7: Comparación de velocidad de predicción y memoria utilizada para variantes del método KNN, (fuente: [3]).

Clasificador	Velocidad de predicción	Memoria utilizada
Fine KNN	Medio	Medio
Medium KNN	Medio	Medio
Coarse KNN	Medio	Medio
Cosine KNN	Medio	Medio
Cubic KNN	Lento	Medio
Wighted KNN	Medio	Medio

Los resultados de la implementación para este clasificador se muestran la Tabla 4.8, en la cual es posible observar que, para el caso del clasificador que utiliza como métrica la distancia ponderada de los vecinos, se obtiene como máximo un rendimiento de un 98 % de muestras clasificadas exitosamente.

Tabla 4.8: Desempeño de clasificación para variantes del método KNN, (fuente: Elaboración propia).

Algoritmo de clasificación	% de muestras clasificadas exitosamente
Fine KNN	97.8
Medium KNN	97.3
Coarse KNN	92.6
Cosine KNN	85.7
Cubic KNN	97.2
Weighted KNN	98

#### 4.5.2.3. Máquina de soporte vectorial

El método de clasificación por máquina de soporte vectorial (en inglés, *Support Vector Machine - SVM*) consiste en la construcción de un hiperplano en el espacio de características que separa las diferentes clases de manera óptima, considerando diferentes funciones de núcleo (en inglés *kernel functions*). De esta forma las muestras se clasifican según la posición relativa con respecto al hiperplano, el cual determina un área donde se asigna cada clase. Aunque inicialmente este método es para clasificar muestras de solo dos clases, se pueden realizar diferentes arquitecturas que permiten clasificar más de dos clases con base en este método, realizando 2 o más etapas de clasificación [100]. En esta implementación se utilizan cinco variantes del método SVM detalladas a continuación:



- *Linear SVM*: Utiliza una función de kernel lineal para la generación del hiperplano.
- *Quadratic SVM*: Utiliza una función de kernel cuadrático para la generación del hiperplano.
- *Fine gaussian SVM*: Utiliza una función de kernel gaussiano para la generación del hiperplano y una escala fina.
- *Medium gaussian SVM*: Utiliza una función de kernel gaussiano para la generación del hiperplano a escala media.
- *Coarse gaussian SVM*: Utiliza una función de kernel gaussiano para la generación del hiperplano a baja escala.

La escala de los clasificadores que utilizan kernel gaussiano guardan relación con el número de muestras etiquetadas como predictores, correspondiente a los datos utilizados para el entrenamiento supervisado.

En la Tabla 4.9, se puede apreciar la velocidad y uso de memoria para cada variante de SVM.

Tabla 4.9: Comparación de velocidad de predicción y memoria utilizada para diferentes variantes de SVM, (fuente: [3]).

Clasificador	Velocidad de predicción	Memoria utilizada
Linear SVM	Medio	Medio
Quadratic SVM	Lento	Alto
Fine gaussian SVM	Lento	Alto
Medium gaussian SVM	Lento	Alto
Coarse gaussian SVM	Lento	Alto

Los resultados de la implementación para este clasificador se muestran en la Tabla 4.10, en la cual es posible observar que para el caso del clasificador que utiliza la función de kernel gaussiano en escala fina, se obtiene como máximo un rendimiento de un 90,3% de muestras clasificadas exitosamente. Este valor se encuentra por debajo del desempeño de los clasificadores anteriormente evaluados.

Tabla 4.10: Desempeño para maquina de soporte vectorial SVM, (fuente: Elaboración propia).

Algoritmo de clasificación	% de muestras clasificadas exitosamente
Linear SVM	78.2
Quadratic SVM	54.6
Fine gaussian SVM	90.3
Medium gaussian SVM	83
Coarse gaussian SVM	73.5

#### 4.5.2.4. Red neuronal artificial - RNA

Una Red neuronal artificial corresponde a un sistema de interconexión de neuronas que colaboran entre sí para producir un estímulo de salida. A continuación se detallan los conceptos

y componentes más importantes para comprender el funcionamiento de una red neuronal:

- **Neurona:** También llamado perceptron, es la unidad más pequeña y básica de la red neuronal, a esta unidad llegan diversos datos o impulsos. En base a la función de activación, cada neurona retorna un valor específico a una entrada en particular. En este trabajo cada neurona utiliza como función de activación una función sigmoideal.
- **Capa de Entrada:** Esta capa la compone un conjunto de neuronas que reciben la primera información, llamado comúnmente el vector de características de las muestras. Estas neuronas procesan la información y la entregan a la capa siguiente. Esta capa contendrá una cantidad determinada de neuronas en relación con la cantidad de características que posean las muestras.
- **Capa Oculta:** Es la capa siguiente a la de entrada. Esta capa se comunica a través de conexiones “sinápticas” con la capa de salida.
- **Capa de Salida:** Es la última capa de la red neuronal. La salida de esta capa constituye la respuesta del sistema en consecuencia de la información entregada a la entrada de la red. La respuesta constituye la clasificación realizada, por lo tanto, el número de neuronas viene dado por la salida que esperamos que la red nos entregue.
- **Pesos:** Una neurona puede estar conectada con muchas neuronas de su capa anterior. El nivel de importancia de cada una de estas conexiones se llama peso sináptico, de esta forma, la neurona considera algunas entradas más importantes que otras. Esto se traduce matemáticamente en la función de activación con la cual la neurona decide qué salida entregar.
- **Bias:** Corresponde a una neurona que entrega un respuesta determinada siempre igual, con el fin de mover el umbral de decisión sobre la neurona siguiente.
- **Función de Activación:** La función de activación corresponde a una función interna de cada neurona que, dependiendo de la entrada, situará el valor de la salida. Por lo general se ocupa el valor de salida cero o uno. Es por esta razón que para modelar esta función se usan funciones sigmoideas (logarítmicas entre 0 y 1 o tangente hiperbólica de -1 a 1).

Para el caso de estudio desarrollado en esta tesis, el entrenamiento de la red neuronal se realiza de manera supervisada utilizando el método de *backpropagation*<sup>1</sup> [100] que ajustará el modelo a los datos correspondientes obtenidos en las simulaciones antes descritas.

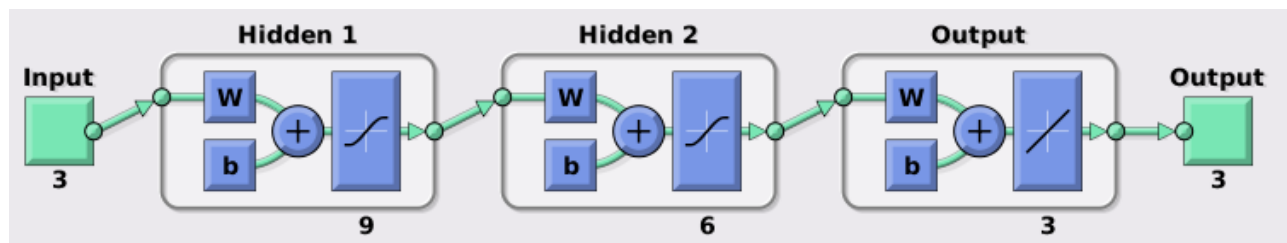


Figura 4.7: Arquitectura de la red neuronal artificial, (fuente: Elaboración propia).

<sup>1</sup>Método con el cual se ajustan los pesos de cada convergencia dentro de la red a partir de la supervisión en la clasificación de una muestra.

Sobre la base de evaluaciones preliminares con diferentes configuraciones de la red neuronal supervisada, variando el número de neuronas en la capa oculta y el número de capas ocultas, es decir utilizando la heurística de la prueba y error, en esta implementación se toma la decisión de emplear la arquitectura presente en la Figura 4.7, en la cual se aprecia la implementación de 2 capas ocultas con 9 y 6 neuronas respectivamente, 3 neuronas a la entrada por el número de características y 3 neuronas en la salida por el número de clases que se busca discriminar. Cabe destacar, que dada la simpleza de la arquitectura de la red, este clasificador posee una velocidad de predicción rápida y un bajo uso de memoria (ver la Tabla 4.4).

Para validar la clasificación se recolectan alrededor de 5,000 muestras en el escenario de baja densidad y hasta 10,000 muestras en el escenario de alta densidad. Se divide el conjunto de datos de la siguiente manera: 65 % del total de datos para el conjunto de entrenamiento, 15 % de los datos para validación y los 20 % restantes de los datos para el conjunto de prueba.

En el escenario de baja densidad, los resultados muestran un 98,9 % (ver la Tabla 4.11) de clasificación exitosa, y para la primera clase, es decir, carga de la red 1 (ver Figura 4.8), el 100 % de los datos de prueba se clasificó exitosamente. Entra tanto, la segunda y tercera clase tienen un mayor nivel de confusión entre ellos (ver Figura 4.8). En el escenario de alta densidad los resultados muestran un 94,5 % de éxito en la clasificación (ver la Tabla 4.11), y un rendimiento similar de confusión inter-clases (ver Figura 4.9). Estos resultados demuestran que el clasificador es una buena herramienta para identificar las diferentes cargas de tráfico de red a partir de mediciones indirectas y distribuidas del comportamiento del protocolo MAC en cada vehículo.

Tabla 4.11: Desempeño para Red neuronal artificial para diferentes densidades vehiculares, (fuente: Elaboración propia).

Algoritmo de clasificación	% de muestras clasificadas exitosamente
RNN en Baja Densidad vehicular	98.9
RNN en alta Densidad vehicular	94.5

Contrariamente a la intuición, para el escenario de mayor densidad, que tiene un mayor número de muestras (debido a que existen más vehículos en el escenario de intersección), el rendimiento del clasificador es peor que en el escenario de menor densidad. Esto podría explicarse porque la métrica NBR podría estar sesgada por posibles colisiones de paquetes en la red de comunicaciones. Además, las otras métricas podrían estar en niveles de saturación, lo que dificulta la discriminación entre las clases 2 y 3.

Finalmente, luego de la evaluación de los diferentes métodos de clasificación se puede mencionar que, el clasificador que muestra un mejor desempeño en el porcentaje de aciertos para el escenario de baja densidad vehicular, es el clasificador basado en redes neuronales con un 99 % de aciertos aproximadamente, por consiguiente, el sistema propuesto adopta este algoritmo para la identificación del escenario de carga de la red de comunicaciones. Además, este clasificador se extiende hacia el escenario de alta densidad vehicular, como muestran los resultados ya discutidos en la Figura 4.9.

**Test Confusion Matrix**

Output Class	1	385 31.5%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	2	0 0.0%	421 34.4%	7 0.6%	98.4% 1.6%
	3	0 0.0%	6 0.5%	405 33.1%	98.5% 1.5%
		100% 0.0%	98.6% 1.4%	98.3% 1.7%	98.9% 1.1%
		1	2	3	
		<b>Target Class</b>			

Figura 4.8: Matriz de confusión para escenario de baja densidad vehicular, (fuente: Elaboración propia).

**Test Confusion Matrix**

Output Class	1	724 34.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	2	0 0.0%	626 29.4%	47 2.2%	93.0% 7.0%
	3	0 0.0%	70 3.3%	661 31.1%	90.4% 9.6%
		100% 0.0%	89.9% 10.1%	93.4% 6.6%	94.5% 5.5%
		1	2	3	
		<b>Target Class</b>			

Figura 4.9: Matriz de confusión para escenario de alta densidad vehicular, (fuente: Elaboración propia).

# Capítulo 5

## Resultados

En este capítulo se desarrolla la discusión de las evaluaciones del desempeño de los mecanismos de disseminación, del sistema propuesto y de la fase de discriminación de escenarios desarrollados en el Capítulo 4.

Gracias a la evaluación del desempeño de los mecanismos de disseminación desarrollada en la Sección 4.4 queda en evidencia que si se varían parámetros en el funcionamiento de un protocolo es posible obtener un mejor desempeño. Las diferencias en la carga del tráfico de la red de comunicaciones afectan de manera considerable el desempeño de los protocolos estudiados, frente a las métricas estudiadas.

Además se expone que, al menos para los dos mecanismos de disseminación escogidos, se tienen diferencias bajo las métricas estudiadas. Sin embargo, la implementación de los dos protocolos implica consumir diferentes recursos en la red como también en cada unidad de procesamiento de los nodos dispuestos en el escenario. Por lo cual se determina que el sistema Context-aware propuesto podría ser beneficioso para perfeccionar protocolos orientados a aplicaciones específicas que posean límites concretos de procesamiento y uso del canal, como el *slotted-1-persistent*. Dado que el sistema puede contener diversos protocolos, el uso de un protocolo en específico no afectaría al uso que otras aplicaciones o contextos puedan demandar.

A partir de las evaluaciones presentadas en la Sección 4.5 se observa que se puede discriminar de manera exitosa entre los diferentes escenarios para la carga de red de comunicaciones, llegando a casi un 99% en la clasificación exitosa, de la carga en el tráfico de la red en un escenario de baja densidad y un 94,5% para un escenario de alta densidad vehicular, usando el clasificador de la red neuronal artificial.

Tomando en consideración el modelo de estimación de tráfico y la clasificación de la carga de la red, el Sistema *Context-aware* propuesto puede mejorar el desempeño de la disseminación realizada en un ambiente en particular de manera considerable. En particular se puede observar que para un escenario de alta densidad vehicular se puede mejorar el desempeño del protocolo *Slotted 1-persistence* entre un 10% a un 60% en las métricas estudiadas con un 94,5% de probabilidad. Dado que identificando la carga en el tráfico de la red de comunica-

ciones y utilizando un  $N_s$  conveniente en cada escenario se pueden obtener mejores resultados bajo la evaluación de las métricas de interés.

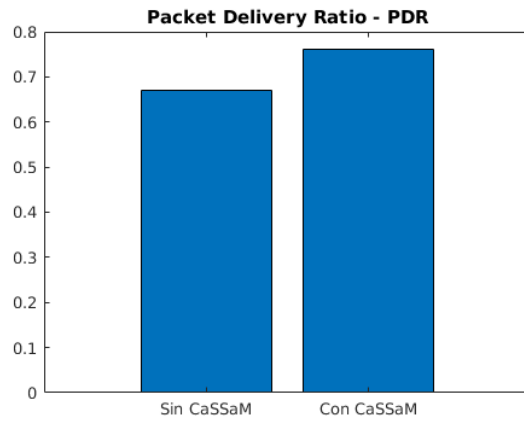
Cabe destacar que se valida el sistema como una herramienta útil para descubrir el escenario en el que se encuentran los nodos de la red vehicular. Aunque las evaluaciones tanto de la estimación de tráfico como de la clasificación de la carga de la red se realizaron en el escenario particular de una intersección urbana, es posible extender estos resultados a intersecciones de características similares. Por lo cual el desempeño del sistema propuesto para otro tipo de escenarios geográficos, se escapa del análisis de los resultados obtenidos en la Sección 4.5.

## 5.1. Estudio de caso particular

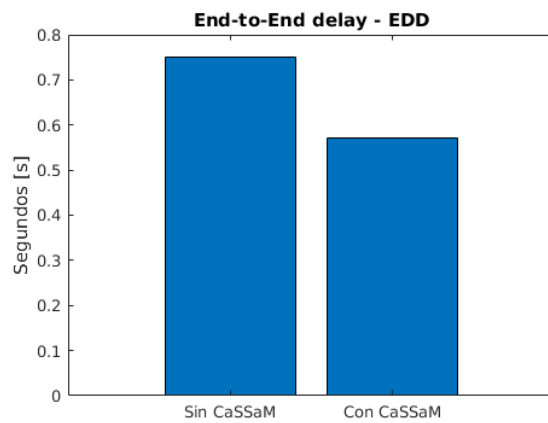
Con el objetivo de ejemplificar de mejor forma el funcionamiento del sistema integrado, a continuación se explica y detalla la contribución que ofrecería el sistema en un caso en particular.

Dado un escenario de baja densidad vehicular, es decir cercano a  $\lambda = 73,4[\text{veh}/\text{km}/\text{ln}]$ , con vehículos dispuestos en una intersección urbana como se detalló en la Sección 4.3, y dada una carga de la red de comunicaciones correspondiente a la segunda clase (definida en la Tabla 4.1), si cada vehículo posee el mecanismo de *slotted-1-persistence* para efectuar la diseminación, en concordancia con las sugerencias del autor en [66], y dadas las condiciones de tráfico, se utilizaría por defecto  $N_s = 5$ . Sin embargo, una vez identificado el contexto con el sistema *CaSSaM* propuesto en esta tesis, al determinar una densidad baja mediante el modelo descrito por la Ecuación (4.3), y una carga de la red tipo 2 mediante la clasificación por red neuronal, el sistema recomendaría el uso de  $N_s = 7$ . Con la modificación de dicho parámetro se observarían las siguientes mejoras (ver Figura 5.1):

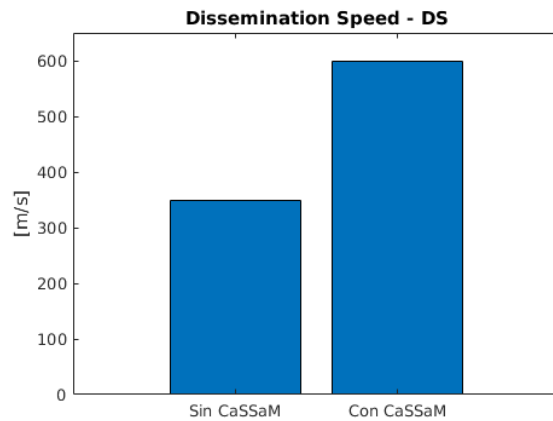
- La razón de entrega de paquetes aumenta en un 10 % (ver Figura 5.1a).
- El retardo de extremo a extremo disminuye un 25 % (ver Figura 5.1b).
- La velocidad de diseminación aumenta en 70 % (ver Figura 5.1c).



(a) Tasa de entrega de paquetes



(b) Retardo de extremo a extremo



(c) Velocidad de diseminación

Figura 5.1: Mejoras en las métricas al utilizar *CaSSaM* para parametrizar el protocolo *Slotted-1-persistence*, (fuente: Elaboración propia).

# Capítulo 6

## Conclusiones y trabajo futuro

### 6.1. Conclusiones y discusión

El trabajo realizado en esta tesis comprende la evaluación de mecanismos de diseminación seleccionados sobre una red vehicular ad-hoc, frente a diferentes condiciones en el tráfico vehicular y de la red de comunicaciones. Además, se presenta el diseño de un sistema que es capaz de diferenciar el contexto vehicular a partir de información no directa obtenida en cada uno de los dos nodos, correspondiente a las dimensiones del contexto vehicular. Los resultados obtenidos en la Sección 4.5 y la Sección 5 confirman las hipótesis planteadas en la Sección 1.3.

Estas hipótesis se cumplen al menos para los escenarios de simulación que se caracterizan en la Sección 4.3. En este sentido, la identificación del contexto lograda en esta tesis, no se limita solo a determinar las características del tráfico vehicular sino que también incluye el estado de la red de comunicaciones. Cabe destacar que la elección de los parámetros para discriminar la carga en el tráfico de la red de comunicaciones resulta ser exitosa, la que permite construir el modelo de clasificación mostrando un resultado de casi el 99 % de acierto en la clasificación usando el clasificador de red neuronal artificial, en el escenario de menor densidad vehicular.

En general, la identificación del contexto es ventajosa para tomar decisiones importantes sobre las comunicaciones en la red *ad-hoc*, por ejemplo, en el ajuste de la frecuencia de *beacons* para garantizar el funcionamiento de las aplicaciones de seguridad. Sin embargo, el sistema propuesto también podría entregar beneficios a aplicaciones que no estén relacionadas con la seguridad en la ruta y que su desempeño dependa directamente con el escenario en el cual se desenvuelven.

Las limitaciones de este trabajo corresponden principalmente a que la implementación de diversos protocolos sobre cada vehículo puede tener inconsistencias al momento de su ejecución, es decir, algunos vehículos pueden utilizar mecanismos de diseminación diferente a la del nodo que emite la información, sujeto a errores en la clasificación. Por otro lado, los modelos de clasificación obtenidos pueden estar sobre-ajustados al escenario de simulación,



además que se observa un grado de saturación cuando la red está sobrecargada que no permite detectar de buena forma el estado de la red en el que se encuentran los nodos.

Realizar una generalización de los resultados a otro tipo de escenarios (geográficos o de utilización de la red) podría ser un poco prematuro. Sin embargo, como se expone en la sección 4.5.1, es posible llevar este modelo a otro tipo de intersecciones donde se adecuen los parámetros para identificar la densidad vehicular. Por lo que se infiere que este estudio puede ser extrapolado a intersecciones urbanas de características similares al escenario desarrollado en esta tesis.

Para extender el funcionamiento de éste sistema hacia otras características en el escenario o incluso para otras aplicaciones que no sean la diseminación de mensajes de emergencia, se puede seguir la metodología expuesta en este documento en la Sección 1.5. Básicamente la extensión es posible ajustando los modelos que caractericen el contexto de las redes donde se busca aplicar.

## 6.2. Trabajo Futuro

En el trabajo futuro, se espera poder extender las capacidades del sistema CASSaM, considerando dentro de las simulaciones, nuevos escenarios referentes al tipo de intersección y uso de la red de comunicaciones evaluando el desempeño del sistema completo en tiempo real. En el corto plazo, es posible simular otros escenarios de densidad vehicular y carga de la red, para obtener una parametrización de los mecanismos de diseminación mucho más granular.

Por último, el clasificador de la carga del tráfico en la red podría extenderse para discriminar otros niveles de tráfico así como para ampliar su funcionamiento en escenarios de diferentes características geográficas. Este clasificador posee un potencial para ser usado en algoritmos de transmisión adaptativa como los trabajos desarrollados en [74, 101] u otras aplicaciones que dependen del escenario de la red, porque para estos algoritmos ser conscientes del contexto es clave para mejorar su rendimiento.

# Capítulo 7

## Anexos

### Apéndice A

#### 7.1. Publicaciones relacionadas a la tesis

En el transcurso de la realización de este trabajo se han producido publicaciones científicas tanto a nivel local como internacional, las cuales se detallan a continuación:

- Conferencias

1. A. Yáñez, S. Céspedes, and J. Rubio-Loyola, “Towards a Context-aware Dissemination Mechanism for Vehicular Networks”, III Spring School on Networks, Pucón, Chile, Octubre, 2017.
2. A. Yáñez, S. Céspedes, and J. Rubio-Loyola, “CASSaM: Context-aware System for Safety Messages Dissemination in VANETs”, IEEE Colombian Conference on Communicatios and Computing, Medellin, Colombia, Mayo, 2018.
3. A. Yáñez, S. Céspedes, and J. Rubio-Loyola, “Artificial Neural Network Classifier for Network Traffic Load in Vehicular Ad-hoc Networks”, XIV IEEE Escuela de Verano Latinoamericana en Inteligencia Computacional, Santiago, Chile, Diciembre, 2018.

- Revistas:

1. A. Yáñez, S. Céspedes, and J. Rubio-Loyola, “A Baseline for Context-aware System for Safety Messages Dissemination in VANETs”, Aceptado, REDIN Revista facultad de ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellin, 2018.
2. A. Yáñez, S. Céspedes, and J. Rubio-Loyola, “Performance Evaluation of a Context-aware System Messages Dissemination in VANETs”, en Preparación, 2019.

## Apéndice B

### 7.2. Códigos de los escenarios de simulación

Las clases programadas en c++ se pueden encontrar en el repositorio siguiente:

- [https://github.com/alexisyanez/CA\\_System](https://github.com/alexisyanez/CA_System)

### 7.3. Código de Clasificador de Redes Neuronales

```
net = feedforwardnet([9 6]);
%set early stopping parameters
net.divideParam.trainRatio = 0.65; % training set [%]
net.divideParam.valRatio = 0.15; % validation set [%]
net.divideParam.testRatio = 0.20; % test set [%]
%train a neural network
[net, tr, Y, E] = train(net, IN', TA');
%show net
view(net)

%x = inputs, t = targets, y = outputs

% Training Confusion Plot Variables
x= IN';
t= TA';
y=Y;
yTrn = net(x(:, tr.trainInd));

tTrn = t(:, tr.trainInd);

% Validation Confusion Plot Variables

yVal = net(x(:, tr.valInd));

tVal = t(:, tr.valInd);

% Test Confusion Plot Variables

yTst = net(x(:, tr.testInd));

tTst = t(:, tr.testInd);
```

```
% Overall Confusion Plot Variables
```

```
yAll = net(x);
```

```
tAll = t;
```

```
% Plot Confusion
```

```
figure (1)
```

```
plotconfusion(tTrn, yTrn, 'Training', tVal, yVal, 'Validation', tTst, yTst, 'Te
```

```
figure (2)
```

```
plotroc(tTrn, yTrn, 'Training', tVal, yVal, 'Validation', tTst, yTst, 'Test', tA
```

```
Dataset Normalizado
```

```
IN2=Dataset2(:,2:4);
```

```
TA2=ind2vec(Dataset2(:,1)')';
```

```
net = feedforwardnet([9 6]);
```

```
% set early stopping parameters
```

```
net.divideParam.trainRatio = 0.65; % training set [%]
```

```
net.divideParam.valRatio = 0.15; % validation set [%]
```

```
net.divideParam.testRatio = 0.20; % test set [%]
```

```
% train a neural network
```

```
[net, tr, Y, E] = train(net, IN2', TA2');
```

```
% show net
```

```
view(net)
```

```
% x = inputs, t = targets, y = outputs
```

```
% Training Confusion Plot Variables
```

```
x= IN2';
```

```
t= TA2';
```

```
y=Y;
```

```
yTrn = net(x(:, tr.trainInd));
```

```
tTrn = t(:, tr.trainInd);
```

```
% Validation Confusion Plot Variables
```

```
yVal = net(x(:, tr.valInd));
```

```
tVal = t(:, tr.valInd);
```

```
% Test Confusion Plot Variables
```

```

yTst = net(x(:,tr.testInd));

tTst = t(:,tr.testInd);

% Overall Confusion Plot Variables

yAll = net(x);

tAll = t;

% Plot Confusion
figure (3)
plotconfusion(tTst, yTst, 'Test')

h= figure (4)
plotroc(tTst, yTst, 'Test')

%magnify(h)

% set (h, 'Units', 'Inches');
% pos = get(h, 'Position');
% set (h, 'PaperPositionMode', 'Auto', 'PaperUnits', 'Inches', 'PaperSize', [pos(3)
% magnifyOnFigure(h, 'magnifierShape', 'ellipse', 'initialPositionMagnifier', [1

```

## Dataset High Density

```

%DataSet=[NetFeatSlottedHighDen2];

IN2=DataSetHD(:,2:4);
TA2=ind2vec(DataSetHD(:,1)')';
net = feedforwardnet([9 6]);
%set early stopping parameters
net.divideParam.trainRatio = 0.65; % training set [%]
net.divideParam.valRatio = 0.15; % validation set [%]
net.divideParam.testRatio = 0.20; % test set [%]
%train a neural network
[net,tr,Y,E] = train(net,IN2',TA2');
%show net
view(net)

```

```

%x = inputs, t = targets, y = outputs

```

```

% Training Confusion Plot Variables

```

```

x= IN2';
t= TA2';
y=Y;
yTrn = net(x(:,tr.trainInd));

tTrn = t(:,tr.trainInd);

% Validation Confusion Plot Variables

yVal = net(x(:,tr.valInd));

tVal = t(:,tr.valInd);

% Test Confusion Plot Variables

yTst = net(x(:,tr.testInd));

tTst = t(:,tr.testInd);

% Overall Confusion Plot Variables

yAll = net(x);

tAll = t;

% Plot Confusion
figure (5)
plotconfusion(tTst, yTst, 'Test')

h= figure (6)
plotroc(tTst, yTst, 'Test')

%magnify(h)

% set(h,'Units','Inches');
% pos = get(h,'Position');
% set(h,'PaperPositionMode','Auto','PaperUnits','Inches','PaperSize',[pos(3), p
% magnifyOnFigure(h,'magnifierShape','ellipse','initialPositionMagnifier',[125

```

# Bibliografía

- [1] G. Karagiannis, O. Altintas, E. Ekici, G. Heijenk, B. Jarupan, K. Lin, and T. Weil, “Vehicular networking: A survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions,” *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 13, no. 4, pp. 584–616, 2011.
- [2] Y. J. Li, “An overview of the dsrc/wave technology,” in *International Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness*. Springer, 2010, pp. 544–558.
- [3] Mathworks. Choose a classifier. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/stats/choose-a-classifier.html>
- [4] Veins. vehicular in network simulation. [Online]. Available: <http://veins.car2x.org/>
- [5] Y. Bi, H. Zhou, W. Zhuang, and H. Zhao, *Safety Message Broadcast in Vehicular Networks*. Springer, 2016.
- [6] ARADA. Locomate classic on board unit obu-200. [Online]. Available: <http://www.aradasystems.com/>
- [7] L. Nassar, A. Jundi, K. Golestan, F. Sattar, F. Karray, M. Kamel, and S. Boumaiza, “Vehicular ad-hoc networks (vanets): capabilities, challenges in context-aware processing and communication gateway,” *Autonomous and Intelligent Systems*, pp. 42–49, 2012.
- [8] M. Bakhouya, “Broadcasting approaches for mobile ad hoc networks,” in *High Performance Computing and Simulation (HPCS), 2013 International Conference on*. IEEE, 2013, pp. 705–707.
- [9] W. H. Organization, *Global status report on road safety 2015*. World Health Organization, 2015.
- [10] L. Figueiredo, I. Jesus, J. T. Machado, J. R. Ferreira, and J. M. De Carvalho, “Towards the development of intelligent transportation systems,” in *Intelligent Transportation Systems, 2001. Proceedings. 2001 IEEE*. IEEE, 2001, pp. 1206–1211.
- [11] M. Alsabaan, K. Naik, T. Khalifa, and A. Nayak, “Applying vehicular networks for reduced vehicle fuel consumption and co2 emissions,” in *Intelligent Transportation Sys-*

tems. InTech, 2012.

- [12] M. Torrent-Moreno, M. Killat, and H. Hartenstein, “The challenges of robust inter-vehicle communications,” in *IEEE 62nd Vehicular Technology Conference*, vol. 1, 2005.
- [13] K. D. Kusano and H. C. Gabler, “Comparison of expected crash and injury reduction from production forward collision and lane departure warning systems,” *Traffic injury prevention*, vol. 16, no. sup2, pp. S109–S114, 2015.
- [14] M. Li, K. Zeng, and W. Lou, “Opportunistic broadcast of event-driven warning messages in vehicular ad hoc networks with lossy links,” *Computer Networks*, vol. 55, no. 10, pp. 2443–2464, 2011.
- [15] H. Vahdat-Nejad, A. Ramazani, T. Mohammadi, and W. Mansoor, “A survey on context-aware vehicular network applications,” *Vehicular Communications*, vol. 3, pp. 43–57, 2016. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214209616000036>
- [16] M. Baldauf, S. Dustdar, and F. Rosenberg, “A survey on context-aware systems,” *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, vol. 2, no. 4, p. 263, 2007. [Online]. Available: <http://www.inderscience.com/link.php?id=14070>
- [17] Y.-C. Tseng, S.-Y. Ni, Y.-S. Chen, and J.-P. Sheu, “The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network,” *Wireless networks*, vol. 8, no. 2/3, pp. 153–167, 2002.
- [18] Omnet. Objective modular network testbed in c++. [Online]. Available: <https://omnetpp.org/doc/omnetpp/manual/>
- [19] C. Sommer, R. German, and F. Dressler, “Bidirectionally coupled network and road traffic simulation for improved ivc analysis,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 10, no. 1, pp. 3–15, 2011.
- [20] SUMO. Simulation of urban mobility. [Online]. Available: <http://sumo.dlr.de/index.html>
- [21] A. Wegener, M. Piórkowski, M. Raya, H. Hellbrück, S. Fischer, and J.-P. Hubaux, “Traci: an interface for coupling road traffic and network simulators,” in *Proceedings of the 11th communications and networking simulation symposium*. ACM, 2008, pp. 155–163.
- [22] Mathworks. Classification learner app, chose a classifier. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/stats/classification-learner-app.html>
- [23] H. Demuth and M. Beale, “Neural network toolbox for use with matlab – user’s guide, natick, mass: Mathworks,” 2001.
- [24] H. Moustafa and Y. Zhang, *Vehicular Networks: Techniques, Standards, and Applications*, 1st ed. Boston, MA, USA: Auerbach Publications, 2009.



- [25] M. Barbeau and E. Kranakis, *Principles of ad-hoc networking*. John Wiley & Sons, 2007.
- [26] S. Al-sultan, M. M. Al-doori, A. H. Al-bayatti, and H. Zedan, “Journal of Network and Computer Applications A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 37, pp. 380–392, 2014. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2013.02.036>
- [27] H. A. Omar, W. Zhuang, and L. Li, “Gateway placement and packet routing for multi-hop in-vehicle internet access,” *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, vol. 3, no. 3, pp. 335–351, 2015.
- [28] T. H. Luan, L. X. Cai, J. Chen, X. S. Shen, and F. Bai, “Engineering a distributed infrastructure for large-scale cost-effective content dissemination over urban vehicular networks,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 63, no. 3, pp. 1419–1435, 2014.
- [29] Y. Toor, P. Muhlethaler, and A. Laouiti, “Vehicle ad hoc networks: Applications and related technical issues,” *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 10, no. 3, 2008.
- [30] X. Ma, J. Zhang, X. Yin, and K. S. Trivedi, “Design and analysis of a robust broadcast scheme for vanet safety-related services,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 61, no. 1, pp. 46–61, 2012.
- [31] B. Hassanabadi and S. Valaee, “Reliable periodic safety message broadcasting in vanets using network coding,” *IEEE transactions on wireless communications*, vol. 13, no. 3, pp. 1284–1297, 2014.
- [32] E. Lee, E.-K. Lee, M. Gerla, and S. Y. Oh, “Vehicular cloud networking: architecture and design principles,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 148–155, 2014.
- [33] C. Rezende, A. Boukerche, H. S. Ramos, and A. A. Loureiro, “A reactive and scalable unicast solution for video streaming over vanets,” *IEEE Transactions on Computers*, vol. 64, no. 3, pp. 614–626, 2015.
- [34] H. Xie, A. Boukerche, and A. A. Loureiro, “A multipath video streaming solution for vehicular networks with link disjoint and node-disjoint,” *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 26, no. 12, pp. 3223–3235, 2015.
- [35] R. Chen, W.-L. Jin, and A. Regan, “Broadcasting safety information in vehicular networks: issues and approaches,” *IEEE network*, vol. 24, no. 1, 2010.
- [36] E. Schoch, F. Kargl, and M. Weber, “Communication patterns in vanets,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 46, no. 11, 2008.
- [37] L. Le, A. Festag, R. Baldessari, and W. Zhang, “Vehicular wireless short-range communication for improving intersection safety,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 11, 2009.

- [38] H. A. Omar, N. Lu, and W. Zhuang, “Wireless access technologies for vehicular network safety applications,” *IEEE Network*, vol. 30, no. 4, pp. 22–26, 2016.
- [39] O. M. H. Rehman, H. Bourdouceu, and M. Ould-Khaoua, “Forward link quality estimation in vanets for sender-oriented alert messages broadcast,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 58, pp. 23–41, 2015.
- [40] W. Benrhaim, A. S. Hafid, and P. K. Sahu, “Multi-hop reliability for broadcast-based vanet in city environments,” in *Communications (ICC), 2016 IEEE International Conference on*. IEEE, 2016, pp. 1–6.
- [41] T. H. Meireles, “Wireless protocols to support vehicular safety applications,” Ph.D. dissertation, Universidade de Aveiro (Portugal), 2015.
- [42] T. J. Triggs, W. G. Harris *et al.*, “Reaction time of drivers to road stimuli,” 1982.
- [43] IEEE. Ieee standar association. [Online]. Available: <http://standards.ieee.org/>
- [44] I. . W. Group *et al.*, “Ieee standard for wireless access in vehicular environments-security services for applications and management messages,” *IEEE Std*, pp. 1609–2, 2016.
- [45] —, “Ieee standard for wireless access in vehicular environments (wave)-multi-channel operation,” *IEEE Std*, pp. 1609–4, 2016.
- [46] ETSI. European telecommunications standards institute. [Online]. Available: <http://www.etsi.org/>
- [47] T. ETSI, “Intelligent transport systems (its); vehicular communications; basic set of applications; part 2: Specification of cooperative awareness basic service,” *Draft ETSI TS*, vol. 20, pp. 448–451, 2011.
- [48] —, “102 637-3, intelligent transport systems (its); vehicular communications; basic set of application; part 3: Specification of decentralized environmental notification basic service,” *ETSI, Sophia Antipolis Cedex, France*, 2010.
- [49] ITU. International telecommunication unione. [Online]. Available: <https://www.itu.int/>
- [50] S. SECTOR and O. ITU, “Series h: Audiovisual and multimedia systems mobility and collaboration procedures–security for mobile multimedia systems and services,” 2004.
- [51] J. B. Kenney, “Dedicated short-range communications (dsrc) standards in the united states,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 7, pp. 1162–1182, July 2011.
- [52] IETF. Ip wireless access in vehicular environments. [Online]. Available: <https://datatracker.ietf.org/wg/ipwave/about/>
- [53] R. A. Uzcátegui, A. J. De Sucre, and G. Acosta-Marum, “Wave: A tutorial,” *IEEE Communications magazine*, vol. 47, no. 5, 2009.

- [54] “Ieee standard for information technology–telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks–specific requirements part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications,” *IEEE Std 802.11-2012 (Revision of IEEE Std 802.11-2007)*, pp. 1–2793, March 2012.
- [55] B. Tian, K. M. Hou, and H. Zhou, “The traffic adaptive data dissemination (TrAD) protocol for both urban and highway scenarios,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 6, p. 920, jun 2016. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27338393><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4934346><http://www.mdpi.com/1424-8220/16/6/920>
- [56] S. Poslad, “Context-aware systems,” *Ubiquitous Computing: Smart Devices, Environments and Interactions*, pp. 213–244, 2009.
- [57] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons, “The active badge location system,” *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, vol. 10, no. 1, pp. 91–102, 1992.
- [58] K. Abrougui, A. Boukerche, and R. W. N. Pazzi, “Design and evaluation of context-aware and location-based service discovery protocols for vehicular networks,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 12, no. 3, pp. 717–735, 2011.
- [59] W. Woernd and R. Eigner, “Collaborative, context-aware applications for inter-networked cars,” in *Proceedings of the Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, WETICE*. IEEE, 2007, pp. 180–185. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4407149/>
- [60] R. Kumar, M. Dave *et al.*, “A review of various vanet data dissemination protocols,” *International Journal of u-and e-Service, Science and Technology*, vol. 5, no. 3, pp. 27–44, 2012.
- [61] N. Kaur and A. Singh, “A survey on data dissemination protocols used in vanets,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 120, no. 23, 2015.
- [62] O. K. Tonguz, N. Wisitpongphan, and F. Bai, “Dv-cast: A distributed vehicular broadcast protocol for vehicular ad hoc networks,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 17, no. 2, 2010.
- [63] A. Rahman, W. Olesinski, and P. Gburzynski, “Controlled flooding in wireless ad-hoc networks,” in *International Workshop on Wireless Ad-Hoc Networks, 2004*. IEEE, 2004, pp. 73–78.
- [64] C. E. Rizzo Bobbio, J. L. Villarroel Salcedo, and F. Lera García, “Propagation, localization and navigation in tunnel-like environments,” Ph.D. dissertation, Universidad de Zaragoza, Prensas de la Universidad.
- [65] C. Liu and C. Chigan, “Rpb-md: Providing robust message dissemination for vehicular ad hoc networks,” *Ad Hoc Networks*, vol. 10, no. 3, pp. 497–511, 2012.

- [66] N. Wisitpongphan, O. Tonguz, J. Parikh, P. Mudalige, F. Bai, and V. Sadekar, "Broadcast storm mitigation techniques in vehicular ad hoc networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 14, no. 6, pp. 84–94, 2007.
- [67] Y. Zhu, B. Xu, X. Shi, and Y. Wang, "A survey of social-based routing in delay tolerant networks: Positive and negative social effects," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, no. 1, pp. 387–401, 2013.
- [68] Y. Cao and Z. Sun, "Routing in delay/disruption tolerant networks: A taxonomy, survey and challenges," *IEEE Communications surveys & tutorials*, vol. 15, no. 2, pp. 654–677, 2013.
- [69] C. Sommer, D. Eckhoff, and F. Dressler, "Ivc in cities: Signal attenuation by buildings and how parked cars can improve the situation," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 13, no. 8, pp. 1733–1745, 2014.
- [70] C. Sommer, S. Joerer, M. Segata, O. K. Tonguz, R. L. Cigno, and F. Dressler, "How shadowing hurts vehicular communications and how dynamic beaconing can help," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 14, no. 7, pp. 1411–1421, 2015.
- [71] R. S. Schwartz, R. R. Barbosa, N. Meratnia, G. Heijenk, and H. Scholten, "A directional data dissemination protocol for vehicular environments," *Computer Communications*, vol. 34, no. 17, pp. 2057–2071, 2011.
- [72] M. Hager, L. Wernecke, C. Schneider, and J. Seitz, "Vehicular ad hoc networks: Multi-hop information dissemination in an urban scenario," in *Telecommunications and Signal Processing (TSP), 2015 38th International Conference on*. IEEE, 2015, pp. 65–70.
- [73] I.-H. Bae, "An intelligent broadcasting algorithm for early warning message dissemination in vanets," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2015, 2015.
- [74] R. Oliveira, C. Montez, A. Boukerche, and M. S. Wangham, "Reliable data dissemination protocol for VANET traffic safety applications," *Ad Hoc Networks*, vol. 63, pp. 30–44, 2017.
- [75] A. Galaviz-Mosqueda, S. Villarreal-Reyes, H. Galeana-Zapien, J. Rubio-Loyola, and R. Rivera-Rodriguez, "Genetic tuning of fuzzy rule-based systems for multi-hop broadcast protocols for VANETs," *Telecommunication Systems*, vol. 63, no. 3, pp. 399–420, 2016. [Online]. Available: "<http://dx.doi.org/10.1007/s11235-015-0129-z>"
- [76] G. Tan, Y. Yin, J. Bu, and N. Ding, "An ivc broadcast scheme based on traffic phase for emergency message dissemination at road intersection," in *Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS), 2013 Seventh International Conference on*. IEEE, 2013, pp. 59–65.
- [77] L. A. Villas, A. Boukerche, G. Maia, R. W. Pazzi, and A. A. Loureiro, "Drive: An efficient and robust data dissemination protocol for highway and urban vehicular ad hoc networks," *Computer Networks*, vol. 75, pp. 381–394, 2014. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389128614003673>

- [78] S. A. A. Shah, E. Ahmed, F. Xia, A. Karim, M. Shiraz, and R. M. Noor, “Adaptive beaconing approaches for vehicular ad hoc networks: a survey,” *IEEE Systems Journal*, 2016.
- [79] M. Segata, F. Dressler, and R. L. Cigno, “Jerk beaconing: A dynamic approach to platooning,” in *Vehicular Networking Conference (VNC), 2015 IEEE*. IEEE, 2015, pp. 135–142.
- [80] A. Dua, N. Kumar, and S. Bawa, “An energy efficient data dissemination and information retrieval scheme for vanet,” in *Data Science and Data Intensive Systems (DSDIS), 2015 IEEE International Conference on*. IEEE, 2015, pp. 427–434.
- [81] H. Zarza, H. Karimi, S. Mohammad, S. Y. Hosseini, H. R. Ataeian, and H. Rostami, “Cagfp: context aware geocast forwarding protocol for inter-vehicle communication,” in *21st Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), IEEE, Mashhad, Iran*, 2013.
- [82] N. Alsharif, S. Cespedes, and X. S. Shen, “ICAR: Intersection-based connectivity aware routing in vehicular ad hoc networks,” in *IEEE International Conference on Communications*. IEEE, jun 2013, pp. 1736–1741. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6654769/>
- [83] R. B. Soares, E. F. Nakamura, C. M. Figueiredo, and A. A. Loureiro, “VCARP: Vehicular Ad-hoc Networks context-aware routing protocol,” in *Proceedings - IEEE Symposium on Computers and Communications*. IEEE, jul 2012, pp. 000 442–000 447. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6249336/>
- [84] P. Shankar, T. Nadeem, J. Rosca, and L. Iftode, “CARS: Context-aware rate selection for vehicular networks,” in *Proceedings - International Conference on Network Protocols, ICNP*. IEEE, oct 2008, pp. 1–12. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4697019/>
- [85] F. Dressler, F. Klingler, C. Sommer, and R. Cohen, “Not All VANET Broadcasts Are the Same: Context-Aware Class Based Broadcast,” *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. PP, no. 99, pp. 1–14, 2017.
- [86] T. S. Chen, N. C. Wang, G. J. Yu, and H. J. Chen, “A context-aware service framework for mobile ad hoc networks,” *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, vol. 22, no. 4, p. 249, 2016. [Online]. Available: <http://www.inderscience.com/link.php?id=78115>
- [87] D. Böhmländer, T. Dirndorfer, A. H. Al-Bayatti, and T. Brandmeier, “Context-aware system for pre-triggering irreversible vehicle safety actuators,” *Accident Analysis and Prevention*, vol. 103, pp. 72–84, 2017. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2017.02.015>
- [88] Z. Amjad, W. C. Song, K. J. Ahn, and M. Shoaib, “Context aware data aggregation in vehicular ad-hoc networks,” in *NOMS 2016 - 2016 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*. IEEE, apr 2016, pp. 1257–1260. [Online]. Available:

<http://ieeexplore.ieee.org/document/7502998/>

- [89] S. Yi, W. Lai, D. Tang, and H. Wang, “A context-aware MAC protocol in VANET based on Bayesian Networks,” in *9th International Conference on Communications and Networking in China*. IEEE, aug 2014, pp. 191–196. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7054284/>
- [90] J. F. Kurose and K. W. Ross, *Computer networking: a top-down approach*. Addison Wesley Boston, USA, 2009, vol. 4.
- [91] M. Gramaglia, M. Calderon, and C. J. Bernardos, “Abeona monitored traffic: Vanet-assisted cooperative traffic congestion forecasting,” *IEEE vehicular technology magazine*, vol. 9, no. 2, pp. 50–57, 2014.
- [92] L. Rui, Y. Zhang, H. Huang, X. Qiu, and S. Technology, “A New Traffic Congestion Detection and Quantification Method Based on Comprehensive Fuzzy Assessment in VANET,” vol. 12, no. 1, pp. 41–60, 2018.
- [93] R. Bauza, J. Gozalvez, and J. Sanchez-Soriano, “Road traffic congestion detection through cooperative Vehicle-to-Vehicle communications,” in *Proceedings - Conference on Local Computer Networks, LCN*. IEEE, oct 2010, pp. 606–612. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5735780/>
- [94] M. Milojevic and V. Rakocevic, “Distributed road traffic congestion quantification using cooperative VANETs,” *Ad Hoc Networking Workshop (MED-HOC-NET), 2014 13th Annual Mediterranean*, pp. 203–210, 2014.
- [95] M. B. Younes and A. Boukerche, “Efficient traffic congestion detection protocol for next generation VANETs,” *IEEE International Conference on Communications*, pp. 3764–3768, 2013.
- [96] E. Van Eenennaam, “A survey of propagation models used in vehicular ad hoc network (vanet) research,” *Paper written for course Mobile Radio Communication, University of Twente*, vol. 46, 2008.
- [97] R. Bauza and J. Gozalvez, “Traffic congestion detection in large-scale scenarios using vehicle-to-vehicle communications,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 36, no. 5, pp. 1295–1307, 2013. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2012.02.007>
- [98] Skycomp inc. specializing in complex traffic data collection. [Online]. Available: <http://www.skycomp.com/>
- [99] L. Rokach and O. Z. Maimon, *Data mining with decision trees: theory and applications*. World scientific, 2008, vol. 69.
- [100] R. O. Duda, P. E. Hart, and D. G. Stork, *Pattern classification*. John Wiley & Sons, 2012.

- [101] S. Bolufé, S. Montejo-Sánchez, C. Azurdia-Meza, S. Céspedes, R. Demos Souza, and E. M. García, “Dynamic Control of Beacon Transmission Rate and Power with Position Error Constraint in Cooperative Vehicular Networks,” in *33rd ACM/SIGAPP Symposium On Applied Computing (SAC), Pau, France*, Apr 2018.