

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Proyecto Técnico:

ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE COMPUTACIÓN

DE NUBE ESPORÁDICA EN VANET'S

MEDIANTE USO DE SOFTWARE LIBRE

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

Ingeniero Electrónico

Autores:

Romeo Alejandro Orellana Carreño

David Andrés Zamora Becerra

Tutor:

Dr. Ing. Jack Fernando Bravo Torres. PhD.

Cuenca – Ecuador

Noviembre 2016

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros , **Romeo Alejandro Orellana Carreño** y **David Andrés Zamora Becerra** con documento de identificación No. 0105236798 y 0105804009, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado intitulado: “**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE COMPUTACIÓN DE NUBE ESPORÁDICA EN VANET’S MEDIANTE USO DE SOFTWARE LIBRE**”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título **INGENIERO ELECTRÓNICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Romeo Alejandro Orellana Carreño

C. C. 0105804009



David Andrés Zamora Becerra

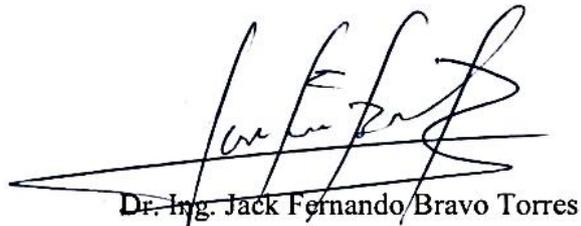
C. C. 0105117709

Cuenca, noviembre del 2016

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “**ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE COMPUTACIÓN DE NUBE ESPORÁDICA EN VANET’S MEDIANTE USO DE SOFTWARE LIBRE**”, realizado por Romeo Alejandro Orellana Carreño y David Andrés Zamora Becerra, obteniendo el **PROYECTO TÉCNICO** que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre del 2016.



Dr. Ing. Jack Fernando Bravo Torres

Tutor del trabajo de titulación.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Romeo Alejandro Orellana Carreño** y **David Andrés Zamora Becerra** con documento de identificación No. 0105236798 y 0105804009, autores del trabajo de titulación “ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE COMPUTACIÓN DE NUBE ESPORÁDICA EN VANET’S MEDIANTE USO DE SOFTWARE LIBRE”, certifico que el total contenido del PROYECTO TÉCNICO son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, noviembre del 2016.



Romeo Alejandro Orellana Carreño

C. C. 0105804009



David Andrés Zamora Becerra

C. C. 0105117709

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

Índice de contenidos	6
Índice de figuras	8
Índice de tablas	9
Abreviaturas usadas	10
Agradecimientos	11
Dedicatoria	12
RESUMEN.	13
1 INTRODUCCIÓN.	15
1.1 REDES VEHICULARES AD-HOC (VANETS).	16
1.1.1 ENCAMINAMIENTO.	16
1.2 APLICACIONES DE LAS REDES VEHICULARES.	18
1.3 CLOUD COMPUTING.	18
1.4 SOFTWARES DE SIMULACIÓN.	19
1.5 PROBLEMA.	21
1.6 OBJETIVOS.	22
2 ESTADO DEL ARTE.	23
2.1 REDES VEHICULARES.	24
2.1.1 TIPOS DE REDES VANET.	25
2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS VANET'S.	27
2.1.3 COMPONENTES DE LAS REDES VANET'S.	28
2.1.4 ESTÁNDARES DE LAS REDES VEHICULARES.	29
2.1.5 APLICACIONES DE LAS REDES VEHICULARES.	30
2.2 PROTOCOLOS DE ENCAMINAMIENTO PARA REDES VEHICULARES.	32
2.3 NODOS VIRTUALES.	37
2.3.1 VNIBR.	40
2.3.2 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA CAPA VIRTUAL.	42
2.4 REDES ESPORÁDICAS.	42

2.5	CLOUD COMPUTING.....	44
2.5.1	ARQUITECTURA DE LA COMPUTACIÓN EN NUBE.....	44
2.5.2	MODELO DE NEGOCIOS.....	46
2.5.3	TIPOS DE NUBES.....	47
3	IMPLEMENTACIÓN Y EXPERIMENTO.....	49
3.1	FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE ESTADOS SCMA.....	50
3.2	CONSIDERACIONES PARA LA SIMULACIÓN.....	55
3.2.1	SELECCIÓN DE REGIONES E INTERSECCIONES PARA LA SIMULACIÓN.....	56
3.3	SIMULACIÓN DE LA MÁQUINA DE ESTADOS SCMA, MONTADA CON EL PROTOCOLO DE ENCAMINAMIENTO VNIBR.....	57
4	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	59
4.1	EVALUACIÓN DEL ANCHO DE BANDA (BW) EN CADA REGIÓN DE UN SEGMENTO DE VÍA E INTERSECCIÓN.....	59
5	CONCLUSIONES.....	62
5.1	TRABAJOS FUTUROS.....	63
	Referencias bibliográficas.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2-1 - Comunicación de una red VANET [6].</i>	25
<i>Figura 2-2 (Comunicación Vehículo a Vehículo “V2V”).</i>	25
<i>Figura 2-3 (Comunicación Vehículo a Infraestructura “V2I”).</i>	26
<i>Figura 2-4 (Comunicación Híbrida “Routing”).</i>	26
<i>Figura 2-5 Componentes de las redes VANET’s. [26].</i>	29
<i>Figura 2-6 Canales del estándar WAVE para U.S. [29].</i>	30
<i>Figura 2-7 – Transmisión en el protocolo AODV [3].</i>	34
<i>Figura 2-8 – Difusión a los nodos MPR [28].</i>	35
<i>Figura 2-9 – Esquemático del protocolo ZRP [28].</i>	36
<i>Figura 2-10 – Esquema del LBM-box [30].</i>	37
<i>Figura 2-11 – Esquema del LBM-step [30].</i>	37
<i>Figura 2-12 – Representación de la capa virtual en el modelo TCP-IP [4].</i>	38
<i>Figura 2-13 – Implementación de la capa virtual donde los cuadrados y círculos representan a los NV y NP respectivamente [7].</i>	38
<i>Figura 2-14 – Representación de la capa virtual en 4 regiones [21].</i>	39
<i>Figura 2-15 – VNIBR representado en el modelo de comunicación [2].</i>	40
<i>Figura 2-16 – Nodos virtuales establecidos por la VanetLayer [2].</i>	41
<i>Figura 2-17 – Contextualización de una red esporádica [34].</i>	43
<i>Figura 2-18 – Arquitectura de la computación en nube [20].</i>	45
<i>Figura 2-19 - Modelo de negocios de la computación en nube [44].</i>	46
<i>Figura 3-1 - Cadena sobre protocolos de comunicación en nodos móviles [19].</i>	50
<i>Figura 3-2 - Aproximación de la máquina de estados SCMA [19].</i>	54
<i>Figura 3-3 - Escenario de Simulación: Centro Histórico de Cuenca.</i>	56
<i>Figura 3-4 – Asignación de niveles a los nodos virtuales.</i>	57
<i>Figura 3-5 – Escaneo de los nodos virtuales y móviles (10 nodos móviles asignados).</i>	58
<i>Figura 3-6 – Escaneo de los nodos virtuales y móviles (50 nodos móviles asignados).</i>	58
<i>Figura 3-7 – Escaneo de los nodos virtuales y móviles (100 nodos móviles asignados).</i>	58
<i>Figura 4-1 – Ancho de banda disponible por región, simulado con 10 nodos móviles.</i>	60
<i>Figura 4-2 Ancho de banda disponible por región, simulado con 50 nodos móviles.</i>	60
<i>Figura 4-3 - Ancho de banda disponible por región, simulado con 100 nodos móviles.</i>	61

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 – Aplicaciones para VANET's [28].</i>	31
<i>Tabla 2 – Protocolos de encaminamiento más utilizados.</i>	33

ABREVIATURAS USADAS

3G	Third Generation
AODV	Ad-Hoc On Demand Distance Vector
AU	Application Unit
BRP	Bordercast Resolution Protocol
CC	Cloud Computing
CN	Collaborator Node
GNSS	Global Navigation Satellite System
GSM	Global System for Mobile
GSSI	Grupo de Investigación de Servicios para la Sociedad de Información.
ITS	Intelligent Transport Systems
IaaS	Infraestructura como servicio
LTE	Long Term Evolution
LBM	Location Based Multicast
MANET	Mobile Ad-Hoc Network
MAC	Media Access Control
MAODV	Ad-Hoc On Demand Multicast Distance Vector
MPR	Multipoint Relay
NS-2	Network Simulator 2
NS-3	Network Simulator 3
NIST	Instituto Nacional de Estándares y Tecnología
OBU	On Board Unit
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OLSR	Optimized Link State Routing
PaaS	Plataforma como servicio
PN	Physical Node
QoS	Quality of Service
RREP	Route Reply
RREQ	Route Request
RSU	Roadside Unit
SaaS	Software como servicio
SCMA	Sporadic Cloud-Based Mobile Augmentation
SUMO	Simulation Of Urban Mobility
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
VANET	Vehicular Ad-Hoc Network
VN	Virtual Node
VNLayer	Virtual Network Layer
VNL1	Virtual Node Level 1
VNL2	Virtual Node Level 2
VNL3	Virtual Node Level 3
VNIBR	Intersection-Based Routing on Virtual Nodes
WAVE	Wireless Access Vehicular Environment
WN	Way Number
WLAN	Wireless Local Area Network
ZRP	Zone Routing Protocol

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por apoyarme en todo momento, a mis hermanos por siempre estar a mi lado, a toda mi familia que siempre me ha apoyado, a mi compañero David por su dedicación y a Jack bravo por el apoyo para el desarrollo de este trabajo.

Romeo Orellana Carreño

Agradezco primeramente a Dios, ya que me ha permitido cumplir una etapa más en mi vida; Él ha sido mi mentalidad y fortaleza en las decisiones que he tomado durante este largo camino. A mis padres y hermanos, por todo el apoyo incondicional mostrado y su presencia en todo momento. A mi familia y amigos. A mi compañero Romeo, por su ardua labor. A mi Tutor Jack Bravo por la motivación y el apoyo brindado para el desarrollo de este proyecto.

También, un reconocimiento especial a los Ingenieros Esteban Ordoñez y Patricio Reinoso, por su gran ayuda durante la elaboración del proyecto. Ya que sin sus valiosos conocimientos no hubiera sido posible su culminación.

David Zamora Becerra.

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de estar donde estoy, y de manera especial a mis padres, quienes han sabido guiarme y darme consejos para superar todos los problemas. Y a toda mi familia y amigos que de alguna forma me han ayudado.

Romeo Orellana Carreño

A Dios, ya que sin su presencia nada es posible. En especial a mis padres por su sacrificio, trabajo y esfuerzo; por brindarme sus consejos y ser una guía, para que pueda alcanzar mis metas; ya que ustedes son una inspiración y motivación, para seguir mi camino día a día. Y a todas las personas que han sido parte de este logro.

David Zamora Becerra.

RESUMEN.

La fusión entre los vehículos y las redes de comunicaciones es algo relativamente nuevo, esto se viene dando desde principios del siglo XX, lo que ha dado cabida al concepto de las redes vehiculares Ad-Hoc (VANET's). En este tipo de redes los usuarios participan como nodos de transmisión, sin importar si existe o no infraestructura fija de otro tipo de redes. Las VANET's tienen un papel fundamental a futuro; ya que, al tener un parque automotor mundial cada vez más extenso, los vehículos pronto formaran parte de los dispositivos de comunicación que intercambien información de interés para el usuario.

Para esto, no solo es necesario estar conectado a una red; se requiere de recursos adicionales por parte del usuario. Uno de estos recursos es el ancho de banda, ya que determina la velocidad a la cual se transmiten los datos dentro de la red. Por lo tanto, el ancho de banda disponible en los ambientes vehiculares es de gran importancia, debido a que existen ciertas características (altas densidades de vehículos, topologías dinámicas y enlaces periódicamente cortos) dentro de este tipo de redes.

Por ese motivo, la computación en nubes esporádicas está basada en compartir estos recursos entre los usuarios de la red; mejorando las condiciones de comunicación en las VANET's. Además, se aprovecha de una capa adicional al modelo de comunicación convencional, llamada capa de virtualización, ya que esta trabaja sobre la capa de red creando nodos virtuales que son los encargados del intercambio de información y procesamiento en la red.

Este trabajo analiza el ancho de banda disponible en un segmento de vía en la red VANET, ya que este valor afecta directamente a la computación en nubes esporádicas. Para ello el ancho de banda se probó sobre un escenario urbano de alta complejidad, donde se utilizó diferentes cantidades de nodos móviles con condiciones aleatorias tanto en la movilidad como en los recursos para la transmisión.

Finalmente, las evaluaciones muestran que el ancho de banda disponible en cada región, dando como resultado que la estabilidad del ancho de banda es proporcional al número de nodos móviles reales existentes dentro de la región; aunque con un

menor número de nodos móviles también se tiene un ancho banda considerable, pero no se tiene estabilidad dentro de la región, causando el colapso de la red.

La herramienta de simulación de la red VANET fue NS-3, debido a que actualmente es uno de los programas más utilizados en software libre, ya que permite configurar los parámetros de simulación en un ambiente vehicular. El escenario de simulación urbano es el centro histórico de Cuenca, creado mediante SUMO y con el cual se obtuvieron las trazas de movilidad.

Los resultados muestran que la velocidad de transferencia de información depende de la cantidad de nodos móviles existentes en una sección de vía, debido a que, con un número mayor de nodos por región, se obtiene un ancho de banda mayor y más estable dentro de la región.

CAPÍTULO 1.

1 INTRODUCCIÓN.

En la última década se ha producido un denotado incremento en las capacidades de comunicación, almacenamiento y procesamiento de los dispositivos móviles. Estas nuevas capacidades, en conjunto con el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas y la Internet está impulsando el desarrollo de nuevas y novedosas aplicaciones, llevando al usuario a contar con información y entretenimiento en cualquier momento y lugar [1] [2].

Aprovechando estas capacidades tecnológicas, se crearon las redes móviles Ad-hoc (MANET's del inglés, *Mobile Ad-hoc Networks*) y las redes vehiculares (VANET's del inglés, *Vehicular Ad-hoc Networks*), las cuales pueden utilizarse en áreas de difícil acceso o sin infraestructura. Las investigaciones se han centrado en el diseño, evaluación e implementación de nuevos protocolos, en escenarios donde el principal desafío son los cambios continuos en la red, debido a la variabilidad de la posición en los nodos. Estos avances mejoran el acceso a nuevos servicios de comunicaciones en las carreteras [2] [3].

En coherencia con lo dicho se puede encausar la mirada hacia el futuro, ya que este tipo de redes serán de gran utilidad en las ciudades inteligentes (*Smart Cities*), debido a los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS, del Inglés *Intelligent Transportation Systems*), los cuales necesitan ambientes de comunicación robustos, para ofrecer acceso en una gama alta de servicios multimedia, carga y descarga de información, acceso a redes sociales, etc [3] [4]. Desplegar estos servicios requiere de capacidades de almacenamiento y computo de los nodos fuera de los dispositivos de comunicación, por lo tanto, una solución sería la computación en nube móvil, debido a su capacidad de proporcionar todos los servicios trasladando las capacidades de almacenamiento y computo de los nodos hacia la nube [2].

Una vez mencionados de forma general los diferentes conceptos sobre el problema que se analiza en el trabajo, se introducirá a las principales características de las

redes vehiculares, protocolos, computación en nube, aplicaciones y sistemas de simulación.

1.1 REDES VEHICULARES AD-HOC (VANETS).

Este ambiente digital se ha plasmado en el sector automotriz, el cual está experimentando un gran desarrollo tecnológico, que integra computadoras y sistemas embebidos en los vehículos, para procesar datos generados por dispositivos como sensores, radares, cámaras, etc [2].

Al mismo tiempo, la gran mayoría de fabricantes de equipos móviles (celulares, tablets, etc.), están trabajando para permitir que estos dispositivos se conviertan en un instrumento adicional de los vehículos, brindando beneficios como: dispositivos GPS, pantallas táctiles, almacenamiento, etc [2].

Por lo que las VANET's se crean a partir de la necesidad de comunicarse inalámbricamente entre vehículos, lo que sería una prolongación de las comunicaciones en las diferentes vías y carreteras, donde muy pocas veces se cuenta con infraestructura fija. Por tanto, los propios vehículos son los que dan operatividad a la red para satisfacer las necesidades de los usuarios dentro de los vehículos [5] [4].

Los vehículos intercambian datos haciendo uso de los diferentes estándares existentes para las comunicaciones inalámbricas como IEEE 802.11p, en el uso para aplicaciones de seguridad y estadísticas en las vías [2].

Así los Sistemas de Transporte Inteligente (ITS), están destinados a proveer aplicaciones de distinta índole al usuario. Para esto es necesario el uso de protocolos para redes VANET's, que intercambian datos en redes ad-hoc: Vehículo a Vehículo (V2V), Vehículo a Infraestructura (V2I) y/o una arquitectura híbrida [2] [3].

1.1.1 ENCAMINAMIENTO.

Existen diferentes tipos de protocolos de encaminamiento para VANET's, los cuales se complican debido a las velocidades que manejan los vehículos. Esto produce que la red varíe provocando conexiones y desconexiones a cada instante. Para la corrección de este factor, los protocolos VANET's se clasifican en 6 tipos que son: [2] [3] [5] [6]

- ***Protocolos de enrutamiento basados en la topología.***

Estos protocolos eligen las rutas con la información recogida por el vehículo previamente o busca cuando es necesario. Se requiere una etapa de mantenimiento de ruta para la transmisión de datos.

- ***Protocolos de enrutamiento basados en la posición.***

Estos protocolos utilizan información geográfica de los vehículos en su proceso de encaminamiento, para ello cada vehículo requiere un Sistema global de navegación por satélite (GNSS del inglés, *Global Navigation Satellite System*). Los paquetes son transmitidos en cada punto conforme a la posición del nodo destino, por lo tanto, no existe mantenimiento de ruta.

- ***Protocolos de enrutamiento basados en Clúster's.***

En los protocolos de enrutamiento basado en clúster o contenedores, se anidan todos los vehículos con características similares como la dirección, la velocidad de los vehículos, etc. Los clúster's eligen un nodo líder que gestiona la agrupación y se encarga de las comunicaciones.

- ***Protocolos de enrutamiento basados en Geocast.***

El Geocast sigue el principio multicast, en el cual los mensajes se entregan a todos los vehículos pertenecientes a una región según la posición geográfica. Además, se puede o no utilizar el método de inundación de paquetes a la zona receptora, ya que de esta manera se disminuye las colisiones y sobrecargas de paquetes.

- ***Protocolos de enrutamiento basado en Infraestructura***

En este protocolo se utiliza nodos con infraestructura como puntos de acceso, además se coloca en las unidades de carretera (RSU del inglés, *Roadside Unit*) para los cruces y a lo largo de las carreteras para encaminar los paquetes hacia el destino, esto produce una comunicación bidireccional entre los nodos de infraestructura y los vehículos.

1.2 APLICACIONES DE LAS REDES VEHICULARES.

Las redes vehiculares Ad-hoc pueden utilizarse en distintos aspectos, tales como la seguridad vehicular, estadísticas de tránsito y publicidad de negocios cercanos. Estos servicios mejorarían el confort de los pasajeros ofreciéndoles información acerca de la carretera, estado del vehículo, alertas de emergencias, acceso multimedia, acceso a Internet entre otros [2] [3] [7].

- ***Aplicaciones de Seguridad.***

Las aplicaciones de seguridad consisten en su mayoría sobre información en la carretera, estos pueden ser accidentes, cierres y estados de las carreteras, buscando mejorar la calidad del recorrido a los ocupantes del vehículo; La transmisión de datos debe tener una Calidad de Servicio (QoS) alta, para que se disemine de manera prioritaria los inconvenientes en las vías, esto puede servir para casos de emergencias, asistencia al vehículo y diagnóstico remoto del vehículo.

- ***Aplicaciones para manejo de Tráfico.***

Serviría para el manejo de estadísticas sobre cuáles son las vías óptimas para llegar al destino, número de colisiones en vías peligrosas o de alto tráfico, también para evitar atascos en horas pico y la planificación del viaje, lo que mejoraría los tiempos, el estado del vehículo y el consumo de gasolina en el viaje.

- ***Aplicaciones de información y entretenimiento.***

Son las aplicaciones que mejoran el confort de los ocupantes de los vehículos, brindando aplicaciones comerciales como los *streaming* de audio y video, espacios publicitarios, acceso a internet, entre otros.

1.3 CLOUD COMPUTING.

Los sistemas de almacenamiento se han ampliado en todos los ámbitos informáticos, ya que ahora no solo se necesita almacenamiento, sino que se debe procesar la información almacenada. Sin embargo, en muchos de los casos, los sistemas informáticos no son usados en todas sus capacidades porque se utiliza todos los

recursos para ciertas tareas específicas. Teniendo en cuenta lo expuesto, se han venido desarrollando sistemas para poder compartir estos recursos como un servicio, los cuales podrían ser de almacenamiento, redes, aplicación, etc. A estos servicios se lo conoce como computación en la nube [8].

En los últimos años numerosas empresas han ofrecido servicios de diferente índole sobre la nube, y cada día son más las empresas que ingresan a este mercado [9]. Por tal motivo, el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) describe a la computación en nube como un modelo que permite el acceso a una red que comparte recursos informáticos configurables, de la cual puede aprovisionarse rápidamente y liberarse con el mínimo esfuerzo de gestión e interacción de los proveedores de los servicios [10]. Cuenta con tres capas de servicios, las cuales son: [11]

- Software como servicio (SaaS). - La cual proporciona un software o aplicación para que los usuarios accedan a la aplicación que se ejecuta en la nube, por lo que los usuarios solo tienen que manejar el software sin tener acceso a la configuración del sistema.
- Plataforma como servicio (PaaS). - En esta capa, los usuarios pueden elegir sistemas operativos y desarrollar software personal usando los recursos admitidos en la nube.
- Infraestructura como servicio (IaaS). - En esta capa, los usuarios pueden configurar sistemas operativos personales, configurar los entornos de computación y el desarrollo de software, la nube proporciona un espacio de almacenamiento masivo y un potente núcleo de procesamiento, los cuales pueden ser configurables.

1.4 SOFTWARES DE SIMULACIÓN.

Los últimos años ha tenido un incremento considerable el estudio y desarrollo en el campo de las VANET's, pero uno de los más grandes desafíos que se ha tenido es superar la dificultad de realizar las pruebas a gran escala, ya que estas tienen limitaciones financiera y física, por lo que se ha recurrido a sistemas de simulación de entornos acorde a las necesidades requeridas [12].

Existen un gran número de programas para realizar simulaciones, pero la mayoría de investigadores y desarrolladores coinciden en que los siguientes programas son los más populares, Network Simulator 2 (NS-2), Network Simulator 3 (NS-3), OMNeT++, Matrix Laboratory (MatLab), debido a que son flexibles, fáciles de usar, con varias herramientas para modelar y analizar los resultados y tienen que ser confiables y válidos [12].

- ***Network Simulator 2 (NS-2):***

Este entorno fue desarrollado en el año 1989, su creación fue dirigida para la investigación de redes de comunicación, simulando eventos discretos. Los códigos de NS-2 se basan en lenguaje C++ y OTCL, NS-2 es ejecutado en el sistema operativo LINUX, pero también puede utilizarla en Windows a través del emulador Cygwin [12].

NS-2 facilita un alto apoyo para la emulación de TCP, enrutamiento, protocolos de multidifusión vía inalámbrica o por cable. Soporta módulos de red inalámbrico y de cableado de redes, proporciona los protocolos para el caso de VANET's ya sean módulos integrados o como una extensión. Una desventaja es que no se puede reutilizar para implementaciones reales, por lo que se vuelve complicado para la utilización en la comunicación de vehículos [12] [13].

- ***Network Simulator 3 (NS-3):***

El entorno NS-3 fue iniciado en el año 2006 pero su primera versión fue lanzada en el 2009. Este simulador, al igual que su predecesor, trabaja en eventos discretos, pero utiliza el lenguaje C++ para escribir sus elementos básicos, por lo que le vuelve un simulador de red escalable y más fácil en comparación a los demás. NS-3 es un software libre dirigido principalmente para investigación y uso educativo [12] [14].

La gran ventaja de este software es que tiene un mantenimiento continuo. NS-3 se considera como la herramienta más flexible para la simulación de VANET's, debido a la mejora en los modelos de los equipos y de canal. Una desventaja es que no existen gran cantidad de modelos por motivo de que su creación es relativamente reciente, además no es compatible con NS-2 [12].

- ***OMNeT++***

OMNeT++ se encontró disponible al público desde 1997 y está basado con lenguaje C++, es ampliable y modular, principalmente está desarrollado para simular redes de edificios. Unas de las ventajas es que tiene este simulador son: una interfaz gráfica bastante detallada, se puede realizar un zoom a cada elemento durante la simulación para observar cómo trabaja [12] [15].

Las desventajas encontradas en este simulador son que al ejecutar un programa se vuelven lenta debido a la larga ejecución de la simulación, consume un alto porcentaje de memoria y es difícil de usar [12].

- ***Matrix Laboratory (MatLab)***

Matlab está enfocado para la computación numérica en un alto rendimiento, su entorno de fácil entendimiento es uno de los factores que han promovido que varios investigadores utilicen esta herramienta. Es utilizado en el campo de control y modelización de comunicación de VANET's [12].

1.5 PROBLEMA.

En la actualidad las propiedades tecnológicas de los dispositivos portátiles permiten pensar en la implementación de redes Ad-hoc esporádicas entre un cierto grupo de usuarios que están cerca los unos de los otros durante un periodo de tiempo. [16] Estas redes son apropiadas para entregar aplicaciones a medida, destinadas a promover las interacciones entre extraños cercanos, con intereses y necesidades similares [17].

De esta forma se puede dotar a los vehículos con una gama de servicios comunicación y almacenamiento en un gran espacio territorial donde la cobertura de redes como GSM, 3G y LTE no existe o es insuficiente [18]. Esta aplicación va desde el enlace de la red con usuarios para la provisión de solicitudes de intercomunicación vehicular hasta el despliegue de las ciudades inteligentes a través de los protocolos y estados de la nube esporádica [18].

El grupo de investigación de telecomunicaciones de la UPS ha desarrollado en conjunto con la Universidad de Vigo un concepto de nube vehicular esporádica [19]. Su desarrollo ha permitido establecer una máquina de estados para su despliegue.

En este trabajo nos centramos en la parte de la programación y simulación de la máquina de estados para la creación de nubes esporádicas, con el fin de ilustrar y demostrar cómo funciona el sistema con los diferentes estados que se podrían producir en un determinado escenario con automóviles.

1.6 OBJETIVOS.

Objetivo General

- Programar y simular el concepto de nubes esporádicas en redes vehiculares Ad-hoc mediante el uso de Software Libre.

Objetivos Específicos

- Analizar el comportamiento de la máquina de estados para la conformación de nubes esporádicas según el tipo de requerimiento.
- Instalar y configurar el programa de simulación (NS3), que posibilite su ejecución.
- Programar y simular la máquina de estados en NS3 para un determinado escenario en la ciudad de Cuenca.

Este trabajo está compuesto por 5 capítulos. En el capítulo 1 se realizó una introducción sobre las redes vehiculares, aplicaciones, *cloud computing* y los softwares de simulación. En el capítulo 2 se realizará un estado del arte sobre los temas de interés del proyecto. Mientras que en el capítulo 3, se encuentra la información y simulación de la computación en nube esporádica. En el capítulo 4 se realizará un análisis de resultados sobre la simulación de la computación en nube esporádica para redes vehiculares. Para así terminar en el capítulo 5 el cual detalla las conclusiones y trabajos futuros del tema.

CAPÍTULO 2.

2 ESTADO DEL ARTE.

En las últimas décadas, el desarrollo de las comunicaciones a nivel global ha tenido un avance exponencial en todos sus aspectos, debido a las necesidades continuas de los usuarios para mantenerse comunicados desde cualquier lugar. Dichas necesidades han generado la exigencia de crear nuevas redes de comunicación, entre las cuales se encuentran las redes de comunicación vehiculares [2].

Las redes de comunicación vehicular, llamada VANET'S, sirven para la comunicación inter-vehicular, tienen como característica y reto principal la alta movilidad de sus nodos (vehículos), esto produce redes dinámicas y esporádicas. Otro de las grandes dificultades en este tipo de redes es la diferencia de capacidades de los componentes de comunicación existentes en cada vehículo, ya que en algunos casos son insuficientes y en otros son subutilizados, para solventar este problema se introduce el concepto de computación en nube [3] [4].

La CC (del inglés, *Cloud Computing*) es relativamente nueva, se enfoca en compartir, como un servicio, algunos recursos informáticos: almacenamiento,

procesamiento, aplicación, etc. Aplicar la CC en redes vehiculares presenta un proceso dinámico de su topología lo que genera la necesidad de crear redes de forma rápida. Así aparece el concepto de redes esporádicas [20].

Las redes esporádicas, se presentan como redes asociativas, donde ciertos individuos con necesidades o requerimientos similares son agrupados para compartir servicios, aplicaciones, información, etc. Además, permiten la movilidad del usuario a su conveniencia, por lo tanto, se requiere rutas de encaminamientos adaptables por la alta movilidad de sus nodos y su topología cambiante [21].

Todos los factores antes expuestos provocan que el encaminamiento de la información sobrecargue la red, provocando limitaciones en el rendimiento y la calidad del servicio. Así que para solucionar este problema se encuentran los nodos virtuales, los cuales agregan una capa virtual (VNLayer del inglés, *Virtual Network Layer*) que solventa los diferentes problemas en la red [21] [2].

Este capítulo tiene la siguiente estructura, En la sección 2.1 y 2.2 se analizan las VANET's y sus protocolos de encaminamiento, mientras que en la sección 2.3, 2.4 y 2.5 se analiza el concepto de Nodos virtuales, Redes esporádicas y Cloud Computing en las redes vehiculares.

2.1 REDES VEHICULARES.

Las redes (VANET's) son un tipo particular de las redes Ad-hoc móviles (MANET's) donde sus nodos corresponden a vehículos. Además, son redes de comunicación auto-organizadas, construidas con vehículos en movimiento, esto hace que se caractericen por la alta movilidad de sus nodos en forma arbitraria [22] [23].

Todo esto genera que las VANET's sean una alternativa para el acceso a una amplia gama de servicios y aplicaciones móviles, haciendo que esta red forme parte de los Sistemas de transporte inteligente, con lo cual cada vehículo tiene la función de emisor, receptor y enrutador para la transmitir la información dentro de una red vehicular como se observa en la *Figura 2-1* [3] [5].

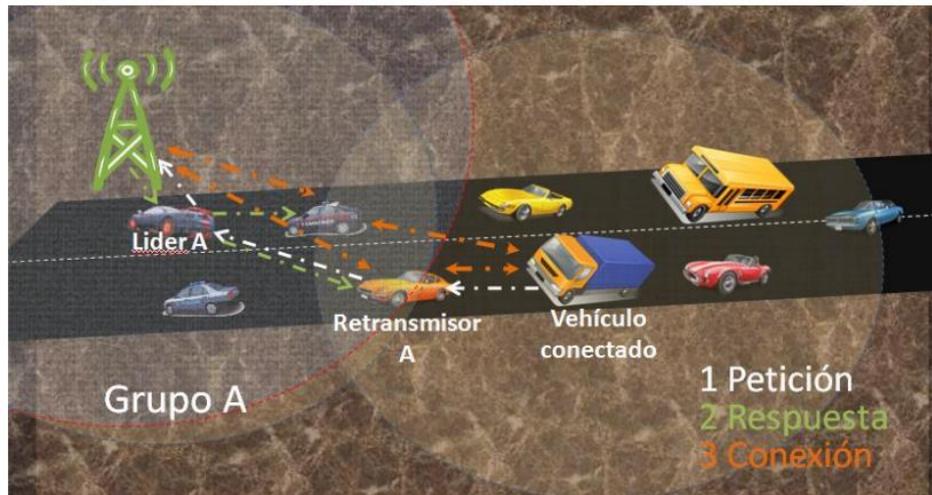


Figura 2-1 - Comunicación de una red VANET [6].

Existe 3 posibles configuraciones: red de vehículos con infraestructura (V2I), una red de vehículos donde los nodos se conectan sin un soporte externo (V2V) y una red híbrida (V2V-V2I). A continuación, se analizará cada configuración a detalle [22].

2.1.1 TIPOS DE REDES VANET.

Comunicación Inter-vehicular (V2V). - En este tipo de comunicación los nodos intercambian la información a través de varios saltos entre vehículos. Aquí se establece una comunicación directa, sin la necesidad de enlazarse con una infraestructura fija como se observa en la *Figura 2-2*; por lo que son utilizadas en aplicaciones de seguridad e información [5] [24].

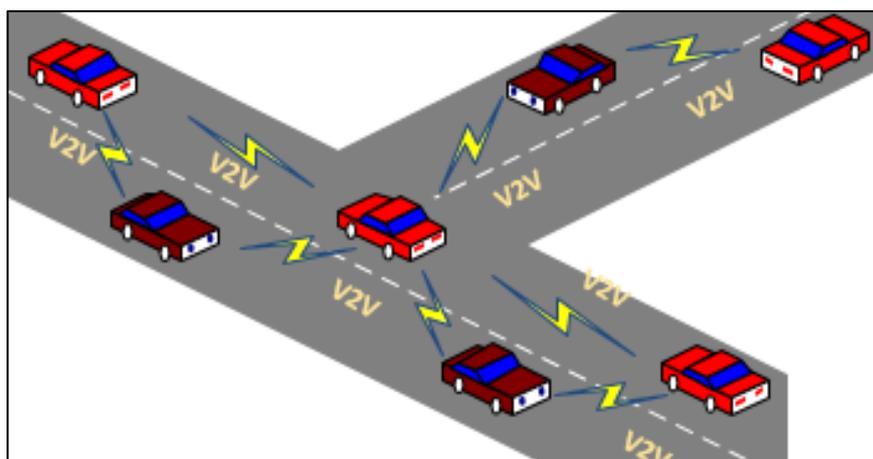


Figura 2-2 (Comunicación Vehículo a Vehículo “V2V”)

Comunicación Vehículo a Infraestructura (V2I). - Para este tipo de comunicación se necesita una infraestructura preexistente, en el caso de las VANET’s son unidades

de borde de carretera (RSU del inglés *Road Side Unit*), las cuales sirven como receptores a todos los vehículos de los alrededores como se observa en la *Figura 2-3*. Posee características como: gran ancho de banda entre los vehículos y las RSU, además la colocación de las RSU a lo largo de la carretera permite transmisiones más distantes que la comunicación V2V [5] [24].

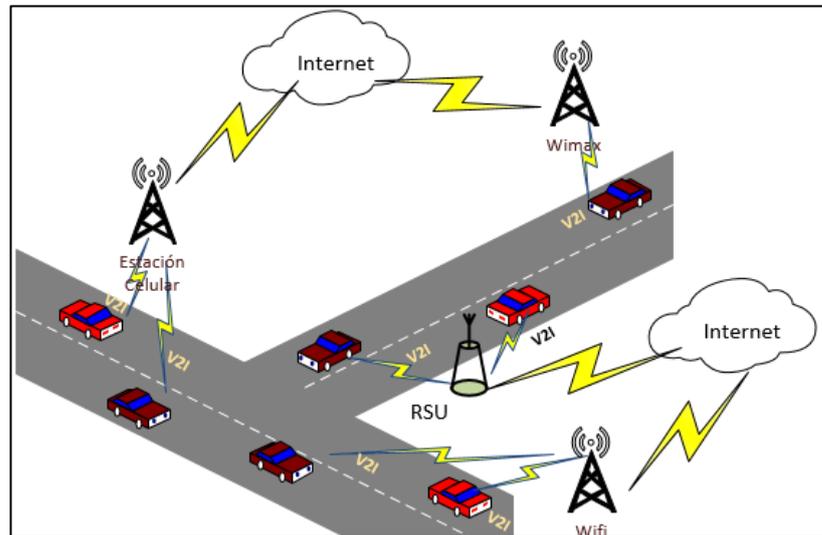


Figura 2-3 (Comunicación Vehículo a Infraestructura “V2I”)

Comunicación basada en routing (Híbrida). – Este tipo de comunicación fusiona 2 tipos de comunicación (V2V) y (V2I), para la difusión de información se realiza mediante unicast y multicast, todo depende de la distancia, debido a que el mensaje se propaga hasta que alcanza un vehículo que pueda acceder a los servicios de una red con infraestructura fija como se observa en la *Figura 2-4* [5] [24].

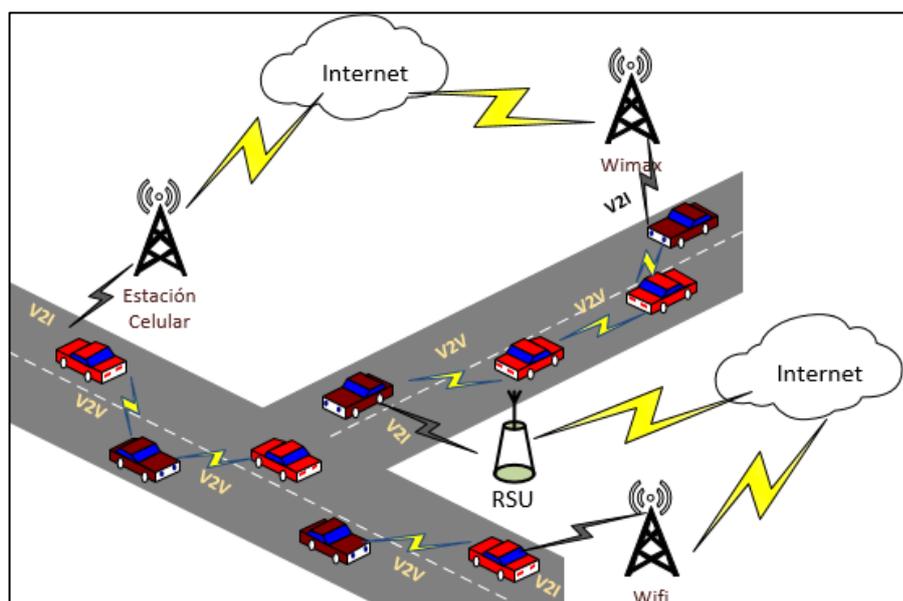


Figura 2-4 (Comunicación Híbrida “Routing”)

Estos tipos de comunicación hacen que las redes VANET's posean características similares a las redes MANET's como un ancho de banda pequeño, rango de transmisión corto y patrón de radiación omnidireccional, sin embargo, también poseen características particulares que las hacen un caso especial de las redes MANET's [6].

2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS VANET'S.

Las características de las redes VANET's dependen del tipo de comunicación utilizado. Los tipos de comunicación pueden ser: inter-vehicular(V2V), vehículo-infraestructura(V2I) y una mezcla de las 2 (hibrida), las principales se describen a continuación [24] [25]:

- **Topología altamente dinámica.** – Esto se debe a 2 razones principales, la velocidad de los vehículos y las características de propagación. Los autos tienen una velocidad promedio de 50 Km/h en zonas urbanas y 100 Km/h en carreteras, además los vehículos pueden tomar diferentes direcciones. Por lo tanto, los vehículos pueden unirse o salir de la red en un período muy corto de tiempo, dando lugar a cambios en la topología frecuentes y rápidos.
- **Desconexiones frecuentes.** – La topología altamente dinámica produce en reiteradas ocasiones cambios en la conectividad, esto da como resultado que los vínculos entre los vehículos se pierdan, mientras se está transmitiendo información.
- **Comunicación Geográfica.** – En la mayoría de redes vehiculares se depende de la posición geográfica. Todo esto marca una gran diferencia con respecto a las otras redes, en las que el objetivo destino se define con una ID.
- **Nodos Auto configurables.** – Para este tipo de redes no existe un coordinador para las comunicaciones, por lo que cada nodo (vehículo) debe auto configurarse y organizarse.
- **Suministro de energía ilimitado.** – Los vehículos no tienen problemas energéticos, debido que la batería suministra la cantidad suficiente de energía para la operación de la OBU (del inglés, *OnBoard Unit*).
- **Restricciones en la movilidad.** – Las restricciones en la movilidad vehicular están dadas por las calles, carreteras, autopistas, semáforos, tráfico y límites

de velocidad impuestos en una ciudad. Con todo esto es factible la predicción de la posición futura del vehículo

- **Modelo de propagación.** –En la gran mayoría de escenarios las VANET's operan en 3 ambientes que son: Carreteras, vías urbanas y vías rurales. En las autopistas o carreteras la propagación se da en el espacio libre, produciendo interferencias por la reflexión con las paredes alrededor de las carreteras. Mientras que dentro de una ciudad (vías urbanas) la comunicación es más compleja, debido a la densidad de los vehículos, la presencia de edificaciones, arboles, casas, etc. Que actúan como obstáculos en la propagación de la señal, provocando varias rutas de acceso y desvanecimiento de la señal, por lo tanto, el modelo de espacio libre debe ser modificado en este tipo de escenarios. Y finalmente en las vías rurales se tiene gran complejidad en las formas topográficas como colinas, campos, subidas, bosques, etc. Debido a estos efectos se tiene gran reflexión y atenuación en la propagación de la señal, por lo que no es aplicable el modelo de espacio libre.

Analizando lo antes mencionado se puede determinar que las redes VANET's poseen requerimientos específicos para ciertas características, éstas solo sirven en una red vehicular. Por lo tanto, es importante describir los componentes que se utilizan para el despliegue de las redes vehiculares.

2.1.3 COMPONENTES DE LAS REDES VANET'S.

Las redes vehiculares son una subclase de las redes móviles Ad-hoc (MANET's). En las VANET's cada vehículo es un nodo, el cual actúa como un router y mantiene información de la red. Las VANET's están equipadas con varios dispositivos de comunicación como se observa en la *Figura 2-5* [3].

En las redes V2V se utilizan las OBU, ya que este dispositivo permite intercambiar datos con otros usuarios o puntos fijos de acceso a la red. También en las carreteras existen otros puntos fijos de acceso denominado RSU (del inglés, *Road Side Units*), los cuales son utilizados en los enlaces de las redes V2I, este tipo se utiliza para transmisiones de datos más distantes. Mientras tanto, para la interfaz del usuario con el vehículo se encuentra el dispositivo AU (del inglés, *Application Unit*), el cual está dentro de las OBU [3] [25].

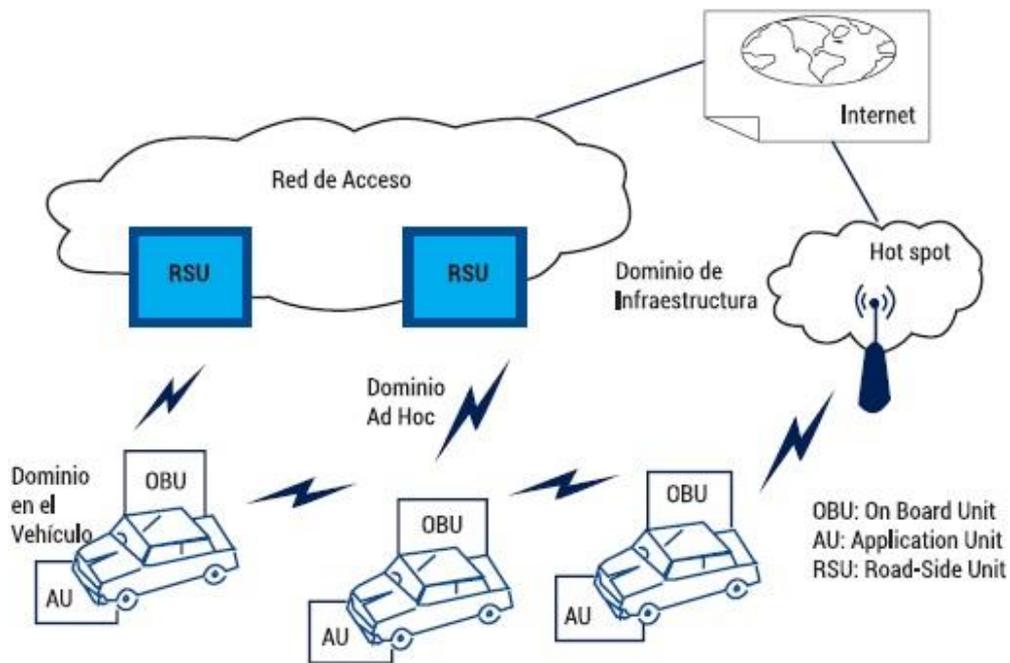


Figura 2-5 Componentes de las redes VANET's. [26]

2.1.4 ESTÁNDARES DE LAS REDES VEHICULARES.

Los estándares son un pilar importante en todas las tecnologías existentes, a través de estos se puede garantizar la operatividad y conectividad de nuevas tecnologías. Varios estándares han sido creados durante los últimos 10 años para el acceso inalámbrico en entornos vehiculares [5] [27].

En una gran mayoría los estándares de las redes vehiculares se basan en el estándar IEEE 802.11, esto es debido que las redes VANET's se constituyen como redes inalámbricas, y por esta razón le rige esta norma [27].

Entre los estándares más utilizados están los siguientes: el estándar IEEE 802.11p, utilizado específicamente en redes vehiculares debido a sus características de operación; Otro es el IEEE 802.11b, aunque no fue creado especialmente para este tipo de redes; y por último, el estándar IEEE 1609, se centró en crear especificaciones para las capas de red, transporte y aplicación. A continuación, se mencionarán sus aspectos más importantes [25].

- **IEEE 802.11b.** –Este estándar opera en la banda de 5Ghz, fue creado junto al estándar IEEE 802.11a, su velocidad máxima de transmisión es de 54 Mbps. Solo tiene compatibilidad con dispositivos con el mismo estándar. Utiliza la banda de 5GHz, porque la banda de 2,4 GHz es utilizada por la mayoría de

dispositivos electrónicos. Esto representa una ventaja, debido al menor número de interferencias [28].

- **IEEE 802.11p.** – Este estándar fue diseñado por IEEE para redes vehiculares, se lo denominó WAVE (del inglés, *Wireless Access in Vehicular Environments*). Sufrió varias modificaciones en la capa física y MAC para potenciar su funcionamiento en las redes vehiculares y los sistemas de transporte inteligente (ITS). Además, tiene definido el modelo de comunicación entre vehículos e estructuras fijas. Su principal novedad es la modulación OFDM que alcanza distancias de 1Km y soporta velocidades hasta los 200 Km/h [25] [5].

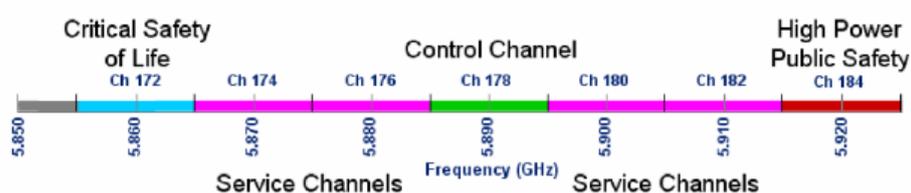


Figura 2-6 Canales del estándar WAVE para U.S. [29]

Como se observa en la *Figura 2-6*, este estándar trabaja con 75MHz, en la banda de 5,9GHz (5,850–5,925 GHz). Cuenta con 6 canales de servicio (SCH) y un canal de control (CCH) con un ancho de banda de 10MHz cada canal. Pero con la modulación OFDM obtiene tasas de transmisión desde los 3Mbps hasta los 27Mbps [3] [29]. El canal de control (CCH) es el canal de referencia para detectar los vehículos próximos, antes de establecer las comunicaciones. En simultaneo, dicho canal anuncia los servicios disponibles en los canales de servicio (SCH) (acceso a Internet, descarga de contenidos, información, etc.) [29] [30].

2.1.5 APLICACIONES DE LAS REDES VEHICULARES.

Las redes vehiculares Ad-hoc son una oportunidad para insertar mejoras en los principales servicios requeridos en las carreteras. Estos requerimientos se clasifican en 3 tipos: seguridad vial, gestión vial y aplicaciones de comercialización e información [4] [25]. Todas las aplicaciones inducen una mejora a las condiciones existentes de tráfico y transporte vehicular, esto se da mediante sistemas cooperativos para las comunicaciones a través de los vehículos [25]. Existen varias

aplicaciones diseñadas para arquitecturas que van desde un simple intercambio de información hasta sistemas complejos para la gestión de tráfico inteligente [28].

En las carreteras, la gestión y seguridad vial son puntos importantes para las aplicaciones, ya que estos aspectos deben ser considerados conjuntamente para el diseño de aplicaciones en VANET's [24]. La Tabla 1 proporciona una contextualización inicial de las necesidades en las carreteras, para aplicarlas dentro de las comunicaciones en las redes VANET's [28].

Categorías/Tipos	Propósito	Ejemplos
Seguridad	Peligros en carretera.	Advertencias de curvas peligrosas y señales de tránsito.
	Estado vial.	Alertas de trabajos en las vías.
	Peligros de Colisión.	Aviso de cambio de carril, luces de frenado emergencia y peatones en la calzada
	Incidentes en la vía.	Alertas de colisiones, emergencias, etc.
Gestión	Respuestas de emergencia.	Aviso de aproximación de vehículo de emergencia, servicios de emergencia en la vía.
	Soporte para autoridades.	Licencia electrónica y rastreo de vehículos.
	Mejoras de conducción.	Conducción adaptable y reducción de encandilamiento.
	Trafico Eficiente.	Estadísticas del tráfico, cálculo de rutas y notificaciones viales.
Comercialización e Información	Mantenimiento del vehículo.	Diagnostico remoto, recordatorios, etc.
	Servicios móviles.	Internet, mensajería y publicidad en puntos de interés.
	Comercio electrónico.	Pago de combustibles, peajes, etc.

Tabla 1 – Aplicaciones para VANET's [28].

- **Aplicaciones de seguridad en redes VANET's.** - Considerado como el servicio más demandado en este tipo de redes, lo primordial de estas aplicaciones es evitar o disminuir el número de accidentes de tránsito. También es de gran importancia los enlaces de comunicación, estos deben ser

fiables y rápidos para que el momento que ocurra un incidente en la vía se pueda atender todos los frentes, tanto de los vehículos que se aproximan y el propio lugar del accidente. Por este motivo se están realizando investigaciones, desarrollos e implementaciones de estos servicios, para que funcionen lo antes posible, ya que se puede salvar vidas en las vías [28] [24].

- **Aplicaciones de gestión en redes VANET's.** - Estas aplicaciones se enfocan en la ubicación del vehículo, para mejorar la movilidad en las carreteras. Para esto se necesita apps de alta disponibilidad, debido a que los conductores necesitan información durante el viaje, aquí la comunicación se produce inter-vehicular y vehículo-infraestructura. Además, estas aplicaciones se clasifican en 2 tipos que son: Control de cruces e intersecciones y gestión de tráfico (evitar atascos) [24].
- **Aplicaciones de comercialización e información en redes VANET's.** - Estas aplicaciones están enfocadas en la prestación de servicios a los usuarios, como interacción entre conductores, publicidad, pagos en peajes y gasolineras, etc. Esto ayuda al conductor para que tenga un viaje más cómodo y agradable. Aquí las aplicaciones necesitan aspectos de fiabilidad y disponibilidad de información cuando el conductor necesita. Las comunicaciones no necesitan un gran ancho de banda, debido a que solo son aplicaciones informativas, comerciales y servicios [24] [28].

2.2 PROTOCOLOS DE ENCAMINAMIENTO PARA REDES VEHICULARES.

La mayoría de investigaciones en los últimos años se han enfocado en los protocolos de encaminamiento para las redes Ad-hoc. Las principales causas son las características particulares en este tipo de redes: la movilidad de los nodos, topologías variables, falta de infraestructura centralizada, etc. En las redes VANET's se necesita protocolos de encaminamiento que sean lo suficientemente robustos y funcionen de forma automática y distribuida [30] [28].

Al momento de clasificar los protocolos de encaminamiento existen varios conceptos. Se pueden considerar los siguientes: [30] [28]

- El alcance: unicast, broadcast o multicast, geocast, etc.
- El mantenimiento de rutas: proactivo, reactivo e híbrido.
- Tipo de algoritmo que utilizan: vector distancia, estado de enlace.

En la siguiente parte se analizará solo los protocolos de encaminamiento más utilizados en redes VANET's mostrados en la *Tabla 2*.

<i>Protocolos</i>	<i>Alcance</i>	<i>Mantenimiento de rutas</i>
<i>AODV</i>	<i>Unicast</i>	<i>Reactivo</i>
<i>OLSR</i>	<i>Unicast</i>	<i>Proactivo</i>
<i>MAODV</i>	<i>Multicast</i>	<i>Reactivo</i>
<i>ZRP</i>	<i>Unicast</i>	<i>Hibrido</i>
<i>LBM</i>	<i>Geocast</i>	<i>Proactivo</i>

Tabla 2 – Protocolos de encaminamiento más utilizados.

Ad-hoc On-Demand Distance-Vector Routing (AODV). – El protocolo de encaminamiento AODV es utilizado en su mayoría para redes móviles Ad-hoc, esto se debe a su naturaleza reactiva, ya que busca rutas solo cuando necesita enviar información a otro nodo y desconoce la ruta hacia él. Se creó teniendo como base el protocolo DSDV, pero mejorando falencias tales como el número de envíos en *broadcast* y la latencia de transmisión [28] [30].

Para mejorar esas falencias se realizaron innovaciones como la minimización de paquetes *broadcast* en la elaboración de las rutas, provocando que los nodos en el camino, no intercambien o actualicen tablas de enrutamiento [30] [28]. Además, se le adicione una emisión de mensajes periódicamente cuando está activo o también llamado *Link Layer Feedback*, permitiendo que los nodos conozcan la presencia de nodos vecinos y actualicen sus tablas de enrutamiento, reflejando los cambios en la topología cercana [30] [28].

AODV utiliza un algoritmo de vector distancia para generar las rutas, produciendo una optimización del ancho de banda y disminución en la latencia cuando se producen cambios en la red [28]. Este protocolo utiliza dos parámetros adicionales: un número de secuencia y un Identificador único para la red, estos hacen que sea posible distinguir las rutas para enviar la información [28] [30].

El identificador y contador del nodo evitan el proceso de bucles y conteo infinito, por lo tanto, simplifica la implementación del protocolo y elige la mejor ruta para la transmisión de datos [28]. Pero considerando que cuando existe un cambio en la topología de la red, los mantenimientos de ruta deben ser frecuentemente y rápidos, para que los nodos tengan una visión de la red [30].

Para la transferencia de información lo primero que realiza es buscar una ruta en la tabla de enrutamiento. En el caso que exista una ruta dentro de la misma, envía el paquete de datos; caso contrario, inicia el proceso de requerimiento de ruta [3]. Para ello, difunde un mensaje *Route Request* (RREQ) a todos sus vecinos. Si un nodo vecino conoce la ruta hacia el destino, envía un mensaje *Route Reply* (RREP), caso contrario, cada nodo continúa enviando el mensaje hasta que llegue a su destino, y este le responderá con un mensaje RREP [3]. Como se observa en la *Figura 2-7*.

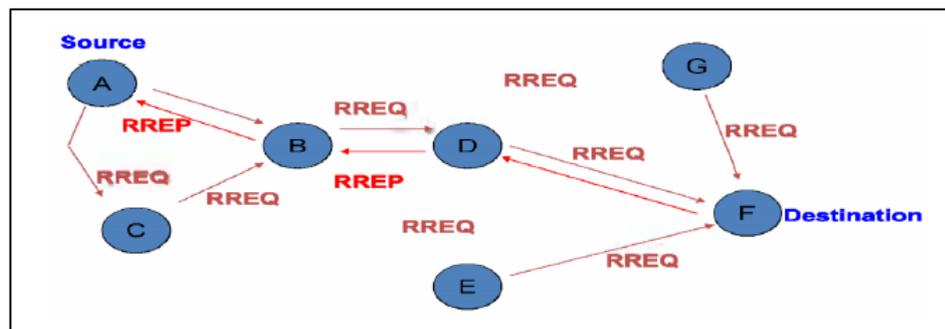


Figura 2-7 – Transmisión en el protocolo AODV [3].

Todo este proceso sirve para los nodos intermedios, ya que estos registran las rutas para utilizarlas en comunicaciones futuras. Además, para el mantenimiento de rutas, cada nodo envía periódicamente un mensaje “HELLO” para detectar fallos en el enlace [31].

Optimized Link State Routing (OLSR). – Este protocolo es del tipo proactivo, basado en el algoritmo de estado de enlace. Optimizando el mismo plantea mejoras en los enlaces WLAN de alta movilidad. Estas mejoras del algoritmo consisten en reducir las tablas de rutas intercambiadas y las retransmisiones en la inundación de paquetes [28] [30].

El funcionamiento de este protocolo se basa, en que los nodos de la red elijan vecinos retransmisores, y estos sean los encargados de transmitir la información enviada por el nodo [28] [30]. Obsérvese la *Figura 2-8*.

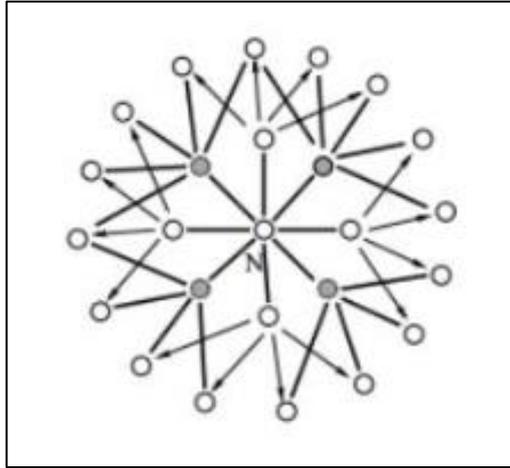


Figura 2-8 – Difusión a los nodos MPR [28].

Todo esto hace posible la disminución de tráfico en la red ya que los nodos vecinos sobrantes no pueden retransmitir. Por ese motivo a este protocolo se le conoce como *multipoint relays* (MPR) o retransmisor [28] [30].

Para reconocer la topología de la red, los nodos verifican el estado de enlace que los unen con los nodos MPR. Para ello realizan intercambios periódicos sobre las rupturas de los enlaces y las tablas de encaminamiento que contienen los enlaces a los nodos MPR; esto optimiza el ancho de banda utilizado en el intercambio. Además, las rutas que se crean son óptimas por el número de saltos ya que solo utilizan los nodos MPR, por lo tanto, este protocolo se adapta en redes con un gran número de nodos de alta movilidad [28] [30].

Multicast Ad-hoc On-Demand Distance-Vector Routing (MAODV). – Más conocido como la versión multicast del protocolo AODV. También se basa en el algoritmo vector distancia y la aproximación de salto, este protocolo construye arboles multicast bidireccionales compartidos, que se enlazan con varias fuentes y destinos en cada grupo multicast. Cada uno de estos grupos tiene un líder, el cual mantiene los números de secuencia, lo que produce rutas actualizadas [30].

El funcionamiento de este protocolo está basado en el nodo líder, estos difunden por la red su dirección y su posición como líder periódicamente. En el caso de que un nodo requiera enviar información a un grupo multicast desconocido, lo primero que debe hacer es consolidarse como líder del grupo. En el caso de existir un líder comienza a transmitir la información hacia el líder, caso contrario se convierte en líder y emite la información directamente. En cambio, si un nodo desea enlazarse a

un grupo como receptor, difunde una petición en la red. Las respuestas pueden ser por parte de cualquier miembro del grupo multicast y son transmitidas al origen, de tal manera que los nodos que intervienen se convierten en nuevos miembros del árbol multicast [28] [30].

Zone Routing Protocol (ZRP). – Este protocolo representa las nuevas versiones híbridas, en las cuales se combina las mejores características de los mecanismos reactivos y proactivos, propicio para funcionar en redes grandes con un gran número de nodos y diversos patrones de movilidad. Los nodos se basan en la formación de zonas o cluster's, mejor conocidos como la zona de encaminamiento (IARP). Además, en el intercambio de paquetes en las áreas locales utiliza los mecanismos reactivos (IERP) como se observa en la *Figura 2-9* [28] [32].

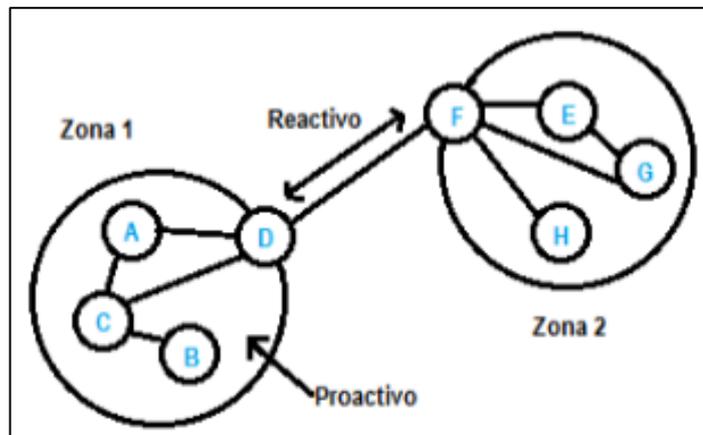


Figura 2-9 – Esquemático del protocolo ZRP [28].

El IERP se basa en la difusión de mensajes “BRP” (Bordercast Resolution Protocol), el cual permite consultas fuera del área local y regiones sin cobertura, esto le otorga una ventaja sobre el broadcasting ya que evita recorrer nodo a nodo realizar una consulta [28].

Para su correcto funcionamiento, se necesita un control sobre las áreas de cobertura, por ejemplo: para el envío de información se comprueba si el nodo destino existe en la lista de encaminamiento local. En cambio, si un nodo recibe una petición, este revisa si pertenece a su zona o si conoce una ruta hacia el destino [28].

- **Location Based Multicast (LBM).** – Este protocolo se basa en nodos que toman su propia decisión para retransmitir, existen 2 esquemas conocidos que son LBM-box y LBM-step [28] [30].

En el LBM-box, un nodo que recibe un paquete de geocast retransmite a todos los nodos de la zona de direccionamiento (*forwarding*) como se observa en la *Figura 2-10*, debido a que estos son el origen del paquete geocast [28] [30].

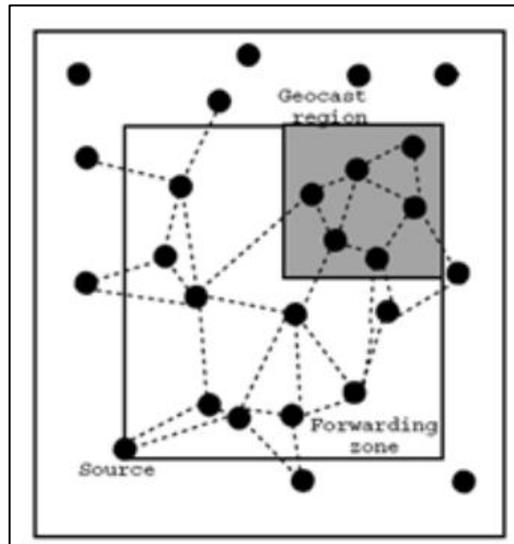


Figura 2-10 – Esquema del LBM-box [30].

En cambio, para el LBM-step se utiliza otra forma para ubicar la zona de direccionamiento (*forwarding*), aquí el nodo receptor que está más cerca de la zona de geocast, es el retransmisor del paquete visto como se observa en la *Figura 2-11* [28] [30].

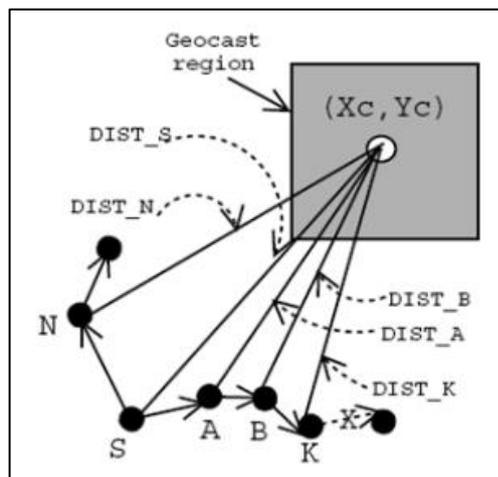


Figura 2-11 – Esquema del LBM-step [30].

2.3 NODOS VIRTUALES.

Las redes Ad-hoc en los últimos años han tenido un sin número de investigaciones, estas proponen soluciones a problemas como: el encaminamiento, variabilidad en la topología de red, limitaciones de procesamiento, etc. [2] Estos problemas han creado

la necesidad de fortalecer los entornos de comunicaciones Ad-hoc. Para ello, existe una capa adicional de virtualización VNLayer como se observa en la *Figura 2-12*, en la cual se crean nodos virtuales (VN's, del inglés *Virtual Nodes*), en cada región con nodos físicos (PN's, del inglés *Physical Nodes*) y así permite desplegar servicios en la capa virtual [2] [7].

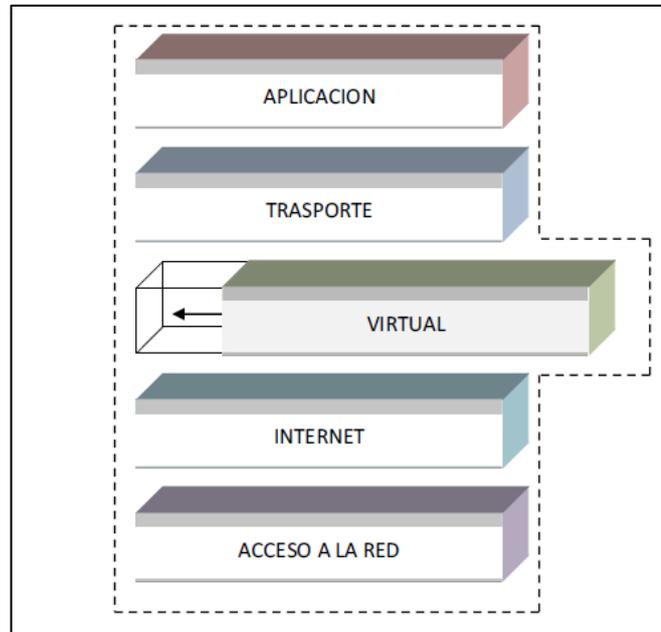


Figura 2-12 – Representación de la capa virtual en el modelo TCP-IP [4]

La VNLayer se divide en 2 tipos: la primera con servidores virtuales (nodos virtuales) predictibles, ya que son de ubicación fija sobre una región; la segunda con nodos clientes no predictibles ya que son los nodos físicos reales, como se puede observar en la *Figura 2-13* [7].

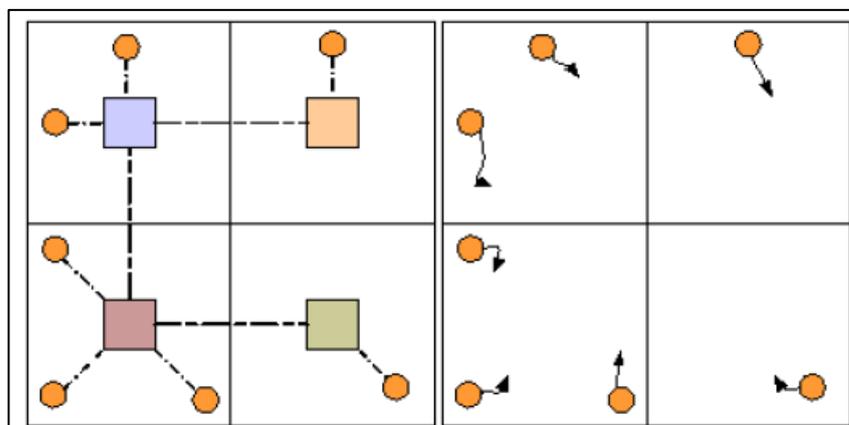


Figura 2-13 – Implementación de la capa virtual donde los cuadrados y círculos representan a los NV y NP respectivamente [7].

La VNLayer gestiona los nodos virtuales dividiendo geográficamente el área donde se establece en rejillas (regiones), para que puedan implementarse los nodos virtuales como medio de solución a los problemas dados por los nodos móviles reales [2]. Entonces el funcionamiento empieza cuando el nodo virtual de cada región es emulado por un nodo físico, para luego elegir en cada región un líder entre los nodos físicos, y este se encarga de establecer las rutas de comunicación con los otros nodos virtuales como se observa en la *Figura 2-14* [21] [33].

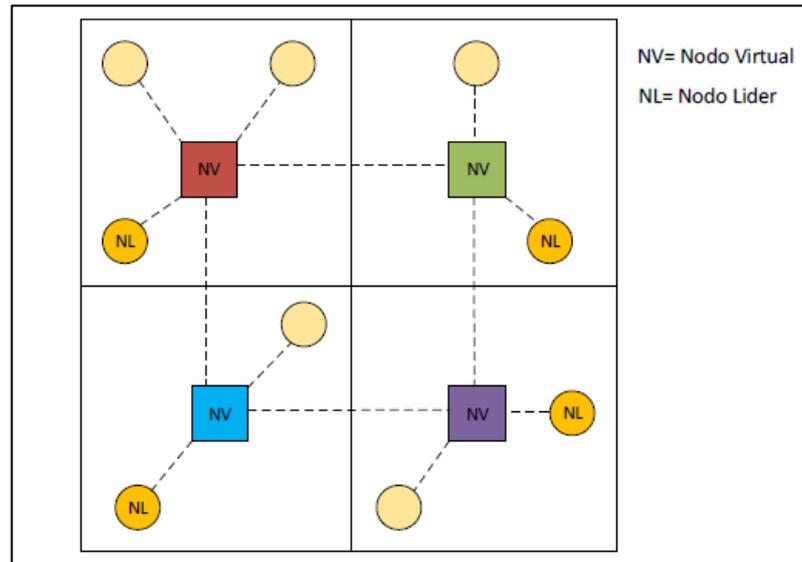


Figura 2-14 – Representación de la capa virtual en 4 regiones [21].

Todo este proceso hace más sencillo desarrollar aplicaciones para trabajar en capas superiores de los nodos, ya que pueden utilizar las aplicaciones en dispositivos móviles y servidores virtuales sin enfrentarse a los problemas de movilidad [2]. Además, la virtualización crea un nivel de jerarquía diferente a las redes de topología plana, mejorando la implementación de algoritmos en nodos estables (nodos virtuales), pero siempre requiriendo un nodo real para dar soporte al nodo virtual [7].

En la parte de la implementación de algoritmos nuevos, se han desarrollado importantes avances con rediseños en los protocolos de encaminamiento de redes móviles Ad-hoc, para poder operar eficientemente y con gran fiabilidad. Estos avances se han denominado como virtualizaciones, las cuales superan a sus predecesores en aspectos como la entrega de paquetes, latencia, enrutamiento, y la estabilidad de ruta [2] [33]. En la siguiente sub-sección se detallará la virtualización del Protocolo IBR.

2.3.1 VNIBR.

Las redes vehiculares están dirigidas para escenarios compuestos por vías e intersecciones, teniendo en cuenta esto, se presenta una nueva propuesta llamada VNIBR (del inglés, *Intersection-Based Routing on Virtual Nodes*), esta se basa en tres ideas centrales: (1) direcciona sus nodos mediante las IP's, (2) las decisiones de encaminamiento se las realiza en las intersecciones de las carreteras, (3) los paquetes de cada intersección son reenviados a la siguiente de manera geográfica [2].

La característica principal es que VNIBR se soporta en la capa de virtualización como se muestra en la *Figura 2-15*, lo cual involucra a los vehículos para emular infraestructuras de nodos virtuales estacionarios.

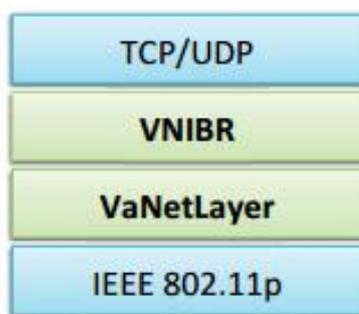


Figura 2-15 – VNIBR representado en el modelo de comunicación [2].

VaNetLayer (del inglés, *Vehicular Ad-hoc Network Layer*) fracciona el área geográfica de la red ah-hoc en regiones como se observa en la *Figura 2-16*, estableciendo un VN en cada intersección y en las vías que conectan las intersecciones se cubren con VN's equidistantes [2]. Los VN's son reconocidos por IP clase E (Experimental, las cuales van desde 240.0.0.0 a 255.255.255.255) y sus anchos de banda están regidos por el protocolo de la capa de enlace subyacente, para garantizar que un nodo físico (PN) se comunique con otro PN ubicado en alguna posición de la región [2].

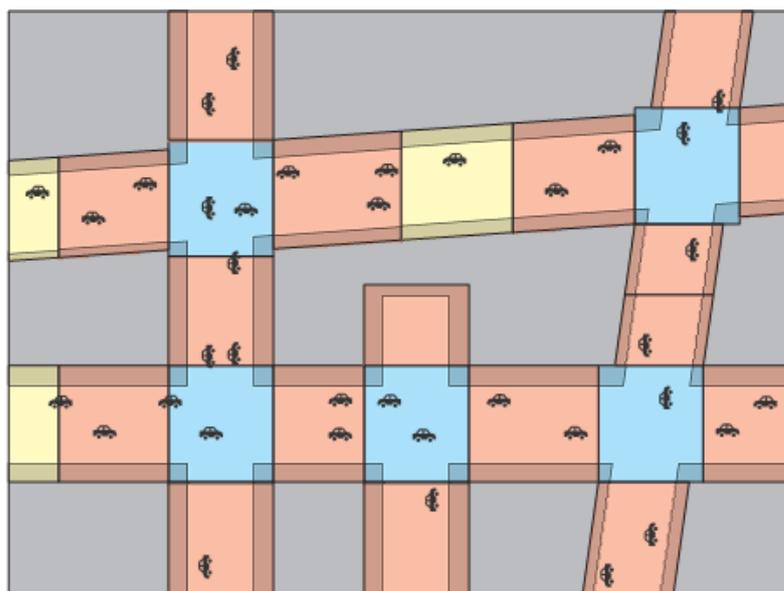


Figura 2-16 – Nodos virtuales establecidos por la VanetLayer [2].

En VNIBR, se ubican tres tipos de caracteres de encaminamiento [2]:

- **Entidades de nivel 1 (L1VNs):** Estos VN's son lo que se ubican en las intersecciones de las vías (sección en color azul de la *Figura 2-16* y aquí es donde se toman las decisiones de encaminamiento utilizando procedimientos adaptados de la lógica AODV. La VaNetLayer mantiene, de forma transparente, las tablas de encaminamiento como información persistente. Las tablas de encaminamiento presentan entradas que indican cual es el siguiente segmento de vía (identificado como la L1VN del otro extremo) que los paquetes deben de pasar para llegar a su destino. Los L1NV que se encuentran conectados directamente, se encuentran enviando paquetes HELLO constantemente para tener revisado las condiciones de conectividad que proveen.
- **Entidades de nivel 2 (L2VNs):** Son los VN's que unen los L1VNs, se encuentran de color rojo en la *Figura 2-16*. Estas VN's retransmiten los paquetes a lo largo del segmento que le corresponde como disponga los L1VNs que se encuentren en los extremos, independientemente del PN que transmite. Asimismo, Los L2VNs, utilizando mecanismos de instantáneas de la VaNetLayer, actúan como individuos de respaldo al tratar de seguir retransmitiendo los paquetes hacia el resto de segmentos en los tiempos parados de los L1VNs vecinos.

- **Entidades de nivel 3 (L3VNs):** Los L3VNs son VN que se encuentra en segmento intermedios de una vía, los cuales se pueden observar de color amarillo en la *Figura 2-16*, las cuales solo retransmiten los paquetes de un lado al otro, independientemente del PN.

2.3.2 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA CAPA VIRTUAL.

Una vez dado las principales características de estas redes, se puede describir algunos beneficios y limitaciones al utilizar la capa de virtualización. Como beneficios se tiene en primer lugar la utilización de *cluster's* para agrupar nodos físicos, esto reduce los nodos a ser manejados, que a su vez reduce la carga de paquetes y el tráfico en la red. También ubica los VN's en posiciones fijas, y esto convierte a la red en predecible y estable [4].

Otra ventaja ya mencionada es que se trabaja en una capa superior a los nodos físicos, como una interfaz para los usuarios. Por último, los clúster's se basan en la ubicación geográfica obtenida al momento de comprobar en qué región se encuentran, todo esto genera un sistema robusto, rápido y eficiente para la red [2].

En cambio, las limitaciones son algo inevitable en cualquier sistema nuevo, la principal limitación de la VNLayer es el costo de implementación del sistema ya que para su determinación se necesita un GPS (del inglés, *Global Position System*). Además, su diseño se caracteriza por el estado constante de la aplicación, necesitando niveles de tráfico bajo en mensajes de control para la sincronización de estado entre nodos [2].

2.4 REDES ESPORÁDICAS.

Los altos índices de penetración de los dispositivos móviles, han producido que los usuarios requieran ubicuidad para el acceso a la información y capacidades computacionales. Por lo que las redes inalámbricas basadas en infraestructura (UMTS, LTE, Wifi, Wimax) actúan como medio para acceder a dichos servicios, pero sus altos costos e implementación son un limitante en los ambientes móviles, en los cuales las conexiones son esporádicas. Para ello se crean las redes esporádicas las cuales colaboran con la red mediante usuarios que tienen gustos similares para distintos servicios, como se aprecia en la *Figura 2-17*.

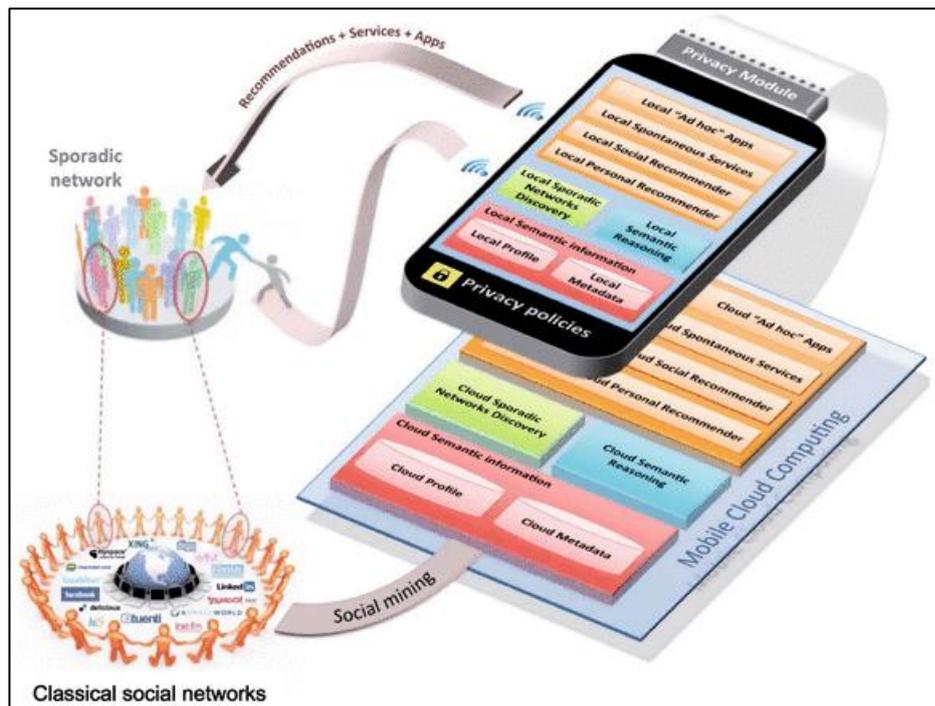


Figura 2-17 – Contextualización de una red esporádica [34].

Estas características hacen esencial el uso de redes inalámbricas ad-hoc aplicando los conceptos de las redes esporádicas como solución a los servicios de comunicaciones requeridos [2] [35].

También existen las redes sociales esporádicas, en las cuales un usuario comparte información (documentos, imágenes, audios, videos, etc.) durante el tiempo que esté disponible en la red, y si desea solo desaparece. Estos beneficios han llamado la atención del Grupo de Investigación de Servicios para la Sociedad de Información en la Universidad de Vigo (GSSI), que actualmente trabaja en la plataforma SPORANGIUM, en la cual se busca interacción social mediante nuevas formas físicas y no virtuales. Apoyando su inserción sobre las redes Ad-hoc [21].

- **Red esporádica móvil.** – La principal característica de las redes ad-hoc es la movilidad de los nodos. Por lo tanto, al igual que las redes esporádicas la red esporádica móvil posee la característica de ingresar y abandonar la red el momento que desee, pero teniendo presente que la topología de la red varia [21].

2.5 CLOUD COMPUTING.

El creciente desarrollo en las tecnologías de comunicación ha mostrado varios problemas nuevos como son el almacenamiento y procesamiento de información. Teniendo en cuenta que, en mucho de los casos, los usuarios subutilizan los sistemas de procesamiento, almacenamiento y la velocidad de conexión en Internet debido a que no lo están utilizando en un preciso instante o no tienen conocimiento de esto, se han generado desperdicio de recursos. Una solución presentada para este problema es la posibilidad de compartir estos servicios. A esto se lo conoce como computación en la nube. Esta propuesta puede ser considerablemente bastante rentable debido a que ofrece varias características [9] [20]:

- No necesitan una inversión inicial, ya que los usuarios alquilan los recursos de acuerdo a sus propias necesidades y pagan exclusivamente por eso.
- Reducen costos de operación debido a que los recursos se los puede asignar y liberar rápidamente según las necesidades del cliente.
- Es altamente escalable por la facilidad de manejar los recursos
- Tiene un fácil acceso, ya que por lo general están basados en la web, por lo tanto, es accesible desde varios dispositivos.
- Disminuyen los riesgos de negocios y los gastos por mantenimiento, ya que se externaliza la infraestructura, por lo que el proveedor es el encargado de estos temas y tienen una mayor experiencia para solucionar riesgos.

Sin embargo, a pesar de presentar todas estas características consideradas oportunidades de negocio, existe todavía varios retos por superar [20].

2.5.1 ARQUITECTURA DE LA COMPUTACIÓN EN NUBE.

Generalmente la computación en nube está dividida en 4 capas, como se muestra en la *Figura 2-18*, las cuales describiremos a continuación:

- **La capa de hardware.** - En esta capa se encuentra los recursos físicos de la nube, como son los servidores físicos, routers, conmutadores, sistema de energía y refrigeración. Esta capa por lo general se encuentra en los centros de datos, los cuales contienen miles de servidores que se encuentra organizados en bastidores y conectados a través de conmutadores, routers, etc. [20].

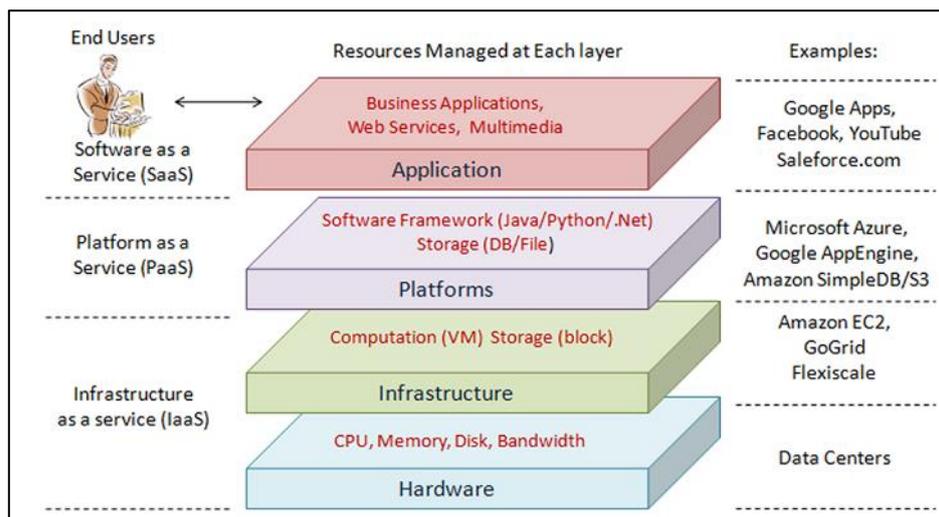


Figura 2-18 – Arquitectura de la computación en nube [20].

- **La capa de infraestructura.** - Llamada también capa de virtualización, esta es la encargada en crear un conjunto de recursos informáticos y de almacenamiento mediante la partición de recursos físicos que utilizan tecnologías de partición. Este nivel es esencial en la computación en nube ya que muchas características claves como la asignación dinámica de recursos se lo realiza aquí [20].
- **La capa de plataforma.** - Está formada en la parte superior del nivel de infraestructura y está constituida por sistemas operativos y entornos de aplicación. Esta capa es la encargada en reducir al mínimo la carga de la implementación de aplicaciones directamente a los contenedores de las máquinas virtuales [20].
- **La capa de aplicación.** - Esta sección está compuesta por las aplicaciones reales en la nube, a diferencia de las aplicaciones tradicionales, estas aprovechan la función de escalamiento automático para mejorar el rendimiento, disponibilidad y menores costos de operación [20].

Debido al modularidad de esta arquitectura, cada capa puede evolucionar indistintamente del resto, ayudando a apoyar una amplia gama de requisitos de las aplicaciones y, a la vez, reduciendo el tiempo de gestión y actividades generales de mantenimiento [20].

2.5.2 MODELO DE NEGOCIOS.

La computación en la nube presenta un modelo de negocios basando en los servicios prestados, que pueden ser recursos de hardware o software. Conceptualmente cada nivel que compone la nube puede presentarse como un servicio de la sección de arriba, o puede ser un cliente para la sección de abajo. Sin embargo, en la práctica, la computación en nube presenta tres categorías: Software como Servicio (SaaS), Plataforma como Servicio (PaaS) e Infraestructura como Servicio (IaaS) [20].

- **Infraestructura como servicio (IaaS).** -Hace referencia a la demanda de los recursos de infraestructura, que por lo general son en términos de máquinas virtuales [20]. Algunos de los proveedores de este servicio son Amazon EC2 [36], GoGrid [37] y Flexiscale [38]
- **Plataforma como servicio (PaaS).** - Está dirigido a la provisión de recursos de la capa de la plataforma, los cuales incluyen marcos de desarrollo de software y soporte de sistemas operativos [20]. Entre algunas empresas proveedores de PaaS son: *Google App Engine* [39], *Microsoft Windows Azure* [40] y *Force.com* [41].
- **Software como servicio (SaaS).** - Se refiere a entregar aplicaciones bajo demanda a través de Internet [20]. Algunos de los proveedores de SaaS son *Salesforce.com* [41], *Rackspace* [42]y *SAP Business ByDesign* [43].

El modelo de negocios de la computación en nube se puede observar en la *Figura 2-19*, la cual está representada de esa forma debido a que regularmente los proveedores de IaaS y PaaS son parte de una misma organización, y por lo tanto suelen ser llamados proveedores de infraestructura o proveedores de nube [20] [44].

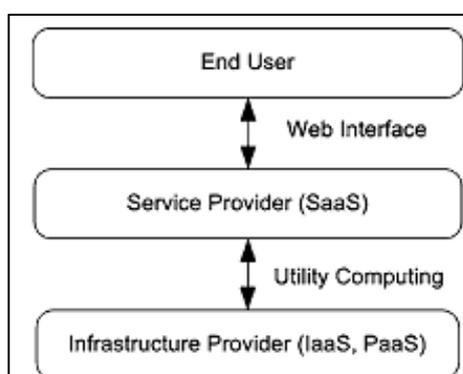


Figura 2-19 - Modelo de negocios de la computación en nube [44].

2.5.3 TIPOS DE NUBES

La razón por la que existen diferentes clases de nubes es debido a que los proveedores de servicios tienen diferentes fines, unos están interesados en reducir los costes de operación, mientras otros prefieren una alta confiabilidad y seguridad, en consecuencia, existen diferentes tipos de nubes, cada una con sus características específicas [20]:

Nubes Públicas: Este servicio está disponible para el público en general, presentando varios beneficios claves, entre los cuales sobresale el desplazamiento de riesgos hacia los proveedores de infraestructura y no presentar una inversión inicial de capital en infraestructura. Sin embargo, este tipo de nube carece de un control detallado sobre los datos, la red y la seguridad en general, por lo que es poco eficiente para algunos escenarios de negocios [20].

Nubes Privadas: Es también llamada nube internas, este tipo de nubes están diseñadas exclusivamente para una empresa u organización. Dicha nube puede ser construida y administrada por la misma organización o por proveedores externos. Tiene un alto grado de control sobre la seguridad, fiabilidad y rendimiento. Sin embargo, debido a que es enfocada a una sola empresa, los costos de inversión inicial son muy alta y es similar a los servidores tradicionales [20].

Nubes Híbridas: Este tipo de nubes es una combinación de las dos clases antes expuestas, que trata de abordar las limitaciones de cada una. En una nube híbrida, una parte del servicio es ejecutada en una nube privada y lo restante se ejecuta en una nube pública. Teniendo en cuenta esto y las características de los dos tipos de nubes que componen este tipo se tiene una ventaja clara ya que se tiene un mayor control de seguridad y fiabilidad debido a la nube privada y se facilita la expansión o contracción de la capacidad de la nube pública sin una inversión. El lado negativo de este tipo de nube es la dificultad de determinar la mejor división entre los componentes que van a cada tipo de nube [20].

Nube Virtual Privada: Se ha presentado una solución para las limitaciones de ambas redes llamada nube virtual privada (Virtual Private Cloud [VPC]), que esencialmente es una plataforma que se ejecuta en la parte superior de las nubes públicas, en la cual permite que se diseñen sus propias configuraciones de topología y seguridad. VPC virtualiza servidores, aplicaciones y las redes de comunicación subyacentes.

La elección del modelo de nube depende del escenario de negocios. Por ejemplo, las aplicaciones científicas utilizan nubes públicas por la relación coste beneficio. Las nubes híbridas son las que han tenido más popularidad, sin embargo, las nubes virtuales privadas han ganado popularidad desde su creación en 2009 [20].

CAPÍTULO 3.

3 IMPLEMENTACIÓN Y EXPERIMENTO.

En este capítulo se estudia el funcionamiento de la máquina de estados del SCMA (del inglés, *Sporadic Cloud-Based Mobile Augmentation*), la cual ha sido desarrollada en su totalidad por el Grupo de Investigación de Servicios para la Sociedad de Información de la Universidad de Vigo (GSSI) y la Universidad Politécnica Salesiana, incidiendo de manera directa en la programación los Ingenieros Esteban Ordoñez y Patricio Reinoso.

La implementación del proyecto trata sobre el despliegue de servicios computacionales a través de una nube esporádica, aplicada dentro de una red VANET. Esto se realiza para solventar las limitaciones en la capacidad de procesamiento y almacenamiento producidas por los nodos móviles dentro una red VANET. Debido a las limitaciones de los nodos móviles al momento de ejecutar algún servicio, este no puede cumplir sus funciones normalmente; por ese motivo, se necesita recursos externos y se recurre al concepto de nube vehicular y en nuestro caso el SCMA.

La máquina de estados del SCMA está compuesta por 5 estados (*ver Figura 3-2*), para los cuales permite analizar los requerimientos de los nodos móviles reales y obtener dichos recursos dentro de una red VANET. Para el proceso de encaminamiento se decidió utilizar el protocolo VNIBR), montado sobre una capa virtual mejorando las prestaciones de los servicios requeridos por los nodos en ambientes móviles.

En el resto del capítulo se analizará en la sección 3.1 la máquina de estados de SCMA, en la sección 3.2 las consideraciones para la simulación, y finalmente, en la sección 3.3, los resultados de la Simulación de la máquina de estados del SCMA.

3.1 FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE ESTADOS SCMA.

El funcionamiento del SCMA está basado en varios tipos de eventos, causando que los PN's (del inglés, *Physical Nodes*) puedan estar en algunos estados: Inicial, Solicitud de recursos, Distribución, Recepción y Colaboración.

Todo empieza en la capa de aplicación (ver la *Figura 3-1*), cuando el nodo envía un mensaje solicitando aumento de recursos (*M_AugmentationRequest*) y activa el proceso de SCMA. Como primer paso se verifica si este nodo se encuentra en una región del segmento de carretera (obsérvese el estado en la *Figura 3-2*, mediante *Intersection-Flag=0*). Además, se pide información sobre los recursos disponibles en la nube esporádica correspondiente, mediante el envío de un mensaje (*M_ResourceRequest*) al L1VN de la intersección más próxima. Luego los nodos cambian de estado inicial al estado de solicitud de recursos (*ResourceRequest*) y espera las respuestas del L1VN durante el tiempo establecido en el temporizador (*T_ResourceRequest*).

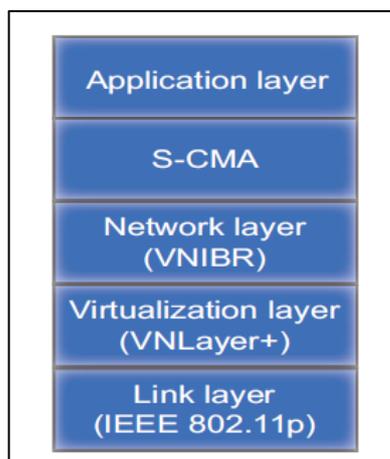


Figura 3-1 - Cadena sobre protocolos de comunicación en nodos móviles [19].

El nodo L1VN, al recibir la solicitud, revisa la posibilidad de aumentar los recursos con la ayuda de los CN's (del inglés, *Collaborators Nodes*) que se encuentran en la nube, debido a esto se puede presentar diferentes escenarios:

- Si en la nube no existieran CN's, L1VN comunica al nodo solicitante el mensaje *M_WithoutCollaborators*, y este nodo regresa al estado inicial. La capa de aplicación recibe el mensaje *M_UnavailableAugmentationService*.
- Por el contrario, al existir CN's en la nube, L1VN informa la cantidad de recursos disponibles por medio del mensaje *M_CloudResourceInfo*, si este

mensaje no llega antes del segundo conteo del temporizador *T_ResourceRequest*, el nodo solicitante regresa al estado inicial. En cambio, Si se recibe el mensaje, el nodo que realizó la petición (i) pasa al estado de distribución de tarea, (ii) inicia el temporizado *T_TaskDistribution* y (iii) distribuye las tareas entre los VN de la nube. Cuando los recursos presentados no son suficientes, se emite un mensaje *M_CloudRelease* para que L1VN elimine la petición de recursos, y la capa de aplicación es notificada mediante el mensaje *M_InsufficientResources*.

- Si los recursos son suficientes, continúa la distribución de tareas; en este proceso se toma en cuenta la distribución de los VN a lo largo del segmento de vía que se encuentra la nube y la cantidad de recursos disponibles. De esta manera, los VN's que tienen muchos recursos y se encuentran lejos de los cruces de vía (L3VNs) se les asigna tareas más largas y complejas, debido a que tienen mayor tiempo para desarrollar la tarea antes de salir de la nube; A los L2VNs se les encarga tareas cortas y simples porque estos nodos ya están actuando como soporte para los L1VNs vecinos.

Ahora se pueden presentar los siguientes escenarios:

- En el primer escenario, el nodo solicitante ingresa a un cruce antes de terminar la asignación de tareas, al suscitarse esto, la solicitud de aumento es eliminada de la nube esporádica que acaba de salir, para volver a solicitarla en la nube entrante. Para realizar esta cancelación, el nodo envía un mensaje *M_CloudRelease* y vuelve a su estado inicial.
- Si el temporizador *T_TaskDistribution* termina su recorrido en tres ocasiones antes de que se concluyan la asignación de tareas, el nodo vuelve al estado de solicitud y envía de nuevo el mensaje *M_ResourceRequest* al L1VN más cercano, esto se da debido a que la disponibilidad de recursos cambia por que los CN se encuentran en movimiento.
- Sin embargo, si la distribución se la realizó antes de que se termine el tiempo y el nodo se encuentra en la región, este último envía la tarea al VN de la nube esporádica a través del mensaje *M_SendTaskToVN*. El VN presenta estas tareas a sus colaboradores mediante el mensaje

M_SendTaskToCN. Por último, el nodo cambia a modo de recepción de tareas, solo si el VN confirma si acepta llevar a cabo las tareas asignadas.

El nodo solicitante de recursos es notificado si los CN's han concluido la tarea, está incompleta, o no aceptaron hacerla. Luego, este envía dicha información a la capa de aplicación a través del mensaje *M_TaskInfo*. Si es necesario más recurso para completar las tareas inconclusas y rechazadas, se realizan los pasos ya mencionados a lo largo de esta sección. Y por último, al recibir la notificación de todas las tareas el nodo demandante cambia ha estado inicial.

No obstante, si este mensaje no se recibe antes de que el temporizador *T_Reception* concluya en dos ocasiones, o si el nodo entra a una intersección, se realizan las siguientes acciones:

- Primero, el nodo peticionario transmite el mensaje *M_CloudRelease* a la nube, con el objetivo de que los colaboradores presenten inmediatamente el progreso de las tareas asignadas a los colaboradores.
- A continuación, el nodo espera a las tareas incompletas un periodo del temporizador *T_Reception* para presentar la información a la capa de aplicación y volver a estado inicial.

Con respecto a los nodos colaboradores que participan en la tarea de aumento, estos pasan del estado inicial a estado colaborativo al recibir el mensaje *M_SendTaskToCN* enviado por el líder de la región. El nodo colaborador acepta una tarea al enviar el mensaje *M_AcceptedTaskFromCN*; el nodo solicitante es notificado desde el VN con el mensaje *M_AcceptedTaskFromVN*, y el proceso se constituye de la siguiente manera:

- Si el colaborador termina la tarea solicitada, este envía directamente los resultados al nodo peticionario gracias a que conoce su dirección MAC, y así evita sobrecargar al líder de la región, el cual está encargado en las operaciones que garantizan el funcionamiento de la VNlayer inferior.
- Cuando el colaborador tiene una tarea incompleta y como se explicó anteriormente, este debe presentar los avances al recibir el mensaje *M_CloudRelease*. Para realizar esta solicitud, el CN envía el mensaje

M_IncompleteTask al nodo solicitante, Este mensaje contiene información muy relevante. El CN espera hasta recibir el mensaje de confirmación, los cuales son M_CompleteTaskACK o M_IncompleteTaskACK dependiendo el caso, los temporizadores T_CompleteTaskACK y T_IncompleteTaskACK son utilizados para este fin.

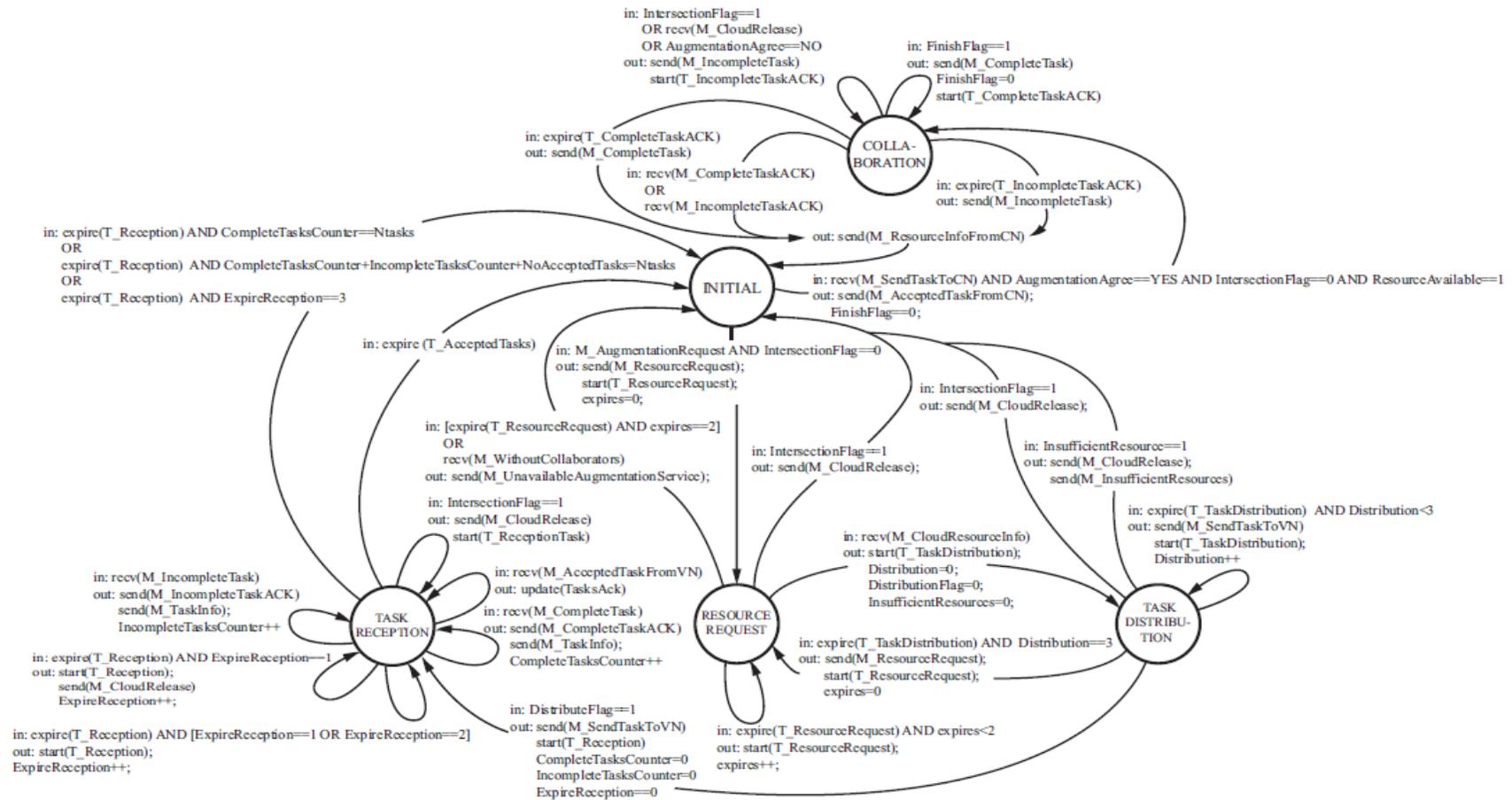


Figura 3-2 - Aproximación de la máquina de estados SCMA [19].

- Los CN, al haber entregado las tareas pendientes, liberan los recursos y se transmite el mensaje *M_ResourceInfoFromCN* para indicar la nueva disponibilidad de recursos. También son informados los L1VNs gracias a la transmisión del mensaje *M_ResourceDiscovery*, el cual se envía periódicamente.
- Por último, el CN vuelve a su estado inicial, esperando volver a prestar sus servicios cuando sean solicitados.

En nuestro caso solo se analizará los 2 primeros estados, debido a lo extenso del tema, y que sirvan como base para futuras implementaciones.

3.2 CONSIDERACIONES PARA LA SIMULACIÓN.

Las redes VANET's están caracterizadas por la alta movilidad de sus nodos y topología cambiante; estas características producen fallas en las comunicaciones y dispositivos de comunicación dentro de la red. Esas deficiencias se deben en su mayoría a las capacidades de procesamiento y almacenamiento de los dispositivos que conforman dicha red, ya que son menores a las capacidades requeridas. Por esta razón se utilizó como solución la computación en nubes esporádicas, ya que está conformada por la SCMA conjuntamente con el protocolo de encaminamiento VNIBR, lo cual mejora las capacidades de comunicación y movilidad de las redes VANET's.

En nuestro caso, solo se evaluará los estados: Inicial y Requerimiento en la computación en nubes esporádicas, debido a que estos estados son críticos para el proceso de comunicación y asignación de recursos entre nodos. Ya que aquí la red VANET gestiona y organiza sus componentes (nodos virtuales), para poder cumplir los requerimientos solicitados por los nodos móviles (usuarios) de las redes VANET's.

Para comprobar lo mencionado, se experimentará sobre una topología similar al centro histórico de Cuenca. Esta fue diseñada con 7 filas y 7 columnas (7x7 calles), dentro de estas se encuentran 400 nodos virtuales fijos (regiones) distribuidos uniformemente. La distribución se realizó de la siguiente manera: 3 nodos virtuales

fijos se encuentran en los segmentos de vía, mientras que 1 nodo virtual fijo se ubica en cada intersección, como se observa en la *Figura 3-3*.

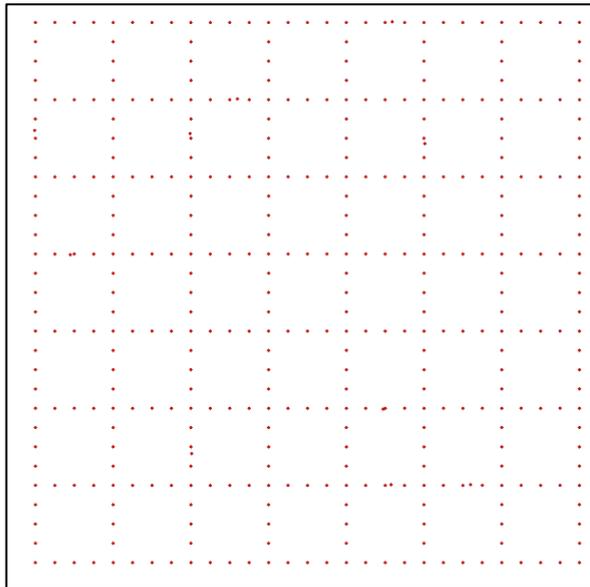


Figura 3-3 - Escenario de Simulación: Centro Histórico de Cuenca.

Adicional a estos nodos virtuales fijos (regiones), se colocará nodos móviles dentro de los nodos virtuales fijos, para que emulen a los usuarios físicos de la red; generando comunicaciones y peticiones de recursos desde una región hacia otra. El software SUMO 0.23 se usó para generar tráfico en el escenario escogido. Los archivos generados que contienen los patrones de movimiento de los autos fueron enlazados con NS-3 (versión 3.25) mediante el uso de NS2 Mobility Helper. En la simulación se asume que inicialmente todos los nodos ya están dentro del escenario y cada nodo realiza su recorrido generado en SUMO.

3.2.1 SELECCIÓN DE REGIONES E INTERSECCIONES PARA LA SIMULACIÓN.

Una vez definido los parámetros del escenario se continuará con la selección de una calle específica donde existan regiones e intersecciones para la simulación. Para ello primero se elegirá un segmento de vía y dos intersecciones conjuntas al mismo dentro del escenario; las regiones del segmento de vía escogido son: 597-598-599, mientras que las regiones de las intersecciones conjuntas son: 596-600, estos están representados físicamente por nodos virtuales con identificación (ID: 292-296).

Luego de esto se asignará un número de nodos móviles a estas regiones, y estos transitarán aleatoriamente pidiendo requerimientos de procesamiento o información. Con todo esto se puede evaluar la capacidad de ancho de banda disponible en cada región cuando se realiza un requerimiento. Para la simulación la tasa de datos fue configurada con la tecnología 3G-4G para los distintos nodos físicos móviles.

La simulación se realizará en 3 ocasiones, incrementando el número de nodos móviles (10,50 y 100) dentro de un segmento de vía. Esto con el fin de contrastar las 3 mediciones de ancho de banda, y así determinar, si con una mayor densidad de nodos móviles mejora los recursos dentro de la red.

3.3 SIMULACIÓN DE LA MÁQUINA DE ESTADOS SCMA, MONTADA CON EL PROTOCOLO DE ENCAMINAMIENTO VNIBR.

El protocolo VNIBR asigna a cada nodo virtual de la topología su nivel correspondiente: los VN's de nivel 1, los cuales se encuentran en las intersecciones de las vías; los VN de nivel 2, estos aparecen junto a los nodos de nivel 1 (se encuentran junto las intersecciones); y por último, los nodos virtuales de nivel 3, estos se encuentran entre los nodos de nivel 2. Como se puede observar en la *Figura 3-4*, se asignan 5 nodos para cada número de vía (WN del inglés, *Way Number*), con su respectivo nivel, una particularidad es que los nodos de nivel 1 se repiten para cada WN debido a que estos nodos son compartidos para las secciones de vía que se encuentran alrededor de él.

WN: 38	Region: 592	RegionLevel: 1	Neig.Prev: -1	Neig.Next: 593
WN: 38	Region: 593	RegionLevel: 2	Neig.Prev: 592	Neig.Next: 594
WN: 38	Region: 594	RegionLevel: 3	Neig.Prev: 593	Neig.Next: 595
WN: 38	Region: 595	RegionLevel: 2	Neig.Prev: 594	Neig.Next: 596
WN: 38	Region: 596	RegionLevel: 1	Neig.Prev: 595	Neig.Next: -1
WN: 39	Region: 596	RegionLevel: 1	Neig.Prev: -1	Neig.Next: 597
WN: 39	Region: 597	RegionLevel: 2	Neig.Prev: 596	Neig.Next: 598
WN: 39	Region: 598	RegionLevel: 3	Neig.Prev: 597	Neig.Next: 599
WN: 39	Region: 599	RegionLevel: 2	Neig.Prev: 598	Neig.Next: 600
WN: 39	Region: 600	RegionLevel: 1	Neig.Prev: 599	Neig.Next: -1
WN: 40	Region: 600	RegionLevel: 1	Neig.Prev: -1	Neig.Next: 601

Figura 3-4 – Asignación de niveles a los nodos virtuales.

Antes de empezar la visualización del programa, se realiza un barrido de los nodos móviles y virtuales del área de simulación, como se aprecia en la *Figura 3-5*, los nodos fijos virtuales son 400 mientras que los nodos móviles reales se pueden ajustar en los parámetros de la simulación. En este caso, se realizaron 3 pruebas, la primera

con 10 nodos móviles (Figura 3-5), la segunda prueba se realizó con 50 nodos móviles (Figura 3-6) y por último, se realizó con 100 nodos móviles (Figura 3-7).

```
david@david-Inspiron-N5050: ~/Documentos/proyecto-ups/ns-allinone-3.25/ns-3.25
scanning topology: 410 nodes...
scan topology... 99 nodes visited (24.1%)
scan topology... 199 nodes visited (48.5%)
scan topology... 299 nodes visited (72.9%)
scan topology... 399 nodes visited (97.3%)
scanning topology: calling graphviz layout
scanning topology: all done.
```

Figura 3-5 – Escaneo de los nodos virtuales y móviles (10 nodos móviles asignados).

```
david@david-Inspiron-N5050: ~/Documentos/proyecto-ups/ns-allinone-3.25
scanning topology: 450 nodes...
scan topology... 99 nodes visited (22.0%)
scan topology... 199 nodes visited (44.2%)
scan topology... 299 nodes visited (66.4%)
scan topology... 399 nodes visited (88.7%)
scanning topology: calling graphviz layout
scanning topology: all done.
```

Figura 3-6 – Escaneo de los nodos virtuales y móviles (50 nodos móviles asignados).

```
david@david-Inspiron-N5050: ~/Documentos/proyecto-ups/ns-allinone-3.25/ns-3.25
scanning topology: 500 nodes...
scan topology... 99 nodes visited (19.8%)
scan topology... 199 nodes visited (39.8%)
scan topology... 299 nodes visited (59.8%)
scan topology... 399 nodes visited (79.8%)
scan topology... 499 nodes visited (99.8%)
scanning topology: calling graphviz layout
scanning topology: all done.
```

Figura 3-7 – Escaneo de los nodos virtuales y móviles (100 nodos móviles asignados).

En el siguiente capítulo se expone los resultados obtenidos de las simulaciones con las consideraciones antes mencionadas, y se realiza un análisis de los datos logrados.

CAPÍTULO 4.

4 ANÁLISIS Y RESULTADOS.

En esta sección detallaremos los resultados obtenidos de las capacidades en ancho de banda, para la computación en la nube esporádica dentro de un escenario VANET. Todos estos valores han sido extraídos de la simulación.

El principal objetivo de la simulación es determinar la capacidad del ancho de banda durante algún requerimiento de un nodo móvil dentro de una región. Para obtener estos valores se estableció algunas condiciones en los nodos virtuales como densidad de usuarios, ancho de banda aleatorio, red en la que operan los usuarios (3G-4G). Todo esto para comprobar el funcionamiento de la computación en la nube esporádica dentro de un escenario VANET y determinar si es viable la propuesta establecida.

Para obtener resultados realistas de los anchos de banda simulados, se mantuvieron las condiciones del simulador para todos los experimentos.

4.1 EVALUACIÓN DEL ANCHO DE BANDA (BW) EN CADA REGIÓN DE UN SEGMENTO DE VÍA E INTERSECCIÓN.

En las redes VANET's, la velocidad en la transmisión de información (datos, imágenes, videos, apps, etc.) es de gran importancia, ya que ciertos valores deben cumplir requerimientos mínimos para entablar comunicaciones vehiculares.

Dependiendo del rango de estos valores se puede determinar si es viable la propuesta de la computación sobre nubes esporádicas para la transmisión y procesamiento de información en las redes VANET's. Para esta investigación el valor fundamental utilizado para determinar la viabilidad de esta implementación es el ancho de banda.

- **Ancho de Banda**

El ancho de banda es la cantidad de información que se puede transmitir en un segundo por un medio de comunicación. Esto depende de la capacidad de

manejo de los bits, la velocidad de manejo de información por parte de los circuitos electrónicos [45].

Una vez establecidos los parámetros en el capítulo 3, se obtuvieron las gráficas del ancho de banda disponible en un segmento de vía. Para cada métrica se obtuvieron distintos valores dependiendo de la tasa de transmisión, el rango de alcance y la densidad de nodos móviles en cada nodo virtual.

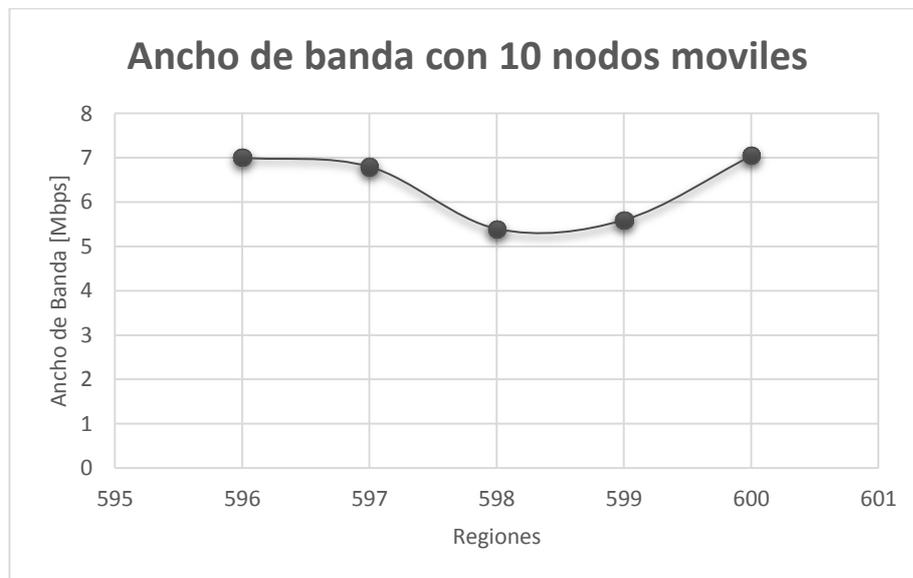


Figura 4-1 – Ancho de banda disponible por región, simulado con 10 nodos móviles.

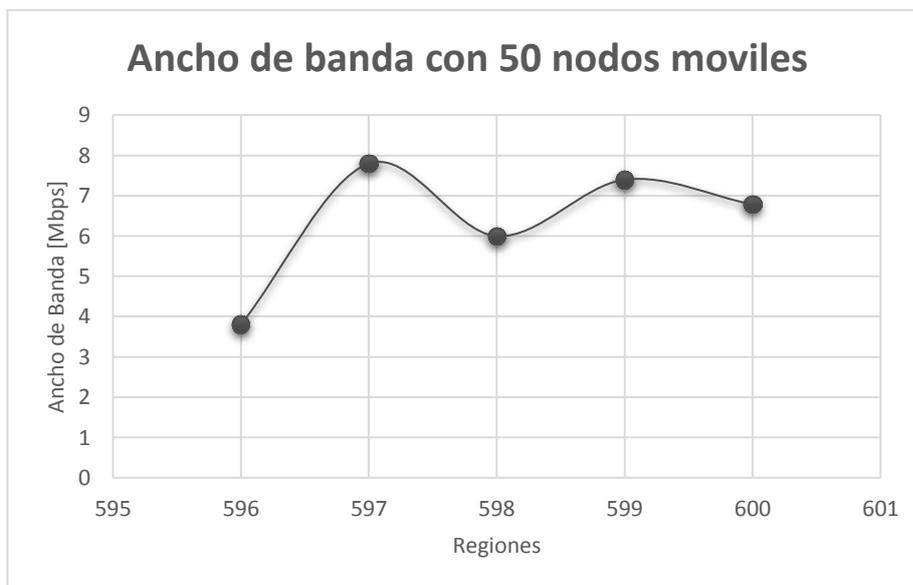


Figura 4-2 Ancho de banda disponible por región, simulado con 50 nodos móviles

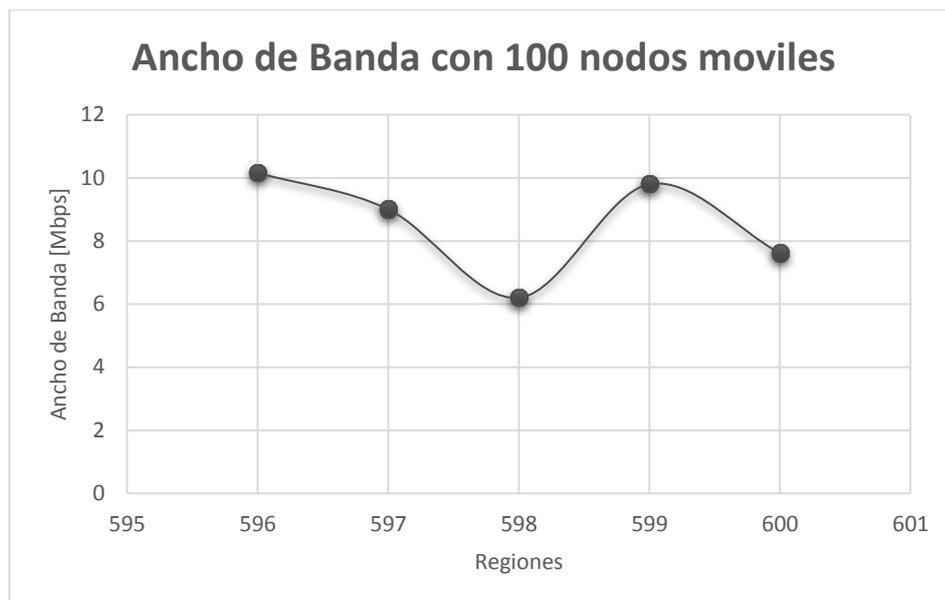


Figura 4-3 - Ancho de banda disponible por región, simulado con 100 nodos móviles

En las figuras: *Figura 4-1*, *Figura 4-2* y *Figura 4-3*. Se puede apreciar que la implementación de la máquina de estados SCMA y el protocolo de encaminamiento VNIBR en un segmento de vía de una red VANET es eficiente, debido a que el ancho de banda disponible como recurso de colaboración es constante en todo el segmento vía, pero solo cuando existe un gran número de nodos físicos móviles reales dentro de la región de operación. Esto es comprensible ya que al tener mayor número de usuarios dentro de una región se puede disponer de una mayor cantidad de recursos de la misma. Además, estos recursos son equitativos y prolongados en cada región del segmento de vía analizado.

Otro caso es cuando existe un escaso número de nodos móviles reales, ya que el ancho de banda disponible no es constante y está limitado a la movilidad de los nodos. Esto se produce debido a la pequeña cantidad de nodos móviles, ya que dichos nodos pueden cambiar de región rápidamente y los recursos disponibles variarían según la posición del nodo dentro del segmento de vía. Aunque, sería conveniente solo en la colaboración de recursos, ya que con un escaso número de usuarios se produce menos carga en la red. Por lo tanto, la implementación mostrada es eficiente en tareas de comunicación en lugares similares a la topología presentada. Pero su principal deficiencia es la estabilidad en la entrega de recursos.

CAPÍTULO 5.

5 CONCLUSIONES.

Las redes VANET`s se encuentran en una posición de gran expectativa, en especial debido a los escenarios que cuentan con varias intersecciones, en los cuales existe falta de cobertura, o pérdida de ésta por los obstáculos existentes (edificios, geografía, etc.). Una característica fundamental para el buen funcionamiento de una red VANET es la computación en nube esporádica. En este trabajo se ha iniciado la implementación de la nube esporádica en el protocolo VNIBR, simulando un ambiente real conformado por intersecciones y segmentos de vía.

Aquí se proyectó la programación y simulación de una nube esporádica sobre redes VANET`S para un determinado escenario en la ciudad de Cuenca. Esto se pudo conseguir mediante el uso de NS-3 y SUMO, los cuales son programas de software libre. SUMO se usó para obtener las trazas que simulan el centro histórico, dichas trazas están distribuidos como cuadrículas emulando vías e intersecciones, y sobre esta implementar el tránsito vehicular (nodos móviles). A continuación, estas trazas se usaron en el programa NS-3 para implementar el protocolo VNIBR y la computación en nube esporádica. Estos programas aquí utilizados, son ampliamente aceptados por los investigadores de redes Ad-Hoc debido a su alta confiabilidad.

El protocolo VNIBR fue utilizado porque es el que mayor ajuste tiene para el escenario propuesto, ya que está desarrollado para funcionar en ambientes compuestos por vías e intersecciones, y también debido a que este se utiliza conjuntamente con la máquina de estados SCMA. En la cual, para su implementación se utilizó los dos primeros estados (inicial y requerimiento) por la importancia de los mismos, ya que sirven para la gestión, ubicación y asignación de recursos a los usuarios dentro de la red. Entre estos dos estados, se realizó un análisis de la cantidad de ancho de banda disponible dentro de una región para un escenario urbano.

El ancho de banda disponible en la comunicación es indispensable, ya que esto determina la velocidad en la transmisión de información. En nuestro caso se puede

mencionar que la implementación de los 2 estados en la computación sobre nube esporádica, funciona óptimamente debido a la estabilidad del ancho de banda disponible solo con un gran número de usuarios dentro de un segmento de vía. Ya que cuando se tiene un bajo número de nodos móviles existe la disponibilidad del recurso, pero este es inestable, debido a que depende de la movilidad de los nodos colaboradores.

Además, se puede mencionar que los autos trabajan con las redes 3G y LTE (4G) la cuales permiten un mejor acceso a la Internet. Haciendo posible que los vehículos manejen grandes anchos de banda en escenarios donde la circulación es lenta y abultada. Por lo tanto, el ancho de banda disponible por región está limitado por la cantidad de nodos móviles. Produciendo que la escalabilidad del SCMA tenga restricciones debido a la característica antes mencionada.

5.1 TRABAJOS FUTUROS.

En base a los objetivos alcanzados en este trabajo de fin de grado, se generan líneas de investigación para continuar con el desarrollo de toda la nube esporádica, y en investigaciones o proyectos futuros se podría llegar a la implementación en un escenario real.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] A. Lopez, H. Giraldo y A. Moyano, «Limitaciones del desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles,» 2003.
- [2] J. F. Bravo, «MEJORA DE LOS SERVICIOS DE COMUNICACIONES SOBRE REDES MÓVILES AD-HOC EN ESCENARIOS PEDESTRES Y VEHICULARES MEDIANTE VIRTUALIZACIÓN,» Universidad de Vigo, Cuenca, 2015.
- [3] L. Criollo y J. R. Duchitanga, «ANÁLISIS DE SIMULACIÓN DE VIDEO STREAMING SOBRE REDES VEHICULARES AD-HOC MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE LIBRE,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2016.
- [4] J. P. Hurtado y E. P. Siguenza, «ANÁLISIS DEL USO DE NODOS MÓVILES VIRTUALES PARA PROCESOS DE ENCAMINAMIENTO EN REDES VEHICULARES AD-HOC,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2013.
- [5] S. Zeadally, R. Hunt, Y.-S. Chen, A. Irwin y A. Hassan, «Vehicular ad hoc networks (VANETS): status, results, and challenges,» *Springer*, pp. 217-241, 2012.
- [6] C. Caballero-Gil, P. Caballero-Gil, J. Molina-Gil, C. Hernandez-Goya y A. Fuster-Sabater, «Gestión de Grupos en VANET's: Descripción de fases,» Universidad de la Laguna, 2010.
- [7] L. A. Caldas y J. C. Zaruma, «IMPLEMENTACIÓN DE UN AMBIENTE DE SIMULACIÓN BASADO EN SOFTWARE LIBRE PARA EL ESTUDIO DE LA PROVISIÓN DE SERVICIOS DE COMUNICACIONES EN REDES VEHICULARES AD-HOC MEDIANTE EL USO DE NODOS MÓVILES VIRTUALES,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2013.
- [8] R. S. Leiva, «Simulación de VANETS (Vehicular Ad-Hoc Networks),» Universidad Politécnica de Catalunya, Catalunya, 2007.
- [9] N. H. Yong Pan, «Research on Dependability of Cloud Computing,» de *International Conference on Reliability, Maintainability and Safety (ICRMS)*, 214.
- [10] T. G. Peter Mell, «The NIST Definition of Cloud,» Information Technology Laboratory, Gaithersburg, 2011.

- [11] Y. Wang, I.-R. Chen y D.-C. Wang, «A Survey of Mobile Cloud Computing Applications: Perspectives and Challenges,» *Wireless Personal Communications*, vol. 80, pp. 1607-1623, 2015.
- [12] O. Kim, V. Nguyen y C. Hong, «Which network simulation tool is better for simulating Vehicular Ad-hoc network?,» *Corea Ciencias de la Información Sociedad de la 41 Reunión General Anual y Conferencia de Invierno*, pp. pp. 930–932, 2014, 2014.
- [13] «The Network Simulator - ns-2.,» [En línea]. Available: [http://www.isi.edu/nsnam/ns/..](http://www.isi.edu/nsnam/ns/)
- [14] «The Network Simulator - ns-3,» [En línea]. Available: [http://www.nsnam.org/.](http://www.nsnam.org/)
- [15] «OMNeT++,» [En línea]. Available: [https://omnetpp.org/.](https://omnetpp.org/)
- [16] E. F. Ordoñez-Morales, Y. Blanco-Fernandez, M. Lopez-Nores, J. F. Bravo-Torres, J. Pazos-Arias y M. Ramos-Cabrer, «Exploiting a virtualization layer to support the concept of Sporadic Cloud Computing with users on the move,» *3rd World Conference on Information Systems and Technologies*, pp. 959 - 966, 2015.
- [17] H. T. Dinh, C. Lee, D. Niyato y P. Wang, «A survey of mobile cloud computing: architecture, applications and approaches.,» *Wireless Communications and Mobile Computing*, pp. 1587 - 1611, 2013.
- [18] I. Vidal, C. García, I. Soto y J. I. Moreno, «Servicios de valor añadido en redes móviles ad-hoc,» *In Telecom I+D*, 2004.
- [19] E. Ordonez-Morales, Y. Blanco-Fernandez, J. Bravo-torres, M. Lopez-Nores, V. Saians-Vazquez y J. Pazos-Arias, «S-CMA: sporadic cloud-based mobile augmentation supported by an ad-hoc cluster of moving handheld devices and a virtualization layer,» *Innovative Computing Technology*, pp. 152 - 157, 2015.
- [20] Z. Qi, C. Lu y B. Raouf, «Cloud computing: state-of-the-art and research challenges,» *J Internet Serv App*, pp. 7 - 18, 2010.
- [21] B. Carrion y L. Delgado, «Simulación y análisis de redes esporádicas móviles Ad-hoc,» Universidad Politecnica Salesiana., Cuenca, 2015.
- [22] M. C. Domingo Aladrén, «Simulación de VANET's (Vehicular Ad-hoc Networks),» UPCcommons, Barcelona, 2007.

- [23] J. Härri, F. Filali, C. Bonnet y M. Fiore, «VanetMobiSim: generating realistic mobility patterns for VANETs.,» *In Proceedings of the 3rd international workshop on Vehicular ad hoc networks*, pp. 96-97, 2006.
- [24] F. D. d. Cunha, A. Boukerche, L. Villas, A. C. Viana y A. A. F. Loureiro., «Data Communication in VANETs: A Survey, Challenges and Applications.,» *INRIA Saclay*, vol. 4, nº 1, 2014.
- [25] A. Orozco, G. Llano y R. Michoud, «Redes vehiculares Ad-hoc: aplicaciones basadas en simulación.,» *Ingenium*, vol. 6, nº 12, pp. 11-22, 2012.
- [26] O. Orozco Sarasti y G. Llano Ramirez, «APLICACIONES PARA REDES VANET ENFOCADAS EN LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL, UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.,» *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 24, nº 2, pp. 111-132, 2014.
- [27] A. Pachón de la Cruz, C. F. Nieto y M. L. Velasco Vivas, «Modelos de comportamiento de las redes vehiculares en sus escenarios más representativos, utilizando simulación en la herramienta NCTUns.,» *Sistemas y Telemática*, vol. 8, nº 15, pp. 13-25, 2010.
- [28] J. M. Garcia, «Evaluación de Protocolos de Encaminamiento para Redes Vehiculares (VANET),» Dept. de Ingenieria electronica - Universidad de Sevilla, Sevilla, 2014.
- [29] D. Jiang y L. Delgrossi, «IEEE 802.11p: Towards an International Standard for Wireless Access in Vehicular Environments.,» *Vehicular Technology Conference*, pp. 2036-2040, 2008.
- [30] H. Doumenc, «Estudios comparativo de protocolos de encaminamiento en redes VANET.,» Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2008.
- [31] G. Sallam y A. Mahmoud, «Performance Evaluation of OLSR and AODV in VANET.,» *Cloud Computing Using Fading Model with SUMO and NS3 Cloud Computing (ICCC)*, pp. 1-5, 2015.
- [32] M. Landero Rodriguez, «Protocolo de ruteo híbrido para redes moviles Ad-Hoc.,» Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal, 2005.
- [33] J. Bravo-Torres, M. López-Nores, Y. Blanco-Fernández, J. Pazos-Arias, M. Ramos-Cabrer y A. Gil-Solla, «Optimizing Reactive Routing Over Virtual Nodes in VANETs.,» *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, nº 4, pp. 2274-2294, 2016.
- [34] J. F. Bravo-Torres, M. López-Nores, Y. Blanco-Fernández, J. J. Pazos-Arias y E. F. Ordóñez-

Morales, «Leveraging Ad-hoc Networking and Mobile Cloud Computing to Exploit Short-Lived Relationships Among Users on the Move.,» *Springer*, vol. 8993, pp. 84-102, 2015.

- [35] M. Frodigh, P. Johansson y P. Larsson, «Formacion de redes inalambricas Ad-Hoc,» *Ericsson Review*, pp. 248-263, 2000.
- [36] «Amazon Elastic Computing Cloud,» [En línea]. Available: aws.amazon.com/ec2. [Último acceso: 20 Septiembre 2016].
- [37] «Cloud Hosting, CLOUD Computing and Hybrid Infrastructure from GoGrid,» [En línea]. Available: <http://www.gogrid.com>. [Último acceso: 20 septiembre 2016].
- [38] «FlexiScale Cloud Comp and Hosting,» [En línea]. Available: www.flexiscale.com. [Último acceso: 20 septiembre 2016].
- [39] «Google App Engine,» [En línea]. Available: <http://code.google.com/appengine>. [Último acceso: 20 septiembre 2016].
- [40] «Windows Azure,» [En línea]. Available: www.microsoft.com/azure. [Último acceso: 20 septiembre 2016].
- [41] «Salesforce CRM,» [En línea]. Available: <http://www.salesforce.com/platform>. [Último acceso: 20 septiembre 2016].
- [42] «Dedicated Server, Managed Hosting, Web Hosting by Rackspace,» [En línea]. Available: <http://www.rackspace.com>. [Último acceso: 20 septiembre 2016].
- [43] «SAP Business ByDesign,» [En línea]. Available: www.sap.com/sme/solutions/. [Último acceso: 20 septiembre 2016].
- [44] A. Michael, F. Armando, G. Rean, J. Anthony D., K. Randy, K. Andy, L. Gunho, P. David, R. Ariel, S. Ion y Z. Matei, «Above the Clouds: A View of Cloud Computing,» 2009.
- [45] G. Cortez, «Calculo de Ancho de Banda,» [En línea]. Available: <http://www.rnds.com.ar/articulos/065/108w.pdf>. [Último acceso: 15 10 2016].