

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:
CARACTERIZACIÓN PREDICTIVA DEL FLUJO Y LA CONGESTIÓN
VEHICULAR MEDIANTE MODELAMIENTO PROBABILÍSTICO PARA EL
ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ÓPTIMO DE UNA VANET.**

**AUTOR:
DARWIN ORLANDO JÁCOME UMATAMBO**

**TUTOR:
JOSÉ RENATO CUMBAL SIMBA**

Quito, septiembre del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, DARWIN ORLANDO JÁCOME UMATAMBO, con documento de identificación N° 1721042214, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “CARACTERIZACIÓN PREDICTIVA DEL FLUJO Y LA CONGESTIÓN VEHICULAR MEDIANTE MODELAMIENTO PROBABILÍSTICO PARA EL ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ÓPTIMO DE UNA VANET”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: 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 mi condición de autor me reservo 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.



Darwin Orlando Jácome Umatambo

C.I. 1721042214

Quito, septiembre 2019

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “CARACTERIZACIÓN PREDICTIVA DEL FLUJO Y LA CONGESTIÓN VEHICULAR MEDIANTE MODELAMIENTO PROBABILÍSTICO PARA EL ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ÓPTIMO DE UNA VANET”, realizado por Darwin Orlando Jácome Umatambo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre del 2019



José Renato Cumbal Simba

C.C. 1714663760

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres Juan Jácome y Carlota Umatambo, quienes han estado a mi lado incondicionalmente ya que por medio de sus enseñanzas, anécdotas y experiencias me han guiado de manera constante para cumplir mis objetivos profesionales. A mis hermanos Henry, Oscar y Karla por brindarme su tiempo y mostrarme el camino hacia la superación. Y a Priscila por estar junto a mí en todo momento y darme la mano cuando más lo necesité.

Darwin Orlando Jácome Umatambo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi padre por su apoyo incondicional, ya que tuvo plena confianza en mí y de esa manera me estrechó su mano para alcanzar mis metas propuestas.

A mi madre por cada día luchar a mi lado y por su constante atención hacia mí, sobre todo por ser un gran ejemplo de vida para toda la familia.

Al Ingeniero Renato Cumbal, por sus enseñanzas, guía, orientación y ayuda en la realización del presente proyecto.

Darwin Orlando Jácome Umatambo

Caracterización predictiva del flujo y la Congestión Vehicular mediante modelamiento probabilístico para el análisis del rendimiento óptimo de una VANET

Predictive characterization of vehicular flow and congestion through probabilistic modeling for the optimal performance analysis of a VANET

Renato Cumbal¹, Darwin Jácome²

Resumen. - El siguiente documento utiliza un escenario de carretera llamado VANET para obtener una caracterización predictiva del flujo vehicular mediante un modelo probabilístico. Primero, se deben obtener diferentes rutas por donde pasan los automóviles y de esa manera se genera un flujo vehicular. Luego de obtener movilidad, se obtienen rastros de datos que se evalúan mediante hidrodinámica de partículas suavizadas para obtener un patrón de movilidad de acuerdo con el mayor tráfico vehicular en la red VANET, de esta manera el análisis probabilístico se realiza mediante cadenas de Markov evaluar el comportamiento de la red vehicular.

Palabras clave. - Movilidad; Probabilidad; SPH; flujo vehicular; Cadenas de Markov; modelo estocástico.

Abstract— The following document uses a road scenario called VANET to obtain a predictive characterization of vehicular flow by means of a probabilistic model. First, different routes must be obtained by where the cars pass and in that way a vehicular flow is generated. After obtaining mobility, traces of data are obtained which are evaluated by means of hydrodynamics of smoothed particles to obtain a mobility pattern according to the greater vehicular traffic in the VANET network, in this way the probabilistic analysis is carried out by

means of chains of Markov to evaluate the behavior of the vehicular network.

Keywords— Mobility; Probability; SPH; vehicular flow; Markov chains; stochastic model.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del área de las comunicaciones inalámbricas y móviles, las redes vehiculares Ad-hoc han generado el interés de distintas organizaciones, con lo que ha generado un tema de estudio y análisis para el incremento de aplicaciones, dispositivos, integración de tecnologías, seguridad, estándares y calidad de servicio en diferentes áreas[1]-[2]. Este estudio de redes vehiculares muestra una gran cantidad de oportunidades y motivación para profundizar los aspectos que lo involucran, los cuales han surgido debido al avance de las tecnologías inalámbricas así como también las investigaciones en la industria automotriz. Esto permite desarrollar redes con topologías espontáneas con vehículos en constante movimiento en varias simulaciones [3], con flujos vehiculares fiables, mediante una conducción que comparta información sobre el tráfico, teniendo en cuenta que la movilidad continua es una característica esencial de una red vehicular VANET, la misma que puede tener cambios breves en cuanto a los grupos de vehículos cercanos en una misma dirección [4]. De modo que se han desarrollado sistemas para que

¹Docente de la carrera Ingeniería Electrónica, UPS, Quito, jcumbal@ups.edu.ec

²Estudiante de la carrera Ingeniería Electrónica mención telecomunicaciones, UPS, Quito djacomeu@est.ups.edu.ec.

estas redes conviertan a cada vehículo en una fuente de información los mismos que proceden a conectarse con otros vehículos [5], de ese modo las redes vehiculares Ad-hoc están compuestas por un conjunto de vehículos equipados con dispositivos de red inalámbrica capaces de interconectarse entre sí, de hecho, sin tener una previa infraestructura [2], con ello se logra obtener una determinada ruta, ya que se puede brindar servicio de localización, información acerca del clima y también usarlas en distintas aplicaciones dentro de las telecomunicaciones [6]. Por medio de estas redes se puede determinar la congestión vehicular ya que existen diferentes enfoques si se desea coordinar el estado del tráfico en cuanto a la movilidad que va desde el flujo libre a seriamente congestionado que es en donde circulan mayor número de autos [7]. Aquí es donde se toma en cuenta el movimiento y la predicción de los vehículos los cuales tienen cierto grado de complejidad en una simulación con varias vías que son analizadas de forma detallada, por lo que las características y la predicción de la movilidad dentro de una VANET se basan en varios modelos de mapas con rutas predefinidas donde la cantidad de vehículos tienen un papel importante para que el desempeño de la red sea eficaz [8], del mismo modo para desarrollar este tipo de estudios y simulaciones que ofrezcan mayor rendimiento en

la predicción del flujo vehicular se debe analizar la movilidad en base al modelamiento representado por interacción entre vehículos teniendo en cuenta la transición de los autos durante el trayecto [9]. Ahora bien la red VANET permite potenciar diversas aplicaciones en cuanto a la movilidad y la eficiencia del tráfico, por eso se analizará el tema de congestión de las Redes Ad Hoc [10], generando un flujo vehicular para examinarlos mediante las cadenas de Markov que son procesos estocásticos discretos en donde la probabilidad de que ocurra un evento depende del evento inmediatamente anterior por lo tanto en el movimiento de cada auto se considera por medio del análisis de patrón de movilidad, cambio de longitud o tiempo entre dos puntos consecutivos. Por otra parte se utiliza el SPH (Hidrodinámica Suavizada de Partículas) que permite detectar el flujo vehicular graficando ondas instantáneas de acuerdo a la cantidad de autos encontrados en la simulación [5], y con ello comparando datos modelados experimentalmente se distingue el tipo de movilidad en un rango propuesto ya que se generan trazas de datos que son movimientos preestablecidos de los vehículos para que se generen cambios en los flujos de movilidad para una evaluación vial eficiente en un tiempo establecido [11].

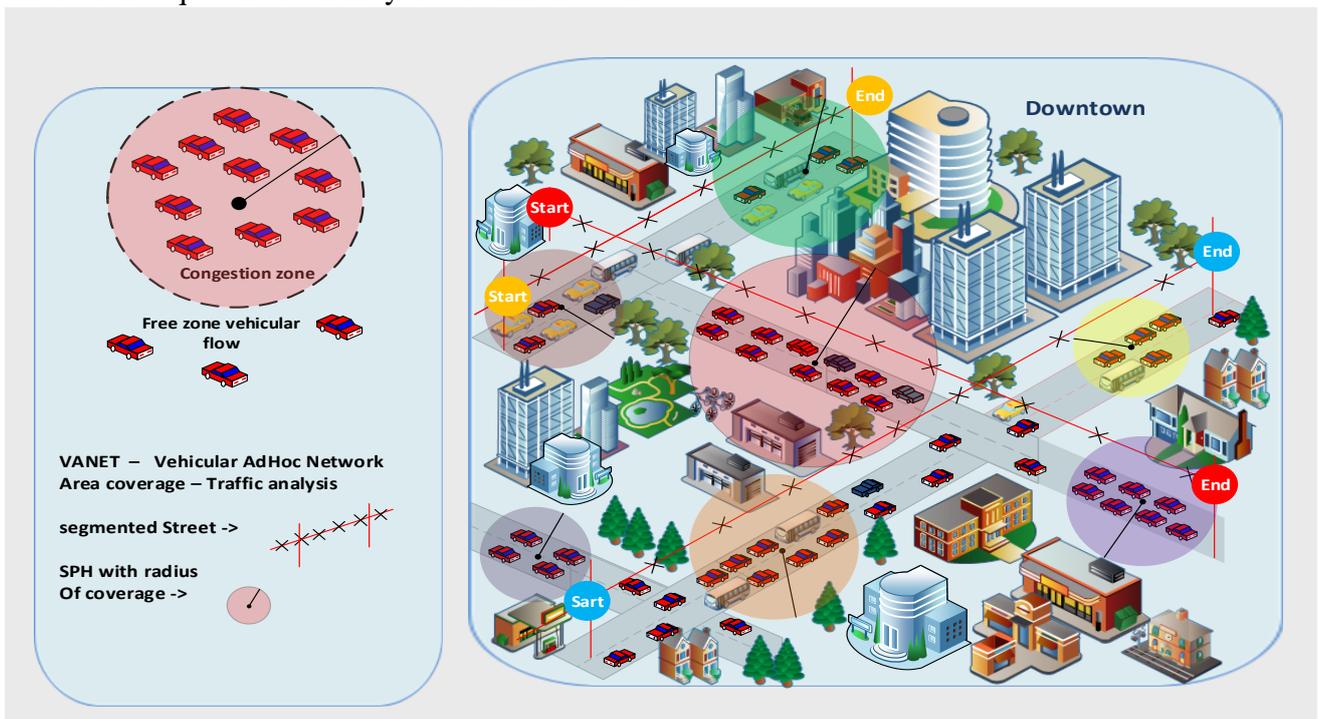


Figura 1. Flujo y congestión vehicular móvil en una VANET

El desarrollo del artículo se presenta a continuación. En la Sección II se describe información sobre el modelamiento probabilístico de Markov así como la importancia del proceso del SPH dentro del entorno de las redes VANET. En la Sección III se desarrolla el planteamiento del problema, para posteriormente en la Sección IV mostrar los resultados y su respectivo análisis, finalmente en la Sección V se concluye este artículo.

A. Desarrollo de una vanet por medio de Cadenas de Markov.

En movilidad se conoce que los experimentos van evolucionando con el tiempo es decir que ya no son independientes, por ende su estado futuro tendrá una dependencia probabilística en el pasado, con esto se quiere decir que el siguiente valor de un experimento depende de los valores pasados, únicamente a través del valor actual del proceso realizado, considerando un escenario en donde haya tráfico vehicular para su análisis, en donde se deberá tomar en cuenta que el estado futuro dependerá de las probabilidades de las transiciones en cada instante de tiempo [12], con estos antecedentes se consideran y se examinan las cadenas de Markov que estiman solo la ubicación actual de un grupo de vehículos para predecir el siguiente, ya que se modela la movilidad como un proceso estocástico discreto con valores sucesivos a través del tiempo, donde la probabilidad de moverse de un vehículo depende del estado visitado anterior [13].

En algunos casos se han analizado ubicaciones futuras de automóviles dentro de una VANET en base a visitas anteriores a otras ubicaciones y de este modo aprovechar el modelo de Markov para capturar patrones incrustados en los historiales de ubicación o en el recorrido hecho por los vehículos por así decirlo, entonces se empieza a encontrar un grupo representativo de autos que sean más probables a que se asocien a una secuencia particular teniendo en cuenta el número de vehículos para descubrir la siguiente ubicación más probable en instantes determinados, por eso dichos lugares o ubicaciones también están asociados a una marca de tiempo y a coordenadas geoespaciales como la latitud y longitud para que cada sitio sea procesado conjuntamente con los valores continuos en la red vial de acuerdo al movimiento de los vehículos, entonces los estados tienen una entrega de probabilidad sobre posibles

ubicaciones o lugares concretos y por ello los estados también tienen una entrega de probabilidad sobre eventuales transiciones al estado que tomará la decisión sobre el siguiente lugar que se visite en una serie de eventos dentro de una red vial [14].

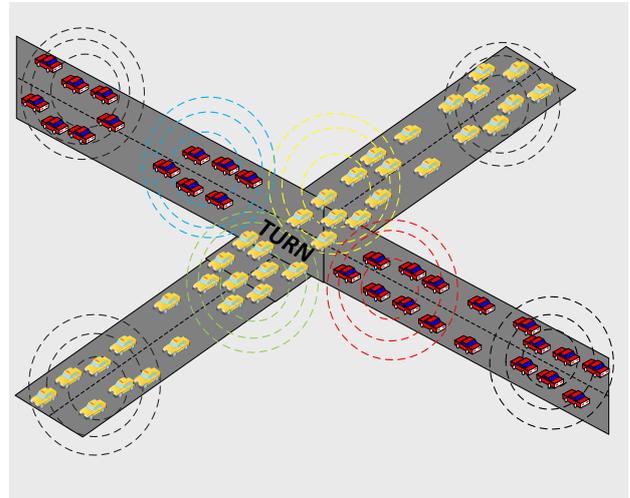


Figura 2. Señales periódicas de vehículos en una VANET

En una red vehicular la frecuencia con que los autos transitan tienden a cambiar de acuerdo al gran número que circulan en una o varias avenidas, tal como se indica la movilidad dinámica en la Figura 2, puede llevar a una congestión alta y por ende para aliviar este problema se diseña el modelo basado en cadenas de Markov que responde a dicha congestión de forma proactiva, es decir, actuar antes de una situación futura.

De ese modo el modelo de Markov apunta a suministrar control de congestión adaptando la tasa del tráfico expresando la existencia de una situación a un fenómeno para que sea medido o calculado de forma directa en base a los datos inicialmente establecidos [10], por lo que cada estado de un vehículo tiene varias probabilidades basadas en el modelo Markoviano donde se observa el comportamiento estocástico donde la probabilidad es la que va desarrollando el sistema o red vehicular durante un tiempo establecido.

B. SPH (Hidrodinámica Suavizada de Partículas) en VANET

La formulación de Hidrodinámica de partículas suavizadas es un método de interpolación que aproxima valores de cantidades de campo continuo por medio del uso de puntos de muestra discretos, estos puntos de muestra son

identificados como partículas suavizadas que transportan entidades de forma concreta y que se encuentran agrupados para aproximar las derivadas de campos continuos usando diferenciación analítica en partículas que se ubiquen arbitrariamente para que su valor quede determinado en base a los valores involucrados en la red vehicular [15], por ende un fluido es un fenómeno difícil de simular y mucho más complejo hacerlo interactivamente porque durante el proceso participan distintos móviles que interactúan entre sí para determinar el análisis vehicular y de movilidad, de hecho se usa este método por medio de ecuaciones matemáticas que describen su movimiento, es por eso que en la actualidad SPH se utiliza para obtener nuevos y mejores procedimientos para simular así como para visualizar el transporte de fluidos.



Figura 3. SPH (Hidrodinámica Suavizada de Partículas)

Por lo tanto la Hidrodinámica de partículas suavizadas dentro de las VANET's toma a un cierto grupo de vehículos que son representados como un conjunto de partículas, luego se producen imágenes de alta resolución cuando se visualiza el flujo vehicular manejando técnicas como el trazado de rayos en el que se observan circunferencias de diferente radio en áreas preliminares con mayor tránsito vehicular donde se encuentre gran interactividad de flujo vehicular [15].

Por eso al realizar SPH a un lugar determinado dentro de una red VANET, la estimación fiable del flujo y transporte de cada nodo da como resultado precisión para comparar resultados de manera más

intuitiva, de ahí que en el ámbito de la movilidad se usan varias simulaciones para investigar y comparar los resultados de las mediciones experimentales con predicciones numéricas en una red vial [16].

En comparación con otros métodos la formulación de hidrodinámica de partículas suavizadas está diseñada para problemas de flujo que pueden ser comprimidos ya que SPH es un método de interpolación donde se obtienen nuevos puntos o vehículos partiendo del conocimiento de una serie de conjuntos de automóviles adaptados gráficamente como se observa en la Figura 3 para obtener promedios y radios que varían de acuerdo a las cantidades los autos en una red VANET [15]. En el área de la investigación vehicular de una red vial se toma en cuenta las características macroscópicas y microscópicas de los automóviles lo cual es clave para enfocar y analizar el comportamiento dinámico de los vehículos en la carretera, este entorno afecta su patrón de movilidad, ya que se definen distintos escenarios viales de acuerdo a la implementación del flujo de tráfico en donde varios investigadores han modelado la movilidad de los autos usando el concepto de distintos campos de ciencia, ingeniería y matemáticas que tienen diferentes aplicaciones.

Estos modelos de movilidad utilizan grandes e importantes restricciones viales e incorporan características vehiculares para determinar condiciones viales que sean más realistas para una red VANET ya que se debe tener en cuenta las características de movilidad en la vida real y por lo tanto se debe considerar los choques, congestión, daño de un vehículo, embotellamiento o tráfico vehicular en distintas zonas urbanas de una ciudad. Los patrones de movilidad influyen en el enrutamiento en una red vial, para ello la herramienta de simulación de movimiento de vehículos SUMO ha mostrado el impacto de las restricciones de tráfico y la estructura de la carretera teniendo en cuenta la movilidad de los vehículos como factor clave para analizar el rendimiento de una red VANET.

En la vida real los autos se movilizan por varios tipos de carreteras y las investigaciones sobre el tránsito vehicular han considerado patrones de

automóviles que circulan en distintas direcciones lo que derivó un análisis para relacionar la movilidad en base a los escenarios viales simulados mostrando cierta similitud en cuanto al flujo de autos en varias carreteras [17].

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Se establece un sistema vial donde se realizará un escenario simulado de una red de movilidad VANET para predecir la congestión en el flujo vehicular, por lo tanto las configuraciones iniciales se detallan mediante el diagrama de flujo expuesto en la Figura 4, en el que se obtienen las trazas vehiculares que son conjuntos específicos de datos que abarcan información de la red vial, que representan el comportamiento vehicular en un escenario específico para describir las características de la red de movilidad en una VANET.

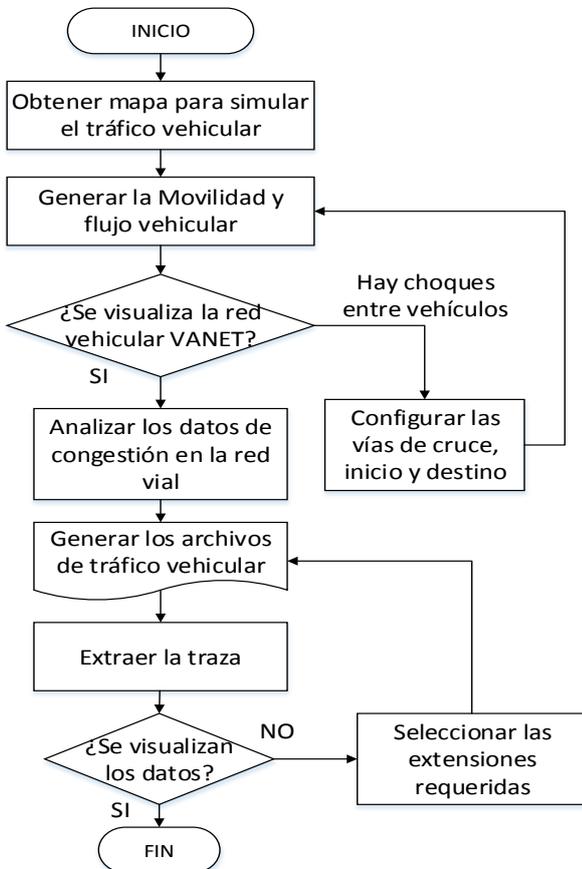


Figura 4. Diagrama de flujo de la traza de datos

A partir de la red de movilidad se determina el problema representado mediante el siguiente planteamiento: por medio de la traza de datos obtenido anteriormente, se cargan las calles y los vehículos sobre la red de movilidad de una

VANET en un lenguaje de programación de alto nivel donde se presenta visualmente el escenario de movilidad para ubicar los vectores $x_{fij0}, y_{fij0}, x_{fijf}, y_{fijf}$, los cuales contienen los puntos iniciales y finales de las calles que van a ser representados mediante una línea dividida en M segmentos que representan un lugar de la vía.

Después empiezan a desplazarse los autos generando congestión en los trayectos que conforman la red de movilidad y por medio del modelo de SPH utilizado en la ecuación (1) se procede a aproximar valores de cantidades representadas de forma discreta donde se comienza a producir grupos predeterminados de autos por toda la red vial, los mismos que están ocasionando tráfico vehicular alrededor de todas las avenidas donde la afluencia es mayor y posteriormente el modelamiento del flujo vehicular en donde se van a evaluar las posiciones en base a la altura h y radios r de los campos externos analizados, los cuales varían de tamaño secuencialmente durante el tiempo de simulación y por lo tanto en cada instante van a ocurrir eventos que determinen el cambio de la movilidad en la red vial VANET.

$$W_{default}(r, h) = \frac{315}{64\pi h^9} \begin{cases} (h^2 - r^2)^3 & 0 \leq r \leq h \\ 0 & r > h \end{cases} \quad (1)$$

Luego de obtener el mayor número de vehículos en la red vial se debe realizar un proceso estocástico representado por $k(1), k(2), \dots$ siendo $k(t)$ la cantidad de conjuntos de vehículos analizados en diferentes posiciones con distintos radios durante un tiempo t como se indica en la Figura 5.

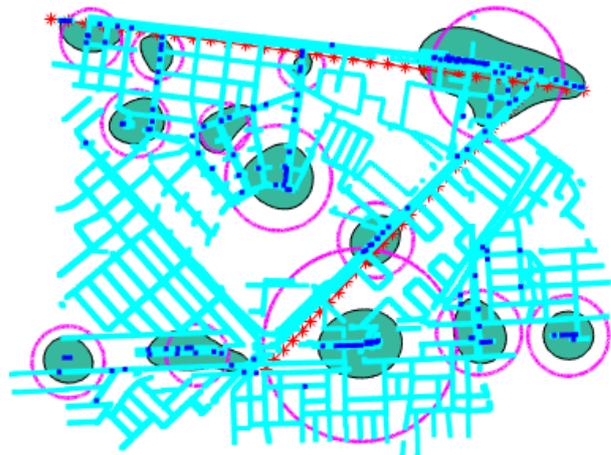


Figura 5. Transiciones en varias avenidas en una red de movilidad

El algoritmo del modelo de probabilidad describe el proceso de obtención del diagrama de estados utilizando la posición y radio de los vehículos en una transición.

MODELO DE PROBABILIDAD DEL FLUJO VEHICULAR EN UNA VANET

$$P(X_n = j | X_{n-1} = i) \quad (2)$$

$$p_{ij} = P(X_n = j; X_{n-1} = i) \quad (3)$$

$$p_{ij} > 0, \sum_{j=1}^m p_{ij} = 1 \quad (4)$$

$$T = [p_{ij}] = \begin{pmatrix} p_{11} & \dots & p_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & \dots & p_{mm} \end{pmatrix}; \sum_{j=1}^m p_{ij} = 1 \quad (5)$$

$$p_{ij}^{(n)} = \sum_{k=1}^m P(X_n = j, X_{n-1} = k | X_0 = i) \quad (6)$$

La Ecuación 2 representa un proceso en tiempo discreto en el que una variable aleatoria X_n va cambiando con el paso del tiempo y se caracteriza porque la probabilidad $X_n = j$ sólo depende del estado inmediatamente anterior del sistema vial X_{n-1} . La Ecuación 3 representa una cadena homogénea finita con m posibles estados E_1, E_2, \dots, E_m donde $i, j = 1, 2, \dots, m$. Si $p_{ij} > 0$ entonces se dice que el estado E_i puede comunicarse con E_j de la red de movilidad por lo tanto la comunicación puede ser mutua si también $p_{ji} > 0$. La Ecuación 4 plantea que para cada i fijo, la serie de valores $\{p_{ij}\}$ es una distribución de probabilidad, ya que en cualquier paso puede ocurrir algún suceso E_1, E_2, \dots, E_m y son mutuamente excluyentes, por ende los valores p_{ji} se denominan probabilidades de transición las cuales deben ser mayor que cero. La Ecuación 5 indica que para cada $i = 1, 2, \dots, m$. Todos estos valores se combinen formando una matriz de transición T de tamaño $m \times m$ donde la sumatoria de sus filas tienen el valor de 1, además los elementos son mayores a cero y no negativos ya que ahí se muestran las probabilidades en el proceso de la predicción del flujo vehicular. La Ecuación 6 limita la transición de cada vehículo en varios pasos ya que la matriz de probabilidades $p_{ij}^{(n)}$ escoge cada elemento de la fila i -ésima así como de la columna j -ésima para mostrarlos conjuntamente una vez terminado el proceso. En la tabla I se presenta la nomenclatura utilizada en el trabajo, la cual se divide en dos partes como son

en parámetros y variables, cada una con su respectivo dominio e interpretación.

Algoritmo del Modelo de probabilidad

- 1: Dada la traza de datos en un escenario
- 2: M = Segmentos en las vías; N = vehículos; t_0 = tiempo; pos = posición; rad = radio
 P = Matriz
- 3: **Si** (Vehículos están en movimiento)
- 4: Inicia Movilidad en una VANET
forall $m = 1: length(xfij0)$
 $(Print(transición: Posición, Radio))$
end
forall $q = 1: length(xfij0)$
 $(Print(Aparece: Posición, Radio))$
end
forall $w = 1: length(xfij0)$
 $(Print(Desaparece: Posición, Radio))$
end
- 5: **Si** (N : genera flujo vehicular)
- 6: Obtiene rad y pos de M en un instante t_0
- 7: **Caso contrario**
- 8: Continúa la movilidad en otro instante t_0
- 9: **Fin Si** (Se obtienen datos probabilístico)
- 10: Mediante Markov obtener matriz P con datos de pos y rad
forall $r_1 = 1: length(xfij0)$
 $(Print(Probabilidad de Transición))$
end
forall $r_2 = 1: length(xfij0)$
 $(Print(Probabilidad de aparición))$
end
forall $r_3 = 1: length(xfij0)$
 $(Print(Probabilidad de desaparición))$
end
- 11: Realizar el diagrama de estados para su respectiva predicción
- 12: **Fin**

TABLA 1. VARIABLES Y COEFICIENTES EN EL MODELO DE PROBABILIDAD DEL FLUJO VEHICULAR EN UNA VANET

Nombre	Domínio	Interpretación
<i>Parámetros</i>		
M	$Z > 0$	Número de segmentos de una red vial
N	$Z > 0$	Cantidad de Vehículos
$xfij0, yfij0$	$Q > 0$	Coordenadas iniciales de los segmentos
$xfijf, yfijf$	$Q > 0$	Coordenadas finales de los segmentos
t_0	$Z > 0$	Tiempo de simulación
<i>Variables</i>		
$posa$	$Z > 0$	Posición anterior
$rada$	$Z > 0$	Radio anterior
pos	$Z > 0$	Posición actual
rad	$Z > 0$	Radio actual
P	$Q > 0$	Matriz de datos
P_{inicio}	$Q > 0$	Probabilidad de inicio
P_{salida}	$Q > 0$	Probabilidad de salida
r_1	$Q > 0$	Probabilidad de transición
r_2	$Q > 0$	Probabilidad de aparición
r_3	$Q > 0$	Probabilidad de desaparición
S_i, S_j	$Z > 0$	Estado actual y futuro
$p_{ij}^{(n)}$	$Z > 0$	Matriz de probabilidades
X_n	$Z > 0$	Estado inicial
X_{n+1}	$Z > 0$	Estado futuro
n	$Z > 0$	Tiempo para probabilidad futura
p_r	$Q > 0$	Probabilidad futura

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se representa el siguiente mapa con las vías que van a ser analizadas las cuales se encuentran segmentadas debido a que el análisis se lo hace en avenidas grandes por donde existe mayor flujo vehicular donde se han manejado alrededor de 2000 vehículos aproximadamente.

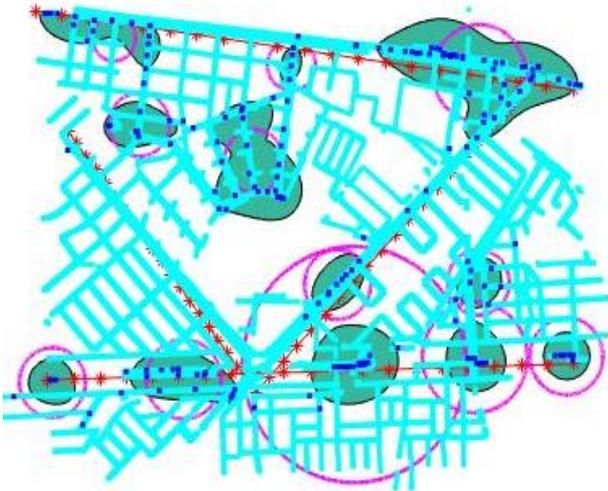


Figura 6. Mapa vial de una red VANET

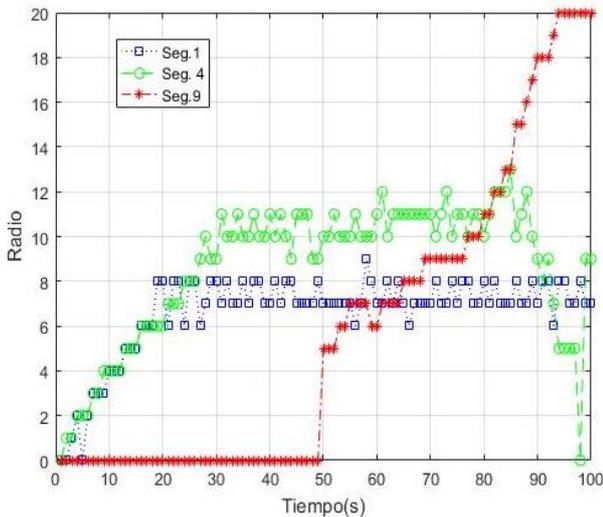


Figura 7. Análisis Flujo Vehicular

En la Figura 7 se puede observar la variación de los radios durante la simulación y también las diferentes posiciones que van cambiando de acuerdo a la mayor cantidad de flujo vehicular en toda la red de movilidad por lo que es necesario analizar la red de movilidad VANET en distintos segmentos donde exista mayor cantidad de autos, para obtener de ese modo valores promedios que puedan ser interpretados.

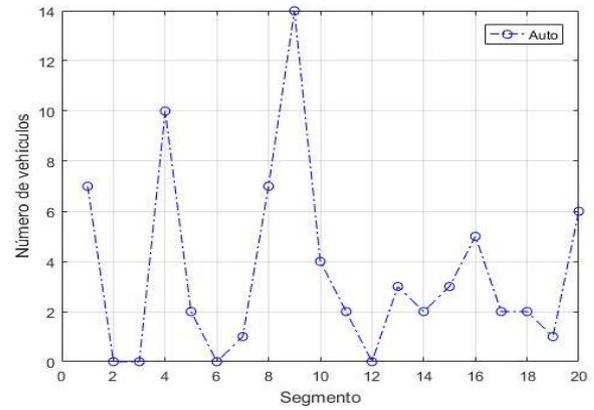


Figura 8. Análisis Flujo Vehicular con variación de autos

Como se indica en la Figura 8 en el segmento 9 es cuando el número de autos tiende a incrementarse lo que indica que hay un mayor flujo vehicular en ese instante ya que aproximadamente se obtiene un valor de radio 20 dentro de la simulación, sin embargo en el segmento 4 se tiene una cantidad de 10 autos por lo que el radio tiene un valor de 9 y por último en el segmento 1 se tienen 5 vehículos lo que indica un radio de 7 por lo tanto en estos segmentos se obtiene mayor flujo vehicular.

TABLA 2. DATOS DE MAPA VIAL

Tiempo(ms)	Radio	Segmento	Vehículos
0 a 100	20	9	14
0 a 100	9	4	10
0 a 100	7	1	5
100 a 200	20	9	15
100 a 200	15	4	11
100 a 200	8	1	8

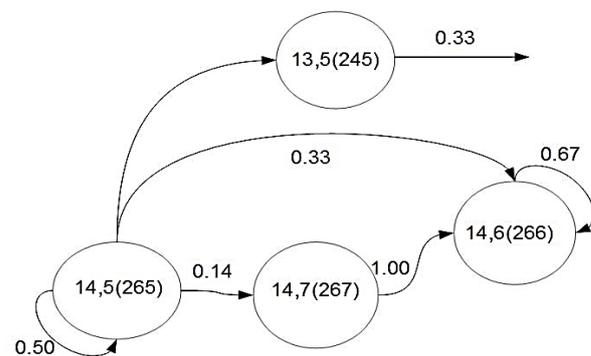


Figura 9. Porcentajes del flujo vehicular en una VANET

Finalmente en la figura 9 se presenta el diagrama de estados para describir el comportamiento del sistema que se va construyendo de acuerdo a la matriz Markoviana que contiene las probabilidades de cambios de estados, en seguida se observa en cada circunferencia los valores que

son presentados de la siguiente manera (Posición o número de segmento, Radio, (Transición)). En un pequeño tramo del diagrama se observa que existe un 50% de que el auto (14,5 (265)) mantenga su misma ruta pero un 14% indica que puede tomar otro trayecto hacia (14,7 (267)) para que de ese modo fluya el tráfico sin congestión, de la misma manera hay un 29% de que el tráfico fluya hacia el estado (13,5(245)) por lo que es una ruta que también le convendría usar. Por otro lado el 67% es el porcentaje de que el estado (14,6 (266)) mantenga su mismo estado, sin embargo la probabilidad del 33% indica que el estado (14,6 (266)) no va a cambiar su trayectoria así que hay más probabilidad de que mantenga su misma ruta a que cambie a otro recorrido distinto.

4. CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

El presente trabajo define tres pasos para la caracterización del tráfico vehicular en una red VANET, en donde se empieza con un mapa vial inicial que permite visualizar las calles divididas en segmentos, posiciones o tramos para ser analizadas y de la misma manera visualizar los vehículos en cada segmento de manera dinámica, seguidamente se emplea un modelo probabilístico que permite determinar la probabilidad por medio de la posición, el radio y el tiempo de los autos donde exista mayor densidad de vehículos, posteriormente se analizan las trazas de datos obtenidas durante la simulación de la red de movilidad para caracterizar de manera predictiva el flujo vehicular realizando un análisis del rendimiento de una VANET y de ese modo finalmente examinar la movilidad en zonas urbanas donde la afluencia de vehículos es mayor. Adicionalmente como trabajos futuros se puede presentar la opción de ubicar varias avenidas de diferentes zonas urbanas en el mundo ya que mediante el análisis y la caracterización se puede obtener mayor número de datos que podrían difundirse dentro de la movilidad para descartar patrones no adecuados como la información desactualizada, logrando tener un flujo vehicular adaptable a las condiciones de cualquier escenario vehicular y con esto se pueden incluir acciones en un estado para obtener políticas las cuales presentan o predicen resultados óptimos en una trayectoria específica.

REFERENCIAS

- [1] A. D. E. La and C. D. E. Papa, "Escuela superior politécnica de chimborazo," 2015.
- [2] K. N. Qureshi, A. H. Abdullah, and F. Ullah, "Vehicular Ad Hoc Networks Routing Protocols : Survey," vol. 27, no. 5, pp. 4507–4524, 2015.
- [3] "VANETyMARKOV.pdf." .
- [4] H. Wang *et al.*, "Pr E oo f," no. MARCH, 2015.
- [5] A. S. On, V. Networks, and M. Chains, "Estado del arte en redes vanet y cadenas de markov," vol. 1, no. 2, 2010.
- [6] V. G. Krishnan and N. S. Ram, "A Cost Effective RSU Placement Strategy for Secured Communication in VANET," no. 4, pp. 1–5, 2015.
- [7] R. Al Mallah, A. Quintero, and B. Farooq, "Distributed Classification of Urban Congestion Using VANET," pp. 1–8, 2017.
- [8] V. Kumar, S. Mishra, and N. Chand, "Applications of VANETs: Present & Future," *Commun. Netw.*, vol. 05, no. 01, pp. 12–15, 2013.
- [9] B. F. B, F. A. F. Braz, and V. A. Campos, "Formal Methods: Foundations and Applications," vol. 8941, pp. 113–129, 2015.
- [10] M. A. Benatia, L. Khoukhi, M. Esseghir, and L. M. Boulahia, "A Markov Chain Based Congestion Control Algorithm for VANETs A Markov Chain Based Model for Congestion Control in VANETs," no. MARCH 2013, 2016.
- [11] N. D. Ferro, A. G. Strozzi, C. Duwig, P. Delmas, P. Charrier, and F. Morari, "Geoderma Application of smoothed particle hydrodynamics (SPH) and pore morphologic model to predict saturated water conductivity from X-ray CT imaging in a silty loam Cambisol," *Geoderma*, vol. 255–256, pp. 27–34, 2015.
- [12] C. Vásquez and E. Inga, "State of Art , Channel Allocation of Cellular Network for Adadvanced Metering Infrastrcture Based on Markov Chain," vol. 14, no. 1, pp. 242–247, 2016.
- [13] N. Miguel, "Next Place Prediction using Mobility Markov Chains," pp. 0–5, 2012.

- [14] W. Mathew, R. Raposo, and B. Martins, “Predicting future locations with hidden Markov models,” *Proc. 2012 ACM Conf. Ubiquitous Comput. - UbiComp '12*, p. 911, 2012.
- [15] M. Kelager, “Lagrangian Fluid Dynamics Using Smoothed Particle Hydrodynamics,” 2006.
- [16] S. J. Lind, P. K. Stansby, B. D. Rogers, and P. M. Lloyd, “Numerical predictions of water – air wave slam using incompressible – compressible smoothed particle hydrodynamics,” *Phys. Procedia*, vol. 49, pp. 57–71, 2015.
- [17] M. Desertot, S. Lecomte, C. Gransart, and T. Delot, “Intelligent Transportation Systems,” *Comput. Sci. Ambient Intell.*, pp. 285–306, 2013.