

UNIVERSIDAD DE MURCIA
FACULTAD DE INFORMÁTICA
DEPTO. DE INGENIERÍA DE LA INFORMACIÓN Y LAS
COMUNICACIONES



Proyecto Fin de Carrera

Evaluación de Propuestas de
Servicios de Localización para Redes
VANET

Realizado por Miguel Ángel Rodríguez García (miguelangel.rodriguez@alu.um.es)

Dirigido por Pedro M. Ruiz Martínez (pedrom@dif.um.es)

Junio, 2009

Resumen

Las Redes VANET son una extensión de las redes ad-hoc móviles que nos permiten que diferentes vehículos sean capaces de comunicarse entre sí, sin que previamente exista una infraestructura de telecomunicaciones desplegada. VANET ha sido desarrollada como una de las tecnologías más destacadas para mejorar la eficacia y seguridad de los sistemas de transporte en nuestra vida cotidiana. Una categoría importante en esta tecnología es la seguridad vial que tiene por objetivo informar a los conductores de los posibles peligros que se pueden encontrar en una carretera.

El estudio que en estas líneas presentamos tiene por objeto encontrar una solución al problema de implementar una estrategia de localización, que permita a un vehículo conocer la posición o identificador de otro con el que desee comunicarse. Para ello, hemos definido una serie de protocolos de localización que nos permiten abordar el problema. Estos protocolos han sido analizados detalladamente y evaluados mediante una herramienta de simulación. El objetivo de estas simulaciones es analizar, en un escenario realista de redes vehiculares, las soluciones implementadas para determinar cuál nos ofrece mejor rendimiento. Nuestras simulaciones muestran un mayor acierto de localización en aquellos protocolos que preguntan a un pequeño grupo de nodos para realizar la búsqueda, a diferencia de aquellos que inundan la red preguntando a todos los nodos de la topología.

ÍNDICE

Indices de Figuras	6
Indices de Tablas	7
1. Introducción.....	8
1.1. Servicio de Localización.	9
1.2. Redes VANET.....	10
1.2.1. Definición.....	10
1.2.2. Desafíos.	12
1.3. Organización del documento.....	14
2. Sistemas de comunicación vehiculares.	15
2.1. Taxonomía de los sistemas de comunicación.	16
2.1.1. Inter-Vehicular Communication Systems.	16
2.1.2. Roadside-to-Vehicle Communication System.	17
2.1.3. Hybrid-Vehicular Communication Systems.	18
2.2. Aplicaciones.	18
2.2.1. Seguridad Activa.	20
2.2.2. Servicio Público.....	21
2.2.3. Mejora de la conducción.	21
2.2.4. Negocios / Entretenimiento.	22
3. Sistemas de Localización VANET.	23
3.1. Taxonomía de los servicios de localización.....	24
3.2. Basados en Inundación (Flooding-based).	25
3.3. Basados en encuentros (Quorum based) (Rendezvous).	25
3.4. Encuentro explícito (Explicit Quorum-based).	26
3.4.1. Distribución plana (Flat Quorum-based Location Service)	26
3.4.2. Distribución plana geográfica (Flat Geographical Quorum-based Location Service)	27
3.4.3. Distribución jerárquica geográfica (Hierarchical Geographical Quorum-based Location Service).28	
3.5. Encuentro implícito (Implicit Quorum-based (Hashing Based)).....	30
3.5.1. Distribución plana (Flat Hashing-based Location Service)	30
3.5.2. Distribución jerárquica (Hierarchical Hashing-based Location Service)	31
4. Sistema de Localización RandomWalk.	33
4.1. Introducción.....	33
4.2. Tabla de localización.	34
4.3. Formato de los mensajes.	35

4.3.1.	Mensaje Beacon.	35
4.3.2.	Mensaje RegisterRequest.	36
4.3.3.	Mensaje RegisterReply.	38
4.3.4.	Mensaje LocationRequest.	39
4.3.5.	Mensaje LocationReply.....	40
4.4.	Escenarios.	42
4.4.1.	Proceso de Anuncio.	42
4.4.2.	Proceso de Registro.	43
4.4.3.	Proceso de localización.....	46
4.4.4.	Proceso de reenvío de paquete.....	48
5.	Análisis de los resultados.....	49
5.1.	Protocolos Propuestos	49
5.1.1.	BroadCast	49
5.1.2.	RegisterLocation	50
5.2.	Entorno de simulación ns2.....	52
5.3.	Parámetros de ejecución	53
5.4.	Métricas de rendimiento	54
5.5.	Resultados obtenidos.....	55
5.5.1.	Resultados respecto Densidad	55
5.5.2.	Resultados respecto Distancia entre estaciones base.....	62
6.	Conclusiones y vías futuras	69
7.	Bibliografía.....	71

INDICES DE FIGURAS

Figura 1 Arquitectura con infraestructura.....	11
Figura 2 Arquitectura sin infraestructura	11
Figura 3 Arquitectura hibrida	12
Figura 4 Taxonomía Sistemas de Comunicación	16
Figura 5 Comunicación con un salto.....	17
Figura 6 Comunicación con varios saltos.....	17
Figura 7 Taxonomía de servicios de localización	24
Figura 8 Distribución geográfica plana (Octopus [1])	27
Figura 9 Multi-zone routing [3]	29
Figura 10 Locality Aware Location Service	29
Figura 11 GLS [5].....	31
Figura 12 Mensaje beacon	35
Figura 13 Mensaje register request.....	37
Figura 14 Mensaje register reply.....	38
Figura 15 Mensaje location request.....	39
Figura 16 Mensaje location reply	41
Figura 17 Escenarios	42
Figura 18 Proceso de anuncio	43
Figura 19 Autómata proceso registro.....	43
Figura 20 Escenario registro directo.....	45
Figura 21 Escenario registro indirecto.....	46
Figura 22 Proceso de localización.....	47
Figura26 Gráfica Tasa de acierto	56
Figura27 Gráfica Acierto en tabla de localización	57
Figura28 Gráfica porcentaje total de acierto	58
Figura 29 Gráfica tiempo de retardo de localización.....	59
Figura30 Gráfica sobrecarga proceso de localización	60
Figura31 Gráfica sobrecarga proceso de registro.....	61
Figura32 Sobrecarga total	62
Figura33 Gráfica tasa de acierto.....	63
Figura34 Grafica acierto en tabla	64
Figura 35 Gráfica porcentaje total de acierto.....	64
Figura36 Gráfica retardo tiempo de localización	65
Figura37 Gráfica sobrecarga proceso de localización	66
Figura38 Gráfica proceso de registro	67
Figura39 Gráfica sobrecarga total	68

INDICES DE TABLAS

Tabla 1 Aplicaciones VANET	19
Tabla 2 Tabla de localización	34
Tabla 3 Ficheros de densidad	53
Tabla 4 Distribución estaciones base	54

1. INTRODUCCIÓN.

La actual evolución de las técnicas de comunicación, especialmente en el área de procesamiento de señales y la microelectrónica, ha constatado la posibilidad de implementar pequeños dispositivos de bajo consumo de energía, capaces de combinar capacidades sensoriales y de comunicación inalámbrica. Estos dispositivos sensoriales disponen de una arquitectura de cómputo y de comunicación que nos permite la creación de un tipo de red inalámbrica, sin necesidad de ningún tipo de cableado.

Dada la diversidad de aplicaciones de la que es susceptible esta nueva tecnología, se ha generado un interés considerable por la investigación en esta área ya que la misma puede ser aplicada a diferentes aspectos de la vida cotidiana como por ejemplo en el ámbito médico sanitario, el medio ambiente, la vigilancia, el transporte o la seguridad vial entre otros.

En cuanto a la seguridad vial, aproximadamente la mitad de los accidentes que se producen cada año en España son provocados por vehículos que se salen de la carretera, o por colisiones en las intersecciones. Teniendo en cuenta el constante crecimiento del mercado del motor y el aumento de la demanda de la seguridad en los vehículos, impulsada en algunos países por reglamentos gubernamentales y normativas complementarias, surge la necesidad de ofrecer mayor seguridad vial informando al conductor de las posibles situaciones que se puede encontrar en la carretera. Esta exigencia incrementa la necesidad de implementación de un sistema que, no solo permita la comunicación entre los vehículos, sino que además ofrezca una batería de aplicaciones relacionadas con la seguridad, con el control del tráfico y el entretenimiento de los pasajeros.

Los sistemas de comunicación entre vehículos están siendo objeto de estudio en una nueva área de investigación que propone el desarrollo de sistemas de transporte inteligente. Se espera que esta nueva tecnología conlleve cambios revolucionarios en los sistemas de transporte. A día de hoy la mayor parte de los protocolos de comunicación desarrollados se centran en un soporte de comunicaciones entre vehículos cercanos para su seguridad vial, así como protocolos de localización que permiten enviar datos entre vehículos usando otros intermedios como pasarelas.

El posicionamiento del vehículo es una de las piezas más valiosas de información en este tipo de sistemas, de hecho la localización se determina generalmente en base a la posición del vehículo destino. Conducir un vehículo significa cambiar de ubicación constantemente. Esto supone una demanda continua de información sobre la ubicación actual y futura del mismo, especialmente en interés del entorno por dónde se mueve el vehículo, es decir, información sobre el tráfico, rutas

disponibles, etc. Es por esto que cuando un vehículo requiere enviar datos a otro es necesario un servicio de localización que permita al emisor conocer la posición e identificadores de red del otro vehículo.

1.1. SERVICIO DE LOCALIZACIÓN.

Este proyecto versa sobre la propuesta y evaluación de un sistema de localización en estas redes VANET. Analizaremos diversas soluciones implementadas para que un automóvil que circule por una red vial pueda conocer la posición en la que se encuentra otro vehículo con el que desea comunicarse. El principal reto de este servicio es la alta velocidad con la que los vehículos se mueven dentro del escenario, ocasionando continuamente cambios en la topología, dificultando de esta manera el tráfico de mensajes entre los vehículos y haciendo ineficaces las transmisiones.

Los sistemas de localización que han sido implementados están compuestos por un algoritmo de routing basado en posicionamiento, que presenta diversas estrategias de localización. Uno de los principales objetivos de estas estrategias es realizar eficazmente la localización de un nodo en cualquier escenario, consumiendo la mínima cantidad de recursos de procesamiento de la red. Poniéndonos en el peor de los casos, se trataría de evitar la completa ocupación de la red esperando que el vehículo por el que se pregunta responda a la solicitud. El funcionamiento eficaz de estas estrategias va a depender de diversos aspectos representados en el escenario, como por ejemplo la densidad de coches que aparezcan en éste. Cuantos más vehículos existan en el escenario, mayor capacidad de comunicación poseerán, y mejores transmisiones se podrán dar, realizando mejor la labor de exploración del escenario en busca del identificador por el que se pregunta. Dada la existencia de estrategias de búsqueda mediante la inundación del escenario, el número de vehículos debe de ser controlado, porque en otro caso, podría darse un agotamiento de los recursos. Si empleamos esta estrategia en un escenario de altas densidades, se enviarán tantos mensajes que podría llegar a saturarse la capacidad de procesamiento de la red. Por lo tanto, debe existir una relación proporcional entre ambos términos.

1.2. REDES VANET.

1.2.1. DEFINICIÓN.

Una red móvil VANET, (vehicular ad-hoc network), es una red ad-hoc integrada por un conjunto de vehículos que se organizan para comunicarse entre ellos sin tener ningún tipo de infraestructura previa desplegada, ya se trate de un punto de acceso WLAN o de una antena de telefonía, en la que los mismos constituyen nodos móviles. Este tipo de redes vehiculares surgen de manera espontánea, utilizando el medio inalámbrico para comunicarse.

Las redes VANET están emergiendo como una nueva tecnología para integrar capacidades a las nuevas generaciones de vehículos, que dispondrán de dispositivos para establecer comunicaciones utilizando la misma.

El hecho de realizar las transmisiones de paquetes utilizando el medio inalámbrico influye en el comportamiento de las redes VANET. Las comunicaciones inalámbricas están limitadas por un rango de transmisión donde el receptor es capaz de recibir e interpretar correctamente la señal que envió el emisor. Si un coche receptor se sale de este rango de transmisión, no podrá recibir de manera correcta los mensajes que sean emitidos para él. Para solucionar este problema las redes VANET permiten que un mensaje de un vehículo emisor se pueda apoyar en los coches vecinos para encaminar el mensaje salto a salto hacia su destinatario. A este modo de funcionamiento se le conoce con el nombre de comunicaciones multihop.

El principal propósito de este tipo de redes es ofrecer conectividad omnipresente por todas las carreteras a los usuarios de los vehículos móviles, para ello los coches se equipan con un dispositivo de comunicación que permite dos tipos de comunicaciones: intercambio de mensajes con otros vehículos (V2V, vehicle-to-vehicle communication) y el intercambio de mensajes con la infraestructura de red de la carretera (V2R, vehicle-to-roadside communication). La comunicación entre vehículos es el principal objetivo de estas redes, proporcionando servicios de routing, inundación de datos con incidencias, situación de congestión de tráfico, etc.

Como ya hemos comentado, las redes inalámbricas no se basan en una infraestructura fija de emisión de información. Las redes VANET siguen el mismo principio establecido que la infraestructura ad-hoc, pudiéndose definir tres tipos de arquitecturas principales para realizar la emisión de mensajes. Estas arquitecturas son las siguientes: Arquitectura con infraestructura, Arquitectura sin infraestructura y por último una arquitectura híbrida entre las dos anteriores.

- Arquitectura con infraestructura → También conocida por el nombre de redes centralizadas, donde existe un punto de acceso (estación base), que proporciona la comunicación entre los diferentes vehículos que conforman la red. El nodo central posee un rango de cobertura en el que los vehículos pueden moverse libremente, siempre y cuando no se salgan de éste, debido a que todas las comunicaciones pasan por ese punto de acceso.

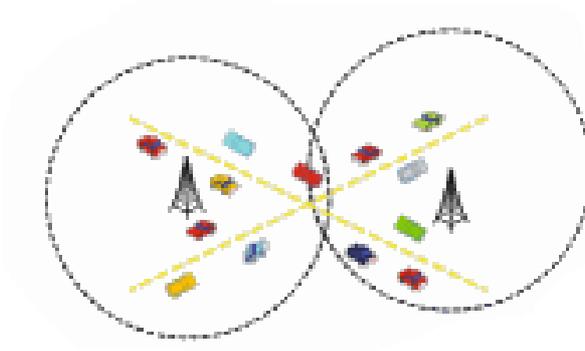


FIGURA 1 ARQUITECTURA CON INFRAESTRUCTURA

- Arquitectura sin infraestructura → También conocida por el nombre de redes distribuidas. Esta arquitectura está compuesta por vehículos que pueden estar conectados entre sí de manera arbitraria, sin la existencia de ningún elemento fijo en la topología de red, pudiendo tomar múltiples formas. En este tipo de redes, la comunicación entre dos vehículos puede llevarse a cabo a través de otros vehículos intermedios que desempeñan el papel de encaminadores (router) y realizan el reenvío de los mensajes desde el nodo origen de la comunicación al nodo destino, pudiendo verse involucrados en el descubrimiento y mantenimiento de nuevas rutas.

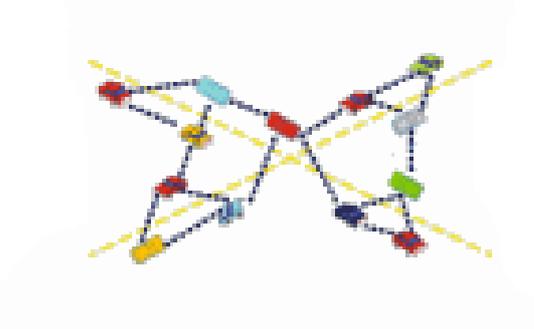


FIGURA 2 ARQUITECTURA SIN INFRAESTRUCTURA

- Arquitectura híbrida → Una arquitectura híbrida combina la funcionalidad de las arquitecturas descritas anteriormente. Por lo tanto un vehículo podrá establecer una comunicación directamente con una estación base, o podrá

realizar la misma comunicación a través de un vehículo vecino que le permita llegar a esa misma estación base, desempeñando aquél el papel encaminador.

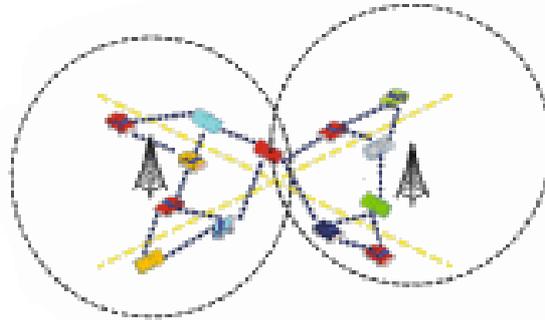


FIGURA 3 ARQUITECTURA HIBRIDA

El problema que se plantea en todas las arquitecturas descritas es la localización de un vehículo que se está moviendo por un escenario. Por ello los servicios de localización son necesarios en todas y cada una de las arquitecturas explicadas anteriormente, aunque nosotros, como ya veremos en el apartado referido al funcionamiento de los protocolos, centraremos nuestra atención en el estudio de las arquitecturas híbridas a causa del ámbito más general que las mismas presentan y que reporta, como también tendremos la oportunidad de tratar detalladamente en el apartado destinado al análisis de resultados, que ofrezcan mayores ventajas prácticas.

1.2.2. DESAFÍOS.

Los nodos de una red VANET poseen una movilidad característica que está influida por aspectos como la ruta conseguida, mantenimiento de una topología, reconstrucción de rutas, etc. Podríamos decir que en cada instante se dispone de una red totalmente distinta con características diferentes en la que conviven elementos móviles (vehículos que se movilizan a través de las carreteras, caminos, etc.) y elementos estáticos (antenas que proporcionan conectividad a estos vehículos). Los principales factores que influyen a la hora de construir una red VANET son los siguientes:

- **Topologías dinámicas:** Como ya hemos comentado en la literatura, las redes VANET están constituidas por nodos móviles, provocando que la topología de red se modifique continuamente, construyendo y destruyendo enlaces entre los nodos que pueden clasificarse en dos tipos: los enlaces unidireccionales y enlaces bidireccionales.

- **Ancho de banda limitado:** El ancho de banda que disponemos en una infraestructura inalámbrica es inferior al de una cableada, además, es infrutilizada debido a la atenuación e interferencias de señales electromagnéticas. Sin embargo, los usuarios querrán disponer de las mismas aplicaciones disponibles en un medio cableado.
- **Seguridad:** Este tipo de redes, como ya hemos denotado, utilizan el medio inalámbrico de transporte, lo que supone que cualquiera puede tener acceso. Debemos cuidar la confidencialidad de los datos para que no sean recibidos por terceras partes no implicadas. La suplantación de nodos, DoS (Denial of Service, o Denegación de Servicios), son algunos de los más sencillos ataques que puede sufrir el entorno en el que se mueve esta arquitectura.
- **Configuración de las calles:** Las calles que constituyen una población delimitan los trayectos que los vehículos pueden realizar. Esta restricción de movilidad implica la relevancia de factores como la distribución espacial de los nodos y la conectividad de la red. Dicha distribución espacial de los nodos nos puede llevar, asimismo, a escenarios donde existan varias carreteras con uno o varios carriles, con un sentido o dos sentidos, a nodos situados en calles paralelas, etc.
- **Tamaño de los sectores poblacionales:** Las áreas urbanísticas están constituidas por un conglomerado de edificios, casas, parques de diferentes tamaños y demás heterogéneos elementos que conforman los distintos sectores urbanísticos: poblaciones, ciudades, etc. La dimensión de estas áreas va a contribuir a determinar la densidad de tráfico que puede darse en un momento dado.
- **Mecanismos de control de tráfico:** Las señales viales destinadas a controlar el tráfico en una área urbana, situadas en las intersecciones, originan paradas intermitentes en los vehículos. Y la propia densidad del tráfico, la formación de atascos, disminuye la movilidad de éstos y afecta directamente a la tasa de cambios en la topología de red.

Estos son algunos de los factores que hay que tener en cuenta a la hora de implementar un protocolo para una infraestructura VANET con la finalidad de obtener altos rendimientos de la red e intentar mitigar los posibles obstáculos perjudiciales que nos podemos encontrar en este tipo de arquitecturas. Los protocolos implementados en esta arquitectura deberán reaccionar ante los cambios topológicos para establecer nuevas rutas, sin llegar a saturar la capacidad de procesamiento de la red, realizando un uso eficiente del ancho de banda disponible y empleando los mecanismos de seguridad preestablecidos para evitar los problemas que mencionábamos con anterioridad en relación a la confidencialidad, integridad y disponibilidad.

1.3. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.

Este apartado tiene por objeto mostrar una sencilla sinopsis del contenido que vamos a exponer en el resto de los capítulos que componen este documento. En el apartado de Introducción contextualizaremos de manera genérica la aparición de este tipo de arquitecturas de comunicaciones vehiculares en nuestra vida cotidiana. Seguidamente, dedicamos otro apartado a definir el concepto de sistema de localización y su composición en el ámbito del proyecto realizado. Posteriormente, analizaremos las redes VANET, definiendo conceptualmente el término y comentando aquellos aspectos más característicos que permiten la comunicación entre vehículos.

En el apartado reseñado “Sistemas de comunicación vehicular”, mostraremos la clasificación de los diferentes sistemas de comunicación vehiculares existentes, describiendo los distintos tipos de comunicaciones que pueden ser establecidas en esta arquitectura y analizaremos aquellas características peculiares de cada uno de los sistemas de comunicación clasificados. También evaluaremos el impacto que tienen estos sistemas en nuestra sociedad, desarrollando una enumeración del conjunto de aplicaciones de los que son susceptibles tales sistemas y describiendo los cambios y mejoras significativas que estas aportarían a nuestra vida cotidiana en general y al sistema vial en particular.

Seguidamente desglosaremos los diferentes sistemas de comunicación, pero esta vez, especificados para el tipo de arquitectura VANET. Haremos un recorrido por las distintas estrategias de localización que han sido implementados para este tipo de arquitectura de red, describiendo detalladamente cuáles son sus características y su manera de solventar el problema planteado de localizar un vehículo en un escenario compuesto por diversos automóviles.

Por último, expondremos mi propuesta de solución al problema de localización, describiendo sus características más relevantes como: funcionamiento del protocolo de localización, formato de los mensajes utilizados en el proceso de localización, explicación de los escenarios donde ha sido simulada la propuesta y por último, un análisis de los resultados donde determinaremos el rendimiento obtenido en comparación con otros dos protocolos que también fueron desarrollados.

2. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VEHICULARES.

Los sistemas de comunicación para los vehículos pueden transmitir y recibir información para y desde vehículos individuales. Estos sistemas tienen la capacidad, entre otras, de incrementar la seguridad del transporte en vehículos y mejorar el tráfico en vías congestionadas.

Los sistemas de comunicación inter-vehicular (IVCs) permiten establecer comunicaciones directas entre vehículos. Para satisfacer este tipo de comunicaciones se necesita un conjunto de aplicaciones que mejoren aspectos como las colisiones de los mensajes, el medio de transmisión, etc. Los sistemas IVC pueden ser asistidos en algunas situaciones por elementos situados en la vía que la doten de infraestructura que permita el acceso a internet y a diversas aplicaciones.

Estos sistemas han sido objeto de una intensa investigación en las últimas dos décadas. El principal problema ante el que nos encontramos es solventar la cuestión referida a la transmisión de datos entre dos vehículos que se están moviendo. Se ha confirmado que los sistemas de comunicación IVC son la tecnología apropiada para implementar un mecanismo de comunicación unificada en redes vehiculares. Es decir, estas redes presentan capacidades de comunicación que permiten la ejecución de cualquier servicio de a bordo que precise de requisitos de conectividad.

Actualmente, las técnicas de localización se basan en la integración de un receptor GPS y los datos del movimiento que obtiene el propio vehículo, mediante instalaciones de dispositivos y sensores de a bordo. Sin embargo, cuando este pasa a través de un escenario donde existan altos edificios, arboles o túneles, estas técnicas no obtienen una localización de tanta precisión como cuando el vehículo se mueve por entornos abiertos. Nosotros proponemos una solución que aprovecha la arquitectura VANET, es decir, las comunicaciones entre los vehículos, con el fin de obtener mayor cantidad de información de los vecinos del propio vehículo emisor, tales como la distancia de destino del vehículo y la estimación de su ubicación. Este proyecto integra todas estas piezas de comunicación con los propios datos del vehículo, y aplica técnicas de refresco de datos para reducir al mínimo el error de estimación de su ubicación.

2.1. TAXONOMÍA DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN.

En la figura 4 se representa la clasificación de los sistemas de comunicación vehiculares (VC). Podemos distinguir tres tipos: Inter-Vehicular Communications IVC Sistema de comunicación entre vehículos, Roadside-to Vehicle Communication (RVC) Sistemas de comunicación entre vehículos y elementos de la carretera que ofrecen infraestructura y Hybrid Vehicular Communication (HVC) Sistemas de comunicación híbrida. En este apartado nos vamos a centrar en la exposición de los sistemas IVC puros, aunque también haremos referencia a diferentes tipos de sistemas VC.

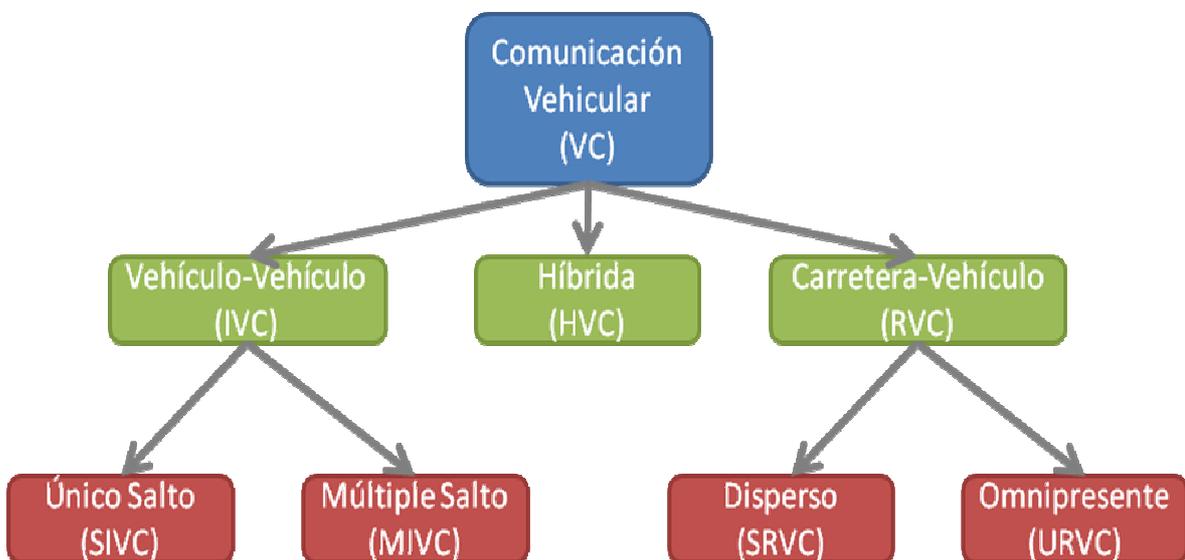


FIGURA 4 TAXONOMÍA SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

2.1.1. INTER-VEHICULAR COMMUNICATION SYSTEMS.

Los sistemas de este tipo se caracterizan porque no tienen infraestructura prefijada, solo son utilizados para las comunicaciones unas unidades de abordó llamadas OBUS (On-Board Units) que también son conocidas como equipamiento de abordó (IVE). En función de si la información es retransmitida a un salto inmediato o no, podemos distinguir entre comunicación de simple salto, o múltiple salto IVCs (SIVCs y MIVCs). Los sistemas SIVCs son usados por aplicaciones que requieren un rango limitado en las comunicaciones (ej., escenario de unión de carreteras, control automático de velocidad de crucero). Los sistemas MIVC son más complejos que los

anteriores pero pueden soportar aplicaciones que requieren un rango ilimitado, ej. La monitorización del tráfico.

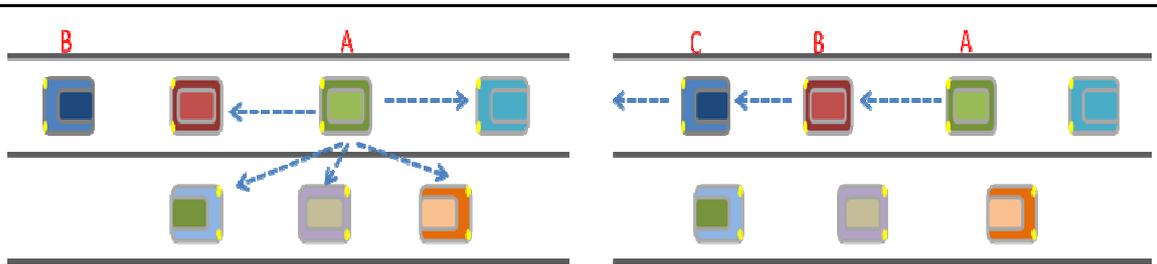


FIGURA 5 COMUNICACIÓN CON UN SALTO

FIGURA 6 COMUNICACIÓN CON VARIOS SALTOS

La principal diferencia entre los sistemas SIVC y MIVC se muestra reflejada en las figuras anteriores (figura 5 y 6). En un sistema SIVC un vehículo A puede enviar un mensaje solo al coche que esté alcanzable por el rango de transmisión, (ej. El vehículo B nunca recibiría tal mensaje). Por otro lado en los Sistemas MIVC, otro vehículo, (ej. vehículo C), puede colaborar en el envío del mensaje para hacérselo llegar a aquellos vehículos que no se encuentren en el rango de transmisión. Por ello estos sistemas requieren en la capa de red un algoritmo que permita el routing de varios saltos que se conoce con el nombre de routing multihop.

2.1.2. ROADSIDE-TO-VEHICLE COMMUNICATION SYSTEM.

Los sistemas RVC asumen que todas las comunicaciones tienen lugar entre los dispositivos colocados en la carretera que contribuyen a dotar de infraestructura a la comunicación y el OBU que se encuentra en el interior del vehículo. En función del tipo de aplicación, distinguiremos dos infraestructuras: sistema SPARSE (SRVC) y sistema ubiquitous RVC (URVC).

Los sistemas SRVC son capaces de proporcionar servicios de comunicación a los hot spots. Una tarea de la planificación de la intersección es el tráfico ligero, constituyendo ejemplos del mismo el anuncio de la existencia de una estación de servicio, sus precios o la disponibilidad de un parking en un aeropuerto, casos todos ellos de aplicaciones que requieren un servicio SRVC.

Un sistema SRVC puede ser desplegado gradualmente sin requerir una elevada inversión económica con carácter previo a la obtención de beneficios. Por el contrario, el sistema URVC es el santo grial de las comunicaciones vehiculares, proporcionando conectividad a todos los caminos y con alta velocidad de transferencia y permitiendo aplicaciones que no pueden estar disponibles con ningún otro sistema. Desafortunadamente, este sistema también requiere inversiones desmedidas para

obtener una completa cobertura en las autopistas existentes, especialmente en países de grande superficie como Estados Unidos.

2.1.3. HYBRID-VEHICULAR COMMUNICATION SYSTEMS.

Los sistemas HVC han sido propuestos en la literatura para extender a su vez el alcance de los sistemas RVC, atendiendo a que aquéllos cuentan con caminos dotados de dispositivos que permiten el acceso a la infraestructura. Ello aporta una solución a aquellas situaciones en las que circulando por una carretera, los móviles carecen de cobertura inalámbrica, pudiendo utilizarse, en este caso, a otros vehículos como encaminadores móviles. Un sistema híbrido establece las mismas aplicaciones que un sistema RV, ofreciendo un elevado rango de transmisión. La ventaja más importante de este último es que requiere la colocación de menos dispositivos en las carreteras para proporcionar conectividad a la infraestructura. Sin embargo, una desventaja es que la conectividad a la red no queda garantizada en aquellos escenarios donde la densidad de vehículos es baja.

2.2. APLICACIONES.

La gama de las distintas aplicaciones diseñada para arquitecturas que permitan la comunicación entre vehículos va desde el simple intercambio de datos del estado del vehículo, a intercambios más altamente complejos que nos permiten realizar una gestión inteligente del tráfico, incluyendo la gestión de los recursos de la infraestructura dinámica desplegada. En esta sección intentaremos analizar las diferentes aplicaciones que serán clasificadas por categorías. Aunque aún no se han obtenido detalles uniformes del buen funcionamiento de la mayoría de las aplicaciones, el panorama presentado ofrece diferentes recursos como mecanismos básicos, componentes y limitaciones involucradas en el sistema. Éste nos proporciona una contextualización inicial de las propiedades de las comunicaciones en redes *VANET* y nos permite un análisis más detallado de las características de las redes en las sucesivas secciones.

Categoría	Situación / Propósito	Ejemplos
I. Seguridad Activa	a. Peligros en la carretera	1. Advertencia curva peligrosa. 2. Advertencia violación de señales de parada en un cruce.
	b. Tráfico anormal y estado de la carretera	1. Alerta vía en obras. 2. Potenciar la visibilidad del conductor. 3. Aviso infraestructura basada en carretera.
	c. Peligros por colisión	1. Aviso cambio rasante. 2. Alerta cambio de carril. 3. Luces de frenado de emergencia. 4. Advertencia de peatones en la calzada.
	d. Colisión inminente	1. Detección pre-colisión
	e. Incidente ocurrido	1. Aviso post-colisión. 2. Aviso de frenado. 3. Servicios SOS.
II. Servicio Público	a. Respuesta de emergencia	1. Aviso aproximación a vehículo con emergencia 2. Servicios de emergencia (ambulancias, bomberos) en escena
	b. Soporte para autoridades	1. Número de bastidor electrónico 2. Licencia electrónica de conducción 3. Rastreo de vehículos robados
III. Mejora de la conducción	c. Mejorar la conducción	1. Tren de conducción adaptable 2. Reducción encandilamiento
	d. Tráfico eficiente	1. Notificación de colisión y situación de la calzada 2. Control inteligente del tráfico 3. Mejor orientación y cálculo de rutas.
IV. Negocios / Entretenimiento	a. Mantenimiento del vehículo	1. Diagnostico inalámbrico. 2. Actualización software 3. Recordar aviso de mantenimiento
	b. Servicios móviles	1. Servicio de internet 2. Mensajería instantánea 3. Notificación punto de interés
	c. Soluciones empresa	4. Gestión de flota 5. Alquiler de coches 6. Zona de control de acceso 7. Seguimiento de transporte de materiales peligrosos
	d. Comercio electrónico	8. Pago de peaje 9. Pago de reserva de hotel 10. Pago de combustible

TABLA 1 APLICACIONES VANET

La funcionalidad de estas aplicaciones depende de la red inalámbrica. Actualmente existen diferentes paradigmas de comunicación móvil inalámbricos, ya explicados en el apartado anterior donde se define que es una red *VANET*. La elección de la tecnología dependerá de la aplicación que la red está destinada a soportar. Por esta razón necesitamos tener una clara idea de las aplicaciones de las que podemos disponer en estas arquitecturas y sus necesidades en cuanto a recursos de red se refiere. La integración de una interfaz de red, junto a la existencia de un receptor GPS, de diferentes sensores dispuestos en el habitáculo del vehículo y la situación de un ordenador a bordo, brindan la oportunidad de construir un potente sistema de seguridad en el vehículo capacitado para la recolección, procesamiento y propagación de la información. Numerosas aplicaciones, como hemos relatado ya, pueden ser desplegadas en una red establecida con la colaboración de los vehículos en una zona concreta y dotada de una infraestructura adecuada. Con el fin de establecer un límite más preciso entre las diferentes categorías descritas, seguidamente, vamos a definir las características de cada una de ellas para así establecer una mejor relación entre las diversas aplicaciones existentes con la categoría a la que pertenecen.

2.2.1. SEGURIDAD ACTIVA.

Las aplicaciones de esta categoría están consideradas como el servicio más demandado por la tecnología *VANET* con impacto directo sobre la seguridad vial. El propósito de las aplicaciones que se encuentran en esta categoría es el de suministrar recursos a los conductores para que estos realicen una conducción segura, obteniendo información acerca de una situación peligrosa, permitiendo que el vehículo esté capacitado para evitar un accidente o para reaccionar adecuadamente si un accidente no puede evitarse. En el cuadro anterior podemos observar la existencia de un orden en el tipo de aplicaciones para esta categoría en función del nivel de peligro que entraña. Por ejemplo, los sucesos estáticos, como pueden ser un camino en mal estado, una curva cerrada, o situaciones anormales de circulación, tienen un nivel de peligrosidad baja. Sin embargo, aquellos casos en los que la aplicación debe prevenir colisiones, como por ejemplo el supuesto en el que un vehículo realiza una frenada fuerte porque se encuentra en un escenario con congestión, tienen un nivel de peligrosidad alto. En caso de un peligro inminente donde no se puede evitar el riesgo de colisión, las aplicaciones tipo *precrash-sensing* prepararán al vehículo para la colisión con el fin de minimizar el impacto, por ejemplo aumentando la presión en los amortiguadores. Por último, cuando se produce un accidente es de vital importancia advertir de tal hecho a los vehículos cercanos para que no se produzca un accidente en cadena, o para pedir ayuda.

2.2.2. SERVICIO PÚBLICO.

Este tipo de aplicaciones están destinadas a colaborar con la labor de los servicios públicos como la policía o las unidades de emergencia, ya sean ambulancias, bomberos, llamadas de urgencia (ecall)..., realizando una labor de apoyo a la actividad de los mismos mediante sirenas virtuales o dotando de capacidades de señales preventivas. Mediante el uso de estas solicitudes se pretende que los vehículos de emergencia sean capaces de llegar a su destino mucho más rápido que hoy día. Además, este tipo de aplicaciones permitirían simplificar la vigilancia como si se estuviera tratando de un sistema de correo electrónico. Un servicio de esta categoría que será implantado a nivel Europeo será la llamada de urgencia «eCall», un dispositivo instalado en un vehículo que, o bien cuando se produce un grave accidente, o de manera manual por los utilitarios del vehículo, transmite una llamada de urgencia al punto de respuesta del servicio público (PSAP - Public Safety Answering Point) más cercano, y, al mismo tiempo, envía determinados datos sobre el vehículo, en particular, su localización precisa. Este tipo de aplicaciones deberían de utilizarse mediante un protocolo de seguridad para evitar ser atacadas por nadie, además de especificarse una normativa jurídica para este tipo de comunicaciones.

2.2.3. MEJORA DE LA CONDUCCIÓN.

Esta categoría incluye aplicaciones que tratan de mejorar o simplificar la conducción mediante el uso de medios de comunicación entre los coches. La idea comprende escenarios en los alrededores inmediatos de un vehículo, así como la gestión de un tráfico eficiente. En el primer caso, las aplicaciones están destinadas a ayudar al conductor en situaciones de incorporación a una autopista, en la reducción de un encandilamiento debido las luces de carretera en situaciones de cambio de rasante o en otras situaciones análogas. En el segundo caso, el tráfico eficiente está destinado a dirigir el tráfico en un área de mayor dimensión. Esto conlleva que la advertencia de un accidente se difunde en un área mayor para informar a los vehículos del posible obstáculo, con la finalidad de que los conductores puedan tomar una ruta alternativa y de este modo prevenir los atascos. Otro servicio que pertenecería a esta categoría sería la difusión de información sobre aparcamiento o incluso la reserva de estacionamiento.

2.2.4. NEGOCIOS / ENTRETENIMIENTO.

Un gran bloque de aplicaciones pueden reseñarse bajo los términos de negocios y entretenimiento. Aquí la atención se centra en la prestación de servicios a los clientes, automatización de tareas del vehículo o solicitudes de pago, así como en la descarga de música, gestión de flota para empresas dedicadas al transporte, un mantenimiento más sencillo de vehículos, o realizaciones de pago por estacionamientos o por el peaje de las carreteras. La mayoría de estas aplicaciones se centran en el aumento del disfrute y del confort para los utilitarios del coche.

3. SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN VANET.

Los servicios de localización son usados por cualquiera de las dos redes especificadas en apartados anteriores, redes ad-hoc y en redes híbridas, para localizar la posición geográfica de un nodo en la red o para localizar un determinado contenido. Uno de los usos más importantes de este tipo de servicios es la localización basada en la posición. En particular estos protocolos pueden enrutar mensajes más eficientemente para sus destinos basándose en la posición geográfica de los nodos, que es proporcionada por el servicio de localización. Un servicio de localización óptimo proporcionará respuesta a una solicitud emitida por un nodo que, o bien requiere la ubicación de un nodo, o la ubicación de unos contenidos, informando con el contenido por el que se está preguntando, o con la identificación del nodo donde están ubicados esos contenidos. Estos servicios de localización de datos son útiles para la implementación de aplicaciones de contenido compartido, sistemas de suscripción pública, etc. A continuación presentaremos la taxonomía de servicios de localización, y las técnicas conocidas para implementar tal servicio en arquitecturas inalámbricas ad-hoc y redes híbridas.

Como breve introducción, las redes móviles ad-hoc están constituidas por dispositivos inalámbricos que se comunican con otro diferente en ausencia de una infraestructura fija. La utilización de este tipo de arquitecturas puede verse aplicada en ámbitos de campos de batalla donde los soldados necesiten establecer comunicaciones sin que exista una previa infraestructura predeterminada, permitiendo comunicaciones ante desastres ambientales, tecnológicos, etc. Las redes inalámbricas híbridas son redes que están formadas por una colección de puntos de acceso y dispositivos móviles. En este tipo de redes, los dispositivos móviles pueden comunicarse utilizando el punto de acceso como medio de colaboración para establecer la conexión, o bien punto a punto, entre los dispositivos que permanezcan en su rango de cobertura.

Los dos usos más importantes de los servicios de localización en redes móviles ad-hoc son los siguientes: por un lado, proporcionar información relativa a la localización geográfica de los nodos en la red; y por otro lado, localizar un contenido. Aunque usados para diferentes propósitos ambos tipos de servicios tienen su semejanza en términos de implementación. A continuación señalaremos las diferencias existentes entre estos dos tipos de servicio:

Uso de conocimiento geográfico: Los servicios de localización normalmente utilizan la posición geográfica de los nodos con el fin de implementar servicios de este tipo, mientras la localización de los contenidos no es un recurso necesario para este tipo de cometido.

Sensibilidad a la movilidad: En los servicios de localización el servicio tiene que ser consciente de la movilidad de los nodos. Cuando un nodo se mueve, cambia de posición y el servicio debe actualizar el patrón de movimiento. Por otra parte, los servicios de localización no dependen únicamente de la movilidad de los nodos, sino más bien de las llegadas y salidas de los nodos móviles, así como de los nuevos contenidos sobre publicidad y ventas. Debido al limitado consumo de energía la aplicación podrá disponer de los contenidos que deseen los usuarios y será susceptible de ser periódicamente actualizada.

Necesidad de localización adicional: Los servicios de localización normalmente solo proporcionan la posición del nodo por el que preguntamos, mientras que la comunicación con este nodo debe de ser implementada mediante una localización geográfica.

3.1. TAXONOMÍA DE LOS SERVICIOS DE LOCALIZACIÓN.

Primeramente, mostraremos mediante la figura 7 los diferentes tipos de servicios de localización existentes, y como se clasifican en función del comportamiento que tiene el sistema.

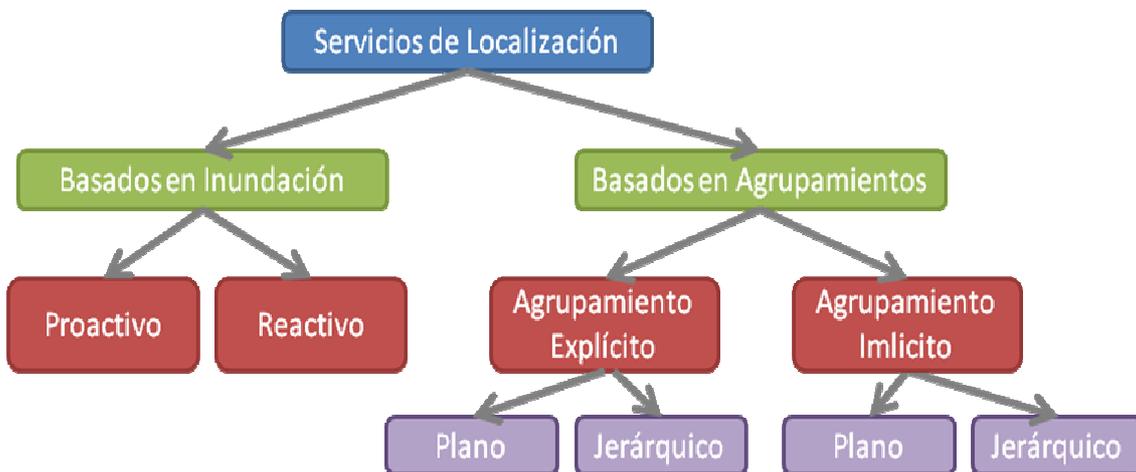


FIGURA 7 TAXONOMÍA DE SERVICIOS DE LOCALIZACIÓN

En lo alto de la jerarquía los servicios de localización pueden ser clasificados en función del comportamiento que tenga el protocolo a la hora de realizar la consulta de localización. Por lo tanto encontramos los servicios basados en inundación y los basados en agrupamientos (Quórum).

3.2. BASADOS EN INUNDACIÓN (FLOODING-BASED).

Los protocolos basados en inundación pueden dividirse a su vez en proactivos y reactivos. Los sistemas basados en inundación proactiva actúan de la siguiente manera: cada nodo inunda periódicamente anunciando su localización para todos sus vecinos que se encuentran en su radio de cobertura, manteniendo esta información cada nodo en una tabla. El intervalo y el rango para realizar la inundación pueden ser optimizados mediante un acuerdo establecido por el efecto de la movilidad y la distancia en los nodos. Por ejemplo, la inundación debe ser más frecuente para nodos con alta movilidad, y será menos frecuente para aquellos nodos que se encuentren muy alejados con respecto al nodo emisor y sus vecinos.

Los sistemas basados en inundación reactiva (bajo demanda), trabajan de la siguiente manera: si un nodo no encuentra una ubicación reciente de un destino al que está tratando de enviar un mensaje, realiza una inundación para buscar en la red, dicha ubicación.

3.3. BASADOS EN ENCIENTROS (QUORUM BASED) (RENDEZVOUS).

En este tipo de protocolos todos los nodos pertenecientes a la red son emisores y receptores potenciales. Ellos acuerdan con la red de manera explícita o implícita una cartografía que asocia cada nodo que pertenece a la red con un identificador único dentro de esta cartografía. El mapeado para cada nodo es realizado por los servidores de localización que tienen el principal cometido de almacenar las nuevas posiciones que son enviados por los nodos de forma periódica, y otros servidores serán encargados de responder a las solicitudes de localización de los nodos. Siempre encontraremos la ubicación más actual, debido a que mientras que la solicitud de búsqueda de un identificador llega a uno de los servidores de ubicación, los servidores que se encargan de recibir las actualizaciones de las posiciones de los nodos están en continua actualización, y por lo tanto siempre se devolverá la ubicación exacta. En otras palabras, tanto los servidores de actualización como los encargados de recibir las peticiones de localización, al estar en continua actualización, a cualquier petición de ubicación que les sea notificada, responderán con la más actual recibida por los servicios de localización, dado el continuo intercambio de información que se producen entre ambos servidores. A veces, cuando se configura en la arquitectura de estos servidores para realizar las dos acciones, a estos sistemas se les conoce como protocolos basados en un punto de encuentro (Rendezvous), debido a que en este punto de la arquitectura es donde se tiene centralizado el servicio de actualización y búsqueda.

El mapeo de los nodos a quórum puede ser realizado de manera estática o aleatoria, siempre y cuando se esté utilizando identificador de nodos o información geográfica para que puedan aplicarse diferentes métodos de hashing. Estos métodos de hashing nos permitirán resumir esta información generando un identificador único, que será asociado a cada nodo quórum de manera unívoca para facilitarnos su localización. Ambos protocolos quórum implícitos y explícitos, pueden ser divididos en dos subcategorías más. Dependiendo de cómo sea organizada la implantación del sistema quórum vamos a disponer de organización plana o jerárquica. Por lo tanto si el mapeo de un escenario cartográfico está en áreas y éstas se encuentran divididas a su vez en subáreas, se utilizará métodos que permitan realizar una consulta recursiva, y en definitiva, estaremos hablando de un sistema jerárquico compuesto por diferentes niveles, uno por cada división.

3.4. ENCUENTRO EXPLICITO (EXPLICIT QUORUM-BASED).

En quórum explícito cada actualización de localización de un nodo es enviada explícitamente a un subconjunto (quórum de actualización) de nodos disponibles, y las preguntas de localización para un nodo son enviados potencialmente a otro conjunto (quórum de solicitudes). Los dos subconjuntos están designados de manera que la intersección de los dos conjuntos sea no vacía, y las preguntas puedan ser respondidas por algún nodo del quórum de actualización.

3.4.1. DISTRIBUCIÓN PLANA (FLAT QUORUM-BASED LOCATION SERVICE).

La distribución plana basa su operación en la noción de quórum (agrupamiento). Sin embargo en esta implementación todos los servidores quórum son simétricos en cuanto a sus funciones se refiere, es decir, solo va a existir un grupo de servidores que se encargue de controlar las actualizaciones y responder a las solicitudes de localización. En particular, no existe una estructura jerárquica en tales agrupaciones.

La información de los nodos es mantenida en bases de datos encargadas de almacenar las posiciones de localización de éstos, que están ubicadas en un backbone virtual. Cuando un nodo se mueve actualiza su ubicación con un mensaje que, además de sus posiciones actualizadas, contiene un subconjunto de nodos que se encuentran dispuestos cerca del backbone virtual; entonces cada nodo origen emite una solicitud a este subconjunto para localizar al destino, utilizando esta localización para enrutar el mensaje. El sistema de elección de quórum es estático y hecho a priori, por lo tanto,

garantizamos la uniformidad en el sentido de que todos los nodos serán miembros del mismo número de grupos quórum. Sin embargo, en la selección de agrupamiento aleatorio, la estancia de un nodo en un grupo se decide en tiempo de ejecución.

Los nodos son particionados en quórum fijos, y cada operación actualiza la selección aleatoria del grupo equilibrando de esta manera la carga. Comparando las estrategias estrictas de agrupamiento y un método probabilístico, los resultados de la simulación muestran mejores tasas obtenidas cuando el agrupamiento es basado en probabilidad. Por ello es utilizado en este tipo de algoritmos.

El funcionamiento en esta estrategia probabilística es que los nodos son seleccionados al azar, ya sea por la presencia de los nodos en la lista que recoge las rutas de a otros nodos o utilizando procedimientos aleatorios, donde se determinan todos los nodos de la red para seleccionar un subconjunto de nodos.

3.4.2. DISTRIBUCIÓN PLANA GEOGRÁFICA (FLAT GEOGRAPHICAL QUORUM-BASED LOCATION SERVICE).

En los algoritmos discutidos la información geográfica es utilizada para facilitar el formato en los sistemas de agrupamiento explícitos. Por ejemplo los protocolos de agrupamiento denominados columna-fila (column-row), donde cada posición del nodo es periódicamente propagada a la dirección norte-sur, mientras que las peticiones de localización son propagados en este-oeste. Por lo tanto, cada localización del nodo es diseminada en los servidores de localización en el orden de $O(\sqrt{N})$.

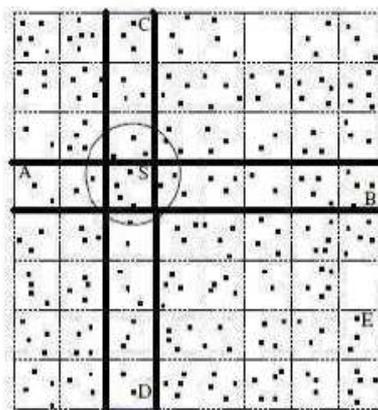


FIGURA 8 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA PLANA (OCTOPUS [1])

A continuación nombraremos algunos servicios de localización que implementan este tipo de algoritmos:

En Octopus [1], con el fin de encontrar un mejor compromiso con la exactitud de las localizaciones y sobrecarga de información del servicio, se refuerza el régimen introducido con los protocolos denominados columna-fila (column-row), aplicando una nueva técnica de actualización de la ubicación llamada agregación sincronizada, que consiste en dividir el área de toda la red en tiras horizontales y verticales, como podemos ver en la figura 8, almacenando la ubicación de cada nodo en todos los vecinos que residan en la misma tira horizontal y vertical. Cada solicitud de actualización agrega las ubicaciones de varios nodos y realiza actualizaciones en los servidores. Estas actualizaciones agregadas están sincronizadas para que solo sea un nodo el que se encargue de iniciar la propagación sobre una actualización de una superficie agregada. De esta manera vamos a tener el envío de actualizaciones controladas evitando que se realicen varias propagaciones.

En GeoQuorums [2], las coordenadas geométricas determinan la ubicación de los servidores. Estos puntos coordinan la definición de zonas geográficas que deben ser inhibidas por al menos un servidor en cada momento. El concepto de quórum es más utilizado en redes ad-hoc para implementar la abstracción atómica de la memoria. El algoritmo reconfigura dinámicamente el conjunto de agrupamiento en función de la disposición de los servidores.

3.4.3. DISTRIBUCIÓN JERÁRQUICA GEOGRÁFICA (HIERARCHICAL GEOGRAPHICAL QUORUM-BASED LOCATION SERVICE).

Dos ejemplos de este tipo de servicio de localización son multi-zone routing [3] y LLS [4]. En ellos nos basaremos para entender el funcionamiento de los algoritmos que encontramos en este apartado.

El método multi-zone routing [3] es un algoritmo basado en actualizaciones periódicas de las coordenadas de posición dentro unos círculos virtuales, que van creciendo y cubriendo el espacio de búsqueda. Este algoritmo almacena la información de localización acerca de cada nodo, que va apareciendo conforme vamos incrementando geoméricamente los discos. Cada círculo almacena la menor superficie donde se encuentra ubicado el nodo. Cuando un nodo se mueve a distancia 2^i siendo i el número de círculo por el que se está moviendo el nodo, su emisión broadcast actualiza acerca del cambio del área en radio 2^{i+1} . Dentro de una zona 2^i , la emisión de la actualización es propagada a todos los nodos. El proceso de búsqueda rastrea la información de ubicación de manera jerárquica conforme se va acercando a

su destino, de este modo, la información acerca de la posición del destino es más precisa.

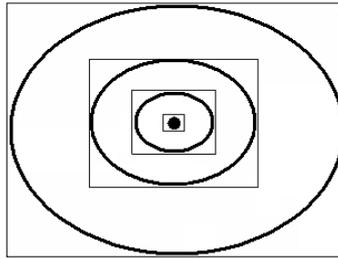


FIGURA 9 MULTI-ZONE ROUTING [3]

La LLS [4] (Locality aware Location Service) usa una estructura jerárquica en espiral para garantizar las propiedades de ubicación de los algoritmos de búsqueda/localización. Un sistema de localización tiene implementado un buen sistema de búsqueda si el costo de la localización del destino t desde la fuente s , es proporcional al costo del camino más corto entre s y t . Por lo tanto diremos que un servicio de localización tienen un algoritmo de publicación inteligente, si el coste de actualización del servicio de localización debido al movimiento de los nodos desde X a Y es proporcional a la distancia entre X e Y .

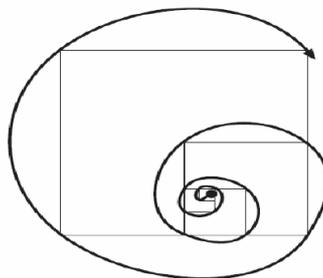


FIGURA 10 LOCALITY AWARE LOCATION SERVICE

La figura 10 muestra la estructura básica de LLS [4]. Para cada nodo destino t , LLS [4] define una jerarquía virtual que cubre el plano $M \times M$, consiguiendo de este modo disminuir exponencialmente los cuadrados, cuyo origen depende del identificador del nodo. En el algoritmo de espiral básico la localización del nodo t es publicada en una espiral que, como podemos ver en la figura, en cada giro se ensancha más, abarcando cada vez más cuadrados en la jerarquía. De esta forma, las búsquedas para t se llevan a cabo de manera creciente en espiral y en la misma jerarquía virtual. La búsqueda y la publicación garantizan cruzar el primer nivel jerárquico en el que las plazas contengan la fuente y el destino. Esta estructura tiene una cierta semejanza con la jerarquía rejilla de GLS [5]. Sin embargo, GLS [5] utiliza hashing además de la jerarquía geográfica. *Ver sección Implicit Quorum-Based.*

La movilidad es abordada en LLS [4] con técnicas tomadas de GHT (Geographic Hash Table), un servicio de localización de datos que fue propuesto para el almacenamiento de datos de manera centralizada en redes de sensores. Este servicio utiliza una tabla hash para el par, (datos, puntos geográficos), con el identificador del nodo como llave. Una diferencia existente entre ambos servicios es que LLS [4] utiliza coordenadas virtuales dentro de los cuadros para almacenar información sobre t , en lugar de realizar una búsqueda para ciertos nodos seleccionados. El algoritmo básico va aumentando la superficie de búsqueda, para garantizar en el peor de los casos la ubicación de las coordenadas de localización de los nodos en movimiento.

LLS [4] logra en el peor de los casos un costo de orden $O(d^2)$; y en casos medio lineales, un costo de orden $O(d)$, siendo d la mínima longitud del camino entre nodo fuente y nodo destino. Además cuando un nodo se mueve a distancia d , el promedio de costo de publicación de su nueva ubicación es del orden $O(d \log d)$.

3.5. ENCUENTRO IMPLÍCITO (IMPLICIT QUORUM-BASED (HASHING BASED)).

En el comportamiento implícito los servidores de ubicación son seleccionados mediante una función de hashing aplicada al identificador de un nodo, o las coordenadas de posicionamiento que ocupa en el espacio. Este tipo de protocolos, también son denominados protocolos hashing rendezvous, como veremos a continuación en los siguientes apartados

3.5.1. DISTRIBUCIÓN PLANA (FLAT HASHING-BASED LOCATION SERVICE).

En este tipo de protocolos, las funciones de hashing son utilizadas para asociar cada identificador del nodo con una región origen que podrá contener a su vez en su interior uno o más nodos emplazados. Todos los nodos que comparten esta región origen mantienen la información de ubicación de sus vecinos, pudiendo colaborar en solicitudes de preguntas sobre otros nodos. Esta colaboración también nos puede ayudar para encontrar la ubicación de los servidores de localización. Normalmente el número de servidores de localización en la región de origen es independiente del número total de nodos de la red, de esta manera cada ubicación de un nodo es diseminada en orden $O(1)$.

En SLALoM [6] la zona se encuentra dividida en unidades regionales, donde cada nodo es asignado a múltiples regiones de origen que están distribuidas de manera uniforme. Los nodos situados en la región origen sirven como servidores de

ubicación para los demás vecinos. Las regiones origen cerca del nodo permiten la localización exacta, que es la unidad regional que ocupa, mientras las demás regiones que se encuentran alejadas solo conocen una región más grande donde está ubicado el nodo.

3.5.2. DISTRIBUCIÓN JERÁRQUICA (HIERARCHICAL HASHING-BASED LOCATION SERVICE).

En este tipo de protocolos la zona en la que cada nodo reside es recursivamente dividida en una jerarquía de pequeñas celdas, como podemos observar en la figura 11. En cada división puede existir uno o varios nodos, y cada nivel de la jerarquía es elegido por los servicios de localización. El gran beneficio en esta distribución es el bajo coste de mantener la jerarquía, debido a que cuando la fuente y el destino son vecinos cercanos, cualquier consulta en este caso concreto está limitado a los niveles bajos de la jerarquía.

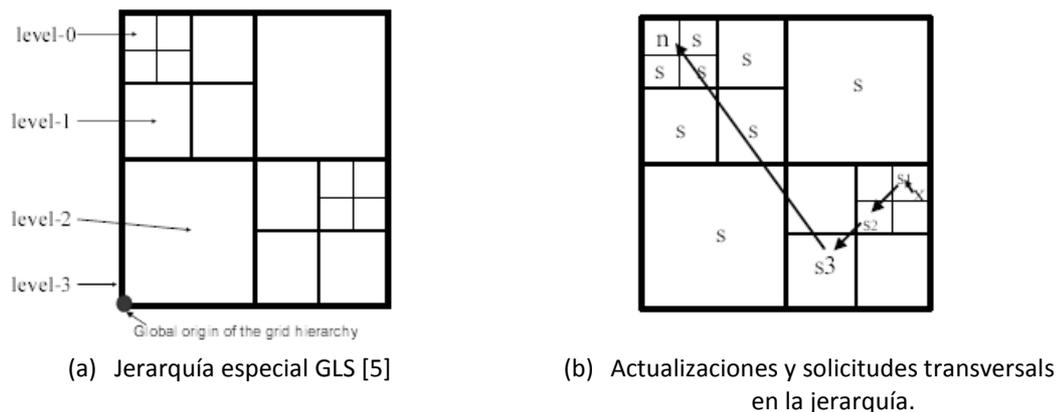


FIGURA 11 GLS [5]

Una estructura jerárquica de este tipo es bastante eficiente, porque distribuye la carga uniformemente en toda la red y logra de este modo una eficiencia y escalabilidad en los procesos de búsqueda. Los niveles de jerarquía, generalmente, son del orden $O(\log(N))$, es decir, cuando un nodo s quiere difundir su ubicación a los servidores de localización, el orden es $O(\log(N))$.

Los ejemplos de este tipo de protocolos de localización son Grid Location Service (GLS) [5], Distributed Location Management (DLM) [6], y Geographical Region Summary Service (GRSS [7]). DLM [6] es similar a GLS [5], exceptuando que en DLM [6] los servidores para un nodo son seleccionados mediante la aplicación de una función de hash para el identificador de un nodo concreto; mientras que en GLS [5], la ubicación de un servidor para un nodo es el servidor que se encuentra más cercano

con el identificador en el mismo nivel de jerarquía. GRSS [7] utiliza mensajes de resumen y reenvió de paquetes para aprender acerca de las localizaciones de los nodos con el fin de disminuir más la sobrecarga en la red. Para reducir el tamaño del paquete, GRSS [7], utiliza filtros de Bloom, (método probabilístico que es utilizado para probar de manera eficiente si un elemento es un miembro de un conjunto).

4. SISTEMA DE LOCALIZACIÓN RANDOMWALK.

4.1. INTRODUCCIÓN.

Después de diversos análisis de estrategias de localización, el sistema de localización RandomWalk ha sido la propuesta desarrollada para solventar el problema de localización dentro de redes VANET. Dentro de la taxonomía que ha sido descrita a lo largo del documento, el sistema de localización RandomWalk puede ser caracterizado como un sistema de localización basado en inundación, que utiliza un estrategia de localización proactiva, debido a que cada nodo que conforma la red, mantiene una tabla donde se almacena la información relativa a la posición de los nodos cercanos. De esta manera, los nodos pueden responder ante cambios en la infraestructura debido a que, como veremos en el comportamiento del protocolo, continuamente se envía información de control.

RandomWalk es un protocolo para redes VANET que está implementado para escenarios con arquitecturas híbridas. Si recordamos estas arquitecturas ya descritas en los primeros apartados de la documentación que nos ocupa, observaremos que pueden darse dos tipos de comunicaciones. Por un lado, las comunicaciones sin infraestructura, que van utilizar a otros vehículos como elementos colaboradores para realizar los envíos de mensajes; y por otro lado, las comunicaciones con infraestructura, utilizando una estación base como punto de acceso.

El funcionamiento del protocolo se basa en tres procesos clave: proceso de anuncio, proceso de registro y proceso de localización. En el proceso de anuncio las estaciones base y los vehículos van a poder avisar de su presencia a todos aquellos nodos que se encuentren en su radio de cobertura, mediante la emisión de unos mensajes Beacon, que contendrán toda la información relativa al emisor, dirección IP, identificador, ubicación, vecinos cercanos, etc. Una de las mejoras que proporciona la disponibilidad de arquitecturas híbridas es consentir a los vehículos el establecimiento de comunicaciones con infraestructura. De este modo el proceso de registro permitirá a los vehículos comunicarse con redes de infraestructura y registrarse en servidores de localización disponibles en redes externas, mediante mensajes RegisterRequest que contendrán información referente a su posición, identificador etc. Gracias al proceso de registro, el proceso de localización tendrá dos vías de exploración para ubicar un identificador en un escenario: por un lado, preguntar al servidor de localización si el vehículo que inicia el proceso detecta la presencia de un punto de acceso a la infraestructura; y por otro lado, preguntar a los nodos vecinos si conocen el identificador que quiere ser ubicado.

4.2. TABLA DE LOCALIZACIÓN.

Esta tabla representa toda la información de la que dispondrán los vehículos y las estaciones base para solucionar el problema de ubicación de un identificador concreto. Por parte de los vehículos no solo será utilizada con este fin, sino también como elemento de importante relevancia a la hora de realizar la localización de los mensajes hacia las estaciones base. Esta estructura de datos toma una gran importancia en procesos de registro, donde las estaciones base añadirán una entrada por cada solicitud de registro que sea enviada por un vehículo. En los procesos de anuncio estas tablas serán enviadas a los vehículos vecinos, consiguiendo de este modo la propagación de la información. Y por último, en el proceso de localización, serán consultadas para ubicar al nodo por el que se está preguntando. Mediante un diagrama mostraremos los campos que tiene la estructura de datos, dando una explicación del tipo de dato que se almacena.

Tabla de Localización							
Id del vecino	Tipo de nodo	Dirección IP vecino	Número de saltos	Posición X vecino	Posición Y vecino	Posición Z vecino	Tiempo de expiración

TABLA 2 TABLA DE LOCALIZACIÓN

- *Id del vecino*: Representa el identificador del vecino que es anunciado mediante la trama Beacon.
- *Tipo de nodo*: Nos ayuda a diferenciar si la entrada almacenada en tabla se trata de una estación base o de un nodo. Este campo adquiere vital importancia cuando se quiere renovar el registro en una estación base.
- *Dirección IP vecino*: Representa la dirección IP del siguiente salto, donde tiene que ser dirigido el paquete, para llegar al identificador que se almacena en el campo Id del vecino (routing salto a salto).
- *Número de saltos*: Número de saltos que tendrá que atravesar el paquete para llegar a su destino. Este campo tiene vital importancia en el anuncio de las estaciones base, ya que si por ejemplo, existiesen dos entradas que referencian a diferentes estaciones base, este campo determinará cuál será utilizada como acceso a la infraestructura.
- *Posición X, Y Z*: Representa las posiciones en las que está ubicadas el vecino.
- *Tiempo de expiración*: La importancia de enviar información actualizada a mis vecinos es una parte relevante en la implementación del protocolo. Por ello, este campo es definido cuando se agrega una nueva entrada o se modifican los datos de una entrada ya existente, con el objetivo de llevar un control temporal a la hora de reenviar información correcta a los vecinos.

4.3. FORMATO DE LOS MENSAJES.

Antes de definir los diferentes procesos que constituyen el sistema de localización, nos centraremos en describir detalladamente los mensajes que permiten que procesos como el registro, la localización o la anunciación de información de los vehículos, se lleven a cabo. En este apartado intentaremos dar una visión concreta de los mensajes utilizados en el sistema de localización, describiendo cada uno de los campos utilizados y determinando la funcionalidad que estos desempeñan.

4.3.1. MENSAJE BEACON.

El mensaje Beacon es utilizado tanto por los nodos móviles como por las estaciones base para anunciarse periódicamente, emitiendo datos de posición, identificador único, dirección IP, etc. El periodo de reenvío para estos mensajes en la simulación es cada 3 segundos, y el número de saltos permitidos difiere en función del rol que desempeñe el nodo que quiere anunciarse. Es decir, los mensajes de información emitidos por los automóviles están establecidos a un salto con el objetivo de que solo informen a todos los vecinos que tenga el emisor en su rango de cobertura; sin embargo, en el caso de una estación base, permitimos varios saltos, para informar de su presencia a la máxima cantidad de vehículos posibles. Utilizaremos la figura 12 para definir la composición del paquete, donde observaremos los diferentes campos que componen el mensaje y describiremos su cometido en el proceso de anunciación.

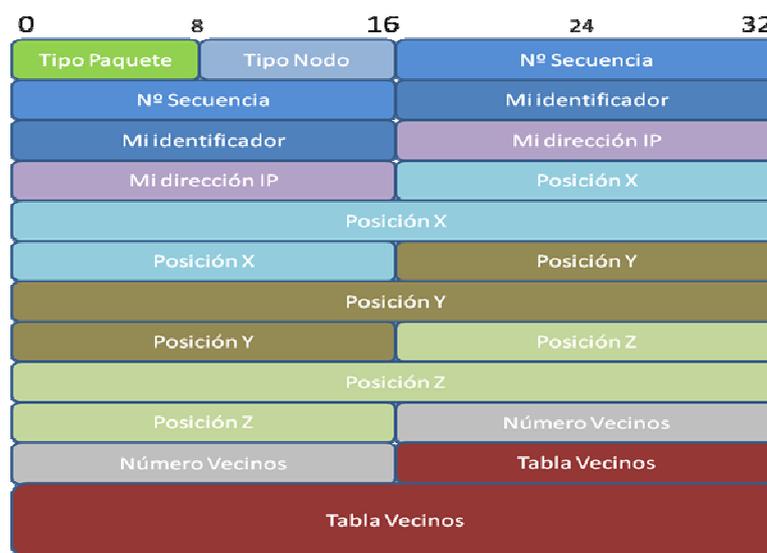


FIGURA 12 MENSAJE BEACON

Los campos que constituyen este mensaje son los siguientes:

- *Tipo de paquete (1 byte)*: Campo que nos permite diferenciar entre los tipos de paquetes utilizados por el sistema de localización, ya que cada uno tendrá un tratamiento diferente. El mensaje Beacon está definido por el número 0x00
- *Tipo de Nodo (1 byte)*: Campo destinado a determinar el tipo de nodo que ha enviado el mensaje. Si este campo contiene un 0, el tipo de nodo que ha emitido el mensaje será un vehículo, y si por el contrario está establecido a 1, será una estación base. Este campo es de vital importancia en los procesos de registro en las estaciones base iniciados por los vehículos.
- *Número de Secuencia (4 bytes)*: Cuando todos los vehículos comienzan a anunciarse en una simulación, generan un número de 16 bits aleatoriamente para determinar un número de secuencia inicial. Este número de secuencia se va incrementando en una unidad cada vez que se hace un envío. Cuando un vehículo recibe un mensaje de este tipo, confirma que el número de secuencia que lleva este paquete es posterior al que él tiene almacenado, y entonces analiza la trama para actualizar la información en su tabla de localización, almacenando también el nuevo número de secuencia. Si por el contrario, el número de secuencia es anterior, se trata de un mensaje con información anticuada, y por lo tanto éste es descartado. De esta forma nos aseguramos que solo son propagados aquellos mensajes que contengan información actualizada.
- *Mi identificador (4 bytes)*: Identificador del nodo que se anuncia.
- *Mi dirección IP (4 bytes)*: Dirección IP del nodo que se anuncia.
- *Posición X, Y, Z (8 bytes)*: Posiciones del nodo que se anuncia.
- *Número de Vecinos (4 bytes)*: Este campo determina el número de entradas que tendrá la tabla de vecinos.
- *Tabla vecinos (48 bytes por cada entrada)*: Esta estructura de datos será completada con aquellos vecinos de la tabla de localización del nodo que tengan un tiempo de expiración menor que el doble del intervalo de reenvío de los mensajes Beacon. De esta manera nos aseguramos que solo serán enviadas aquellas entradas que hayan sido actualizadas con la llegada de nuevos mensajes Beacon, interpretando de esta manera que el nodo que haya actualizado su entrada en la tabla de localización, se encuentra aún en el radio de cobertura del vehículo que desea enviar el mensaje de anuncio.

4.3.2. MENSAJE REGISTERREQUEST.

Mensaje utilizado únicamente por los vehículos. Una vez que ellos detecten la presencia de una estación base, construirán este mensaje que contendrá toda la

información de posicionamiento del nodo, y enviarán la solicitud de registro esperando la respuesta de la estación base, que verificará que el registro ha sido satisfactorio. Registrado un vehículo en el servidor de localización deberá realizar una renovación del registro periódicamente, emitiendo una nueva solicitud de registro cada 10 segundos. Si por el contrario el vehículo no envía una solicitud, entonces el servidor de localización eliminará la entrada donde se almacenan los datos relativos a este identificador, pasando el vehículo al estado no registrado. El número de saltos establecido para este tipo de mensajes es de 8 saltos, por lo tanto solo serán enviadas solicitudes de registro a direcciones almacenadas en la tabla cuyo número de saltos sea menor de 8.

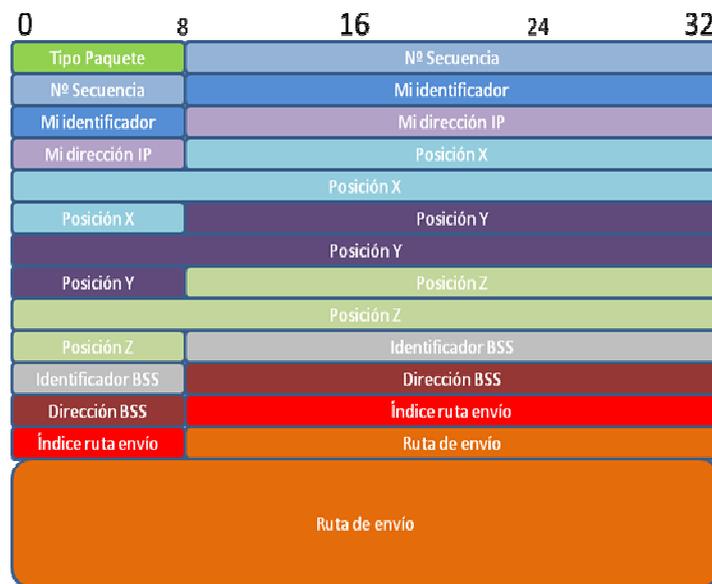


FIGURA 13 MENSAJE REGISTER REQUEST

Los campos que constituyen este mensaje son los siguientes:

- *Tipo de paquete (1 byte)*: El mensaje RegisterRequest está identificado por el número de paquete 0x01.
- *Número de secuencia (4 bytes)*: Antes de enviar el mensaje de solicitud de registro, se genera un número de secuencia aleatorio con el motivo de asociar la solicitud de registro con la respuesta.
- *Mi identificador (4 bytes)*: Identificador del emisor de la solicitud de registro.
- *Mi dirección IP (4 bytes)*: Dirección IP del emisor de la solicitud de registro.
- *Posición X, Y Z (8 bytes)*: Posiciones de la ubicación del emisor del mensaje.
- *Identificador BSS (4 bytes)*: Identificador de la estación base a la que va dirigida la solicitud.
- *Dirección IP BSS (4 bytes)*: Dirección IP de la estación base.

- *Índice ruta envío (4 bytes)*: Este índice gestiona la tabla de direcciones como si fuera una pila. Conforme el mensaje va atravesando nodos móviles intermedios, las direcciones de éstos se van agregando en la ruta de envío, y el índice tiene la misión establecer el orden en el que estas direcciones van a ser agregadas para conformar la ruta de envío.
- *Ruta de envío (8 bytes)*: Aquí serán almacenadas las direcciones de los vehículos que ha atravesado el mensaje, tomando como origen el nodo emisor y como destino la estación base. Este campo contendrá una lista de 8 direcciones máximo, que representará el camino recorrido por el mensaje hasta llegar a la estación base, para que sea reutilizado en la respuesta; estableciendo de este modo el mismo camino para la solicitud y respuesta de registro.

4.3.3. MENSAJE REGISTERREPLY.

Mensaje emitido por los servidores de localización en respuesta a una solicitud de registro enviada por algún vehículo que se encuentre en el radio de cobertura de la estación base, o que utilice un vehículo colaborador como intermediario para enviar la solicitud de registro. El número de saltos permitido para este tipo de mensajes es el mismo que en las solicitudes, es decir 8 saltos.



FIGURA 14 MENSAJE REGISTER REPLY

Los campos que contiene este mensaje son los siguientes:

- *Tipo de paquete (1 byte)*: El mensaje RegisterReply está identificado por el número de paquete 0x02.

- *Número de secuencia (4 bytes)*: Cuando llega a la estación base una solicitud de registro se obtiene el número de secuencia y se establece este número en el mensaje de respuesta. De este modo el nodo emisor de la solicitud, puede relacionar la solicitud de registro con la respuesta de la estación base.
- *Identificador BSS (4 bytes)*: Identificador de la estación base que emite la respuesta a la solicitud de registro.
- *Dirección IP BSS (4 bytes)*: Dirección IP de la estación base.
- *Identificador destino (4 bytes)*: Identificador del vehículo que espera la respuesta a la solicitud de registro.
- *Dirección IP destino (4 bytes)*: Dirección IP del receptor de la respuesta de la solicitud de registro.
- *Índice ruta envío (4 bytes)*: Este índice se encarga de dirigir el mensaje por la misma ruta que siguió la solicitud de registro.
- *Ruta de envío (8 bytes)*: Este campo contiene todas las direcciones que ha atravesado el mensaje de solicitud y que serán reutilizadas en la emisión de la respuesta para que regrese por el mismo camino.

4.3.4. MENSAJE LOCATIONREQUEST.

Este mensaje solo será emitido por los nodos móviles que quieran iniciar un proceso de localización, en el que pregunten por la posiciones de un vecino que no aparezca en su tabla de localización.

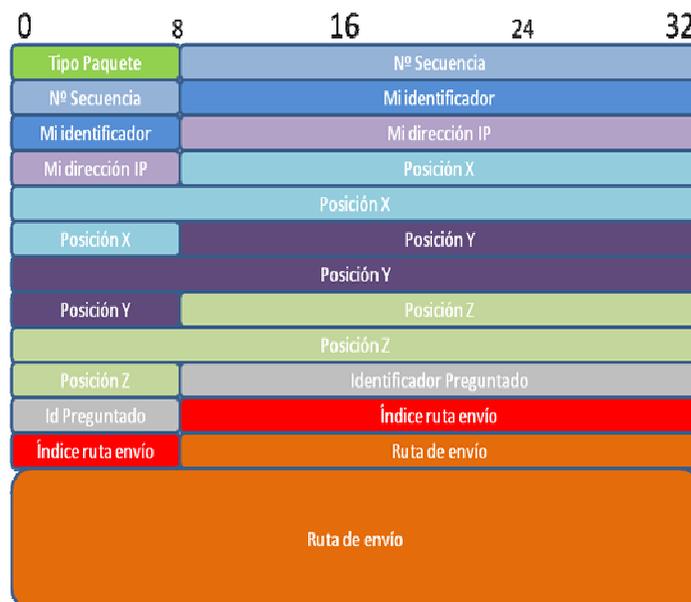


FIGURA 15 MENSAJE LOCATION REQUEST

Los campos que constituyen este mensaje son los siguientes:

- *Tipo de paquete (1 byte)*: El mensaje LocationRequest está identificado por el número de paquete 0x03.
- *Número de secuencia (4 bytes)*: Para que el nodo emisor de una solicitud de localización pueda establecer una relación entre la pregunta y respuesta, antes de enviar la pregunta a la red genera un número de secuencia aleatorio, de manera que una vez enviada la petición de ubicación, el nodo emisor queda a la espera de recibir una respuesta que contenga este mismo número de secuencia. Todas las demás respuestas que venga con un número de secuencia diferente serán descartadas.
- *Mi identificador (4 bytes)*: Identificador del nodo que realiza la pregunta.
- *Mi dirección IP (4 bytes)*: Dirección IP del nodo que emite la solicitud de localización.
- *Posición X, Y Z (8 bytes)*: Posiciones de la ubicación del emisor del mensaje.
- *Identificador Preguntado (4 bytes)*: Identificador del nodo que se quiere localizar.
- *Índice ruta envío (4 bytes)*: Este índice gestiona la tabla de direcciones como si fuera una pila. Conforme el mensaje va a travesando nodos móviles intermedios, las direcciones de estos se van agregando en la ruta de envío, y el índice tiene la misión establecer el orden en el que estas direcciones son agregadas para conformar la ruta de envío.
- *Ruta de envío (8 bytes)*: Aquí serán almacenadas las direcciones de los vehículos que ha atravesado el mensaje, tomando como origen el nodo emisor y como destino el nodo o la estación base que responda a la solicitud de localización. Este campo contendrá una lista de 8 direcciones máximo, que representará el camino recorrido por el mensaje hasta llegar al nodo que disponga de la información requerida, para que sea reutilizado en la respuesta; estableciendo de este modo el mismo camino para la solicitud y respuesta de localización.

4.3.5. MENSAJE LOCATIONREPLY.

Mensaje emitido en respuesta a una solicitud de localización. Podrá ser remitido por cualquier nodo del escenario simulado, independientemente de si se trata de una estación base o un automóvil. Cualquier nodo de la red que reciba una solicitud de localización de un identificador, y este lo tenga en su tabla de localización si se trata de un nodo móvil, o tabla de registro, si se trata del servidor de registro, responderá mediante una respuesta que contendrá toda la información referente al identificador buscado.

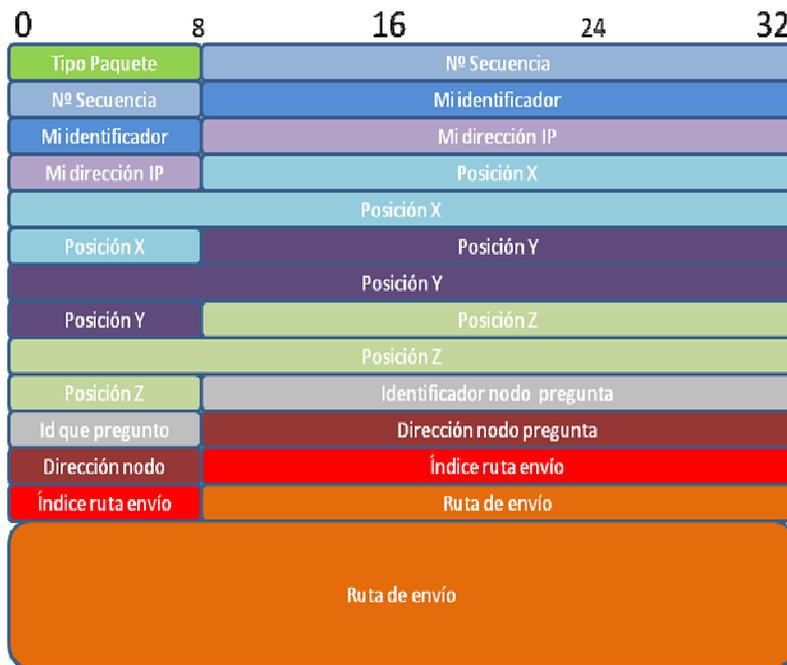


FIGURA 16 MENSAJE LOCATION REPLY

Los campos que constituyen este paquete son los siguientes:

- *Tipo de paquete (1 byte)*: El mensaje LocationReply está identificado por el número de paquete 0x04.
- *Número de secuencia (4 bytes)*: Una vez que un nodo cualquiera que constituya la red, ya sea una estación base o un vehículo, encuentre el identificador en su tabla de localización, obtendrá el número de secuencia del paquete de solicitud, y emitirá la respuesta con el mismo número de secuencia.
- *Mi identificador (4 bytes)*: Identificador del nodo que ha sido buscado.
- *Mi dirección IP (4 bytes)*: Dirección IP del nodo buscado.
- *Posición X, Y Z (8 bytes)*: Posiciones de la ubicación del nodo buscado.
- *Identificador nodo pregunta (4 bytes)*: Identificador del nodo que ha emitido la solicitud de localización.
- *Dirección nodo pregunta (4 bytes)*: Dirección IP del nodo que inicia el proceso de localización.
- *Índice ruta envío (4 bytes)*: Este índice tiene la importante misión de gestionar el camino de vuelta de estos mensajes, que será el mismo camino que el que estableció el mensaje de solicitud de localización.
- *Ruta de envío (8 bytes)*: Aquí serán almacenadas las direcciones de los vehículos que ha atravesado el mensaje, tomando como origen el nodo emisor y como destino el nodo o la estación base que responda a la solicitud de localización. Este campo contendrá una lista de 8 direcciones máximo, que representará el

camino recorrido por el mensaje hasta llegar al nodo que disponga de la información requerida, para que sea reutilizado en la respuesta; estableciendo de este modo el mismo camino para la solicitud y respuesta de localización.

4.4. ESCENARIOS.

El sistema RandomWalk está constituido por la implementación de varios procesos: el proceso de anunciación, el proceso de registro y el proceso de localización. En este apartado haremos una pequeña clasificación de los escenarios en los que un vehículo puede verse involucrado, a la hora de querer lanzar alguna de estas estrategias. Primeramente mostraremos mediante la figura 17, un esquema de los diferentes escenarios que se pueden dar en cada uno de los procesos.



FIGURA 17 ESCENARIOS

Seguidamente desglosaremos el esquema presentado en varios apartados, para explicar de manera detallada el comportamiento de cada proceso en cada uno de los escenarios propuestos.

4.4.1. PROCESO DE ANUNCIO.

Este proceso es utilizado tanto por los nodos móviles como por las estaciones base para anunciarse periódicamente, inundando la red con mensajes Beacon, que informan de características como identificador, posiciones, tipo de nodo, etc. La figura 18 que observamos a continuación refleja una infraestructura de red constituida por 3 automóviles y una estación base, en la que se puede destacar las emisiones de mensajes Beacon y la actualización de estos datos en las tablas de localización de cada uno de los vehículos. Las tablas de localización que están situadas debajo de los vehículos presentan la información que este automóvil ha adquirido al recibir los mensajes Beacon de sus vecinos. La tabla de información de las estaciones base no

aparece en esta figura puesto que en este proceso la estación base solo tiene la actividad de anunciarse. La adición de nuevas entradas en la tabla está definida en el siguiente proceso de registro.

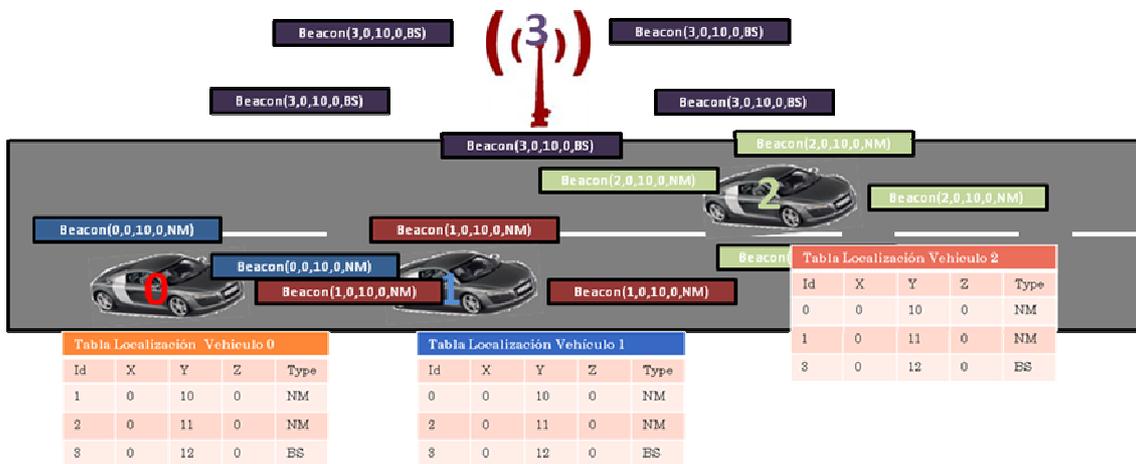


FIGURA 18 PROCESO DE ANUNCIO

4.4.2. PROCESO DE REGISTRO.

El comportamiento del proceso de registro está determinado por un autómata que está constituido por tres estados. Tiene la importante misión de tener un control absoluto del proceso de registro, además de controlar que no existan en la red peticiones duplicadas de registro del mismo nodo. En la figura 19 mostraremos los estados que componen dicho autómata, describiendo cada uno de ellos y la función que desempeñan en el proceso de registro.

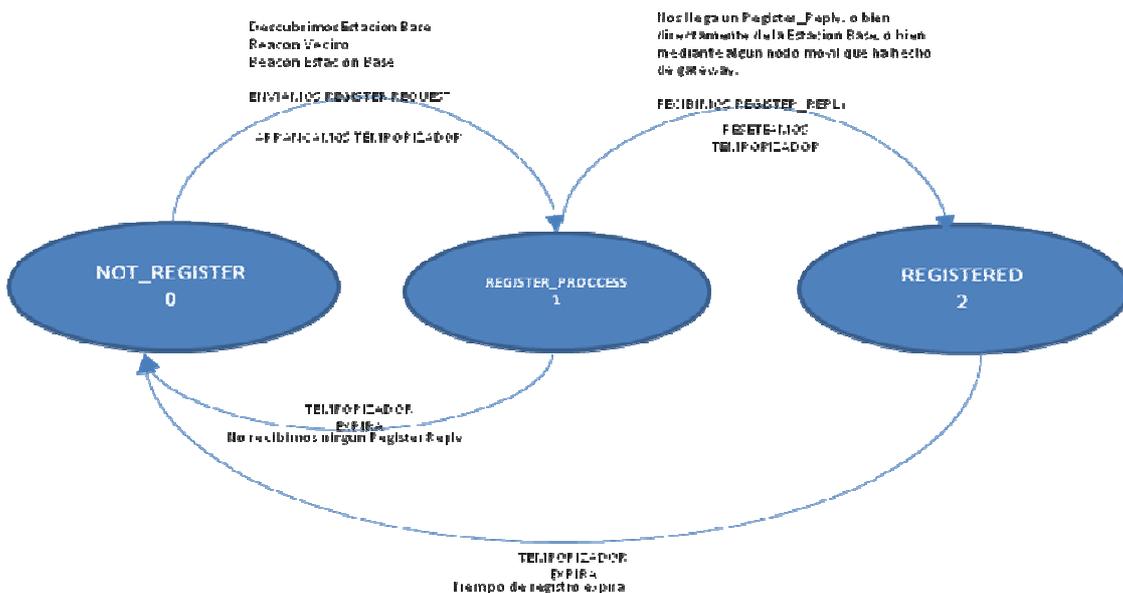


FIGURA 19 AUTÓMATA PROCESO REGISTRO

Cada uno de los estados representa un instante diferente en el proceso de registro como veremos a continuación, donde expondremos cada uno de ellos de manera independiente.

Estado NOT_REGISTER: Cualquier vehículo que no haya detectado la presencia de una estación base, bien sea por la ausencia de mensajes Beacon de la propia estación, o bien por la no aparición de una entrada en la tabla de localización que contenga información procedente de la estación base, presentará este estado.

Estado REGISTER_PROCESS: Cuando un vehículo detecta la presencia de una estación base por alguno de los métodos ya descritos, procederá a arrancar un temporizador que contabiliza la duración del registro. Después, el nodo móvil pasa al estado de REGISTER_PROCESS a la espera de que la estación base envíe la respuesta a la solicitud de registro. Si el servidor de localización responde antes de que el temporizador venza, el estado del nodo móvil pasará a registrado; si por el contrario el temporizador vence y el nodo móvil no obtiene respuesta, entonces éste interpretará que el mensaje no le ha llegado a la estación base y por lo tanto pasará al estado NOT_REGISTER.

Estado REGISTERED: Este estado solo se dará cuando un vehículo haya recibido respuesta a la solicitud enviada de registro a una estación base. Conforme reciba una solicitud de registro, el servidor de localización agregará en su tabla de registros una nueva entrada con la información contenida en la solicitud de registro, y procederá a enviar la respuesta correspondiente.

Los mensajes Beacon, como ya hemos descrito en el apartado que dedicamos a definir los diferentes paquetes, tienen un campo que determina el tipo de nodo que ha emitido la trama. Cuando un nodo móvil recibe una trama que ha sido emitida por una estación base actualizará su tabla de localización, añadiendo una entrada que contenga la información recibida por el paquete Beacon, e iniciando el proceso de Registro. Sabemos además que los Beacon también son utilizados para compartir información de los vecinos del nodo que emite el mensaje, por lo tanto si en esta tabla de vecinos se encuentra una entrada que represente una estación base, cuando cualquier nodo de la red reciba este mensaje y detecte que esa misma entrada representa una estación base, iniciará el proceso de registro. Por lo tanto, como podemos ver, un nodo móvil podrá iniciar el proceso de registro de dos maneras diferentes.

A continuación desglosaremos cada uno de los escenarios en apartados diferentes, para dar una mejor visión de la metodología implementada.

4.4.2.1. ESCENARIO PROCESO DE REGISTRO DIRECTO.

Este escenario representa la situación más favorable para el registro de un vehículo debido a que existe una comunicación directa con la estación base. El vehículo (0) recibe un mensaje Beacon de la estación base (3), que se está anunciando, y al recibir el mensaje y detectar que el emisor del mensaje fue una estación base, lo almacena en su tabla de localización, mandándole a la estación base una solicitud de registro. Seguidamente mostraremos en la figura 20 el proceso de registro en este escenario.

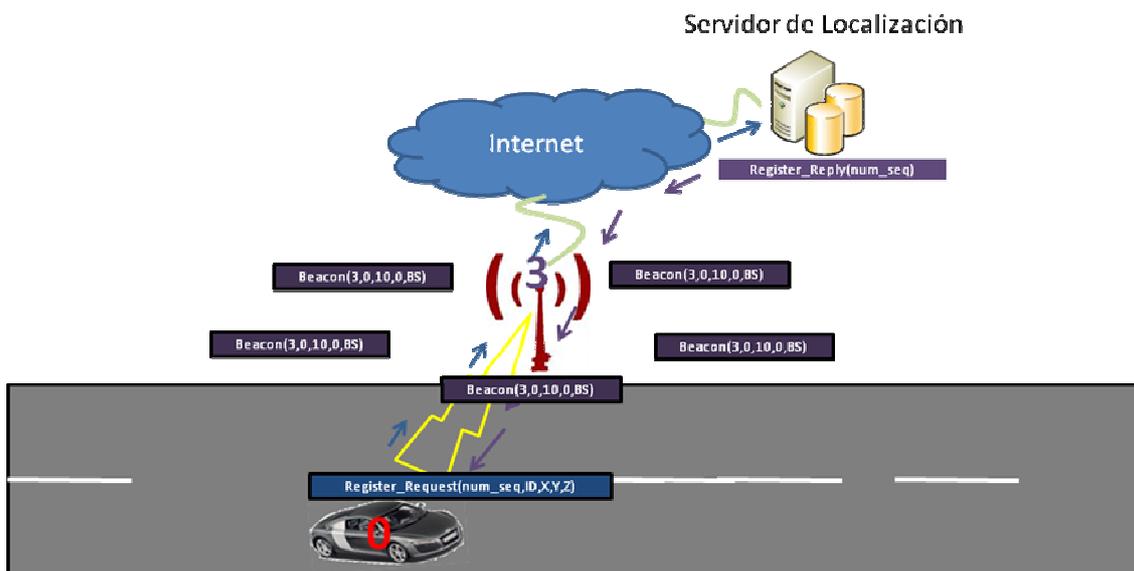


FIGURA 20 ESCENARIO REGISTRO DIRECTO

4.4.2.2. ESCENARIO PROCESO DE REGISTRO INDIRECTO.

En este escenario el coche (1) detecta la presencia de una estación base al recibir un mensaje Beacon de ésta. Inicia, entonces, el proceso de registro ya comentado anteriormente. Cuando el coche (1) emite un mensaje Beacon para anunciar a sus vecinos su información de posicionamiento y su tabla de información de localización, este mensaje es recibido por el automóvil (0) que detecta la presencia de una estación base en la tabla del automóvil vecino (1), y se sirve de él como intermediario para el inicio del registro. Así el proceso de registro, se llevará a cabo con la colaboración del automóvil (1), que actuará de intermediario para redirigir los mensajes entre el vehículo que quiere enviar la solicitud de registro, y la estación base encargada de dar respuesta a esa solicitud. Esta estrategia de registro a veces no finaliza correctamente, debido a que puede darse el caso de que la estación base se encuentre a más de un salto y el mensaje de solicitud tenga que atravesar varios

vehículos intermediarios antes de llegar a la misma. Dado que los automóviles están en continuo movimiento, puede ocurrir que la cadena de envío se rompa, y que no pueda darse respuesta a esa solicitud, o que el mensaje de solicitud nunca llegue a su destino, debido a que el nodo que se anuncia como vecino haya salido de su rango de cobertura. La figura 21 muestra gráficamente la solución que ha sido redactada en este apartado.

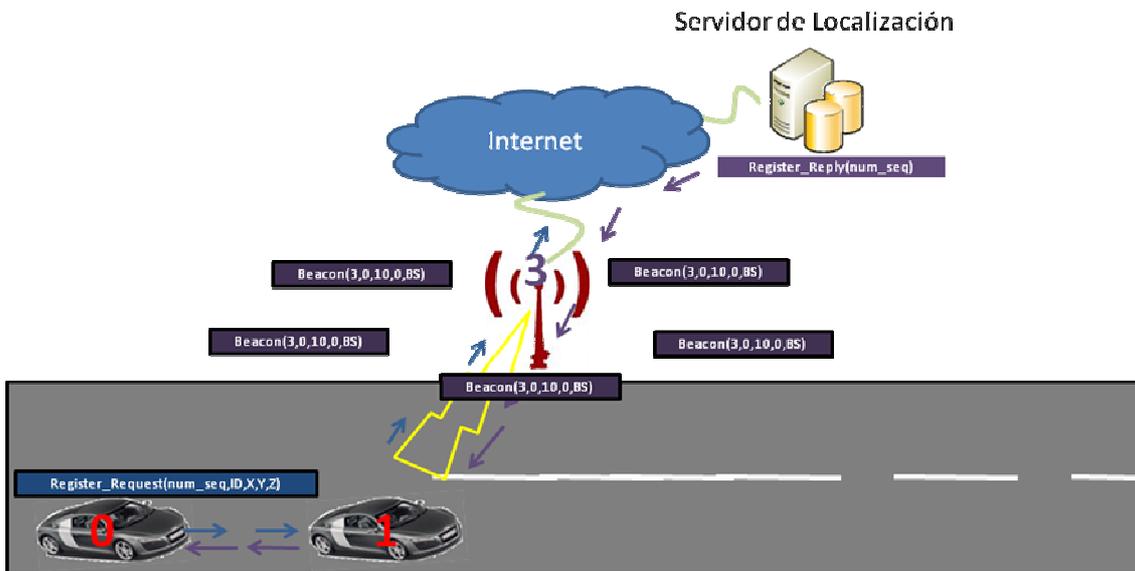


FIGURA 21 ESCENARIO REGISTRO INDIRECTO

4.4.3. PROCESO DE LOCALIZACIÓN.

El proceso de localización presenta diferentes estrategias para llevarse a cabo. La idónea será elegida en función de una serie de sucesos que serán enumerados a continuación. Los sucesos que se pueden presentar una vez que el vehículo lance el proceso de localización están representados en la figura 22 y son los siguientes:

1. El identificador que el vehículo quiere localizar se encuentra registrado en una entrada de la tabla de localización, por lo tanto, el vehículo (0) antes de enviar una solicitud a la red buscaría en su tabla el identificador. Si se tiene éxito en la búsqueda, se da por finalizado el proceso de localización, y si por el contrario no se encuentra el identificador en la tabla, se utilizaría la estrategia de localización descrita en el punto siguiente.
2. Si el vehículo (0) que inicia el proceso de localización se encuentra registrado en el servidor de localización, este guardará su dirección. A continuación emitirá un mensaje de solicitud de localización a la estación base, arrancando un temporizador que determina el tiempo del que dispone el servidor de localización para remitir una pregunta a esta solicitud. Cuando el mensaje es

recibido por el servidor (3), busca en su tabla una entrada que se corresponda con el identificador que se quiere localizar. Si la búsqueda es exitosa, devuelve al instante una respuesta de localización que contendrá la posición del automóvil (1) que se quiere localizar. Si por el contrario la búsqueda es fallida, entonces la estación base no responderá; en el vehículo (0) que se ha iniciado la solicitud el temporizador vencerá, y será ejecutada la última estrategia de localización que se describe en el punto siguiente.

- Esta estrategia se conoce como RandomWalk y como una parte de su nombre indica, se trata de una estrategia aleatoria. Una vez que el vehículo (0) que quiere localizar al automóvil (1) ha consumido todas las estrategias seguras de localización, utiliza una metodología heurística como último recurso. Esta metodología consiste en obtener una dirección de su tabla de localización, de manera aleatoria, enviar el mensaje de solicitud de localización a este automóvil (2) para propagarlo, y de este modo intentar así localizar al vehículo (1).

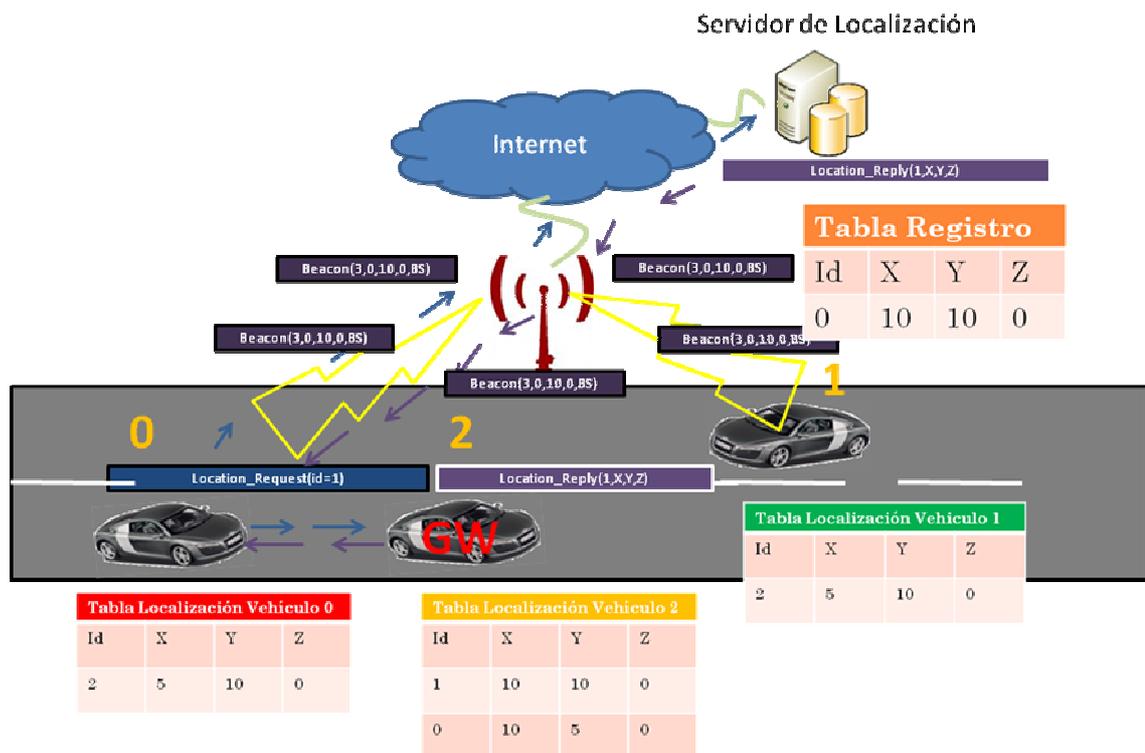


FIGURA 22 PROCESO DE LOCALIZACIÓN

4.4.4. PROCESO DE REENVÍO DE PAQUETE.

El sistema de localización RandomWalk presenta diferentes metodologías de reenvío en función del mensaje sobre el que se quiera aplicar el proceso. Por lo tanto enumeraremos los diferentes mensajes que pueden darse en este protocolo, y explicaremos la estrategia seguida a la hora de que un nodo realice el reenvío de un mensaje.

- Mensaje Beacon: Los mensajes que sean emitidos por vehículos móviles no se verán afectados por este proceso, debido a que estos mensajes tienen el campo de saltos establecido a un solo salto. Sin embargo si el mensaje proviene del anuncio de una estación base, como ya ha sido descrito anteriormente, el número de saltos es mayor, y por lo tanto en este caso, una vez que el vehículo ha procesado el mensaje realizando el correspondiente proceso de registro, debe ser reenviado para que otros nodos puedan percatarse de la presencia de una estación base, produciéndose el reenvío del mensaje a la dirección broadcast.
- Mensaje RegisterRequest: El proceso de reenvío de este mensaje es sencillo. Cuando es recibido por un nodo, comprueba si el identificador del destino del mensaje es igual que el identificador del nodo que ha recibido el mensaje. Si es así, entonces el mensaje es procesado; en caso contrario, se busca el destinatario en la tabla y se reenvía el mensaje a la dirección IP que aparezca en la tabla de localización del nodo.
- Mensaje RegisterReply: Este proceso consiste simplemente en seguir la lista de direcciones de los nodos que ha atravesado la solicitud de registro que ha sido emitida por el nodo que ha iniciado el proceso de registro.
- Mensaje LocationRequest: Dentro del proceso de reenvío para la búsqueda de un identificador, es necesario diferenciar dos casos:
 - Vehículo registrado en el servidor de localización: En este caso, el vehículo reenviará el mensaje a la dirección de la estación base, arrancando un temporizador que predetermina el tiempo que tiene esta para responder.
 - Vehículo no registrado en el servidor de localización: Si el vehículo no se encuentra registrado en el servidor de localización, o ha vencido el temporizador que predetermina el tiempo de espera de respuesta del servidor de localización, entonces se inicia el proceso RandomWalk, que selecciona una entrada aleatoria de la tabla de localización, reenviando el mensaje a la dirección IP correspondiente a esa entrada.
- Mensaje LocationReply: El proceso de reenvío es semejante al RegisterReply. Se trata de recorrer el mismo camino que ha ido creando el mensaje LocationRequest, atravesando los nodos hasta llegar al objetivo final.

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1. PROTOCOLOS PROPUESTOS

Una vez implementado el protocolo RandomWalk y con el fin de establecer futuras comparativas, se decidió el desarrollo de dos nuevos protocolos que pertenecían a la misma familia que éste, es decir, a un sistema de localización basado en inundación y con estrategia proactiva.

La diferencia de estos sistemas de localización radica en la metodología de la que se sirven para localizar un nodo en la infraestructura de red. En este apartado explicaremos de manera detallada cuales son las funcionalidades de los dos nuevos sistemas implementados.

5.1.1. BROADCAST

Este sistema de localización está caracterizado por la ausencia de estaciones base, por lo tanto no será necesario precisar ninguna estrategia de registro en ellas. Bastará con la emisión de mensajes a todos los nodos, inundando toda la topología para el proceso de localización mediante mensajes LocationRequest.

Las características en cuanto al comportamiento del protocolo, son las siguientes:

- No hace falta implementar el soporte para la emisión y recepción de mensajes de solicitud de registro, dada la ausencia de estaciones base en la infraestructura. Es un sistema de localización basado en la inundación que solo se apoya en los vehículos que se encuentran en su radio de cobertura para realizar las solicitudes de localización.
- Los mensajes Beacon son semejantes a los descritos en el sistema de localización RandomWalk, la única diferencia existente es que estos mensajes no transportan la tabla de vecinos del vehículo emisor, por lo que los vehículos solo tendrán información de los vecinos que tengan en su radio de cobertura.
- Las emisiones de los mensajes solicitud de localización son enviadas a la dirección broadcast de la red, inundando toda la topología.
- Los mensajes de respuesta de localización emitidos por un vehículo que contenga en su tabla el identificador buscado, utilizan el mismo camino que ha atravesado el mensaje de solicitud. Para ello, los mensajes de solicitud

almacenan las direcciones de cada nodo que atraviesan desde el nodo que inició la pregunta por el identificador desconocido, hasta el nodo que la responde.

- El número de saltos permitidos para los mensajes de localización ha sido aumentados con respecto a RandomWalk, con el objetivo de cubrir un mayor espacio de consulta de localización en el escenario simulado.
- El proceso de reenvío de paquetes de solicitud de localización en este protocolo es igual que el utilizado en las emisiones de mensajes de este tipo. El nodo móvil procesa el mensaje y después es reenviado a dirección broadcast de la red, continuando con la inundación de la topología.

5.1.2. REGISTERLOCATION

Este sistema de localización es el que tiene un comportamiento más similar al RandomWalk. Presenta estaciones base en los escenarios de simulación, por lo tanto tiene que dar soporte a mensajes de solicitud de registro y respuesta de registro.

Las características del comportamiento de este protocolo son las siguientes:

- Los mensajes Beacon son semejantes a los descritos en el sistema de localización RandomWalk con la diferencia de que estos mensajes no transportan la tabla de vecinos del vehículo emisor, por lo tanto los vehículos solo tendrán información de los vecinos que tengan en su radio de cobertura.
- Ofrece soporte para el envío de mensajes RegisterRequest y RegisterReply, al igual que ocurre con RandomWalk, pero a diferencia de éste, como los mensajes Beacon no envían la tabla de localización de los nodos, el proceso de registro en el sistema de localización solo será posible cuando un vehículo entre en el radio de cobertura de una estación base.
- El número de saltos permitidos para los mensajes de solicitud de localización y de registro, son los mismos que para los mensajes RandomWalk, es decir, 8 saltos para cada tipo de solicitud.
- La metodología implementada para realizar la búsqueda de un identificador en la infraestructura de red es semejante a RandomWalk, salvo que este protocolo no aplica el método de selección aleatoria de entrada de la tabla de localización para enviar el mensaje en caso de que el vehículo no se encuentre identificado en la misma ni se halle en estado registrado. Por lo tanto, cuando se inicia el servicio de localización en un vehículo, el proceso se va a desarrollar a través de los siguientes pasos.

- Tabla de localización: El vehículo busca en su tabla el identificador pretendido. Si existe este identificador entonces se termina el servicio de localización con una búsqueda exitosa, y si no, pasa a ejecutar el siguiente punto.
 - Estado de la conexión: Si el vehículo se encuentra en estado registrado, o registro en proceso, podremos disponer de una dirección de una estación base para preguntarle al servidor de localización si conoce ese identificador. El vehículo entonces arrancará un temporizador mientras que construye el paquete de solicitud de localización emitido a la estación base. Este temporizador establece el tiempo que el vehículo esperará la respuesta del servidor de localización, antes de determinar otra medida de búsqueda. Una vez que la solicitud le llegue a dicho servidor, éste buscará en su tabla el identificador del nodo por el que preguntamos. Si lo halla responderá con la información del nodo preguntado, y con el mismo número de secuencia que se ha encontrado en el mensaje de solicitud. Si por el contrario no lo halla, no enviará mensaje alguno, expirando el temporizador en el vehículo que está esperando la respuesta del servidor de localización. Contabilizando por lo tanto como fallo la solicitud de localización.
- Al igual que en el protocolo RandomWalk, los mensajes de solicitud de localización y registro construyen el camino de vuelta para las respuestas a estos mensajes, almacenando las direcciones en cada salto de los nodos que atraviesan. Asegurándose de este modo que los mensajes de solicitud y de respuesta sigan el mismo camino.
- El proceso de reenvío de mensajes es diferente al protocolo BroadCast. Cada mensaje es reenviado de maneras diferentes, como veremos a continuación.
 - Mensaje Beacon: Depende del rol del nodo que emita el mensaje, éste será reenviado o eliminado de la red, puesto que los mensajes Beacon enviados por nodos solo tienen un salto. Sin embargo los mensajes enviados por estaciones base tienen hasta 5 saltos, y el proceso de reenvío es emitir el mensaje a dirección broadcast, para informar a la mayor cantidad de nodos posibles sobre la existencia de una estación base.
 - Mensaje RegisterRequest: En el proceso de registro, cuando un mensaje de este tipo es recibido por un nodo, se comprueba que el identificador de la estación base a la que

va destinado el mensaje se encuentre en la tabla de localización, y entonces lo reenvía hacia esa dirección.

- Mensaje RegisterReply: Como ya hemos descrito con anterioridad, la respuesta de una solicitud de registro tiene que seguir una lista de direcciones que han sido establecidas conforme el mensaje de solicitud ha ido atravesando los distintos nodos.
- Mensaje LocationRequest: Cuando un nodo quiere reenviar una solicitud de este tipo, primero inspecciona en su tabla si se encuentra el nodo buscado. Si la búsqueda es exitosa responde el mismo con la información de localización acerca del nodo por el que se pregunta; si por el contrario es fallida, se comprueba el estado de registro del nodo para intentar enviar el mensaje de búsqueda a la estación base más cercana.
- Mensaje LocationReply: El camino de este mensaje consiste en seguir la lista de direcciones que ha ido atravesando el mensaje de solicitud de localización.

5.2. ENTORNO DE SIMULACIÓN NS2

La evaluación de los diferentes protocolos implementados ha sido realizada con la herramienta de simulación “The network Simulator 2”, NS-2 [9]. El NS-2 [9] es un simulador de redes de eventos discretos. Su utilización en ambientes académicos es debido a que está escrito en código abierto y a la existencia de abundancia de documentación en línea. La herramienta posee la capacidad de simular tanto protocolos unicast como multicast, así como redes cableadas o inalámbricas. De ahí que se utilice tan frecuentemente en investigaciones de redes móviles ad-hoc. La herramienta está implementada en C++ y proporciona una interfaz de simulación a través de OTcl, un dialecto orientado a objetos de Tcl, donde nosotros describimos la topología que queremos que simule la herramienta.

Aunque la herramienta de simulación lleva implementada una serie de protocolos de enrutamiento ad-hoc, no se pudo reutilizar ningún código asociado a éstos, por lo que se implementó todo desde el principio. La primera implementación realizada fue el sistema de localización RandomWalk. Una vez que el desarrollo del protocolo fue terminado y testeado, nos percatamos de que sería buena idea implementar otros protocolos de localización que fueran de la misma taxonomía, aunque variase la manera de actuar frente a una petición de localización por parte de un nodo móvil. Entonces surgió la necesidad de implementar estos dos protocolos

para establecer comparativas y determinar cuál de ellos obtenía un mejor rendimiento en los diferentes escenarios donde fueron simulados.

5.3. PARÁMETROS DE EJECUCIÓN

Para las simulaciones fueron generados diversos escenarios con la herramienta de simulación SUMO (Simulation of Urban MObility) [10] que nos permite la creación de escenarios (mapas) sobre los que establecer la movilidad de los vehículos. Fueron generados diversos escenarios con densidades distintas que representaban una autovía con una longitud de 4149.92 metros y de anchura 60 metros, por la que circulaba una cantidad de coches variable en función de la densidad del escenario. Esta densidad viene definida por la tasa de inyección de tráfico que regulariza la cantidad de coches que van aparecer en el escenario por unidad de tiempo.

Nombre Escenario	Densidad (cantidad de vehículos)	Tasa inyección tráfico
hw-d5.tcl	269	1 coche cada 5 segundos
hw-d15.tcl	220	1 coche cada 15 segundos
hw-d30.tcl	106	1 coche cada 30 segundos
hw-d45.tcl	62	1 coche cada 45 segundos
hw-d60.tcl	52	1 coche cada 60 segundos
hw-d75.tcl	48	1 coche cada 75 segundos

TABLA 3 FICHEROS DE DENSIDAD

En estos ficheros se describen los movimientos realizados por cada uno de los nodos móviles, la posición y la velocidad de cada uno de ellos. Sin embargo las estaciones base, para protocolos como RegisterLocation y RandomWalk que hacen uso de ellas, fueron definidas en los ficheros de ejecución correspondientes. Las estaciones base se distribuirán a lo largo de toda la autovía de manera uniforme, guardando una distancia de separación entre ellas que controla la cantidad de estaciones de la que dispondrán los protocolos en un escenario. Se establece así la siguiente relación: a mayor distancia de separación, menor cantidad de estaciones base. A modo de reseña, mostramos una tabla que describe la distribución de las estaciones base, representadas por el símbolo \hat{i} , en función de la distancia que las separa.

Distancia entre estaciones base				
	2000	1500	1000	500
Cantidad	2 Estaciones Base	3 Estaciones Base	4 Estaciones Base	8 Estaciones Base
Distribución				

TABLA 4 DISTRIBUCIÓN ESTACIONES BASE

La tabla 4 refleja las configuraciones que han sido establecidas en los ficheros de ejecución de los escenarios, mostrando la distribución espacial de las estaciones base. Por un lado los ficheros de densidad definen cada una de las simulaciones que han sido ejecutadas para BroadCast, (recordemos que este protocolo no precisa de estaciones base); mientras que para los restantes protocolos, se precisa no solo los ficheros de densidad sino cada una de las configuraciones de distancias entre estaciones base.

Todas las simulaciones tienen un tiempo de duración de unos 900 segundos. El canal de radio para cada nodo móvil tiene una capacidad de transmisión de 2Mb/s, como tecnología de transmisión inalámbrica se utiliza IEEE 802.11b y el rango de comunicación es un radio de 250 metros.

5.4. MÉTRICAS DE RENDIMIENTO

Para obtener los resultados se han obviado los 288 primeros segundos de la simulación, para así dar tiempo a que todos los vehículos que conforman el escenario simulado comiencen a compartir información con sus vecinos, y que la red se establezca tras un periodo transitorio inicial.

Seguidamente, desglosaremos los resultados obtenidos en dos apartados. Dentro de cada uno de los apartados expondremos los resultados obtenidos en cada simulación respecto a:

- ✓ *Tasa de acierto de localización* → Nos indica el porcentaje de acierto de las solicitudes de localización que han sido respondidas. Es decir, los mensajes LocationRequest que han sido respondidos con un LocationReply.

- ✓ *Tasa de acierto en la tabla de localización* → Nos indica el porcentaje de acierto que ha tenido la búsqueda de un identificador en la tabla de localización del nodo que inició la exploración.
- ✓ *Tasa de acierto total* → Indica el porcentaje total de acierto del sistema de localización en las simulaciones.
- ✓ *Tiempo de retardo del proceso de localización* → Nos indica el tiempo que tarda el proceso de localización en encontrar el identificador por el que se inicia el mismo.
- ✓ *Sobrecarga de control del proceso de localización* → Sobrecarga de control en la topología por la emisión de mensajes del proceso de localización.
- ✓ *Sobrecarga de control del proceso de registro* → Sobrecarga de control en la topología por la emisión de mensajes del proceso de registro.
- ✓ *Sobrecarga total de control del sistema de localización* → Sobrecarga de control de los procesos de localización y de registro en las simulaciones. Es decir, la cantidad de mensajes que han sido enviados en estos procesos durante la simulación de los escenarios.

5.5. RESULTADOS OBTENIDOS

5.5.1. RESULTADOS RESPECTO DENSIDAD

Para obtener estos resultados, se ejecutaron un número de 10 simulaciones por cada fichero de densidad: hw-d5, hw-d15, hw-d30, hw-d45, hw-d60, hw-d75. El análisis de estos resultados nos llevara a descubrir el comportamiento de las distintas estrategias de localización en escenarios con diferentes densidades de vehículos.

5.5.1.1. TASA DE ACIERTO DE LOCALIZACIÓN

La figura 26 muestra el porcentaje de acierto de las solicitudes que han sido resueltas en función de la densidad de vehículos por unidad de tiempo. Como podemos observar, la densidad es un aspecto bastante influyente en el acierto del sistema de localización; conforme va aumentando la tasa de inyección de tráfico en las simulaciones, obtenemos mejores resultados en todos los protocolos, hasta que se llega a escenarios con altas densidades de tráfico donde las solicitudes son más difíciles de responder.

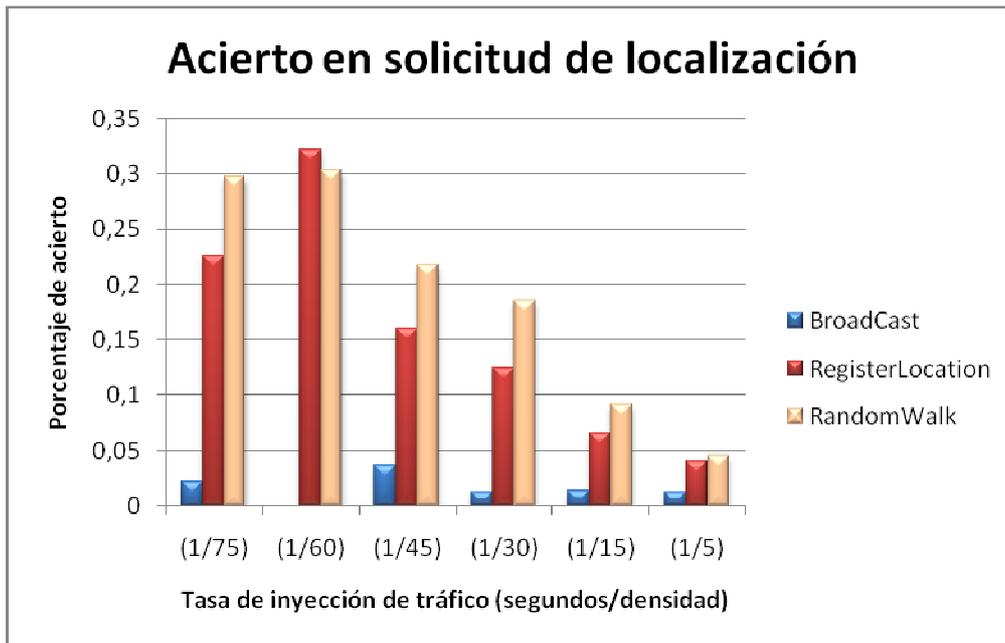


FIGURA23 GRÁFICA TASA DE ACIERTO

5.5.1.2. TASA DE ACIERTO DE LA TABLA DE LOCALIZACIÓN

La figura 27 presenta el porcentaje de acierto en la tabla de localización de los nodos que hayan iniciado el proceso de localización en función de la densidad de tráfico existente en los escenarios. Como podemos observar en la figura, cuanto mayor cantidad de tráfico exista en el escenario, mayor probabilidad existirá de tener el identificador que buscamos en la tabla de localización. Cabe destacar la superioridad del protocolo RandomWalk con respecto a los demás, gracias a que permite el intercambio de las tablas de localización de vecinos en los mensajes Beacon, pasando a tener los demás protocolos un porcentaje semejante.

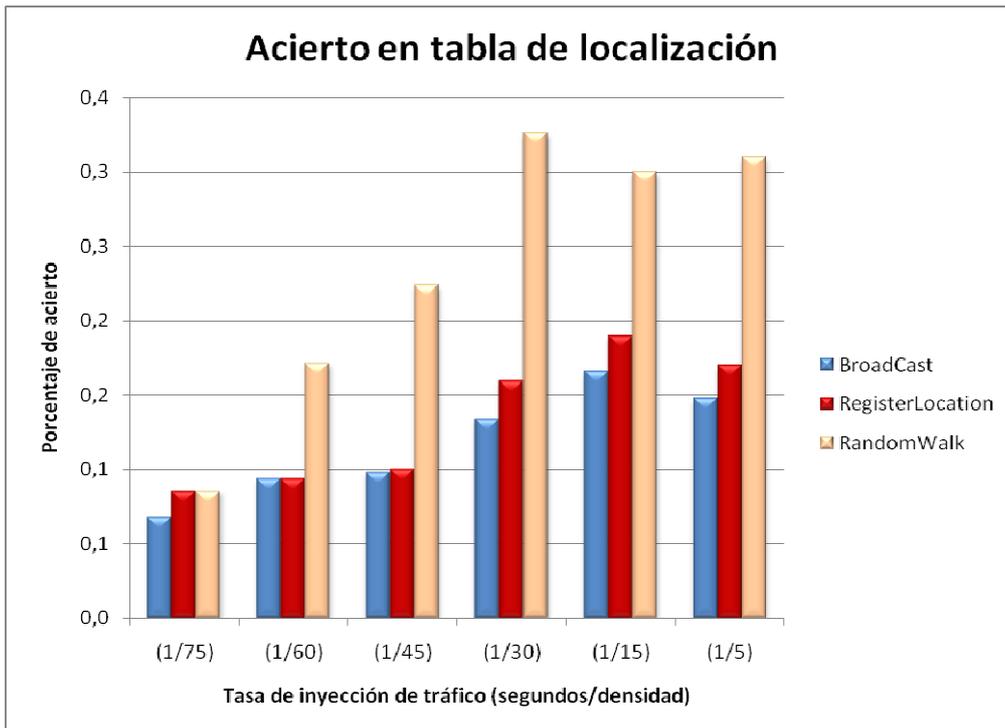


FIGURA24 GRÁFICA ACIERTO EN TABLA DE LOCALIZACIÓN

5.5.1.3. PORCENTAJE TOTAL DE ACIERTO

Para obtener el porcentaje de acierto total en cada una de las estrategias de localización, hemos creado la figura 28, que acoge los porcentajes de los apartados anteriores. En esta figura contemplaremos la efectividad del sistema de localización en escenarios con diversas densidades.

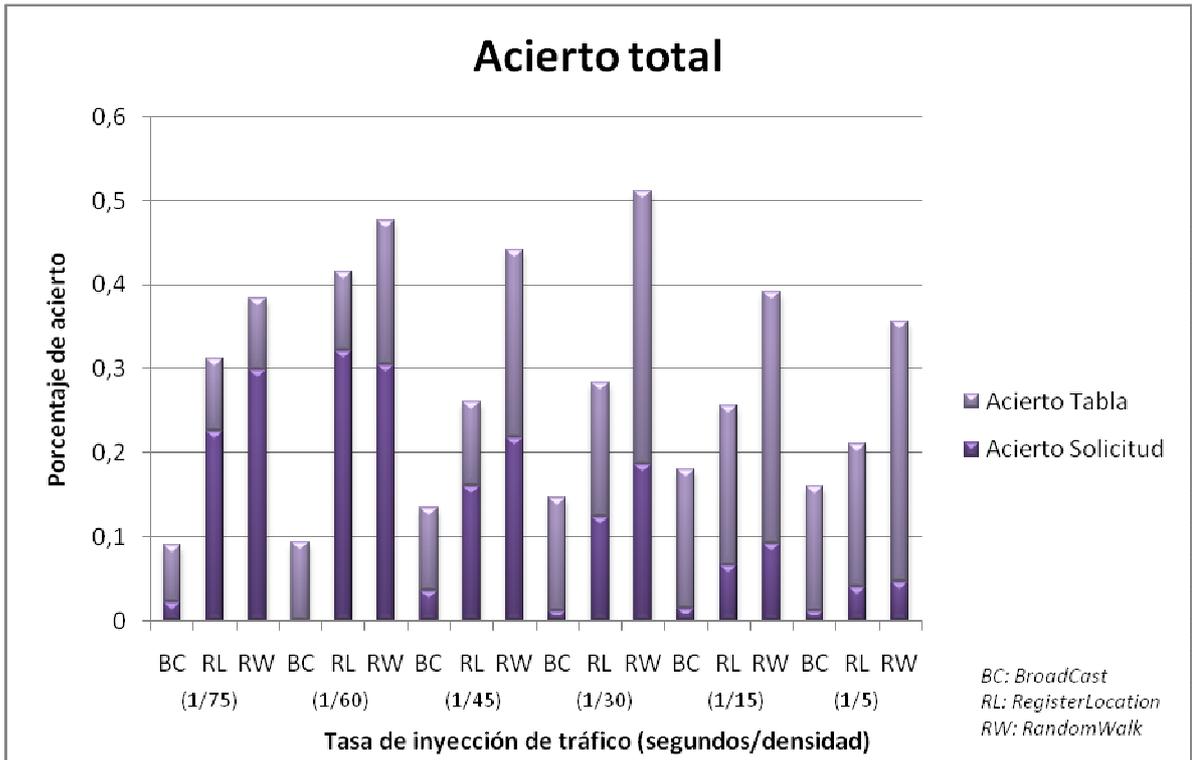


FIGURA25 GRÁFICA PORCENTAJE TOTAL DE ACIERTO

5.5.1.4. TIEMPO DE RETARDO DEL PROCESO DE LOCALIZACIÓN

La figura 29 muestra el tiempo que ha tardado una solicitud de localización en ser respondida. En este apartado intentaremos analizar la velocidad de propagación de los mensajes de solicitud de localización en la red. La forma más rápida de propagación es coger el mensaje y enviarlo a direcciones broadcast inundando toda la topología, como ocurre con el protocolo BroadCast, que como podemos ver en la figura obtiene tiempos de retardo muy bajos. Sin embargo, si insertamos en los escenarios estaciones base y dotamos la estrategia de localización de más conocimiento que el simple hecho de inundar la red, como hemos visto en las secciones anteriores, obtenemos por un lado mayores aciertos en localización, aunque el tiempo de retardo al establecer nuevas condiciones en la búsqueda también aumenta. Con respecto al protocolo RandomWalk, especificaremos que los tiempos de retardo tan amplios se deben a la utilización de la heurística aleatoria utilizada como último recurso para el proceso de localización. Por lo tanto, como conclusión, es necesario reseñar que el tiempo de retardo para las solicitudes de localización con RandomWalk es mayor que para los otros protocolos, pero lo importante de este protocolo es que tiene mayor aciertos de localización que los demás. Mientras que ante una solicitud de localización los otros protocolos se dan por vencidos,

RandomWalk tardará más tiempo en encontrar el identificador buscado, pero lo encontrará.

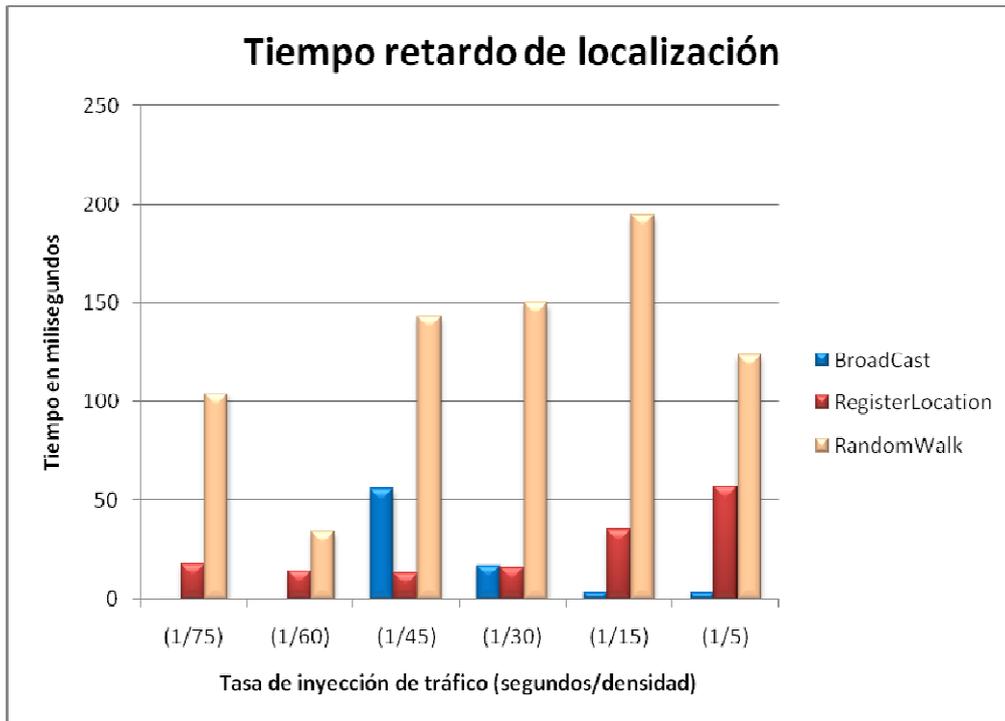


FIGURA 26 GRÁFICA TIEMPO DE RETARDO DE LOCALIZACIÓN

5.5.1.5. SOBRECARGA DE CONTROL DEL PROCESO DE LOCALIZACIÓN

La figura 30 nos informa sobre la cantidad de mensajes que tienen que ser enviados y reenviados por los protocolos para llevar a cabo las solicitudes de localización. Como es natural, el protocolo BroadCast es el que más sobrecarga los recursos de la red dada su estrategia de inundación de la topología. Las barras para este protocolo están segmentadas para indicar que el crecimiento de éstas alcanzaría la cota numérica que aparece encima de cada una de ellas. Lo hemos reflejado gráficamente de esta forma porque si ponemos las cotas numéricas tan altas que alcanza, no se podrían apreciar las sobrecargas en los demás protocolos.

La diferencia de cantidad de sobrecarga que podemos destacar entre los protocolos RandomWalk y RegisterLocation, es que dado el funcionamiento diferente de ambos protocolos, en RegisterLocation, en caso de que el nodo que quiera reenviar o enviar una solicitud no tenga el identificador buscado en su tabla de localización ni tampoco se encuentre registrado en la estación base, como ya hemos visto en el apartado en el que definimos su comportamiento, esta petición es desestimada; sin

embargo, en RandomWalk, tenemos la estrategia aleatoria que siempre va a realizar el envío o reenvío de un mensaje.

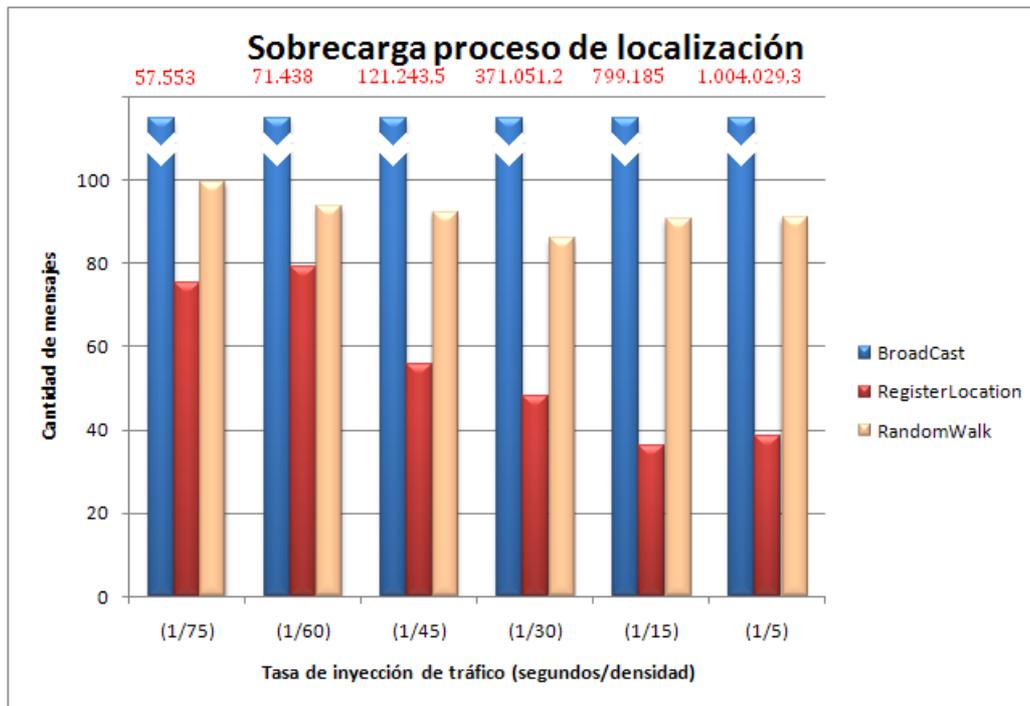


FIGURA27 GRÁFICA SOBRECARGA PROCESO DE LOCALIZACIÓN

5.5.1.6. SOBRECARGA DE CONTROL DEL PROCESO DE REGISTRO

En este apartado trataremos la sobrecarga que incluye el proceso de registro en las simulaciones ejecutadas. Por lo tanto solo contabilizaran en esta métrica aquellos protocolos que implementen soporte para las estaciones base; de ahí que en el protocolo BroadCast no aparezca ninguna barra de sobrecarga.

Entre los protocolos que hacen uso de la infraestructura para registrarse, podemos destacar el crecimiento masivo de información enviada en el protocolo RegisterLocation conforme va incrementándose el número de vehículos en los escenarios. Cuando un automóvil que utiliza esta estrategia de localización detecta un mensaje Beacon con el que se anuncia la estación base construirá una solicitud de registro, y lo enviará a este punto de acceso de la infraestructura. Hasta aquí no existe ningún error. El problema reside cuando en la misma nos encontramos con un conjunto de automóviles enviando a la vez peticiones de solicitud de registro al mismo punto de acceso, provocando que los mensajes colisionen, y que pasado un tiempo, intenten aquéllos de nuevo registrarse. Situación que originará una gran sobrecarga de control como se puede apreciar en la figura31. Sin embargo, las solicitudes de

registro en el caso de RandomWalk causarán menos incidentes en el punto de acceso a la infraestructura debido a que presentan diversas metodologías para realizar un proceso de registro, como la utilización de otros vehículos como colaboradores para llevar a cabo el mismo. Ello provoca que la llegada de solicitudes de registro se distribuya mejor en el tiempo tardando más en alcanzar al punto de acceso, disminuyendo la cantidad total de solicitudes enviadas a éste y reduciendo la tasa de colisiones en los mensajes de registro.

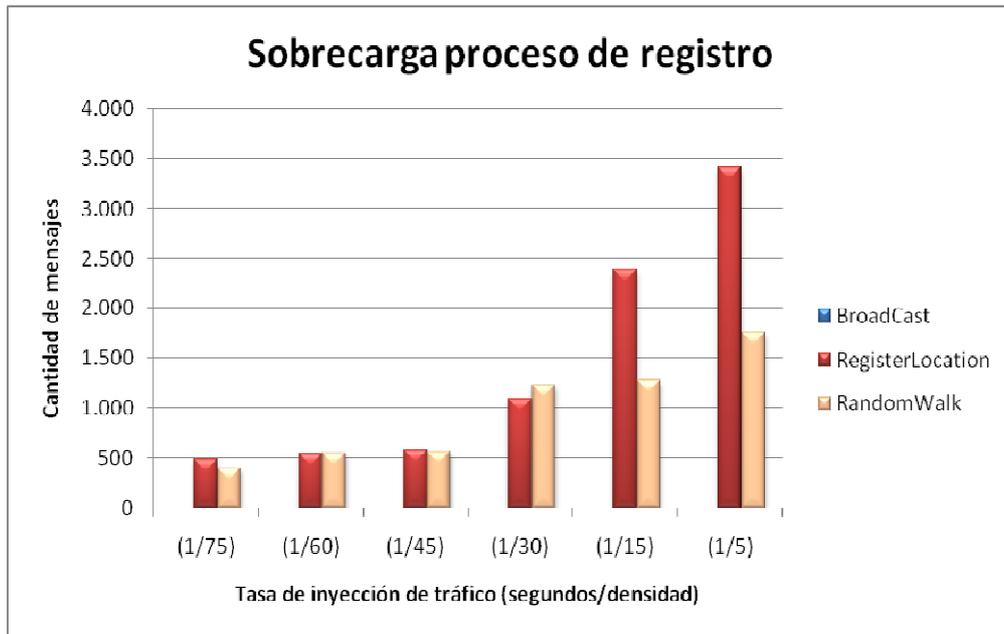


FIGURA28 GRÁFICA SOBRECARGA PROCESO DE REGISTRO

5.5.1.7. SOBRECARGA TOTAL

Con el fin de conocer qué proceso necesita mayor cantidad de información para llevarse a cabo, y cuál de los diferentes protocolos realiza una aprovechamiento más eficiente de los recursos de la redes VANET, presentamos la figura 32, que contiene la sobrecarga de información requerida para llevar a cabo los procesos de registro y localización en cada una de las estrategias de localización

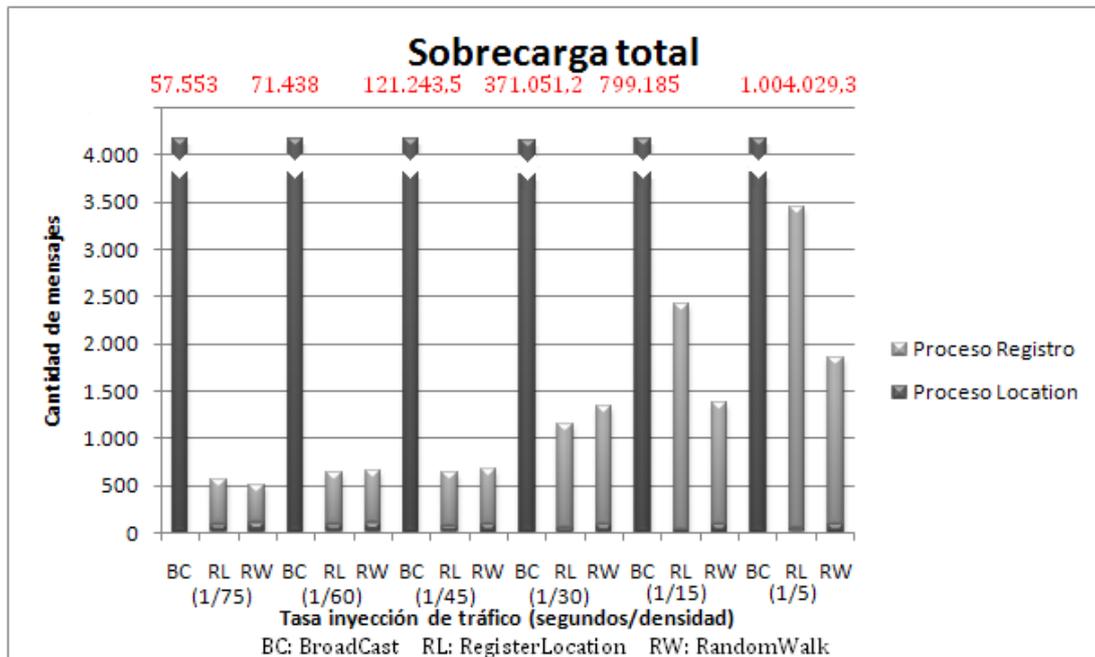


FIGURA29 SOBRECARGA TOTAL

5.5.2. RESULTADOS RESPECTO DISTANCIA ENTRE ESTACIONES BASE

Para estos resultados solo fueron simulados aquellos protocolos que implementan soporte para las estaciones base, como RandomWalk y RegisterLocation. El número de simulaciones ejecutadas fueron 10 por cada fichero de densidad, igual que en el apartado anterior, pero variando la distancia de separación entre las estaciones base del escenario. Al variar esta distancia, va incrementándose el número de estaciones base que aparecerán en cada simulación. El objetivo de estos resultados es demostrar la relevancia de las estaciones base a la hora de iniciar el proceso de localización, y permite descubrir la importancia del uso de arquitecturas híbridas en los sistemas de localización.

5.5.2.1. TASA DE ACIERTO DE LOCALIZACIÓN

La figura 32 muestra el porcentaje de respuestas obtenidas al realizar una consulta sobre un identificador al escenario. Conforme dispongamos de más cantidad de estaciones base situadas en el escenario, el acierto será mucho mayor, debido a que aumentará la probabilidad de que cualquier nodo presente en el escenario esté registrado en el servidor de localización. Como ocurre con cualquiera de los protocolos RegisterLocation o RandomWalk, que ante una petición de búsqueda la consulta será enviada a una estación base, siempre que el nodo solicitante esté

registrado en una de ellas. El análisis de esta figura denota la relevancia de las arquitecturas híbridas en los sistemas de localización.

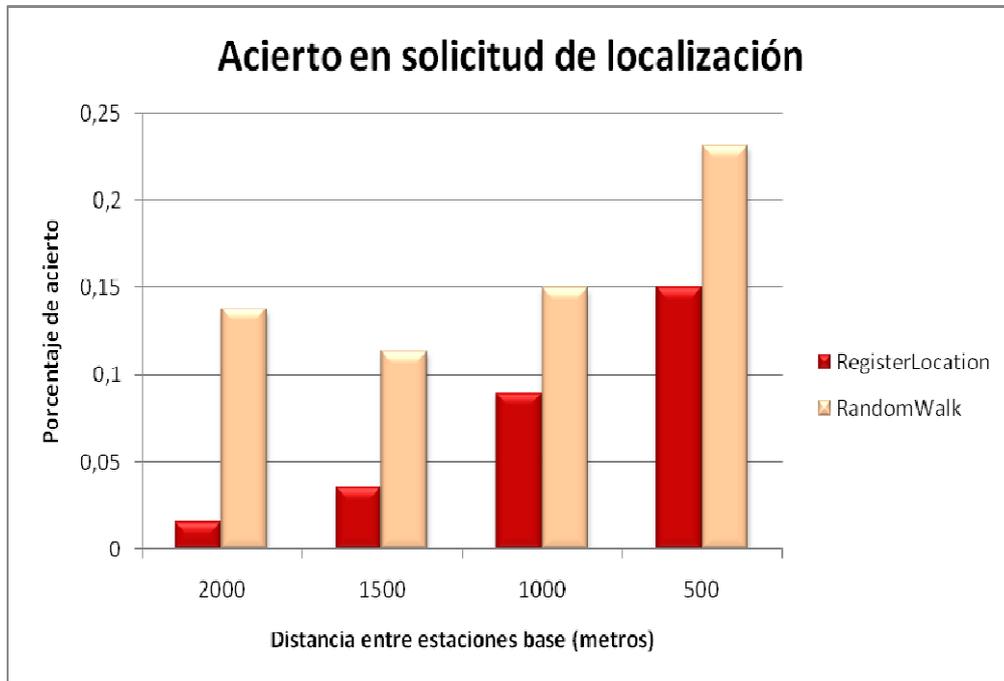


FIGURA30 GRÁFICA TASA DE ACIERTO

5.5.2.2. TASA DE ACIERTO DE LA TABLA DE LOCALIZACIÓN

Esta tasa de acierto siempre la tendrá ganada RandomWalk, dado que el protocolo permite compartir la información de las tablas de localización de un vehículo con las de los vecinos, acaparando así mayor cantidad de información, e incrementando la probabilidad de que el identificador que busca un nodo se encuentre en su propia tabla y no resulte necesario enviar una solicitud de localización. Mientras que un automóvil con RegisterLocation, solo conocerá aquellos coches que se encuentren en su radio de cobertura. En la figura 34 podemos confirmar lo redactado. RandomWalk tiene mucho más acierto en tabla de localización que RegisterLocation.

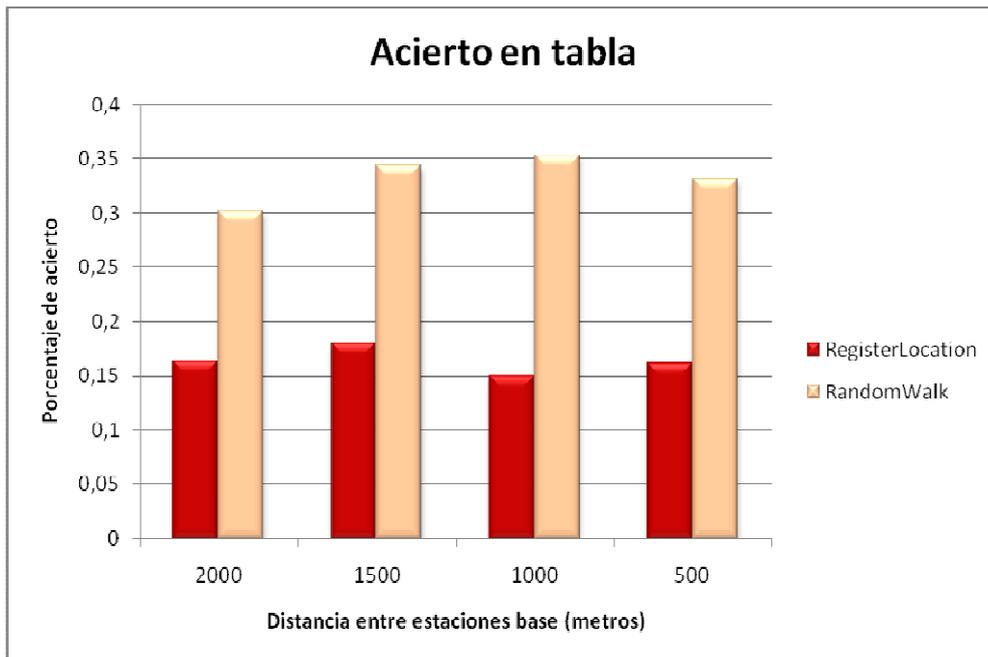


FIGURA31 GRAFICA ACIERTO EN TABLA

5.5.2.3. PORCENTAJE TOTAL DE ACIERTO

La figura 35 muestra la fusión de los datos de las dos figuras anteriores, para permitirnos visualizar de manera gráfica cual de los dos protocolos que presentan soporte para el acceso a la infraestructura tienen mayor porcentaje de acierto en un proceso de localización.

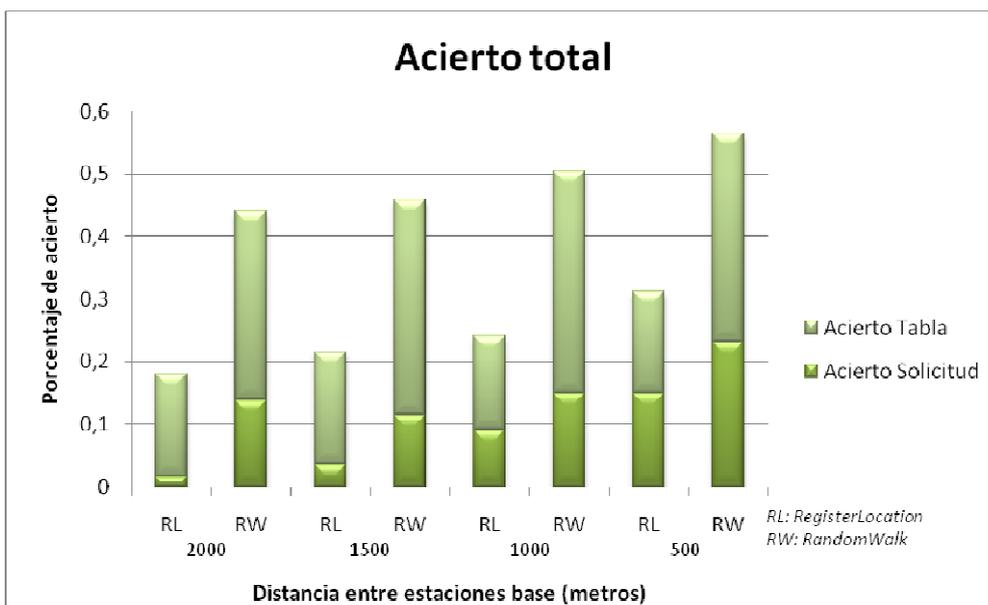


FIGURA 32 GRÁFICA PORCENTAJE TOTAL DE ACIERTO

5.5.2.4. TIEMPO DE RETARDO DEL PROCESO DE LOCALIZACIÓN

En la figura 35 analizamos el tiempo que tarda una solicitud de localización en ser respondida. Mientras que el protocolo RandomWalk, como ya hemos determinado en la documentación acerca de su comportamiento, no se rinde ante ninguna solicitud de localización, y poniéndose en el peor de los casos, procede a ejecutar la estrategia de búsqueda aleatoria; en el protocolo RegisterLocation, para que una solicitud sea enviada a la red VANET, tiene que darse en el vehículo emisor de la solicitud una serie de condiciones, como por ejemplo que el identificador buscado se encuentre en la tabla, o que pueda enviar la solicitud a una estación base. Si no ocurre ninguna de estas condiciones, el mensaje es eliminado por el propio nodo, de ahí que aumente el retardo conforme vamos incrementando el número de accesos a la infraestructura. Tendremos mayor probabilidad de estar conectados y por lo tanto de poder emitir solicitudes de localización.



FIGURA33 GRÁFICA RETARDO TIEMPO DE LOCALIZACIÓN

5.5.2.5. SOBRECARGA DE CONTROL DEL PROCESO DE LOCALIZACIÓN

Por un lado, observamos en la figura 37, que en el protocolo RandomWalk, conforme va disminuyendo la distancia entre las estaciones base, la sobrecarga de información de localización en la red también va disminuyendo, debido a que el protocolo va haciendo cada vez menos búsquedas aleatorias, centrando las búsquedas en los servidores de localización. Por otro lado, con el protocolo RegisterLocation, cuantos más puntos de acceso existan en la infraestructura, mayor disponibilidad presentará el protocolo para enviar solicitudes a éstos y de esta forma mejor respuesta dará a las ubicaciones. Esto nos aclara la relevancia de la presencia de estaciones base en el medio.

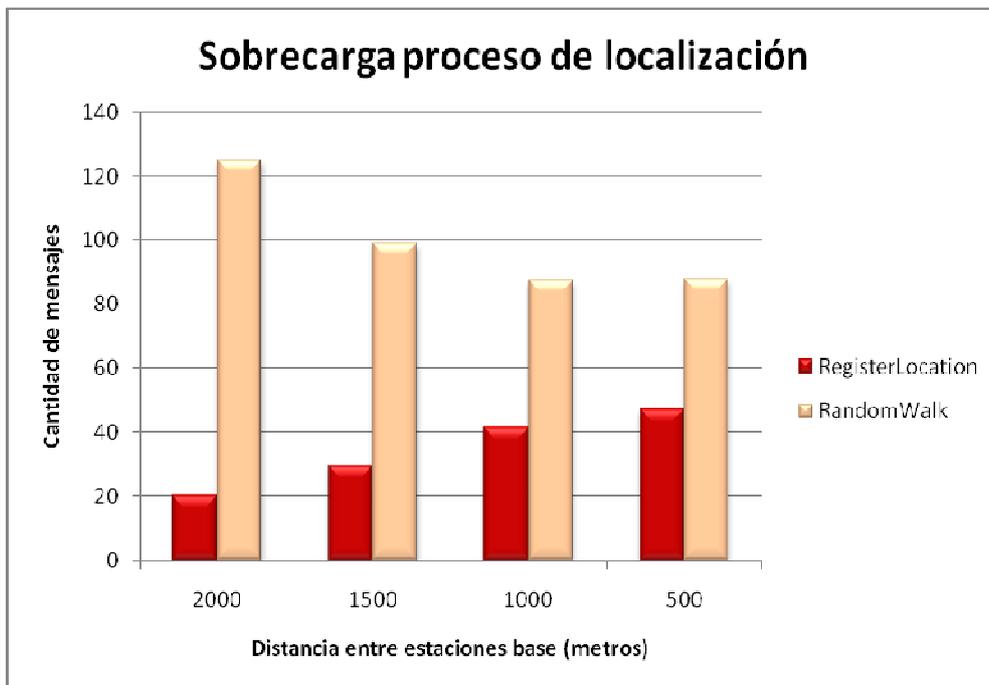


FIGURA34 GRÁFICA SOBRECARGA PROCESO DE LOCALIZACIÓN

5.5.2.6. SOBRECARGA DE CONTROL DEL PROCESO DE REGISTRO

La figura 38 nos ayuda a comprender una de las mayores ventajas que dispone el protocolo RandomWalk respecto a los demás. La pregunta que debemos hacernos es la siguiente: ¿Cómo es posible que con menor cantidad de estaciones base dispuestas en el escenario, el protocolo RandomWalk muestre una mayor sobrecarga de información para este proceso? La respuesta es sencilla. Como RandomWalk permite a los vehículos compartir la tabla de localización, donde también pueden estar registradas las estaciones base, cualquier vehículo que advierta, al analizar un Beacon

de un vecino, la presencia de una estación base en una entrada de su tabla, utilizará a éste como pasarela para poder registrarse en el servidor de localización. De ahí que RandomWalk presente más sobrecarga de control cuánto menos cantidad de puntos de acceso a la infraestructura hay. Mientras que RegisterLocation solo podrá iniciar el registro cuando un vehículo entre en el radio de cobertura de una estación base, y detecte la presencia de ésta mediante la recepción de un mensaje Beacon. Por ello conforme va aumentando el número de estaciones base en los escenarios, va incrementándose también la sobrecarga de información en la red.

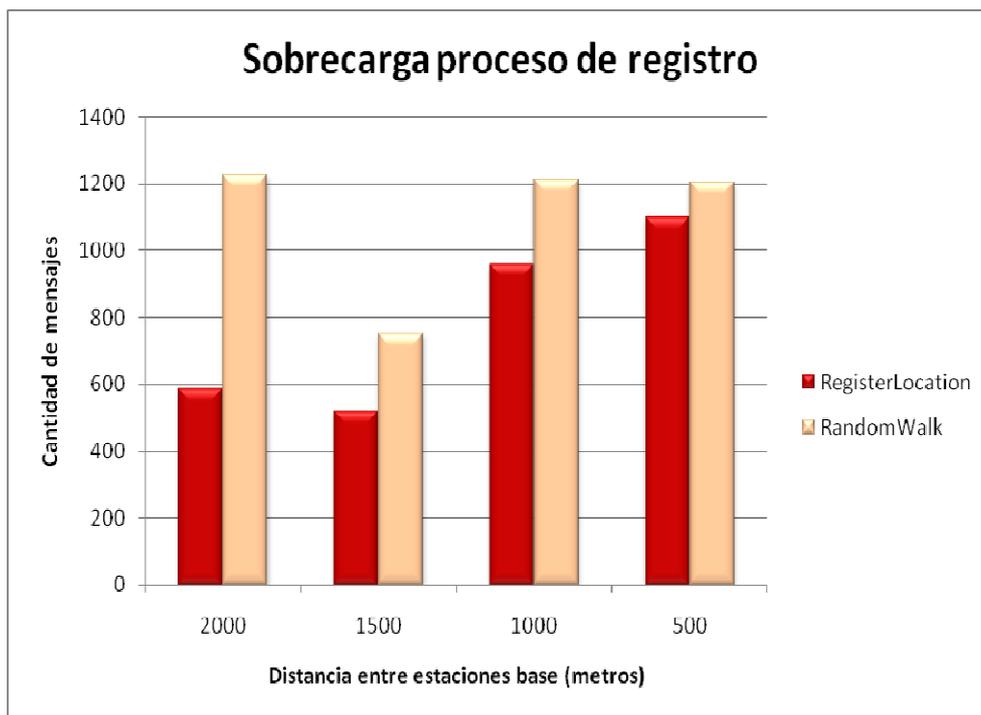


FIGURA35 GRÁFICA PROCESO DE REGISTRO

5.5.2.7. SOBRECARGA TOTAL

En este apartado insertaremos la figura 39 donde fusionamos los resultados obtenidos en las figuras de los anteriores apartados, con el fin de establecer una comparación gráfica de la carga de mensajes utilizados por ambos protocolos en los procesos de registro y localización.

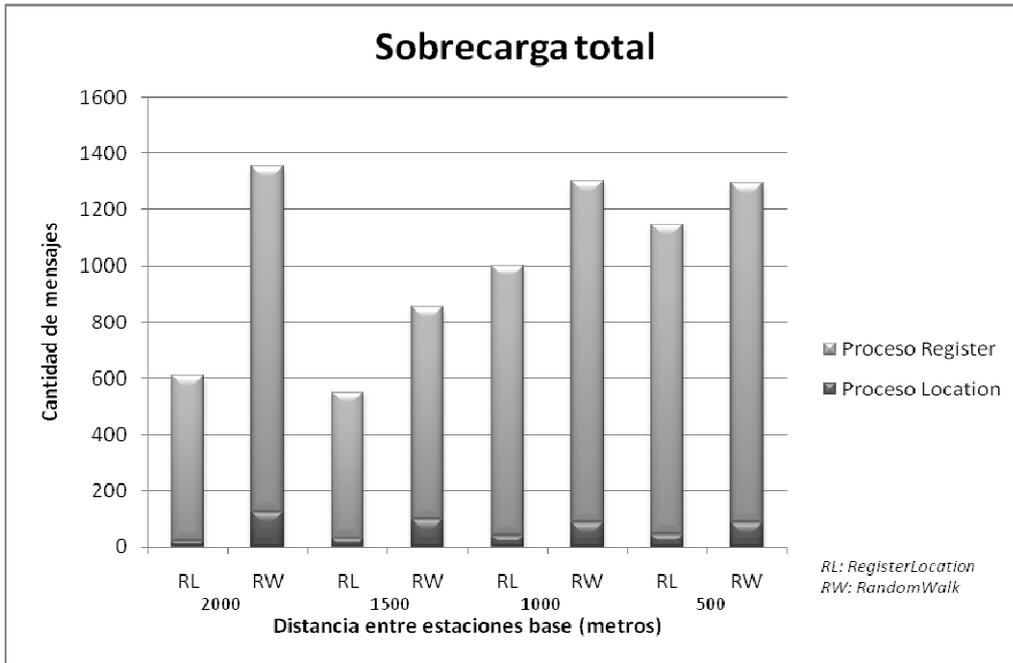


FIGURA36 GRÁFICA SOBRECARGA TOTAL

6. CONCLUSIONES Y VÍAS FUTURAS

Este proyecto tiene como finalidad conseguir simulaciones lo más realistas posibles para arquitecturas VANETS, con el objeto de analizar el rendimiento y el impacto de las diferentes estrategias implementadas de localización en un escenario cotidiano. NS-2 [9] nos ofrece la posibilidad de generar nodos móviles, pero carecen de un comportamiento vehicular real, ya que no nos permite tener en cuenta aspectos secundarios como limitaciones de carreteras, cruces de vías, semáforos, etc. Gracias al simulador SUMO [10] podemos resolver esta cuestión, cubriendo todas las carencias que se nos presentan con el anteriormente mencionado NS-2 [9]. Ambas herramientas son muy potentes y presentan capacidades muy extensas, a pesar de que en el proyecto tan solo hayamos tratado una pequeña parte de su potencial.

A lo largo del documento redactado hemos clasificado las diferentes formas que están catalogadas para solventar un problema de localización en una arquitectura VANET, centrándonos en aquellas estrategias que utilizan la inundación de la topología para conseguir la localización del objetivo.

Con nuestro proyecto de integración y simulación, hemos obtenido un análisis de rendimiento que presenta cada solución implementada respecto a tres métricas diferentes: tasa de acierto, sobrecarga de control y retardo medio. La métrica más importante es la tasa de acierto, ya que nos muestra la probabilidad de localización que posee la técnica simulada. Las otras dos métricas restantes también tienen su relevancia, informándonos sobre la sobrecarga de control que nos indicará la cantidad de información que es enviada a la red para conocer la ubicación. El retardo medio, por otro lado, nos señala el tiempo que ha durado el proceso de localización. El rendimiento de los algoritmos implementados en este proyecto va a estar muy condicionado por cada uno de los valores obtenidos en estas métricas.

Si estamos interesados en localizar un nodo en una red VANET, sin importarnos la cantidad de recursos implicados en el proceso de localización, podríamos utilizar un protocolo como BroadCast, que en cada petición de localización inundaría toda la topología con mensajes de solicitud de localización en busca del identificador que se quiere conocer. Como podemos observar en el apartado de análisis de resultados, en las gráficas que se muestran relativas a la sobrecarga de control, este protocolo obtienen valores mucho mayores que los otros dos protocolos implementados.

Si minimizar la capacidad de procesamiento de la red es el objetivo que queremos conseguir, deberíamos aparcarse el protocolo BroadCast, sugiriendo los otros dos, que realizan un uso más moderado y eficiente del ancho de banda de la red. Aunque las simulaciones deberán incluir estaciones base para extraer el mejor rendimiento de los protocolos.

En un sistema de localización la métrica más común que nos va a interesar maximizar es la tasa de acierto en los procesos de localización. Para ello deberemos seleccionar el protocolo RandomWalk frente a RegisterLocation, porque como hemos visto en las gráficas, obtendremos un mayor éxito con los procesos de localización, y lograremos buenos resultados incluso en aquellos casos en los que RegisterLocation desiste de iniciar el proceso porque no se dan las condiciones necesarias, activando la estrategia de búsqueda aleatoria y logrando en la mayoría de los casos la ubicación del identificador, aunque ello suponga incrementar bastante el tiempo de retardo de la localización.

Como trabajo futuro, dado el estado embrionario en el que se encuentra esta arquitectura, existen diferentes cuestiones aun por explorar en lo referente a los sistemas de localización VANET y a los servicios que se pueden desplegar. Una de ellas sería el dispositivo que sirve de fuente más común a los sistemas de localización, el GPS, que en algunos ambientes, puede informar de manera errónea o no estar disponible la información de posicionamiento, pudiendo afectar estos errores de localización a la mayoría de las aplicaciones VANET, especialmente si se tratan de aplicaciones críticas como por ejemplo el servicio de llamada de urgencia “ecall”.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Melamed, I. Keidar, and Y. Barel. Octopus: A Fault-Tolerant and Efficient Adhoc Routing Protocol. In *Proc. of the 24th IEEE Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS)*, páginas 39–49.
- [2] S. Dolev, S. Gilbert, N. Lynch, A. Shvartsman, and J. Welch. Geoquorums: Implementing atomic memory in mobile ad hoc networks. In *Proc. of the 17th International Symposium on Distributed Computing (DISC)*, páginas 305–320, 2003.
- [3] K.N. Amouris, S. Papavassiliou, and M. Li. A Position Based Multi-Zone Routing Protocol for Wide Area Mobile Ad-Hoc Networks. In *Proc. 49th IEEE Vehicular Technology Conference*, páginas 1365–1369, 1999.
- [4] I. Abraham, D. Dolev, and D. Malkhi. LLS: a Locality Aware Location Service for Mobile Ad Hoc Networks. In *Proc. of the Joint Workshop on Foundations of Mobile Computing (DIALM-POMC)*, páginas 75–84. ACM Press, 2004.
- [5] J. Li, J. Jannotti, D. De Couto, D. Karger, and R. Morris. A scalable location service for geographic ad-hoc routing. In *Proc. of the 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, páginas 120–130, August 2000.
- [6] C. Cheng, H. Lemberg, E. B. S.J. Philip, and T. Zhang. SLALoM: A scalable location management scheme for large mobile ad-hoc networks. In *Proc. IEEE Wireless Communication and Networking Conference*, páginas 574–578, 2002.
- [7] C. Cheng, H. Lemberg, E. B. S.J. Philip, and T. Zhang. SLALoM: A scalable location management scheme for large mobile ad-hoc networks. In *Proc. IEEE WirelessCommunication and Networking Conference*, páginas 574–578, 2002.
- [8] Y. Xue, B. Li, and K. Nahrstedt. A Scalable Location Management Scheme in Mobile Ad-Hoc Networks. In *Proc. of the 26th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN)*, página 102, Washington, DC, USA, 2001
- [9] Simulador NS-2, <http://www.isi.edu/nsman/ns/>
- [10] Simulador SUMO, <http://sumo.sourceforge.net/>