

Tipo de artículo: Artículo original

Análisis Comparativo de Protocolos de Enrutamiento para MaNets en Campus Universitarios mediante TheONE Simulator

Comparative Analysis of Routing Protocols for MaNets on University Campuses using TheONE Simulator

Juan Manuel Arteaga-Anchundia^{1*} , <https://orcid.org/0000-0002-2361-1678>

Dannyll Michelle Zambrano-Zambrano² , <https://orcid.org/0000-0003-4413-4425>

Leonardo Chancay-García³ , <https://orcid.org/0000-0002-4090-048X>

¹ Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador. Correo electrónico: jarteaga2151@utm.edu.ec

² Facultad de Ciencias Informáticas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador. Correo electrónico: michellec.zambrano@utm.edu.ec

³ Facultad de Ciencias Informáticas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador. Correo electrónico: leonardo.chancay@utm.edu.ec

* Autor para correspondencia: jarteaga2151@utm.edu.ec

Resumen

Una red oportunista (OppNet), en concreto una MaNet (Mobile Ad hoc Networks), utiliza el contacto de proximidad de dispositivos móviles para intercambiar mensajes y difundir información sin necesidad de una infraestructura física. La transmisión y recepción de mensajes en una MaNet depende principalmente del encaminamiento utilizado para el envío de los mensajes a los diferentes nodos que conforman la red y cómo estos nodos se desplazan a través del escenario elegido. Estos dos puntos hacen que el protocolo de enrutamiento establecido sea relevante para la comunicación entre nodos. Este artículo muestra un análisis de cuatro protocolos de enrutamiento Epidemic, Spray and Wait, PRoPHETv2 y MaxProp utilizados en MaNets, considerando principalmente el porcentaje de entrega de cada protocolo. Esta investigación se realizó en cuatro fases. La fase uno define la importancia del estudio y utilidad que pueden brindar las MaNets para la transmisión de anuncios informativos en una universidad. En la segunda fase se obtienen las trazas y rutas de movilidad que los peatones transitan a diario en un campus universitario. Posteriormente en la fase tres se establecen y prepara el entorno de simulación de The ONE con las trazas y datos de cada escenario. Por último, en la fase cuatro se concluye que el protocolo Spray and Wait brinda mayor confiabilidad en la transmisión de mensajes de la MaNet planteada.

Palabras clave: OppNets; MaNets; Protocolo de Enrutamiento; Confiabilidad; Rendimiento.

Abstract

An opportunistic network (OppNet), specifically a MaNet (Mobile Ad hoc Networks), uses the proximity contact of mobile devices to exchange messages and disseminate information without the need for a physical infrastructure. The transmission and reception of messages in a MaNet depends mainly on the routing used to send the messages to the different nodes that make up the network and how these nodes move through the chosen scenario. These two points make the set routing protocol relevant for communication between nodes. This article shows an analysis of four routing protocols Epidemic, Spray and Wait, PRoPHETv2 and MaxProp used in MaNets, mainly considering the delivery percentage of each protocol. This investigation was conducted in four phases. Phase one defines the importance of the study and the usefulness that a MaNets can provide for the transmission of informative announcements in a university. In the second phase, the traces and mobility routes that pedestrians travel daily on a



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

university campus are obtained. Later, in phase three, the simulation environment of The ONE is established and prepared with the traces and data of each scenario. Finally, in phase four it is concluded that the Spray and Wait protocol provides greater reliability in the transmission of messages from the proposed MaNet.

Keywords: *OppNets; MaNets; Routing Protocol; Reliability; Performance.*

Recibido: 12/01/2023
Aceptado: 23/04/2023
En línea: 02/05/2023

Introducción

Las redes oportunistas establecen algún tipo de comunicación directa y local basada en la posibilidad de intercambiar mensajes entre dispositivos cercanos, como canales directos vía Bluetooth o Wifi. Estas redes tienen muchas aplicaciones en diferentes campos, como las redes de sensores y el monitoreo de la vida silvestre. En general, la información que se difunde entre dispositivos móviles cercanos (Pelusi et al., 2006) (Chancay García, 2019).

La red ad hoc es una colección de nodos móviles inalámbricos que forman una red temporal sin una gestión centralizada. Una MaNet (Mobile Ad hoc Networks) es una red inalámbrica multisalto autoconfigurada y autoorganizada, y su estructura de red cambia dinámicamente debido a la movilidad de los nodos (Rey et al., 2014).

Una MaNet permite a los usuarios comunicarse sin ninguna infraestructura física, independientemente de su ubicación geográfica, es por eso por lo que a veces se denomina una red de menor infraestructura (Chamba Macas, 2017).

Las OppNets utilizan contactos de proximidad de dispositivos móviles para intercambiar mensajes de manera de difundir información entre estos dispositivos. Su comportamiento y dinámica, dependiendo del protocolo de enrutamiento que utilice, pueden ser comparables a la propagación epidémica de una enfermedad, por lo que los modelos desarrollados para evaluar las redes oportunistas suelen ser adaptaciones de modelos epidémicos conocidos (Hernández-Orallo & Armero-Martínez, 2020) (Zhang et al., 2007). El estudio de la movilidad humana y el comportamiento social también es fundamental para evaluar la difusión de información en estas redes oportunistas.

El rendimiento de las redes móviles oportunistas depende en gran medida de la duración del contacto. Si el contacto tiene una duración inferior a los tiempos de transmisión requeridos, algunos mensajes no serán entregados y el esquema de difusión general se verá seriamente afectado (Herrera-tapia et al., 2016). Por otro lado, dependerá también del tamaño del paquete enviado y de la cantidad de memoria disponible que posea el dispositivo, así como también la velocidad de transmisión que soporte.



La utilización de movilidad incita a pensar que según como se muevan los nodos en la red, las prestaciones de las mismas se verán afectadas y que, por tanto, el papel de los protocolos de enrutamiento será fundamental en su rendimiento (Juárez, 2012).

El objetivo de este trabajo de revisión es categorizar los protocolos de encaminamiento que se utilizan en MaNets para la transmisión de mensajes, esencialmente en escenarios oportunistas. De esa manera se podría determinar el protocolo de enrutamiento óptimo que pueda ser implementada en un escenario universitario y alcanzar el mejor rendimiento para la transmisión de mensajes informativo. Consideramos este escenario como zona de tránsito peatonal dentro de la universidad y cantidad de personas, en donde por lo general el número de personas o nodos es variable.

Para descubrir un conjunto de posibles rutas, los protocolos de enrutamiento utilizan mecanismos de recopilación de información para determinar el punto intermedio del paquete desde el nodo de origen hasta el destino. Las métricas son parámetros de rendimiento que utilizará el protocolo de enrutamiento al seleccionar rutas. Estos pueden basarse en minimizar el retraso y la pérdida, o maximizar el rendimiento, entre otras (Rey et al., 2014) (Carrillo & Ramos, 2011). Con toda esta información se podría especificar cuál es el protocolo de enrutamiento a utilizar en una determinada situación o escenario para asegurar el mayor porcentaje de entrega de mensaje.

Protocolos de Enrutamiento

El diseño de protocolos de enrutamiento es probablemente la parte más crítica y central de las MANET, no por la complejidad en sí, sino porque se debe investigar y encontrar los mejores protocolos para diferentes situaciones. Los nodos no poseen ningún conocimiento de cómo funciona la topología de la red de antemano y su comunicación surge del microcomportamiento de cada uno de los nodos.

Los protocolos de enrutamiento se pueden clasificar según varios aspectos, como el uso o no de una infraestructura, las aplicaciones que se les dé, la cantidad de información que procesan y otros detalles. Por ejemplo, el autor (Chancay García, 2019) ha optado por organizar los protocolos de acuerdo con el número de copias de mensaje que son reenviadas, y considerando también los algoritmos más importantes que están implementados en el simulador The ONE.



Tabla 1. Clasificación de los protocolos de enrutamiento según el número de mensajes reenviados.

Single Copy	Flooding	Probabilistic
First Contact	Epidemic	PROPHET
Direct Delivery	Spray & Wait	PROPHET V2
		MaxProp

Los protocolos de enrutamiento de tipo *Single Copy* (copia única) sólo permiten mantener una única copia del mensaje en la red hasta que sea entregado a su destino. Esto permite que la sobrecarga en la red se reduce al mínimo, pero dado que sólo se mantiene una copia del mensaje en la red la probabilidad de que el nodo de destino reciba el mensaje es claramente baja y, cuando sucede, suele tardar mucho tiempo (Orea Hueso, 2019).

Estas características hacen que los protocolos Single Copy no sean los adecuados para este trabajo de científico porque el objetivo de la red planteada es que cada nodo o persona cuente con una copia del mensaje que se ha creado independientemente del número de personas presentes en el escenario, por lo que los protocolos objeto de estudio en esta investigación son los de tipo *Flooding* (inundación) y *Probabilistic* (probabilístico).

Los protocolos de Inundación, por su parte, propagan el mensaje en toda la red. En este tipo de propagación se retransmiten copias del mensaje en todos los nodos presentes en la red asegurándose de que el mensaje originado sea entregado a su destino. Se replican múltiples copias de cada mensaje sin considerar la selección del nodo candidato (Cao & Sun, 2013).

El tipo de propagación epidémica se basa en la inundación de la red. Es decir, los nodos retransmiten de manera continuada una copia del mensaje a todos los nuevos vecinos que no dispongan de una (García Robles, 2013). La principal ventaja del protocolo *Epidemic* es que, al crear una copia del mensaje en cada nodo presente en la red, aumenta significativamente la probabilidad de que el mensaje sea entregado a su destino. Sin embargo, esta inundación provoca que la red se sobrecargue considerablemente y la demanda de recursos como ancho de banda y almacenamiento en los nodos sea elevada.

Por otro lado, el protocolo *Spray and Wait*, permite que la diseminación en la red sea controlada al delimitar el número de copias del mensaje que puede estar presente en la red durante un determinado tiempo. Esta característica mejora el rendimiento en la red al reducir la sobrecarga y optimizar recursos en los nodos. Este protocolo consta de dos fases, “spray”, donde las copias se distribuirán a los contactos y, la segunda fase “wait” consiste en esperar que una de las copias llegue a su destino. Sólo puede existir una cierta cantidad de copias de un mensaje en la red en cualquier momento dado (Chancay-García et al., 2018).



Los protocolos de tipo Probabilístico se basan en la transmisión de copias del mensaje a los nodos que tienen más posibilidades de contactar con el nodo destino. En los protocolos *PRoPHET* y *PRoPHETv2*, se calcula la probabilidad en que un nodo puede entregar un mensaje a un destino particular basándose en el historial de contactos del nodo, el mensaje se reenvía solo a los nodos que tienen alta probabilidad de entrega. La probabilidad aumenta cuando el nodo frecuentemente conecta con el destino, y decrece para el caso contrario (Willers, 2012). La versión 2 de este protocolo considera también el tiempo de interconexión de los nodos para optimizar recursos y mejorar la probabilidad de entrega.

Por último, el protocolo *MaxProp* intenta validar todas las rutas posibles para cada mensaje, almacenando el número de saltos y la probabilidad de que el mensaje llegue a su destino. Eventualmente, si el mensaje llega a su destino, solo se tiene en cuenta esta ruta y el resto de las copias se elimina de los nodos que fallaron (Chancay-García et al., 2018). Se podría determinar que los protocolos probabilísticos son los que mejores resultados pueden ofrecer en cuanto a la probabilidad de entrega del mensaje y la optimización de recursos de la red y los dispositivos involucrados en un escenario controlado. Sin embargo, esta cualidad de determinar la mejor ruta para el mensaje no es confiable en su totalidad debido a que las estimaciones realizadas se basan en los contactos anteriores y en un escenario como un campus universitario no se podría controlar la posición de las personas, ni asegurar su comportamiento futuro.

Por consiguiente, el protocolo que mejores resultados podría ofrecer en un escenario no controlado como lo es un campus universitario es el protocolo Spray and Wait debido a que garantiza de mejor manera que todos los nodos presentes en la red reciban el mensaje sin presentar grandes sobrecargas en la red controlando la cantidad de copias del mensaje mientras dure la transmisión del mensaje.

Materiales y métodos

Para evaluar los diferentes protocolos de enrutamientos presentado anteriormente se ha utilizado el simulador *The ONE*. El simulador The ONE (Opportunistic Network Environment) (Keränen et al., 2009), es una herramienta de simulación basada en eventos discretos especialmente diseñada para evaluar el rendimiento de las Redes Oportunistas.

The ONE permite, generar el movimiento de los nodos usando los modelos de movilidad más básicos, modelar el encaminamiento de mensajes entre los nodos con los algoritmos de enrutamiento que se encuentran ya disponibles en su código fuente, definiendo cuantos nodos y de qué tipo son remitentes o receptores, visualizar la movilidad de los nodos y el paso de los mensajes, todo a través de su propia interfaz gráfica de usuario.



Para operar el simulador y realizar modificaciones en el código fuente en caso fuera necesario se utilizó el IDE de desarrollo *Eclipse* (Eclipse Foundation, 2023) en su versión 4.26 para compilar el código desarrollado en JAVA (Oracle, 2022) y presentar diferentes escenarios que ayuden a determinar el mejor protocolo de enrutamiento y cual se adapta de mejor manera en diversas situaciones.

Por otro lado, el simulador The ONE necesita conocer la traza de movilidad o el camino por el cual los nodos se van a desplazar, de no ser así los nodos estaría dispersos en un área sin tener un orden como se muestra en la figura 1.

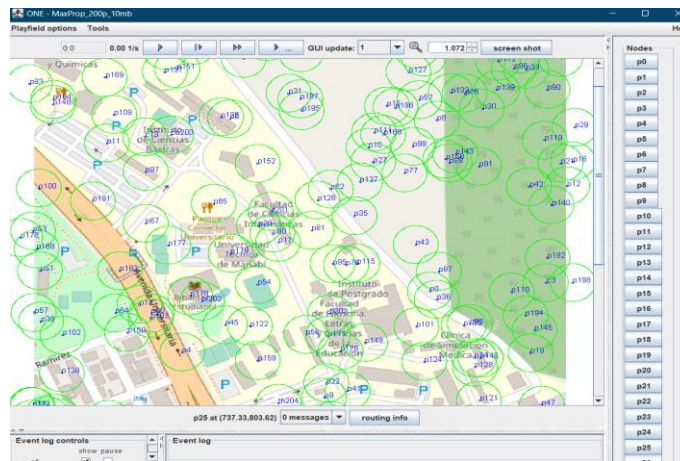


Figura 1. Nodos dispersos de manera aleatoria en un escenario del simulador The ONE sin utilizar trazas de movilidad.

Bajo esa premisa se sabe que es necesario que el simulador The ONE conozca la ruta por la cual los nodos deben desplazarse. Sin embargo, resulta un poco complejo describir las coordenadas de los caminos presentes en el campus universitario de manera directa. Para esta tarea fue necesario realizar una serie de pasos descritos en la figura 2.

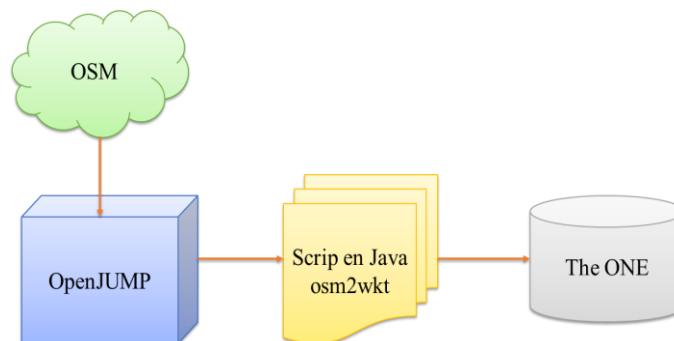


Figura 2. Gráfico representativo de carga de trazas en The ONE.



OpenStreetMap (OpenStreetMap Foundation, 2023) es una iniciativa para crear y proporcionar datos geográficos gratuitos, como mapas de calles, a cualquier persona. Desde la página de **OSM** se obtiene y descargan las trazas que GoogleMaps registra del campus de la universidad. Sin embargo, el archivo .osm descargado tiene información representada en polígonos que no es relevante para la movilidad de los peatones, como calles externas y edificios.

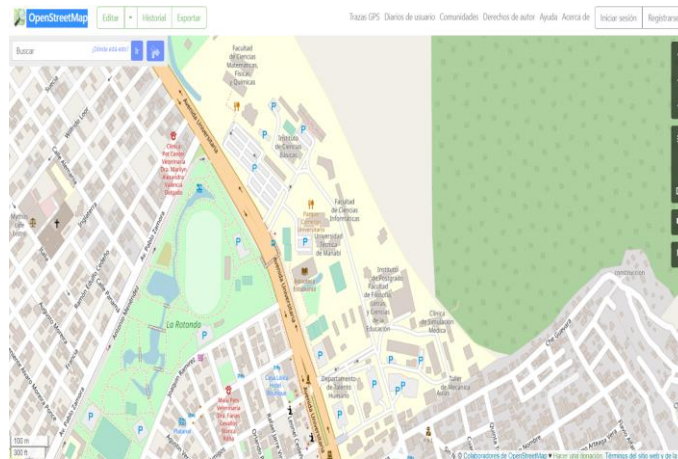


Figura 3. Mapa obtenido en OpenStreetMap.

OpenJUMP (Java Unified Mapping Platform) es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto escrito en el lenguaje de programación Java (Vivid Solutions, 2023). Gracias al software **OpenJUMP** se pueden editar estas trazas para agregar las rutas internas del campus universitario que no están presentes en el archivo descargado de OpenStreetMap y que sea lo más real posible la simulación de la ruta de los peatones en la universidad.



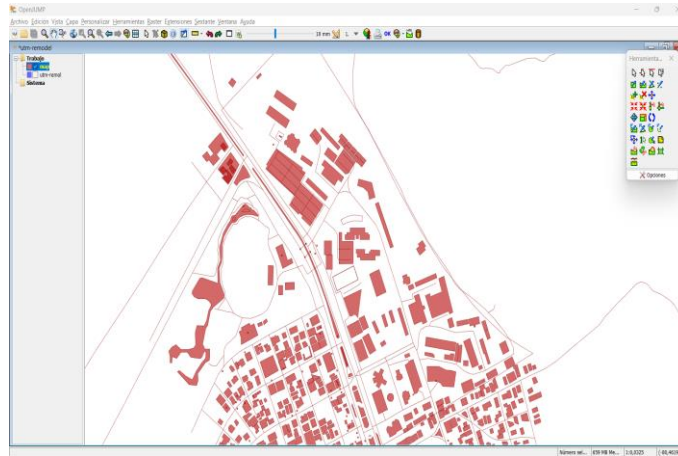


Figura 4. Mapa sin editar visualizado desde el software OpenJUMP.

Este software permite editar y agregar las trazas de movilidad que los peatones realizan normalmente en la Universidad Técnica de Manabí que no están presentes en el archivo obtenido de OpenStreetMap. También se eliminaron los polígonos que no forman parte del estudio con la herramienta mencionada.

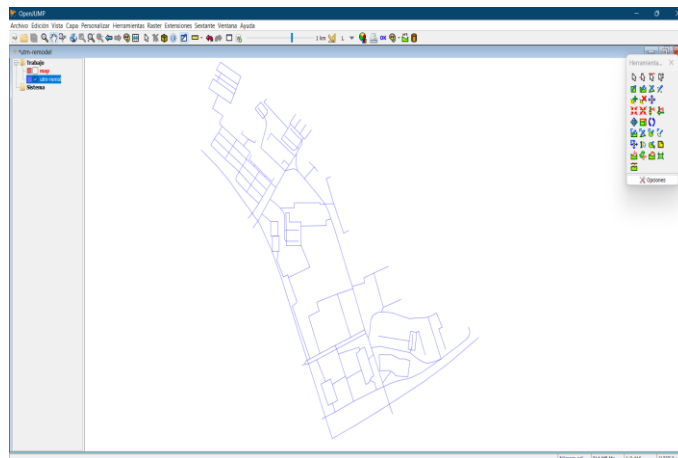


Figura 5. Mapa editado con las rutas y caminos del campus universitario en el software OpenJUMP.

Para que el simulador The ONE pueda leer las trazas OSM es necesario utilizar un script realizado en Java para cambiar el tipo de coordenadas adecuadas para el simulador. El script *osm2wkt* (Fischer, 2016) es un programa para convertir mapas de OpenStreetMap en archivos WKT (Well Known Text) compatibles con el simulador The ONE. Una vez generado el archivo WKT se configuraron los parámetros de simulación para cada escenario estudiado. Como se puede apreciar en el la figura 6 siguiente, los nodos ya se encuentran ordenados y las trazas cargadas que corresponden a las rutas y caminos del campus universitario por donde pasan las personas con sus dispositivos.



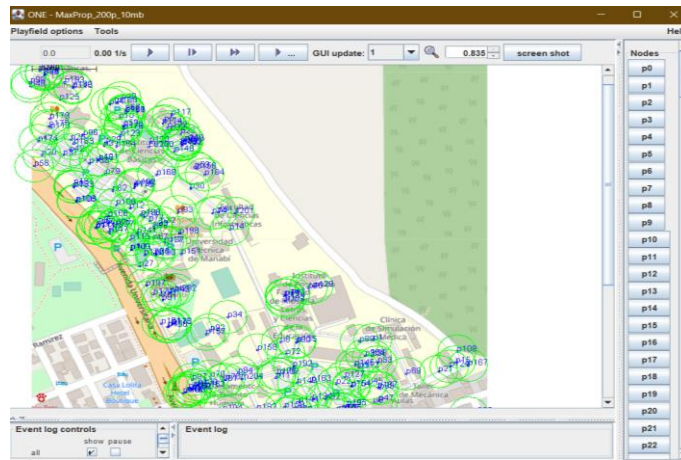


Figura 6. Nodos ubicados en las trazas que corresponden a las rutas y caminos del campus universitario.

Para la realización de este estudio práctico se ha configurado 5 nodos difusores que separados a 200 metros aproximadamente con el objetivo de abarcar el mayor espacio posible del campus. La distribución y ubicación de estos nodos se muestra en la figura 7.

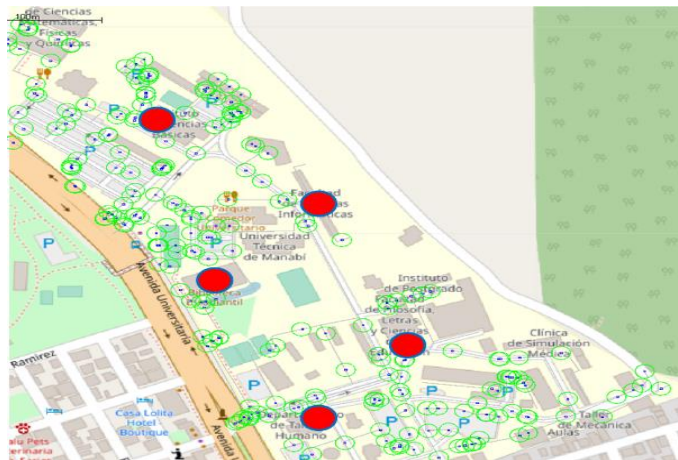


Figura 7. Ubicación de los nodos difusores (en rojo) en el campus universitario.

Los nodos difusores serán los encargados de crear de manera simultánea los mensajes y a partir de ellos empezará la propagación de mensaje de un nodo a otro hasta que se haya inundado en su totalidad la red y cada nodo presente en el escenario tenga una copia del mensaje original.



Resultados y discusión

Se realizaron 12 simulaciones por cada protocolo de enrutamiento. Cada simulación representó un posible escenario que se puede encontrar durante un día normal en el campus universitario. Las variables que se toman en cuenta para cada escenario son el número de personas, que puede variar en ciertos horarios donde hay mayor concentración de personas recorriendo el campus; el tamaño del mensaje que dependerá de lo que se quiera transmitir, desde un comunicado, una imagen y hasta un video publicitario.

Se ha definido que los escenarios más cercanos a la realidad son determinados por las horas del día donde se puede llegar a encontrar 50, 100, 150 y hasta 200 personas en el campus. Por otro lado, el tamaño más común que pueden tener los mensajes que se envían a través de esta red universitaria serán de 1MB, 5MB y 10MB.

A continuación, en la tabla 2, se detalla la combinación de variables para los diferentes escenarios estudiados junto con los parámetros que serán tomados en cuenta para determinar el protocolo de enrutamiento que garantice el mejor rendimiento y sea el más adecuado para la red oportunista del campus universitario.

Tabla 2. Detalle de las variables simuladas para cada protocolo de enrutamiento

Escenario	Protocolo				N° de personas / Horario	Tamaño del mensaje
Escenario x.1	1.Epidemic	2.Spray And Wait	3.PRoPHET	4.MaxProp	50p / 15h30	1MB
Escenario x.2	1.Epidemic	2.Spray And Wait	3.PRoPHET	4.MaxProp	100p / 10h30	1MB
Escenario x.3	1.Epidemic	2.Spray And Wait	3.PRoPHET	4.MaxProp	150p / 17h00	1MB
Escenario x.4	1.Epidemic	2.Spray And Wait	3.PRoPHET	4.MaxProp	200p / 08h00	1MB
Escenario x.5	1.Epidemic	2.Spray And Wait	3.PRoPHET	4.MaxProp	50p / 15h30	5MB
Escenario x.6	1.Epidemic	2.Spray And Wait	3.PRoPHET	4.MaxProp	100p / 10h30	5MB
Escenario x.7	1.Epidemic	2.Spray And Wait	3.PRoPHET	4.MaxProp	150p / 17h00	5MB
Escenario x.8	1.Epidemic	2.Spray And Wait	3.PRoPHET	4.MaxProp	200p / 08h00	5MB
Escenario x.9	1.Epidemic	2.Spray And Wait	3.PRoPHET	4.MaxProp	50p / 15h30	10MB
Escenario x.10	1.Epidemic	2.Spray And Wait	3.PRoPHET	4.MaxProp	100p / 10h30	10MB
Escenario x.11	1.Epidemic	2.Spray And Wait	3.PRoPHET	4.MaxProp	150p / 17h00	10MB
Escenario x.12	1.Epidemic	2.Spray And Wait	3.PRoPHET	4.MaxProp	200p / 08h00	10MB

Una vez definido cada uno de los parámetros y variables se realizó la configuración del simulador para cada escenario obteniendo los siguientes resultados. Cada escenario fue configurado con una duración de 3600 segundos de simulación.



Se puede apreciar en la figura 8 que en todos los escenarios el tiempo de entrega y el retardo a medida que el número de personas dispuestas en el escenario es mayor. Es algo de esperarse, sin embargo los resultados obtenidos muestran que este protocolo no sería el más adecuado para la aplicación propuesta en este artículo.

Se observa que en todos los escenarios del protocolo Epidemic el tiempo de entrega y la sobrecarga aumentan a medida que el número de personas dispuestas en el escenario es mayor. Por otro lado, el tiempo de entrega sólo varía cuando el tamaño del mensaje aumenta sin importar la cantidad de personas presentes.

Este resultado es similar en los demás protocolos, como se puede apreciar en las figuras 9, 10 y 11 respectivamente, en donde se puede apreciar que el tiempo de entrega y el tiempo de retardo es el mismo independientemente del protocolo de enrutamiento que se esté utilizando.

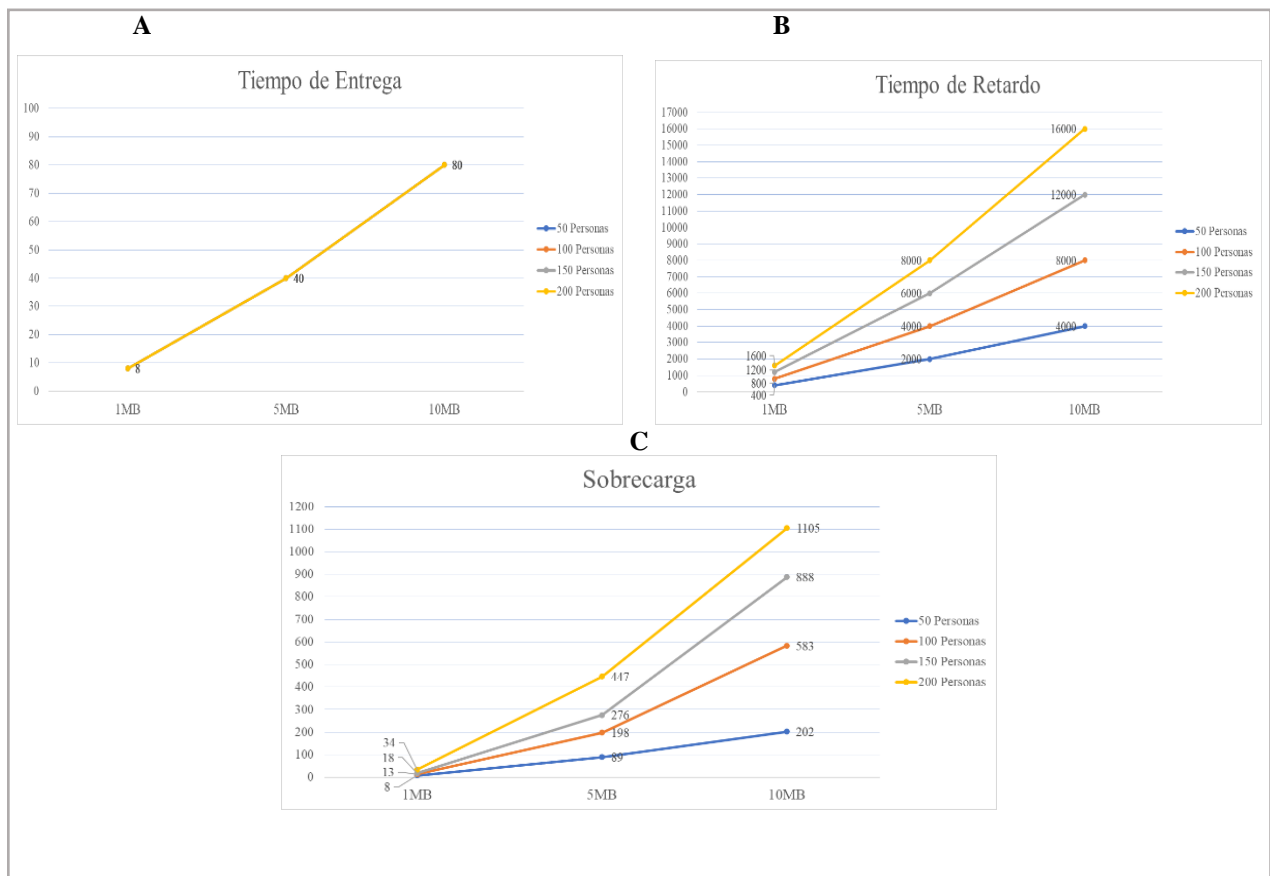


Figura 8. Datos obtenidos en el escenario Epidemic. (a) Tiempo de Entrega; (b) Tiempo de Retardo; (c) Sobrecarga.



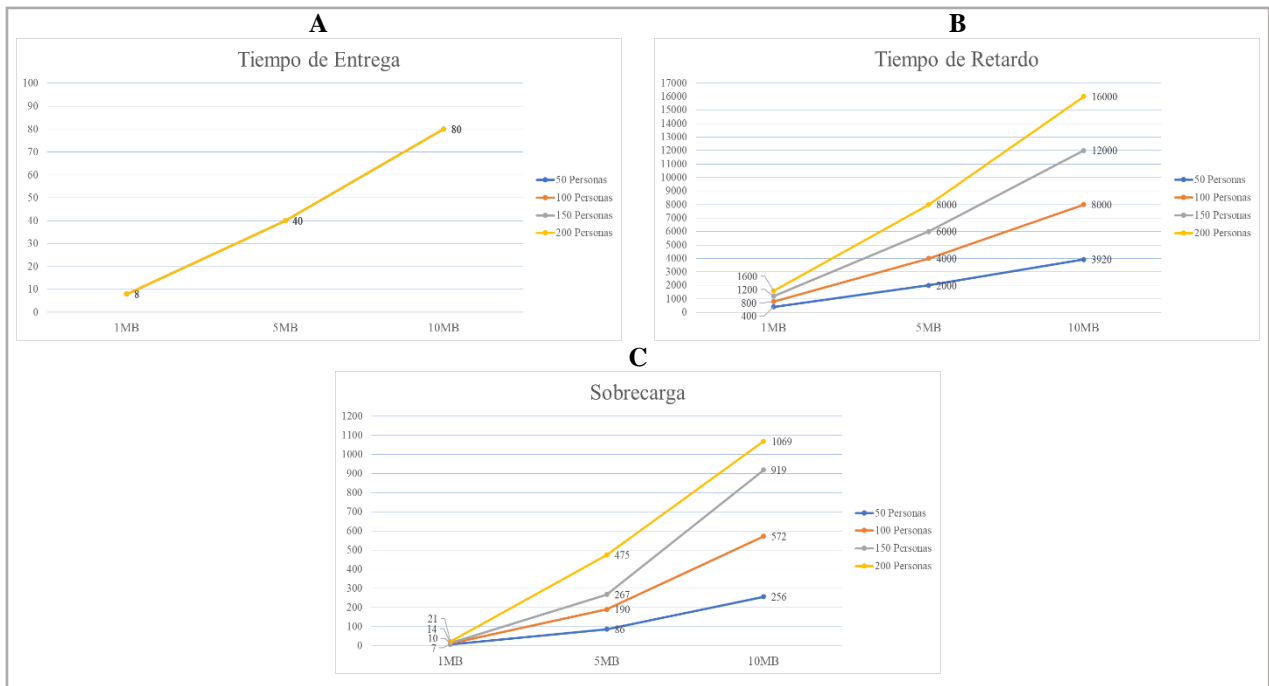


Figura 9. Datos obtenidos en el escenario SprayAndWait. (a) Tiempo de Entrega; (b) Tiempo de Retardo; (c) Sobrecarga.

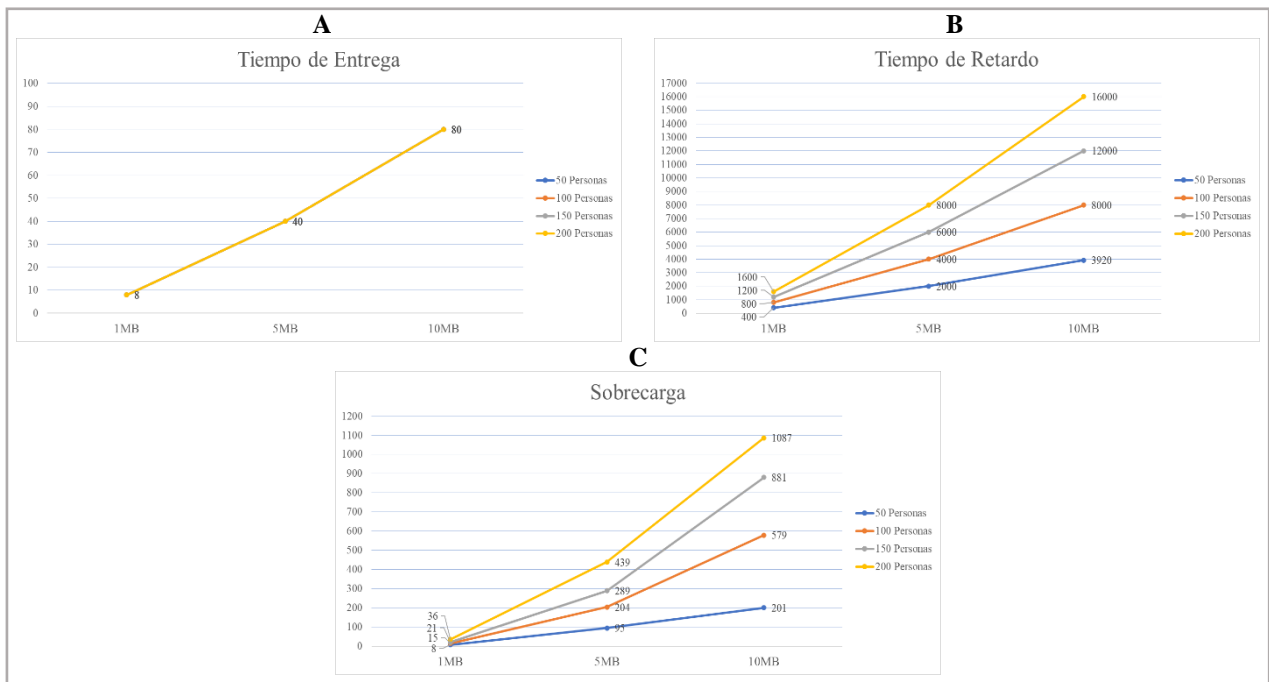


Figura 10. Datos obtenidos en el escenario ProPHetV2. (a) Tiempo de Entrega; (b) Tiempo de Retardo; (c) Sobrecarga.



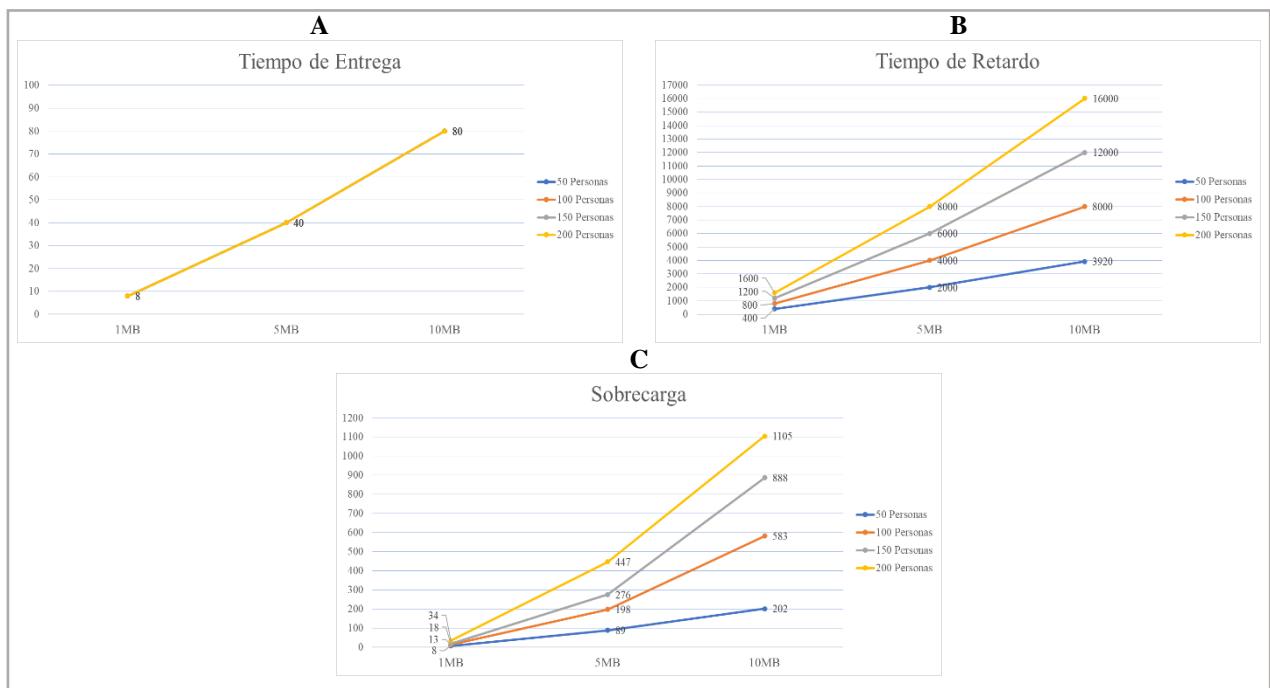


Figura 11. Datos obtenidos en el escenario MaxProp. (a) Tiempo de Entrega; (b) Tiempo de Retardo; (c) Sobrecarga.

Por otro lado, la Sobrecarga de la red en cada protocolo es variable. Como era de esperarse, a medida que el tamaño del mensaje es mayor y la cantidad de personas o nodos aumentan en el escenario la sobrecarga de la red incrementará.

Esto sucede en todos los protocolos estudiados; sin embargo, el protocolo de enrutamiento con mejores resultados y menor tasa de sobrecarga es el SprayAndWait en donde se aprecia que en la mayoría de los escenarios simulados ha terminado con el menor número de mensajes sin entregar o abortados, lo que representa una menor sobrecarga de la red.

Los valores obtenidos en el protocolo MaxProp son los mismos que se generan cuando se utiliza el protocolo Epidemic, por lo cual MaxProp no es el más adecuado para el desarrollo de esta propuesta. Así como se mencionó anteriormente el método que utiliza este protocolo se basa en realizar un mapeo general de los nodos y luego determinar la mejor ruta para entregar el mensaje a su destinatario, sin embargo este proceso no es óptimo por la movilidad de las personas en la red y además de que es propenso a generar bastante sobrecarga.

Otro factor importante que se tomó en cuenta en el análisis de los resultados de los escenarios fue el tiempo de llenado de mensajes en toda la red; es decir, el tiempo definido en segundos que se utilizó para que cada persona o



nodo presente en la red tenga una copia del mensaje generado al inicio de la simulación. Se puede apreciar en la figura 12 que este tiempo es variable y depende del tamaño de mensajes y del número de nodos.

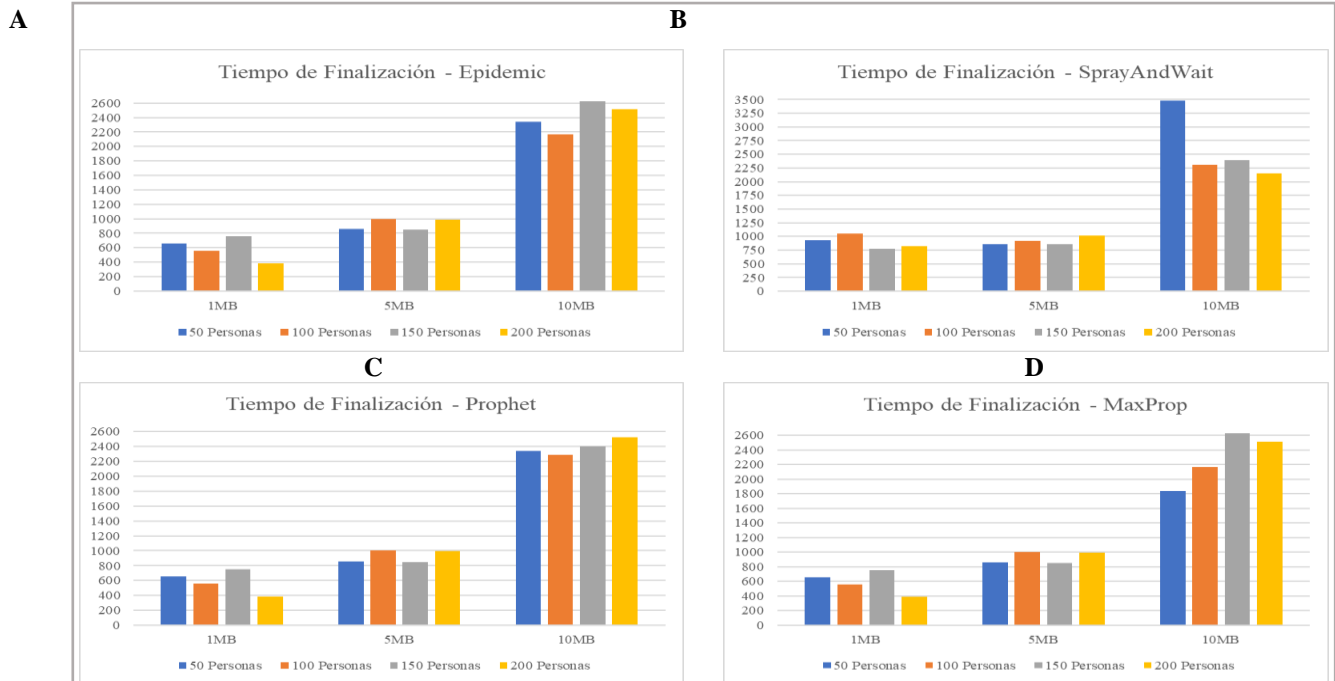


Figura 12. Tiempo de llenado de mensajes de la red en los escenarios. (a) Epidemic; (b) SprayAndWait; (c) ProPHetV2; (d) MaxProp.

Se evidencia que en la mayoría de los protocolos mientras más personas existan en la red y mayor sea el peso del mensaje aumentará el tiempo de llenado en la red. Por otro lado, algo clave a tomar en cuenta es lo que ocurre con el protocolo SprayAndWait, en donde se ve tiempos mucho menores en comparación con los demás protocolos, principalmente cuando el tamaño de mensaje aumenta donde no se ve tan afectado.

Otro punto para tomar en cuenta con SprayAndWait es que a diferencia de los otros protocolos el tiempo de llenado mejora a medida que el número de personas aumenta, como se refleja en la figura 12b. Esta característica se podría justificar debida a que cuantos más nodos existan en la red más fácil y rápida será la interconexión entre nodos debido a que estarían más cerca, a diferencia de cuando hay pocos nodos que por entendimiento estarán más dispersos.



En este sentido, se puede afirmar que la movilidad de las personas mejora la difusión de mensajes específicamente en el protocolo SprayAndWait para este tipo de redes. Además, por cómo se comporta un campus universitario en el día a día este protocolo sería el más óptimo para utilizar dado a que con todas las premisas cumple un buen desempeño.

Conclusiones

Elegir adecuadamente el protocolo de enrutamiento dependerá del funcionamiento y utilización de la red, es decir que cada protocolo puede ser el más adecuado dependiendo de la aplicación que se pretenda. Esto garantizará que el rendimiento y la funcionalidad en la red sea la más óptima en cuanto a la creación, envío, entrega y reenvío de mensajes entre cada nodo.

La renovación de nodos o personas presentes en la red también influye en el rendimiento de la OppNet debido a la gran cantidad de mensajes que se inundan en la red. Como se pudo demostrar, en los protocolos Epidemic, PROPHET y MaxProp, mientras más nodos hay en el escenario mayor es el tiempo que pasa ante de que cada persona tenga una copia del mensaje, contrario de lo que pasa con el protocolo SprayAndWait donde este tiempo disminuye a medida que aumentan los nodos en la red, con lo que se puede concluir que la movilidad de personas mejora la difusión de mensajes y el rendimiento de la red en este aspecto.

Con los resultados conseguidos en las simulaciones se puede determinar que el protocolo de enrutamiento SprayAndWait es el que mejor resultados brinda en rendimiento en tiempos de finalización y menor sobrecarga de la red. Ese es un punto importante dado que se necesita que los mensajes generados sean entregados a la totalidad de las personas que se encuentran circulando en el campus en el menor tiempo posible sin saturar en gran medida a la red.

Para finalizar, se podrían realizar nuevas simulaciones con la implementación y configuración de una mayor cantidad de nodos difusores, esta vez separados a 100 metros cada uno, con la finalidad de tener un rendimiento al disminuir la sobrecarga de la red y optimizar los tiempos de entrega, retardo y llenado.

Conflictos de intereses

No existe conflicto de interés.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Juan Manuel Arteaga Anchundia.
2. Curación de datos: Juan Manuel Arteaga Anchundia.
3. Análisis formal: Juan Manuel Arteaga Anchundia.



4. Investigación: Juan Manuel Arteaga Anchundia.
5. Metodología: Juan Manuel Arteaga Anchundia, Dannyll Michelle Zambrano Zambrano, Leonardo Chancay García.
6. Administración del proyecto: Juan Manuel Arteaga Anchundia, Dannyll Michelle Zambrano Zambrano, Leonardo Chancay García.
7. Supervisión: Juan Manuel Arteaga Anchundia, Dannyll Michelle Zambrano Zambrano, Leonardo Chancay García.
8. Validación: Juan Manuel Arteaga Anchundia, Dannyll Michelle Zambrano Zambrano, Leonardo Chancay García.
9. Redacción – borrador original: Juan Manuel Arteaga Anchundia, Dannyll Michelle Zambrano Zambrano, Leonardo Chancay García.
10. Redacción – revisión y edición: Juan Manuel Arteaga Anchundia, Dannyll Michelle Zambrano Zambrano, Leonardo Chancay García.

Financiamiento

La investigación no requirió fuente de financiamiento externa.

Referencias

- Cao, Y., & Sun, Z. (2013). Routing in delay/disruption tolerant networks: A taxonomy, survey and challenges. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 15(2), 654–677. <https://doi.org/10.1109/SURV.2012.042512.00053>
- Carrillo, C., & Ramos, V. (2011). *Análisis de protocolos de encaminamiento para redes inalámbricas tipo malla en modo infraestructura* [Universidad Autónoma Metropolitana]. http://pcyti.izt.uam.mx/archivos/Tesis/Generacion2009/ICR_ErnestoCarrillo.pdf
- Chamba Macas, F. V. (2017). *Implementación de protocolos de enrutamiento reactivo y proactivos para redes inalámbricas móviles Ad-hoc*. 1–125.
- Chancay-García, L., Manzoni, P., Hernández-Orallo, E., Calafate, C. T., & Cano, J.-C. (2018). *Evaluación de Protocolos de Encaminamiento para Redes Oportunistas en Escenarios con Alta Renovación de personas*. <http://www.disca.upv.es/enheror/pdf/2018-SARTECO.pdf>
- Chancay García, L. J. (2019). *Evaluación y Modelado de Redes Oportunistas*. [Universitat Politècnica de València]. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/124339>



- Eclipse Foundation. (2023). *Eclipse IDEs*. <https://www.eclipse.org/ide/>
- Fischer, J. (2016). *osm2wkt*. <https://github.com/julianofischer/osm2wkt>
- García Robles, D. (2013). *Evaluación de algoritmos de propagación de mensajes en redes oportunistas* [Universitat Politècnica de Catalunya]. <http://hdl.handle.net/2099.1/20050>
- Hernández-Orallo, E., & Armero-Martínez, A. (2020). How Human Mobility Models Can Help to Deal with COVID-19. *Electronics*, 10(1), 33. <https://doi.org/10.3390/electronics10010033>
- Herrera-tapia, J., Tomás, A., Hernández-orallo, E., Manzoni, P., Calafate, T., & Cano, J. C. (2016). *Evaluación del Rendimiento de la Difusión de Mensajes Utilizando Parada Forzada en Redes Oportunistas*. 379–384.
- Juárez, C. G. (2012). Estudio de los protocolos de routing y el impacto de la movilidad en MANETs. *Potencia*, 2(1), 02–09. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876382010000053>
- Keränen, A., Ott, J., & Kärkkäinen, T. (2009). The ONE simulator for DTN protocol evaluation. *SIMUTools 2009 - 2nd International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques*. <https://doi.org/10.4108/ICST.SIMUTOOLS2009.5674>
- OpenStreetMap Foundation. (2023). *OpenStreetMap*. <https://www.openstreetmap.org/>
- Oracle. (2022). *What is Java technology and why do I need it?* https://www.java.com/en/download/help/whatis_java.html
- Orea Hueso, C. (2019). *Modelización de la difusión y persistencia de datos en redes oportunistas de comunicación móvil* [Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/129515>
- Pelusi, L., Passarella, A., & Conti, M. (2006). Opportunistic networking: data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks. *IEEE Communications Magazine*, 44(11), 134–141. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2006.248176>
- Rey, L. C., Odete, T., Quiñones, L., & García, W. B. (2014). Protocolos de enrutamiento aplicables a redes MANET. *Revista Telemática*, 13(3), 59–74. <https://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/170>
- Vivid Solutions. (2023). *OpenJUMP*. <http://www.openjump.org/>
- Willers, A. (2012). *Redes Ad Hoc y Opportunistic Networking: una oportunidad a la Gestión de Desastres* [Universidad Nacional de La Plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/31724>
- Zhang, X., Neglia, G., Kurose, J., & Towsley, D. (2007). Performance modeling of epidemic routing. *Computer Networks*, 51(10), 2867–2891. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2006.11.028>

