

Evaluación del Desempeño de un Protocolo AODV para la Comunicación de Datos del Estado  
de una Microrred Eléctrica

Daniel Fernando López Hernández

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero de Sistemas

Director

Pedro Javier Trujillo Tarazona

Ingeniero de Sistemas, Magíster en Informática

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería de Sistemas

Bucaramanga

2018

## **Dedicatoria**

A Carmen, mi madre, quien sacrificó gran parte de su vida por mí, quien me brindo apoyo constante y por ser la única persona que siempre cree en mí aun cuando yo mismo no lo hago.

A Oscar, mi hermano, por brindarme toda su confianza, por ser ese camino a seguir que siempre tuve y por mostrarme lo que es ser una persona íntegra.

A Claudia, mi hermana, por ser mi madre sustituta, por su aporte en mi formación y por estar siempre ahí para mí y apoyarme en todas mis locuras.

A Alejandra, por brindarme su incondicionalidad, por siempre tener las palabras adecuadas y por todo el amor brindado que es detonante de tanta felicidad. Juntos todo es mejor.

A Darío, Weymar y Pedro, mis amigos, por todas las horas de estudio, las recochas y el intercambio de conocimientos.

A Nayibe, Álvaro, Fabiola y Emiro, mis vecinos, por hacerme sentir parte de sus familias y brindarme todo su cariño.

A mi familia, amigos y cercanos por su interés en mi formación.

## **Agradecimientos**

A la Universidad Industrial de Santander, por abrirme sus puertas al conocimiento.

A la escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática por brindarme espacios aptos para el desarrollo de mis competencias y habilidades.

Al profesor Pedro Javier Trujillo por su confianza, interés y apoyo constante en el desarrollo de este proyecto.

A todos los profesores de la escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática por compartir conmigo su conocimiento.

A mi familia y amigos por su constante apoyo en el transcurso de la carrera.

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
Introducción	16
1. Objetivos	17
1.1 Objetivo General	17
1.2 Objetivos Específicos	17
2. Marco Conceptual	18
2.1 Microrredes eléctricas inteligentes	18
2.1.1 Dispositivos electrónicos Inteligentes	19
2.2 IEEE 802.15.4	19
2.3 Red Ad-Hoc	20
2.3.1 Características generales de las redes Ad Hoc	20
2.3.1.1 <i>Nodos móviles.</i>	20
2.3.1.2 <i>Topología variable.</i>	21
2.3.1.3 Cambios de rutas.	21
2.3.1.4 Dispositivos con capacidad limitada.	21
2.3.1.5 Limitaciones de los enlaces inalámbricos.	22
2.3.1.6 Ausencia de infraestructura.	22
2.4 AODV (Ad Hoc On-demand Distance Vector)	23
2.4.1 Descubrimiento de rutas	25
2.4.2 Mantenimiento de rutas	27
2.4.3 Terminología de AODV	29

2.4.3.1 Ruta Activa.	30
2.4.3.2 Emisión.	30
2.4.3.3 Destino.	30
2.4.3.4 Nodo de reenvío.	30
2.4.2.5 Ruta de reenvío.	30
2.4.2.6 Ruta inválida.	31
2.4.2.7 Nodo de origen.	31
2.4.2.8 Ruta inversa.	31
2.4.2.9 Número de secuencia.	31
2.5 Herramientas para la simulación	31
2.5.1 Selección del simulador	31
2.5.2 OMNeT	33
2.5.3 Editor NED	33
2.5.4 Editor INI	34
2.5.5 Instalación	35
2.5.6 INET Framework	35
2.5.7 Equipos de cómputo	37
2.6 Metodología	38
3. Escenarios	40
3.1 Escenario 1	40
3.2 Escenario 2	41
4. Resultados	43
4.1 Escenario 1	43

4.1.1 20 Nodos	43
4.1.2 40 Nodos	44
4.1.3 60 Nodos	44
4.1.4 80 Nodos	44
4.1.5 100 Nodos	45
4.2 Escenario 2	45
4.2.1 20 Nodos	45
4.2.2 40 Nodos	46
4.2.3 60 Nodos	46
4.2.4 80 Nodos	46
4.2.5 100 Nodos	47
5. Análisis de Resultados	48
5.1 20 Nodos	48
5.2 40 Nodos	49
5.3 60 Nodos	50
5.4 80 Nodos	51
5.5 100 Nodos	52
5.6 Tiempos y Tasas de pérdida en la simulación	52
5.7 Métricas estandarizadas	53
5.8 Análisis en la industria de servicios públicos	55
6. Conclusiones	57
Referencias Bibliográficas	58
Apéndice	61

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1.</i> Distintos dispositivos con capacidad computacional e interfaz inalámbrica pueden construir, en un momento dado, una red Ad Hoc.	21
<i>Figura 2.</i> El nodo B se mueve y sale del área de cobertura de los nodos A y C. El tráfico que siguiera la ruta A-B-C deberá utilizar ahora otra ruta, como A-E-F-C.	22
<i>Figura 3.</i> Descubrimiento de la ruta. Iniciar el envío de datos del nodo S al nodo D.	26
<i>Figura 4.</i> Descubrimiento de ruta. Reserva de camino.	27
<i>Figura 5.</i> Descubrimiento de ruta. Envío de RREP e inicio de envío de datos.	28
<i>Figura 6.</i> Mantenimiento de ruta. Envío de RERR.	28
<i>Figura 7.</i> Área de simulación en OMNeT++. Inicio de simulación de 40 nodos	41
<i>Figura 8.</i> Área de simulación OMNeT++. Envío de mensaje masivo a dispositivos cercanos con 60 nodos	42
<i>Figura 9.</i> Promedio de RTT contra cantidad de nodos. 20 Nodos	49
<i>Figura 10.</i> Promedio de RTT contra cantidad de nodos. 40 Nodos	50
<i>Figura 11.</i> Promedio de RTT contra cantidad de nodos. 60 Nodos	50
<i>Figura 12.</i> Promedio de RTT contra cantidad de nodos. 80 Nodos	51
<i>Figura 13.</i> Promedio de RTT contra cantidad de nodos. 80 Nodos	52

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. <i>Parametrización de las herramientas de simulación</i>	32
Tabla 2. <i>Configuración física simulada para nodos de corto alcance</i>	41
Tabla 3. <i>Configuración física simulada para nodos de largo alcance</i>	42
Tabla 4. <i>Resultados de la simulación de 20 nodos en un área de 2.500m<sup>2</sup></i>	43
Tabla 5. <i>Resultados de la simulación de 40 nodos en un área de 2.500m<sup>2</sup></i>	44
Tabla 6. <i>Resultados de la simulación de 60 nodos en un área de 2.500m<sup>2</sup></i>	44
Tabla 7. <i>Resultados de la simulación de 80 nodos en un área de 2.500m<sup>2</sup></i>	44
Tabla 8. <i>Resultados de la simulación de 100 nodos en un área de 2.500m<sup>2</sup></i>	45
Tabla 9. <i>Resultados de la simulación de 20 nodos en un área de 3.165km<sup>2</sup></i>	45
Tabla 10. <i>Resultados de la simulación de 40 nodos en un área de 3.165km<sup>2</sup></i>	46
Tabla 11. <i>Resultados de la simulación de 60 nodos en un área de 3.165km<sup>2</sup></i>	46
Tabla 12. <i>Resultados de la simulación de 100 nodos en un área de 3.165km<sup>2</sup></i>	46
Tabla 13. <i>Resultados de la simulación de 100 nodos en un área de 3.165km<sup>2</sup></i>	47
Tabla 14. <i>Tiempo de entrega de datos requerido</i>	53

## Lista de Apéndices

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 1 para una cantidad de 20 nodos	62
Apéndice B. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 1 para una cantidad de 40 nodos	64
Apéndice C. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 1 para una cantidad de 60 nodos	68
Apéndice D. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 1 para una cantidad de 80 nodos	73
Apéndice E. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 1 para una cantidad de 100 nodos	79
Apéndice F. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 2 para una cantidad de 20 nodos	87
Apéndice G. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 2 para una cantidad de 40 nodos	89
Apéndice H. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 2 para una cantidad de 60 nodos	93
Apéndice I. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 2 para una cantidad de 80 nodos	98
Apéndice J. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 2 para una cantidad de 100 nodos	104

## Glosario

**Broadcast:** Mensaje emitido simultáneamente a múltiples receptores.

**IDE:** Integrated Development Environment (Entorno de Desarrollo Integrado).

**HDD:** Hard Disk Drive (Unidad de Disco Duro).

**OMNeT++:** Simulador multiplataforma, basado en C++.

**IEEE:** Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenierías Eléctrica y Electrónica).

**IED:** Intelligent Electronic Device (Dispositivo electrónico inteligente).

**IoT:** es un sistema de dispositivos de computación interrelacionados, máquinas mecánicas y digitales, objetos, animales o personas que tienen identificadores únicos y la capacidad de transferir datos a través de una red, sin requerir de interacciones humano a humano o humano a computadora (ICESI, 2016).

**IP:** Internet Protocol (Protocolo de internet). Dirección que se asigna a un dispositivo conectado en red.

**Microrred:** red eléctrica pequeña que puede manejar la generación, almacenamiento y de la carga dentro de su dominio. Puede permanecer conectada al sistema de energía eléctrica por razones financieras o por razones de fiabilidad, pero puede desconectarse de la zona local del Sistema de Potencia Eléctrico convencional y funcionar como una red aislada.

**Nodo:** Cada uno de los dispositivos que conforman una red ad-hoc

**RAM:** Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio).

**RTT:** Round-Trip Time (Tiempo de Ida y Vuelta). Tiempo que tarda un paquete en ir y volver del emisor al receptor.

**SSD:** Solid State Drive (Unidad de Estado Sólido).

**TTL:** Time To Live (Tiempo de Vida). Tiempo que limita la vida útil de un paquete viajando en red.

**Unicast:** Mensaje emitido a un único receptor.

## Resumen

**TÍTULO:** EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN PROTOCOLO AODV PARA LA COMUNICACIÓN DE DATOS DEL ESTADO DE UNA MICRO RED ELÉCTRICA\*

**AUTOR:** DANIEL FERNANDO LÓPEZ HERNÁNDEZ\*\*

**PALABRAS CLAVE:** AODV, OMNeT++, Inet, Ad-hoc, Redes, Smart grid.

### DESCRIPCIÓN

Las redes Ad-hoc desde sus inicios han generado gran impacto en las aplicaciones del *Internet of Things* (IoT, por sus siglas en inglés), o internet de las cosas, en las industrias, particularmente en empresas de energía eléctrica. El propósito de este proyecto es evaluar el desempeño del protocolo AODV para la comunicación en redes malladas por medio de simulaciones.

Para realizar la evaluación se proponen dos escenarios de prueba diferentes con cantidades variables de nodos ubicados de forma aleatoria en estas áreas de simulación, relacionando así estos escenarios con espacios reales situados en el Departamento de Santander.

Para la ejecución de los escenarios, se utiliza la herramienta OMNeT++ y se importa el *framework* Inet para la simulación de las características físicas de los nodos y para la implementación de los módulos de comunicación para el protocolo AODV.

Una vez recopilados los datos de la simulación, se realiza un análisis de los mismos, comparando los dos escenarios con relación a la cantidad de nodos y se muestran gráficamente los resultados obtenidos, llegando así a evidenciar un comportamiento similar entre los escenarios, lo que permite deducir que el protocolo tiene una capacidad de respuesta adaptable a la escalabilidad de la red. Finalmente, se realizó el presente informe sobre el desempeño del protocolo, proporcionando configuraciones de escenarios y un conjunto de datos resultado que permiten tomarse como precedente en futuras investigaciones.

---

\* Trabajo de grado en Modalidad de Investigación.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática. Director: Mg. Pedro Javier Trujillo Tarazona.

### Abstract

**TITLE:** AODV PROTOCOL PERFORMANCE EVALUATION FOR MICROGRID STATUS DATA COMMUNICATION\*

**AUTHOR:** DANIEL FERNANDO LÓPEZ HERNÁNDEZ\*\*

**KEYWORDS:** AODV, OMNeT++, Inet, Ad-hoc.

### DESCRIPTION

Ad-hoc networks open up a world of connection possibilities between low-power wireless devices, generating great impact on IoT applications in different industries. The researchers are constantly investigating the communication optimization of these networks to improve their performance, which is why this protocol is studied in the application of micro electric grids.

This project proposes different test scenarios with a variable amount of nodes located randomly in different areas of simulation, relating these simulated scenarios with real spaces located in the Department of Santander.

These scenarios are executed in the OMNeT ++ simulator, using the inet framework for the simulation of physical characteristics and for the implementation of the protocol

Once the data of the simulation have been compiled, an analysis of them is carried out, comparing them with similar scenarios and showing them graphically, the conclusions of the work are established and the present report on the performance of the protocol is made, providing configurations of scenarios and a set of result data that allow to be taken as a precedent in future investigations.

---

\* Undergraduate final Project, research modality.

\*\* Department of Physical-mecanical Engineering. School of System Engineering and Computer Science. Advisor: Mg. Pedro Javier Trujillo Tarazona.

## Introducción

Desde sus inicios en los años 70, las redes de datos han sido parte importante en la sociedad. La necesidad de comunicación digital global, han hecho de las redes focos de investigación tanto en la industria como en la academia. Las redes de comunicaciones dieron un paso agigantado con la llegada de las redes inalámbricas; estas redes trajeron consigo nuevas aplicaciones en la industria debido a la reducción de costos por concepto de eliminar el cableado y la facilidad para conectar dispositivos.

Las redes Ad-Hoc son redes inalámbricas descentralizadas que carecen de infraestructura, en otras palabras, se crean espontáneamente según se van conectando dispositivos. Estas redes son enrutadas por los mismos dispositivos, llamados nodos, que van creando sus tablas de rutas según se transmite información por la red.

Teniendo en cuenta esto, nace una oportunidad de establecer una comunicación inalámbrica entre los dispositivos que conforman una microrred eléctrica inteligente para optimizar su servicio; esta comunicación necesita de un protocolo de enrutamiento que sea adaptable a los entornos en que sea desplegada la red, razón que motivó a evaluar el protocolo de encaminamiento AODV (Ad-Hoc On-demand Distance Vector) (Perkins, C., Belding-Royer, E., & Force, 2003) para este caso.

Al realizar la revisión de antecedentes se pudo visualizar que el protocolo ha sido evaluado para diferentes fines y su capacidad de respuesta ha sido favorable. Esta revisión brindó una orientación sobre las métricas que se deben recolectar para el análisis final de los datos, así como la selección de la herramienta de simulación para los escenarios de prueba.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Evaluar el desempeño de un protocolo AODV para la comunicación de datos del estado de una micro red eléctrica.

### **1.2 Objetivos Específicos**

- Definir escenarios de prueba y juegos de datos para la realización de simulaciones del protocolo AODV.
  - Realización de simulaciones de acuerdo con los escenarios de prueba y juegos de datos definidos para la evaluación del protocolo AODV.
  - Evaluar el desempeño del protocolo AODV analizando los resultados obtenidos en la simulación de los escenarios propuestos.

## 2. Marco Conceptual

### 2.1 Microrredes eléctricas inteligentes

Una microrred eléctrica es un sistema de generación eléctrica bidireccional que permite la distribución de electricidad desde los proveedores hasta los consumidores, utilizando tecnología digital y favoreciendo la integración de las fuentes de generación de origen renovable, con el objetivo de ahorrar energía, reducir costes e incrementar la fiabilidad. Los elementos de los que consta una microrred inteligente son: sistemas de generación distribuida; sistemas de almacenamiento de energía; técnicas para la gestión de cargas; sistemas de monitorización y control del flujo de potencia; y técnicas y procedimientos de mantenimiento preventivo (esmartcity, 2011).

Una microrred eléctrica inteligente o *Smart Grid* incorpora, frente a las redes tradicionales, la tecnología digital necesaria para que una comunicación fluida en ambas direcciones tenga lugar entre la instalación y el usuario, es decir, es inteligente. Valiéndose de Internet, una *Smart Grid* usa herramientas informáticas y domóticas, así como la tecnología más puntera y el equipamiento más innovador, para dar una respuesta en firme a la volátil demanda de electricidad. (NOVELEC, 2017)

Otra de sus características es la bidireccionalidad. Es decir, la energía dejaría viajar en el canal único desde las grandes empresas productoras hasta los hogares, para convertir a los consumidores en productores que pueden donar sus excedentes privados a la red. De este modo, la red, que desde su origen se ha limitado a enviar energía del punto A al punto B, ahora también la trasladaría del B al A. La llamada "generación distribuida" permite que pequeñas unidades

generadoras, como puede ser la instalación solar de un particular, reviertan su excedente a la red eléctrica general. (Sánchez, 2017)

**2.1.1 Dispositivos electrónicos Inteligentes.** Los IEDs (*Intelligent Electronic Device*) reciben datos de los sensores y diversos dispositivos eléctricos, y puede informar los comandos de control, tales como interruptores que se disparan cuando se detectan voltajes, corrientes o frecuencias anómalas, cuando se suceden las variaciones por el aumento o niveles de tensión inferior para mantener el nivel deseado. Los tipos comunes de IEDs incluyen los dispositivos reguladores de carga, los reguladores de interruptores, los interruptores del banco de condensadores, los re-conectores, los reguladores de voltaje, etc.

(...) Un IED típico puede contener alrededor 5-12 funciones de la protección, 5-8 funciones de control que controlan los dispositivos separados, una función del “autoreclosed”, la función de auto-supervisión, las funciones de comunicación. (RAMA ESTUDIANTIL DEL IEEE DE LA UCSA, s/f)

## **2.2 IEEE 802.15.4**

Este estándar define las especificaciones de la capa física (PHY) y control de acceso al medio (MAC) para la conectividad inalámbrica de baja velocidad de datos con dispositivos fijos, portátiles y móviles sin batería o con requisitos de consumo de batería muy limitados. Además, el estándar proporciona modos que permiten un rango de precisión. Las PHY se definen para dispositivos que operan varias bandas sin licencia en una variedad de regiones geográficas.

El estándar brinda una conectividad inalámbrica de muy baja complejidad, muy bajo costo, muy bajo consumo de energía y baja velocidad de datos entre dispositivos de bajo costo. Además, una de las PHY alternativas proporciona una capacidad de precisión de medición de hasta un metro. Se definen múltiples PHY para admitir una variedad de bandas de frecuencia (LAN/MAN Standards Committee & of the IEEE Computer Society, 2015).

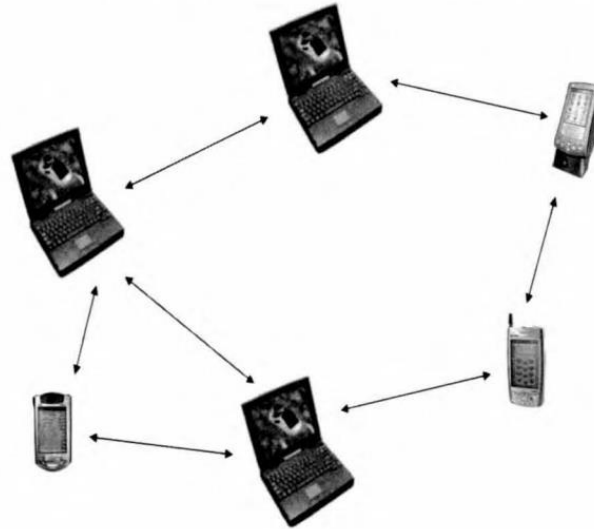
## **2.3 Red Ad-Hoc**

El término ad-hoc traduce literalmente *para esto*, con una connotación de improvisación. Es decir, una red ad-hoc es un tipo de red que se crea para un cierto propósito de forma temporal. De este modo, en un momento dado, un conjunto de dispositivos independientes puede establecer enlaces (inalámbricos) entre sí, para cooperar, auto configurarse y generar una red, que nace pese a la ausencia de una infraestructura de red previa. La Figura 1 muestra un ejemplo de este concepto (Gómez Montenegro & Paradells Aspas, 2004).

**2.3.1 Características generales de las redes Ad Hoc.** Según (Gómez Montenegro & Paradells Aspas, 2004) algunos de los aspectos más relevantes que caracterizan a las redes ad-hoc son los mostrados en los enunciados del presente capítulo.

**2.3.1.1 Nodos móviles.** Los nodos de una red ad-hoc son móviles, pese a que esto no excluye a máquinas fijas, como los ordenadores de sobremesa. De todos modos, se asume que los dispositivos que forman parte de una red ad-hoc pueden cambiar de posición libremente y se comunican entre sí mediante enlaces inalámbricos.

**2.3.1.2 Topología variable.** La topología de la red es variable, de forma que un nodo que dispone de un enlace con un nodo vecino puede desplazarse, desaparecer del área de cobertura de su vecino y formar un nuevo enlace con un tercer nodo que caiga dentro de su área de cobertura.



*Figura 1.* Distintos dispositivos con capacidad computacional e interfaz inalámbrica pueden construir, en un momento dado, una red Ad Hoc.

Fuente: (Gómez Montenegro & Paradells Aspas, 2004).

**2.3.1.3 Cambios de rutas.** La rotura de enlaces debida a la movilidad de los nodos provoca que las rutas desde un origen hacia un destino puedan variar con mucha más frecuencia que en redes como Internet. La Figura 2 ilustra con un ejemplo este hecho.

**2.3.1.4 Dispositivos con capacidad limitada.** Un dispositivo móvil debe ser portable y ligero, hecho que implica restricciones a nivel hardware y software. Por otro lado, el tiempo de vida de tales dispositivos viene condicionado por la duración de su batería, que en muchos casos se limita a unas pocas horas.

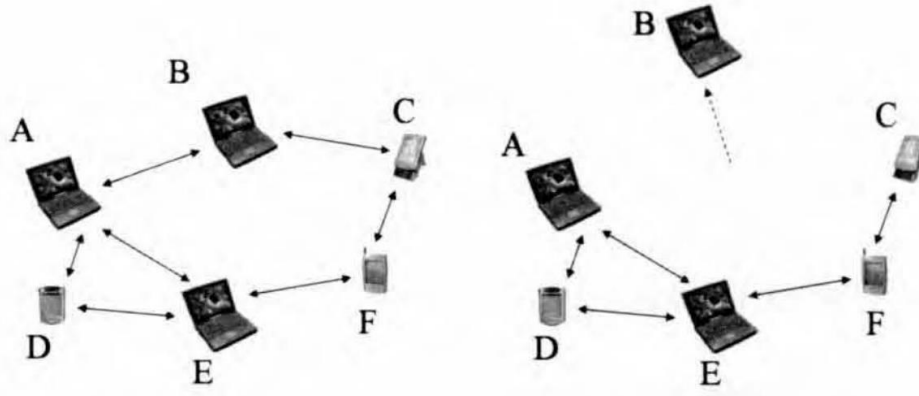


Figura 2. El nodo B se mueve y sale del área de cobertura de los nodos A y C. El tráfico que siguiera la ruta A-B-C deberá utilizar ahora otra ruta, como A-E-F-C.

Fuente: (Gómez Montenegro & Paradells Aspas, 2004).

**2.3.1.5 Limitaciones de los enlaces inalámbricos.** La comunicación se efectúa a través de enlaces inalámbricos, que se caracterizan por tener un ancho de banda reducido y ser más propensos a errores que los enlaces fijos. Motivado por la duración limitada de su batería, generalmente transmiten con poca potencia y por ello presentan un limitado alcance que va, dependiendo de las tecnologías, de unos pocos metros a la centena. Este tipo de redes compensan el limitado alcance con la colaboración. Los nodos realizan funciones de repetidor para permitir que dos nodos sin visibilidad directa entre ellos puedan llegar a comunicarse.

**2.3.1.6 Ausencia de infraestructura.** Un cambio significativo frente a los enfoques clásicos en las arquitecturas de redes tradicionales, es que en redes ad hoc no existe por defecto ningún tipo de entidad centralizada o infraestructura. No se distingue entre dispositivos terminales y enrutadores, de forma que cualquier nodo puede desempeñar ambos papeles en cualquier momento. Por otro lado, el enfoque clásico de cliente-servidor bajo el cual una gran cantidad de servicios se ejecutan habitualmente en Internet (resolución de nombres, asignación

de direcciones, configuración de puerta de enlace, servicios de seguridad, etc) no es válido en una red ad-hoc, porque ningún nodo actúa a priori como servidor. (Gómez Montenegro & Paradells Aspas, 2004)

## **2.4 AODV (Ad Hoc On-demand Distance Vector)**

El protocolo de enrutamiento Ad Hoc On-demand Distance Vector (AODV) es destinado a ser utilizado por nodos móviles en una red ad hoc. Ofrece adaptación rápida a las condiciones de enlace dinámico, bajo procesamiento y sobrecarga de memoria, baja utilización de la red y determina unidifusión rutas a destinos dentro de la red ad hoc. Usa números de secuencia de destino para garantizar la libertad de bucle en todo momento (incluso frente a una entrega anómala de mensajes de control de enrutamiento), evitar problemas (como "contar hasta el infinito") asociados con protocolos de vectores de distancia clásica. (Perkins, Belding-Royer, & Das, 2017)

Las características del protocolo:

- Señalización de control baja
- Señalización de procesamiento mínima
- Prevención de bucles
- Funciona sólo con enlaces bidireccionales

Cada nodo tiene asociada una tabla de encaminamiento que utiliza para poder establecer enlaces con otros nodos. Estas tablas de encaminamiento contienen los siguientes campos:

- Dirección IP Origen
- Tiempo de Vida
- Dirección IP Destino
- N° secuencia Destino
- Contador de saltos (*hop count*)

Aparecen los campos de las direcciones IP de la fuente y de la IP del destino para saber en todo momento de donde vienen los paquetes y hacia donde han de ir.

También aparece un campo con el número de secuencia (del destino) que sirve para distinguir entre información nueva e información antigua y de esta forma evitar formación de bucles y transmisiones de rutas antiguas.

Otro parámetro que se almacena en las tablas de encaminamiento es el tiempo de vida. Este sirve para evitar que viajen paquetes perdidos por la red y utilizar enlaces de los que no se conoce su estado desde hace mucho tiempo.

Cuando a un destino le llegan dos paquetes desde la misma fuente por caminos distintos, el campo *hop count* muestra el número de saltos que han tenido que hacer para cada una de las rutas. De esta forma se sabe cuál de ellas es la ruta más corta y la que tiene que seleccionarse para hacer el envío de información.

Cada vez que se quiere comunicar una fuente con un destino, se inicia un proceso de descubrimiento de ruta, que finaliza cuando recibe un paquete con la ruta calculada. Existe otro concepto conocido como mantenimiento de ruta, que sirve para actuar en caso de que se rompa un enlace a lo largo de una ruta. Se consigue dando tiempo a las rutas descubiertas antes de considerarlas como invalidas. (Bermúdez Garzón, 2008)

**2.4.1 Descubrimiento de rutas.** (Medina Santos, 2006) propone que cuando un nodo quiere transmitir un paquete a un destino, lo primero que debe hacer es buscar en su tabla de encaminamiento a ver si existe una ruta hacia este destino previamente calculada. En el caso de encontrarla no iniciaría ningún proceso de descubrimiento de ruta, supondría que la que tiene almacenada en su tabla de encaminamiento es correcta y está actualizada. En el caso contrario, comenzará el proceso de descubrimiento de ruta (*Route Discovery*) para encontrar un camino válido.

El proceso comienza con el envío de un paquete RREQ (*Route Request*) en modo broadcast. Este paquete llega a los nodos vecinos que se encuentran a un salto de distancia y estos a su vez lo reenvían a sus vecinos y así sucesivamente hasta llegar al destino. Cualquier nodo que durante el proceso de búsqueda conozca la ruta hacia el destino, puede contestar con un paquete de RREP al nodo origen indicando la ruta que necesita.

En el ejemplo de la figura 3, se quiere iniciar una comunicación entre el nodo S y el nodo D. Para ello el nodo S inicia un descubrimiento de ruta enviando un mensaje en modo broadcast a sus nodos vecinos. Estos nodos vecinos irán reenviando el mensaje hasta llegar al destino. Todos los nodos mientras se va realizando el proceso de búsqueda, van actualizando las tablas de encaminamiento. En el formato del paquete RREQ del protocolo de encaminamiento AODV, nos encontramos los siguientes campos:

- Dirección IP Origen
- Número de Secuencia del Origen
- Dirección IP del Destino
- Número de Secuencia del Destino
- RREQ Identificador

- Contador de saltos (*hop count*)

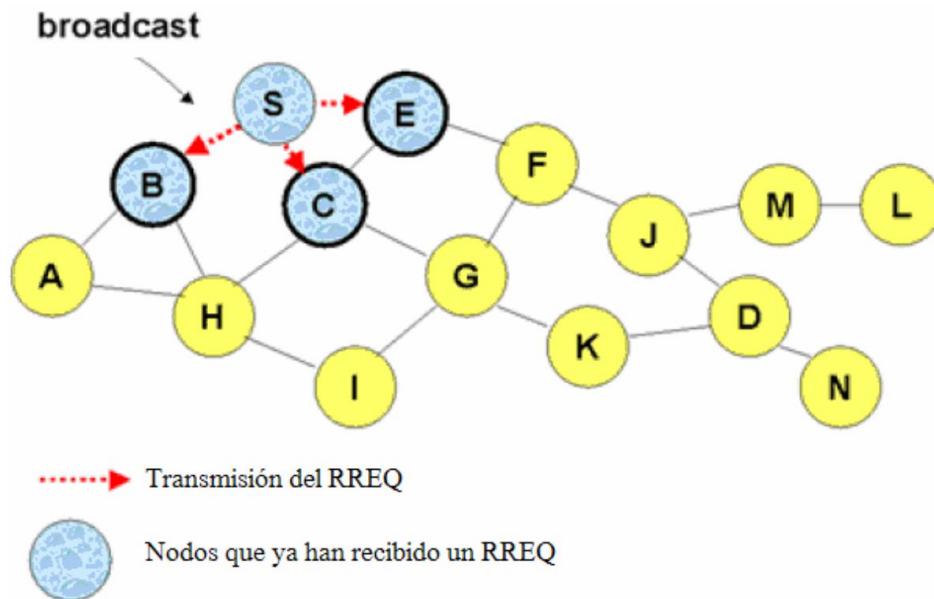


Figura 3. Descubrimiento de la ruta. Iniciar el envío de datos del nodo S al nodo D.

fuelle: (Medina Santos, 2006)

Uno de los campos es el identificador que se va modificando cada vez que se genera un envío de RREQ. Esto sirve para que los nodos que lo vayan recibiendo (nodos intermedios) sepan si el paquete es idéntico al anterior (tiene Protocolos de encaminamiento 19 el mismo identificador) y deben descartarlo o, por el contrario, si deben retransmitirlo (porque el identificador de paquetes es distinto).

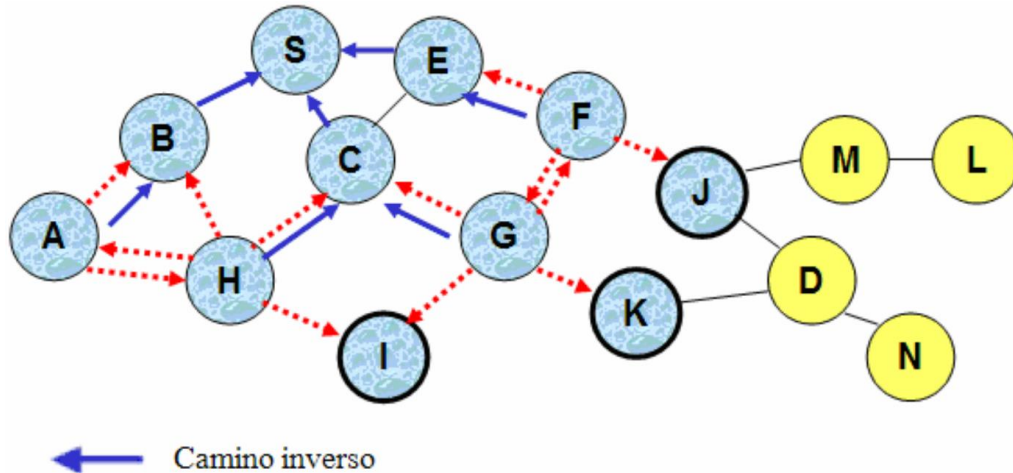


Figura 4. Descubrimiento de ruta. Reserva de camino.

Fuente: (Medina Santos, 2006).

En la figura 4 vemos como el nodo C vuelve a recibir el paquete en modo broadcast de los nodos H y G, pero detecta que el mensaje lo había recibido anteriormente y lo descarta sin reenviar nuevamente. Cuando el mensaje llega al nodo destino, este responde al RREQ enviando de forma unicast un mensaje RREP (*Route Reply*). El mensaje RREP contiene la ruta hacia el origen invirtiendo el camino del RREQ. (Medina Santos, 2006)

**2.4.2 Mantenimiento de rutas.** Según (Medina Santos, 2006), cuando una ruta es encontrada se le da un tiempo de vida y se considera útil hasta que este tiempo no expira. Esto se utiliza para no tener que iniciar un descubrimiento de ruta para cada mensaje de información que se quiere enviar.

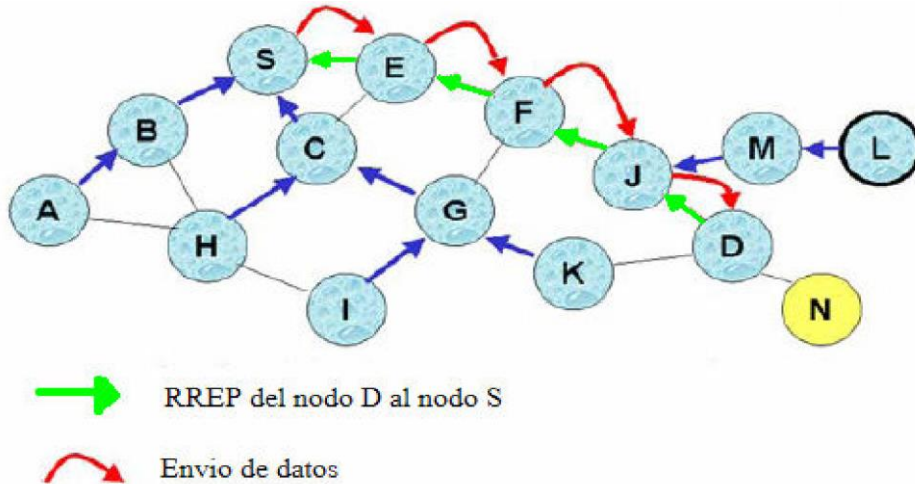


Figura 5. Descubrimiento de ruta. Envío de RREP e inicio de envío de datos.

Fuente: (Medina Santos, 2006)

Durante una comunicación entre el nodo fuente y el destino, puede ocurrir que alguno de los nodos modifique su posición. Esto puede dar lugar a que se rompa el enlace y que la ruta quede inutilizada. El nodo vecino al enlace roto debe ser el encargado de informar al resto. Para ello se utiliza el envío del mensaje RERR (*Route Error*).

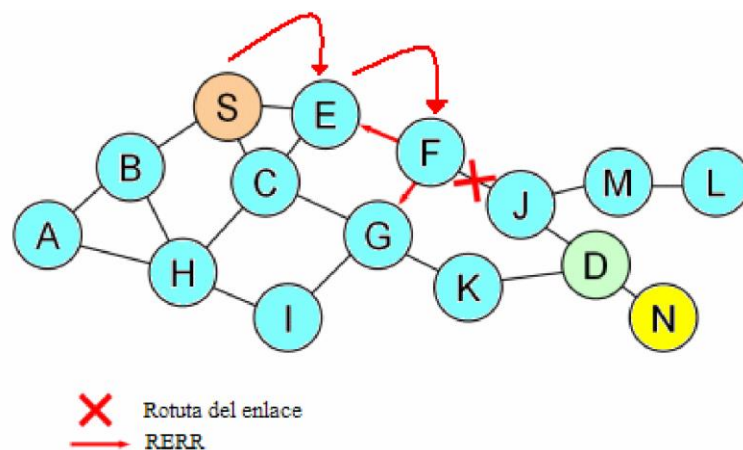


Figura 6. Mantenimiento de ruta. Envío de RERR.

Fuente: (Medina Santos, 2006)

El mensaje viene a ser igual que el mensaje RREP, pero con un número de salto (*hop count*) igual a infinito. Es decir, el nodo que detecta roto el enlace envía un RERR con valor de *hop count* hacia la fuente de valor infinito, lo que hace que cualquier otra ruta sea mejor y deban reencaminarse los paquetes por otro sitio. De esta manera, el nodo fuente decide si ha terminado la comunicación con el nodo destino o si por el contrario debe iniciar un nuevo proceso de descubrimiento de ruta.

Como vemos en la figura 6, el mensaje de RERR hace el camino invertido, de forma que recorre todos los nodos desde el F al nodo S. Así todos los nodos intermedios borran la ruta errónea, actualizando las tablas.

AODV presenta una serie de opciones de optimización, como la posibilidad de reparar a nivel local un enlace roto que forma parte de una ruta activa. (M. Carmen Domingo, 2005)

Cuando se rompe un enlace, en lugar de enviar un paquete de RERR a la fuente, el nodo que ha detectado la rotura puede intentar repararlo localmente enviando un RREQ con el número de secuencia del destino incrementado en uno hacia ese destino. Los paquetes de datos se quedan almacenados en este nodo esperando recibir un RREP con una nueva ruta disponible hacia el destino. Si este nuevo procedimiento de Descubrimiento de Ruta no tiene éxito y el RREP no llega, entonces sí que será necesario informar a la fuente acerca de la rotura del enlace enviándole un paquete RERR. (Medina Santos, 2006)

**2.4.3 Terminología de AODV.** La siguiente terminología es propuesta por (Perkins, C., Belding-Royer, E., & Force, 2003)

**2.4.3.1 Ruta Activa.** Es una ruta que va hacia un destino el cual tiene una entrada a la tabla de enrutamiento que se marca como válida. Sólo las rutas activas se pueden utilizar para reenviar paquetes de datos.

**2.4.3.2 Emisión.** La Difusión significa transmitir a la IP una dirección de emisión limitada, 255.255.255.255. Un paquete de difusión puede no ser ciegamente reenviado, pero la difusión es útil para permitir diseminación de mensajes AODV en toda la red ad hoc.

**2.4.3.3 Destino.** Una dirección IP a la cual los paquetes de datos han de ser transmitidos, igual que un "nodo de destino". Un nodo sabe que es el nodo destino para un paquete de datos típico cuando su dirección aparece en el campo correspondiente de la cabecera de la IP. Las rutas para nodos destino nodos son suministrados por la acción del protocolo AODV, el cual lleva la dirección IP del nodo de destino deseado en mensajes de descubrimiento de ruta.

**2.4.3.4 Nodo de reenvío.** Es un nodo que acepta reenviar los paquetes que están destinados para otro nodo, retransmitiéndolos a un siguiente salto que está más cerca del destino de unidifusión a lo largo de un camino que se ha establecido usando mensajes de control de enrutamiento.

**2.4.2.5 Ruta de reenvío.** Es una ruta configurada para enviar paquetes de datos desde un nodo originando una operación de descubrimiento de rutas hacia su destino deseado.

**2.4.2.6 Ruta inválida.** Es una ruta que ha expirado, denotada por un estado no válido en la entrada de la tabla de enrutamiento. Una ruta inválida se utiliza para almacenar información de ruta previamente válida durante un período prolongado de tiempo. Una ruta no válida no se puede utilizar para enviar paquetes de datos, pero esta puede proporcionar información útil para la reparación de ruta, y también para los futuros mensajes RREQ.

**2.4.2.7 Nodo de origen.** Es un nodo que inicia un mensaje de descubrimiento de ruta AODV para ser procesado y posiblemente retransmitido por otros nodos en red ad hoc. Por ejemplo, el nodo que inicia un proceso de descubrimiento de ruta y difunde el mensaje RREQ se llama el nodo de origen del mensaje RREQ.

**2.4.2.8 Ruta inversa.** Una ruta configurada para enviar un paquete de respuesta (RREP) de nuevo al originador, desde el destino o desde un nodo intermedio teniendo una ruta al destino.

**2.4.2.9 Número de secuencia.** Un número monótonamente creciente mantenido por cada nodo de origen. En los mensajes de protocolo de enrutamiento AODV, este es utilizado por otros nodos para determinar la frescura de la información contenida desde el nodo de origen.

## **2.5 Herramientas para la simulación**

**2.5.1 Selección del simulador.** Esta es una herramienta de simulación de eventos discretos. Tal como especifican Varga y Hornig (2008), la motivación para el desarrollo de OMNET fue producir una herramienta open-source poderosa que pudiera ser usada por la academia, en educación o investigación, y que fuera una alternativa a las herramientas

comerciales, para ser implementada en sistemas tipo Unix, MAC y Windows; incluso, haciendo uso de Cygwin o el compilador de Microsoft Visual C++, es posible portar la herramienta en otros sistemas con menor esfuerzo (Morales, A. Calle, Tovar V., & Cuéllar Q., 2013).

(...) Esta es una herramienta de simulación de eventos discretos. Tal como especifican Varga y Hornig (2008), la motivación para el desarrollo de OMNET fue producir una herramienta open-source poderosa que pudiera ser usada por la academia, en educación o investigación, y que fuera una alternativa a las herramientas comerciales, para ser implementada en sistemas tipo Unix, MAC y Windows; incluso, haciendo uso de Cygwin o el compilador de Microsoft Visual C++, es posible portar la herramienta en otros sistemas con menor esfuerzo. (Morales, A. Calle, Tovar V., & Cuéllar Q., 2013)

Tabla 1.

*Parametrización de las herramientas de simulación*

	OPNET	OMNeT++	NS-3	GNS3	NS-2	NC-Tuns
<b>Uso Investigativo</b>	Alto	Alto	Medio	Bajo	Alto	Alto
<b>Tipo de licencia</b>	Comercial	Libre	Libre	Libre/Comercial	Libre	Libre
<b>Cuerva de Aprendizaje</b>	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
<b>Plataformas que soporta</b>	Windows, Unix	Windows, Unix	Windows, Unix, Mac	Linux, Mac, Windows	Windows, Mac, Unix	Linux
<b>Interfaz gráfica</b>	Alto	Medio	Medo	Alto	Bajo	Alto
<b>Graficación de resultados</b>	Buena	Aceptable	Aceptable	Limitada	No tiene	Aceptable
<b>Tecnologías de nivel 2 y nivel 3 que soporta</b>	Alto	Alto	Medio	Bajo	Alto	Alto
<b>Tráfico que permite modelar</b>	Alto	Medio	Medio	Nulo	Alto	Alto

Fuente: (Morales et al., 2013)

**2.5.2 OMNeT.** El entorno de desarrollo integrado de OMNeT ++ se basa en la plataforma Eclipse y la amplía con nuevos editores, vistas, asistentes y funciones adicionales.

OMNeT ++ agrega funcionalidad para crear y configurar modelos (archivos NED e ini), realizar ejecuciones por lotes y analizar los resultados de la simulación, mientras que Eclipse proporciona edición en C ++, integración SVN / GIT y otras características opcionales (modelado UML, integración de errores, acceso a la base de datos, etc.) a través de varios complementos de código abierto y comerciales.(Andras, 2017)

El IDE<sup>1</sup> de OMNeT ++ define la perspectiva de la simulación para que esté específicamente orientada al diseño de simulaciones. La Perspectiva de simulación es simplemente un conjunto de vistas convenientemente seleccionadas, organizadas para facilitar la creación de archivos NED, INI y MSG.

Si trabaja mucho con archivos INI y NED, le recomendamos que seleccione esta perspectiva. Otras perspectivas están optimizadas para diferentes tareas como el desarrollo de C ++ o la depuración. (Varga, 2016)

**2.5.3 Editor NED.** Puede editar archivos NED de forma gráfica o en modo texto, y el usuario puede alternar entre los dos modos en cualquier momento, usando las pestañas en la parte inferior de la ventana del editor.

En modo gráfico, uno puede crear módulos compuestos, canales y otros tipos de componentes. Los sub módulos se pueden crear usando la paleta de tipos de módulos disponibles. Las propiedades visuales y no visuales se pueden modificar en la Vista de propiedades o mediante diálogos invocados desde el menú contextual. El editor ofrece muchas

---

<sup>1</sup> Integrated Development Environment, en español Entorno Integrado de Desarrollo, es un software editor de código para cualquier lenguaje de programación que consta de compilador y un depurador y goza de interfaz gráfica.

funciones como deshacer / rehacer ilimitados, clonación de objetos, movimiento y cambio de tamaño restringido, alineación de objetos y zoom.

Los sub módulos se pueden fijar (tener una posición fija), o no fijarse (diseño automático). Las características gráficas que se pueden editar son la imagen de fondo, la cuadrícula de fondo, los iconos predeterminados (a través de la herencia de cadenas de visualización), el tamaño y el color de los iconos, el rango de transmisión y muchos otros.

El modo de texto permite al usuario trabajar directamente con la fuente NED. El editor ofrece la posibilidad de realizar una concordancia contextual de las palabras clave y el tipo de módulo, los parámetros, la puerta y los nombres de los sub módulos. También se encuentran disponibles propuestas de plantillas para insertar esqueletos completos de módulos compuestos, sub módulos, diversas estructuras de conexión, etc. La documentación de los tipos de módulos a los que se hace referencia se puede ver colocando el cursor sobre el nombre del tipo de NED. La fuente NED se analiza continuamente y se valida a medida que el usuario escribe y los errores se muestran en tiempo real en el margen izquierdo. (Andras, 2017)

**2.5.4 Editor INI.** Le permite al usuario configurar modelos de simulación para su ejecución. Presenta edición basada en formularios y en fuente.

El editor considera todas las opciones de configuración admitidas y las ofrece en diferentes maneras organizadas por temas. Las descripciones y los valores predeterminados se muestran en tooltips<sup>2</sup>, que se pueden hacer persistentes para facilitar la lectura. La estructura del archivo ini (secciones y su árbol de herencia) también se visualiza y edita mediante arrastrar y soltar y diálogos. (Andras, 2017)

---

<sup>2</sup> Ventana de ayuda contextual que muestra ayuda al situar el mouse sobre algún contenido textual o multimedia.

**2.5.5 Instalación.** Los archivos de instalación se descargan directamente desde la página principal de OMNeT++<sup>3</sup>, ubicados en la sección Download. Este proyecto se realizó con la versión 5.3 para Microsoft Windows liberada el 12 de abril de 2018. Una vez descargada se debe descomprimir la carpeta que se encuentra en formato Zip (se sugiere se descomprima en el disco de instalación del sistema operativo, comúnmente Disco C: en Windows).

Dentro de la carpeta se ejecuta un archivo llamado mingwenv.cmd, que, al ejecutar, realiza algunas acciones automáticamente y posteriormente pide presionar una tecla para continuar. Para concluir la instalación se ejecutan los comandos:

```
$ ./configure
```

```
$ make
```

**2.5.6 INET Framework.** INET Framework es una librería de modelos de código abierto para el entorno de simulación OMNeT ++. Proporciona protocolos, agentes y otros modelos para investigadores y estudiantes que trabajan con redes de comunicación. INET es especialmente útil cuando se diseñan y validan nuevos protocolos, o cuando se exploran escenarios nuevos o exóticos.

INET se basa en el concepto de módulos que se comunican mediante el envío de mensajes. Los agentes y protocolos de red están representados por componentes, que se pueden combinar libremente para formar hosts, enrutadores, conmutadores y otros dispositivos de red. Los nuevos componentes pueden ser programados por el usuario, y los componentes existentes han sido escritos para que sean fáciles de entender y modificar.

---

<sup>3</sup> Página oficial: <https://www.omnetpp.org>

INET se beneficia de la infraestructura proporcionada por OMNeT ++. Más allá de hacer uso de los servicios proporcionados por el núcleo y la biblioteca de simulación de OMNeT ++ (modelo de componente, parametrización, registro de resultados, etc.), esto también significa que los modelos pueden desarrollarse, ensamblarse, parametrizarse, ejecutarse y evaluarse sus resultados desde la comodidad del IDE de Simulación OMNeT ++, o desde la línea de comando.

Algunas características:

- Capas OSI implementadas (física, capa de enlace, red, transporte, aplicación)
- Implementaciones de protocolo conectables para varias capas
- Pila de red IPv4 / IPv6 (o construya su propia capa de red)
- Protocolos de capa de transporte: TCP, UDP, SCTP
- Protocolos de enrutamiento (ad-hoc y cableados)
- Interfaces cableadas / inalámbricas (Ethernet, PPP, IEEE 802.11, etc.)
- Capa física con nivel de detalle escalable (unidad de disco de radio para modelos de propagación detallados, representación de nivel de marco a nivel de bit / símbolo, etc.)
- Amplia gama de modelos de aplicaciones
- Soporte de emulación de red
- Soporte de movilidad
- Admite el modelado del entorno físico (obstáculos para la propagación de radio, etc.)
- Separación de intereses
- Soporte de visualización (OMNeT++ Team, s/f)

**2.5.7 Equipos de cómputo.** Para el montaje del simulador se realizaron pruebas en cuatro equipos con sistema operativo Microsoft Windows y cuyas características se presentan a continuación:

#### Equipo 1

- Sistema operativo: Windows 10 - 64 bits
- Procesador: Intel® Core i5™ - 3 Generación
- Memoria RAM: 6 GB
- Memoria secundaria: HDD<sup>4</sup> de 500 GB

#### Equipo 2

- Sistema operativo: Windows 10 - 64 bits
- Procesador: Intel® Core i5™ - 7 Generación
- Memoria RAM: 8 GB
- Memoria secundaria: SSD 128 Gb + HDD 500 Gb
- Tarjeta gráfica: NVidia 920mx

#### Equipo 3

- Sistema operativo: Windows 10 – 64 bits
- Procesador: Intel® Core™ i7 – 7 Generación
- Memoria RAM: 32 GB
- Memoria secundaria: HDD de 500 GB

---

<sup>4</sup> Hard Disk Drive, en español Unidad de Disco Duro

#### Equipo 4

- Sistema operativo: Windows Server 2016
- Procesador: Intel® Xeon® CPU E5-2673 v3
- Memoria RAM: 16 GB
- Memoria secundaria: SSD de 126 GB

## 2.6 Metodología

1. Revisión literaria: Se realiza la búsqueda de información sobre los protocolos AODV, para esto accedemos a las bases de datos de la universidad. Además de esto, se hará una compilación de información y posterior selección del simulador y protocolo, basado en las características de configuración que dicta AODV.

2. Descarga, instalación y configuración del simulador: Se obtiene por medio de descarga directa desde la página web oficial. Se realiza la instalación del entorno para su posterior uso.

3. Diseño de escenarios y pruebas a realizar

4. Montaje del escenario de prueba: Se realiza el montaje de la micro red eléctrica inteligente en el simulador, con el fin de evaluar el rendimiento y estabilidad en la comunicación entre dispositivos.

5. Pruebas: Una vez interconectados los nodos en la red, se procede a enviar y recibir datos para analizar el tráfico y la estabilidad de la infraestructura simulada.

6. Análisis: Luego de la realización de las pruebas, se hace una evaluación de desempeño de la comunicación en la red con los datos obtenidos.

7. Documentación: Se documentan los procesos realizados permanentemente hasta la finalización del proyecto, los resultados obtenidos y las conclusiones del estudio.

### 3. Escenarios

Para el desarrollo de este proyecto se establecieron dos escenarios que simulan espacios reales y existentes, ubicando aleatoriamente una cantidad de nodos variable. Se realizaron pruebas con redes inalámbricas compuestas por 5 cantidades de nodos en cada escenario, 20, 40, 60, 80 y 100 nodos. En la simulación de los escenarios, cada nodo hace ping persistentemente al nodo [0], el cual hará el papel de receptor de paquetes, lo que permite recopilar métricas que dependen directamente del tráfico y del área establecida. Se recopiló datos de los nodos por un periodo de 30 minutos<sup>5</sup> de comunicación en la red para cada escenario y cada cantidad de nodos.

#### 3.1 Escenario 1

El primer escenario corresponde a una red ad-hoc compuesta por dispositivos de baja potencia y corto alcance. Simula un conjunto residencial o condominio en la ciudad de Bucaramanga, Santander. Comprende un espacio de 500m x 500m, que equivalen a un área de 250.000m<sup>2</sup>.

En la figura 7 se muestra el espacio de simulación, donde los círculos azules representan el rango de alcance de cada dispositivo. La figura muestra una evidencia de la distribución aleatoria de 40 dispositivos en el área de simulación.

---

<sup>5</sup> Los 30 minutos de simulación dependen de la cantidad de nodos, varía desde 10 minutos para 20 nodos y hasta 12 horas para 100 nodos.

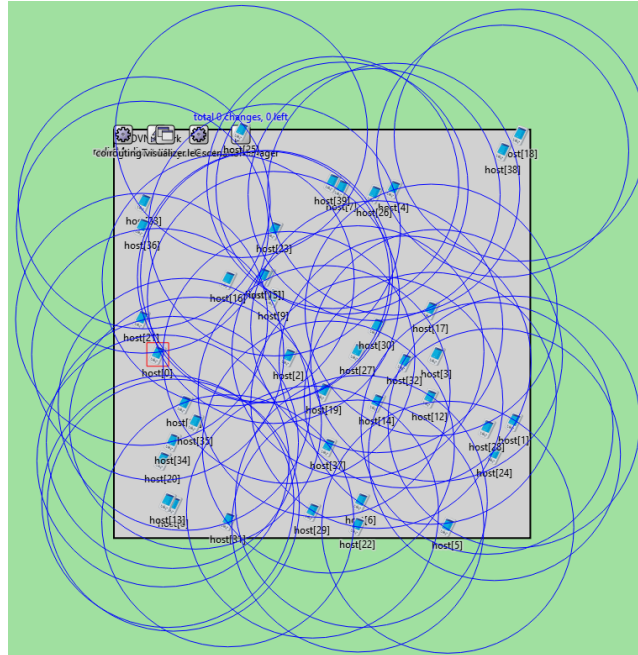


Figura 7. Área de simulación en OMNeT++. Inicio de simulación de 40 nodos

Las características de los nodos simulados para este escenario se presentan en la tabla 2.

Tabla 2.

*Configuración física simulada para nodos de corto alcance*

<b>Tasa de transferencia</b>	<b>250kbps</b>
<b>Rango de comunicación</b>	150m
<b>Tamaño máximo de cola</b>	14
<b>Tamaño del paquete</b>	50 bytes
<b>Tipo del paquete</b>	UDP

### 3.2 Escenario 2

El segundo escenario comprende una red ah hoc de baja potencia y área amplia, LPWAN (en inglés, *Low Power Wide Area Network*), simulando el municipio de Cimitarra, Santander, que

tiene una superficie de  $3.166\text{km}^2$ . Comprende un espacio de  $56.250\text{km} \times 56.250\text{km}$ , alcanzando aproximadamente un área  $3.164\text{km}^2$ .

La figura 8 muestra la ubicación de 60 nodos en el área y el nodo 0 inicia la comunicación con los nodos conectados directamente.

Tabla 3.

*Configuración física simulada para nodos de largo alcance*

Tasa de transferencia	50kbps
Rango de comunicación	10 km
Tamaño máximo de cola	14
Tamaño del paquete	50 bytes
Tipo del paquete	UDP

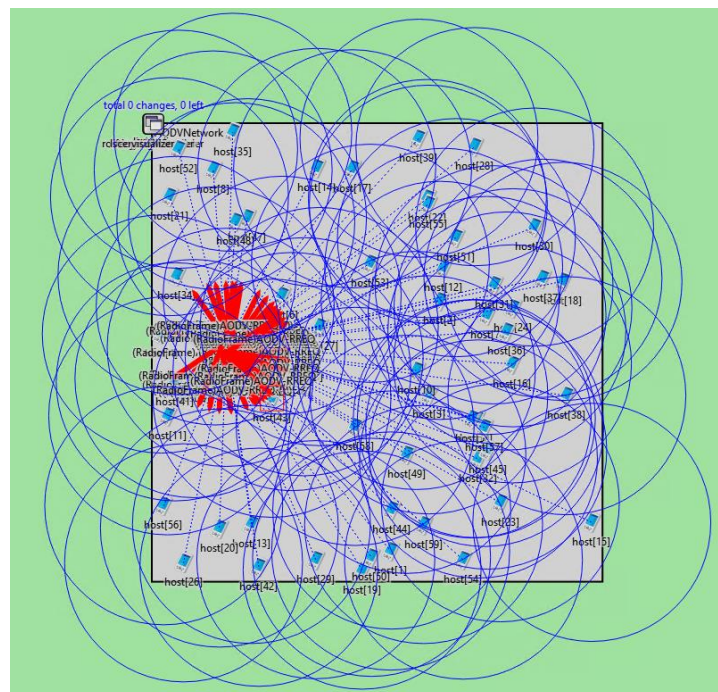


Figura 8. Área de simulación OMNeT++. Envío de mensaje masivo a dispositivos cercanos con 60 nodos

## 4. Resultados

Una vez finalizada cada simulación, la herramienta imprime en la consola los resultados del tiempo promedio de ida y vuelta (*Round-trip time* o RTT por sus siglas) y la tasa de pérdidas de paquetes; estos se presentan en tablas que muestran los promedios del tiempo de comunicación de los nodos y de las tasas de pérdidas de paquetes para cada escenario según aumenta el tráfico en la red. Las tablas con la totalidad de resultados se adjuntan en los apéndices.

### 4.1 Escenario 1

Este escenario corresponde al área de  $2.500m^2$ , con 20, 40, 60, 80 y 100 nodos. Para las 5 diferentes cantidades de nodos simuladas en cada escenario, se hicieron pruebas variando la cantidad de nodos que generan tráfico en la red, siempre siendo 5 cantidades proporcionales al total de nodos para cada caso en los 2 escenarios, siendo: uno, un cuarto, un medio, tres cuartos y la totalidad de los nodos comunicando.

#### 4.1.1 20 Nodos

Tabla 4.

*Resultados de la simulación de 20 nodos en un área de  $2.500m^2$*

Cantidad de Nodos Comunicando	1	5	10	15	20
Tiempo promedio [ms]	21.00	693.57	1436.99	1597.19	1644.54
Tasa de pérdidas de paquetes	0%	35.95%	65.75%	77.97%	80.21%

### 4.1.2 40 Nodos

Tabla 5.

*Resultados de la simulación de 40 nodos en un área de 2.500m<sup>2</sup>*

Cantidad de Nodos Comunicando	1	10	20	30	40
Tiempo promedio [ms]	31.34	1624.98	1523.10	1606.64	1907.30
Tasa de pérdidas de paquetes	0.06%	79.29%	83.29%	88.13%	89.28%

### 4.1.3 60 Nodos

Tabla 6.

*Resultados de la simulación de 60 nodos en un área de 2.500m<sup>2</sup>*

Cantidad de Nodos Comunicando	1	15	30	45	60
Tiempo promedio [ms]	32.35	1043.06	1422.12	1525.02	1897.68
Tasa de pérdidas de paquetes	0.17	83.26	89.36	89.96	92.86

### 4.1.4 80 Nodos

Tabla 7.

*Resultados de la simulación de 80 nodos en un área de 2.500m<sup>2</sup>*

Cantidad de Nodos Comunicando	1	20	40	60	80
Tiempo promedio [ms]	33.73	889.71	1191.44	1949.61	1875.69
Tasa de pérdidas de paquetes	0.06	87.94	92.19	92.18	93.45

### 4.1.5 100 Nodos

Tabla 8.

*Resultados de la simulación de 100 nodos en un área de 2.500m<sup>2</sup>*

Cantidad de Nodos Comunicando	1	25	50	75	100
Tiempo promedio [ms]	25.25	881.16	1189.29	1615.28	1967.36
Tasa de pérdidas de paquetes	0.00	92.20	96.20	95.53	95.19

## 4.2 Escenario 2

Este escenario corresponde al área de 3.164km<sup>2</sup>, con 20, 40, 60, 80 y 100 nodos. Los resultados se presentan en tablas que muestra los promedios del tiempo de comunicación de los nodos y de las tasas de pérdidas de paquetes por cada nodo según aumenta el tráfico en la red.

### 4.2.1 20 Nodos

Tabla 9.

*Resultados de la simulación de 20 nodos en un área de 3.165km<sup>2</sup>*

Cantidad de Nodos Comunicando	1	5	10	15	20
Tiempo promedio [ms]	21.24	302.31	773.81	835.68	1424.17
Tasa de pérdidas de paquetes	0.00%	10.50%	44.37%	53.80%	59.32%

### 4.2.2 40 Nodos

Tabla 10.

*Resultados de la simulación de 40 nodos en un área de 3.165km<sup>2</sup>*

Cantidad de Nodos Comunicando	1	10	20	30	40
Tiempo promedio [ms]	15.78	1066.12	1583.64	1828.65	1949.59
Tasa de pérdidas de paquetes	0.00%	52.79%	84.91%	87.40%	88.37%

### 4.2.3 60 Nodos

Tabla 11.

*Resultados de la simulación de 60 nodos en un área de 3.165km<sup>2</sup>*

Cantidad de Nodos Comunicando	1	15	30	45	60
Tiempo promedio [ms]	27.23	621.54	1547.56	1525.02	1872.31
Tasa de pérdidas de paquetes	0.00%	72.66%	87.09%	89.96%	91.40%

### 4.2.4 80 Nodos

Tabla 12.

*Resultados de la simulación de 100 nodos en un área de 3.165km<sup>2</sup>*

Cantidad de Nodos Comunicando	1	20	40	60	80
Tiempo promedio [ms]	13.54	1100.03	1763.61	1826.53	1996.46
Tasa de pérdidas de paquetes	0.00	87.52	92.02	93.64	92.50

### 4.2.5 100 Nodos

Tabla 13.

*Resultados de la simulación de 100 nodos en un área de 3.165km<sup>2</sup>*

<b>Cantidad de Nodos Comunicando</b>	<b>1</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>100</b>
<b>Tiempo promedio [ms]</b>	30.11	740.51	1823.52	1928.40	2023.31
<b>Tasa de pérdidas de paquetes</b>	0.00%	89.16%	96.90%	94.41%	95.35%

## **5. Análisis de Resultados**

La evaluación del protocolo AODV se realizó en dos escenarios cuyas diferencias son el área de trabajo y las características físicas de los nodos, manteniendo 5 cantidades diferentes (20, 40, 60, 80 y 100) para los dos casos. Con estos parámetros se pudo realizar una comparación de la escalabilidad y congestión de la red entre los escenarios con igual cantidad de nodos y posteriormente se realiza una comparación de los datos, con métricas establecidas en investigaciones previas.

### **5.1 20 Nodos**

Se puede observar que el tiempo de ida y vuelta de los paquetes aumenta en mayor proporción en el escenario uno; esto puede deberse a la corta distancia entre nodos en relación al escenario de área amplia (escenario dos) lo que genera congestión en la comunicación llegando así a retrasar el envío de los paquetes. También se debe indicar que la tasa de pérdidas de paquetes en el escenario más pequeño es aproximadamente un 21% más alta.

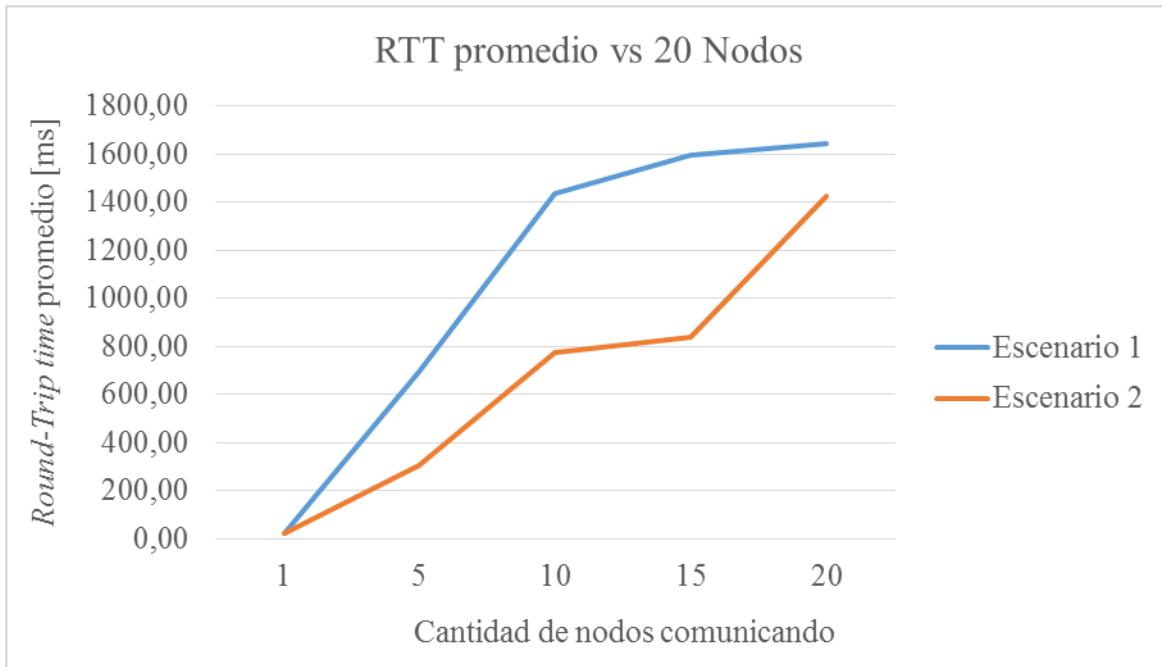


Figura 9. Promedio de RTT contra cantidad de nodos. 20 Nodos

Se puede observar que el tiempo de ida y vuelta de los paquetes aumenta en mayor proporción en el escenario uno; esto puede deberse a la corta distancia entre nodos en relación al escenario de área amplia (escenario dos) lo que genera congestión en la comunicación llegando así a retrasar el envío de los paquetes. También se debe indicar que la tasa de pérdidas de paquetes en el escenario más pequeño es aproximadamente un 21% más alta.

## 5.2 40 Nodos

La figura 10 muestra una evidente similitud en la curva de crecimiento del tiempo de ida y vuelta de los paquetes en los 2 escenarios. Asimismo, se presenta una semejanza en la tasa de pérdidas de paquetes, siendo sólo 0.92% más alta en el escenario de menor área.

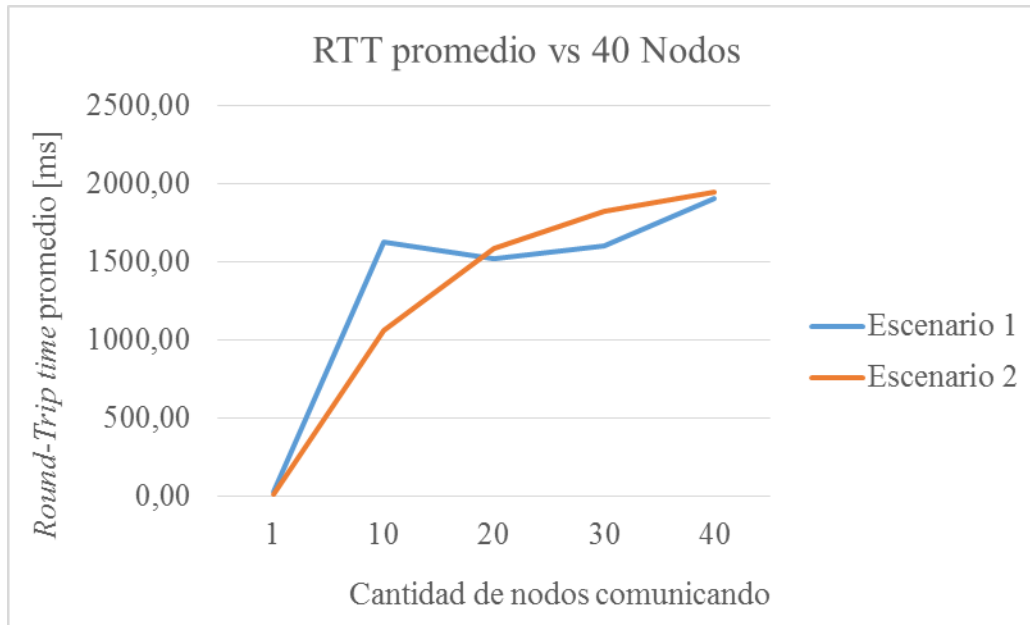


Figura 10. Promedio de RTT contra cantidad de nodos. 40 Nodos

### 5.3 60 Nodos

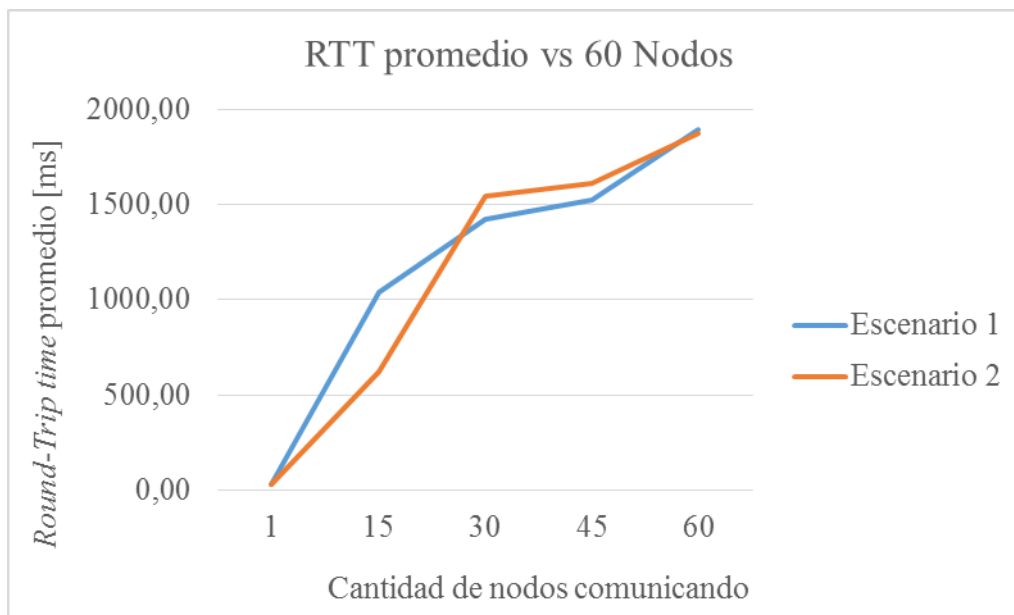


Figura 11. Promedio de RTT contra cantidad de nodos. 60 Nodos

Para el caso de 60 nodos en los escenarios, se evidencia el crecimiento proporcional en ambos casos, que como se vio anteriormente, es el comportamiento esperado, aunque más pronunciado. La pérdida de paquetes es aproximadamente 1.5% más alta en el escenario más pequeño.

#### 5.4 80 Nodos

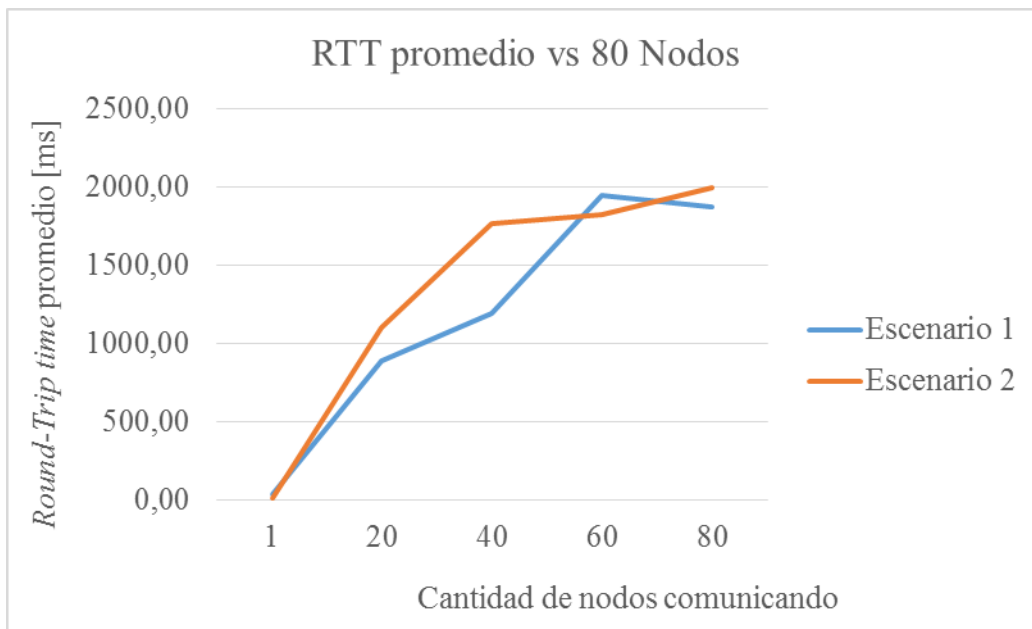


Figura 12. Promedio de RTT contra cantidad de nodos. 80 Nodos

La figura 12 muestra el crecimiento esperado con una variación respecto de los anteriores casos; el crecimiento es semejante, pero en el escenario grande se presenta un aumento más elevado.

Aunque el tiempo de comunicación aumente considerablemente en el escenario dos, la tasa de pérdidas de datos es aproximadamente 1% más baja en la simulación de mayor congestión.

### 5.5 100 Nodos

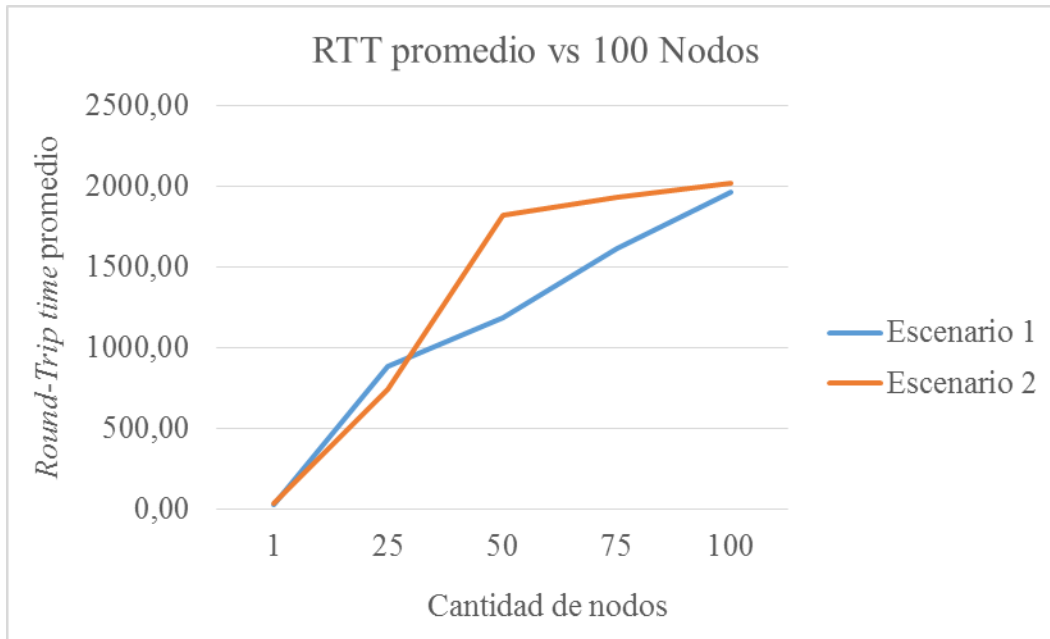


Figura 13. Promedio de RTT contra cantidad de nodos. 80 Nodos

La figura 13 presenta una tendencia de crecimiento en el escenario uno, mientras en el escenario dos, entre 25 y 50 nodos, se muestra un crecimiento más pronunciado y después de los 50 se estabiliza. Tienden a tener un comportamiento equivalente en tiempos, así como en tasa de pérdidas promedio, siendo mayor el escenario dos por tan solo 0.15%.

### 5.6 Tiempos y Tasas de pérdida en la simulación

Los tiempos y tasas de pérdida en todos los casos tienden a aumentar proporcionalmente y las diferencias no son tan significativas, por tanto, se puede deducir que el protocolo tiene un rendimiento adaptativo al tamaño de la red ad-hoc. Sin embargo, las altas tasas de pérdidas de

paquetes en casos de congestión también pueden dar mala referencia a su aplicación. Aunque no es habitual que se produzca tal congestión en el sistema, al ser una condición posible se debe tener presente para la toma de decisiones en el estudio de su implementación.

## 5.7 Métricas estandarizadas

La IEEE Power Energy Society publica “1646 *IEEE Standard Communication Delivery Time Performance Requirements for Electric Power Substation Automation*” (en español, estándar de IEEE 1636 Requisitos de rendimiento del tiempo de entrega de la comunicación para la automatización de la subestación de energía eléctrica). Este estándar en el capítulo 4.1 “Tiempo de suministro de datos típicos entre dispositivos electrónicos inteligentes”, expone:

“Ocho tipos de información se usan para describir los requisitos típicos de tiempo de entrega. La Tabla 14 describe el tiempo máximo de entrega de mensaje requerido para tipos seleccionados de información que debe intercambiarse entre las aplicaciones dentro de la subestación, y con aplicaciones externas a la subestación” (Substation Committee of the & Society Power Engineering, 2004).

Tabla 14.

### *Tiempo de entrega de datos requerido*

Tiempos de información	Interna a la subestación	Externa a la subestación
Información de protección, de alta velocidad	1/4 ciclo	8-12 ms
Información de Control y Supervisión, Velocidad media	16 ms	1 s
Información de operaciones y mantenimiento, baja velocidad	1 s	10 s
Cadenas de texto	2 s	10 s

Continuación Tabla 14

Tiempos de información	Interna a la subestación	Externa a la subestación
Archivos de datos procesados	10 s	30 s
Archivos de programa	60 s	10 min
Archivos de imagen	10 s	60 s
Transmisión de audio y video	1 s	1 s

Fuente: (Substation Committee of the & Society Power Engineering, 2004)

Las funciones de difusión de datos en tiempo real requieren que cada IED de subestación ensamble, procese y entregue mensajes de datos periódicos y controlados por eventos a otros IED locales y externos. Cada transferencia de este tipo contiene típicamente de 20 a 100 bytes de datos, más la sobrecarga de comunicación asociada. (Substation Committee of the & Society Power Engineering, 2004)

Este estándar propone una medida para comparar y evaluar la aplicación del protocolo AODV en la comunicación de dispositivos. Se comprobó experimentalmente en un entorno simulado que el desempeño del protocolo AODV para comunicación de datos en una Microrred Eléctrica inteligente es estable, pero tiende a causar pérdidas de paquetes considerables en una red congestionada.

Según las métricas presentadas por la IEEE en el estándar 1646, el protocolo AODV al ser implementado en una Microrred eléctrica inteligente, no tiene el desempeño suficiente para transmitir:

- Información de protección externa a una subestación
- Información de control y supervisión interna a la subestación

Debido a que supera en gran medida los tiempos que el estándar propone, pero sí está en la capacidad de transmitir tanto dentro como fuera de la subestación:

- Información de operaciones y mantenimiento
- Cadenas de texto
- Archivos de datos procesados
- Archivos de programa
- Archivos de imagen
- Transmisión de audio y video

### **5.8 Análisis en la industria de servicios públicos**

(Kuzlu, Pipattanasomporn, & Rahman, 2014) Realizaron una recopilación de datos basándose en una gran variedad de casos de uso y estándares, generando un documento guía para el diseño de redes inteligentes. En este documento proponen un requisito de desempeño en tiempo de transmisión y carga que deben cumplir los Dispositivos electrónicos Inteligentes, implementados para el recaudo de información del consumo de servicios públicos.

El documento establece, “La lectura del medidor bajo demanda permite tomar lecturas cuando sea necesario, por ejemplo, cuando una empresa de servicios públicos necesita responder las consultas de los clientes sobre su uso o para completar la información faltante. Una carga útil típica es de 100 bytes para una transmisión de datos de un medidor a una utilidad con un requisito de latencia de menos de 15 s.”.

Basado en el documento, se puede verificar que el protocolo AODV presenta un desempeño suficiente para ser implementado en la industria de los servicios públicos por medio

redes ad-hoc, dado que presentan tiempos de comunicación inferiores a 3 segundos en casos de alta congestión; esto representa una buena alternativa para los proveedores de servicios públicos para el control y verificación de consumo, con lo que pueden asegurar datos en tiempo real.

## 6. Conclusiones

Dado que el protocolo AODV permite interconectar dispositivos inteligentes de una microrred eléctrica de manera óptima y según los resultados obtenidos en las ejecuciones de los dos escenarios simulados, se evidencia que abarcar grandes áreas no afecta drásticamente su desempeño en la comunicación.

El incremento en la tasa de pérdidas de paquetes según aumenta el número de nodos que transmiten, puede deberse a que el tamaño máximo de cola simulado es de 14 paquetes, esto conlleva a que mueran en el camino esperando ser recibidos por el destinatario.

Se comprobó experimentalmente que el tiempo de ida y vuelta (RTT) de los paquetes no se ve afectado significativamente por la distancia entre el emisor y el receptor.

Basándose en la información de las métricas presentadas por el estándar 1646, el protocolo AODV, en promedio, presenta tiempos de respuesta válidos para la mayoría de los casos, lo cual permite concluir que este es una alternativa factible para su implementación en una Microrred eléctrica inteligente.

### Referencias Bibliográficas

- Andras, V. (2017). A Quick Overview Of The OMNeT ++ IDE. *Omnet++*. Recuperado a partir de <https://www.omnetpp.org/doc/omnetpp/IDE-Overview.pdf>
- Bermúdez Garzón, D. F. (2008). EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE RUTA EN REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES. Recuperado a partir de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13180/EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE RUTA EN REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13180/EVALUACIÓN_Y_OPTIMIZACIÓN_DE_CRITERIOS_PARA_LA_SELECCIÓN_DE_RUTA_EN_REDES_INALÁMBRICAS_DE_SENSORES.pdf?sequence=1)
- esmartcity. (2011). Micro Redes eléctricas Inteligentes • ESMARTCITY. Recuperado el 20 de mayo de 2018, a partir de <https://www.esmartcity.es/2011/03/08/micro-redes-electricas-inteligentes>
- Gómez Montenegro, C., & Paradells Aspas, J. (2004). Redes ad-hoc: el próximo reto. *Buran*, (21), 30–37. Recuperado a partir de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/9919/Article006.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ICESI, U. (2016). Internet de las Cosas. Recuperado el 20 de mayo de 2018, a partir de <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Internet-de-las-cosas-IoT>
- Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., & Rahman, S. (2014). Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN. *Computer Networks*, 67, 74–88. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2014.03.029>
- LAN/MAN Standards Committee, & of the IEEE Computer Society. (2015). *IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks*. <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2016.7460875>

- M. Carmen Domingo. (2005). *Diferenciación de servicios y mejora de la supervivencia en redes ad hoc conectadas a redes fijas*. Universidad de las Islas Baleares.
- Medina Santos, A. (2006). *Comparativa de los protocolos AODV y OLSR con un emulador de redes Ad-Hoc*. Universitat Politècnica de catalunya. Recuperado a partir de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3556/53839-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Morales, M., A. Calle, M., Tovar V., J. D., & Cuéllar Q., J. C. (2013). *Simulando con OMNET, Selección de la herrameinta y utilización*. Cali: Universidad Icesi. Recuperado a partir de [http://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/68445/1/simulando\\_omnet\\_herramientas.pdf](http://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/68445/1/simulando_omnet_herramientas.pdf)
- NOVELEC. (2017). ¿Qué es y cómo funciona una Smart Grid? - Novelec. Recuperado el 4 de mayo de 2018, a partir de <https://blog.gruponovelec.com/electricidad/como-funciona-smart-grid/>
- OMNeT++ Team. (s/f). INET Framework - What Is INET Framework? Recuperado el 14 de mayo de 2018, a partir de <https://inet.omnetpp.org/Introduction.html>
- Perkins, C., Belding-Royer, E., & Force, S. D. (2003). RFC 3561 Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing.
- Perkins, C. E., Belding-Royer, E. M., & Das, S. R. (2017). Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing. *Jurnal Ekonomi Malaysia*, 51(2), 39–54. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- RAMA ESTUDIANTIL DEL IEEE DE LA UCSA. (s/f). Dispositivo electrónico inteligente (IED). Recuperado el 19 de mayo de 2018, a partir de <https://ramaucsa.wordpress.com/2010/12/24/dispositivo-electronico-inteligente-ied/>

- Sánchez, J. C. (2017). Redes eléctricas inteligentes: un cerebro detrás del interruptor. Recuperado el 19 de mayo de 2018, a partir de <https://www.technologyreview.es/s/8356/redes-electricas-inteligentes-un-cerebro-detras-del-interruptor>
- Substation Committee of the, & Society Power Engineering. (2004). *IEEE Standards 1646 IEEE Standard Communication Delivery Time Performance Requirements for Electric Power Substation Automation*. October (Vol. 2003). <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2001.93363>
- Varga, A. O. L. (2016). OMNeT++ User guide. Recuperado a partir de <https://omnetpp.org/doc/omnetpp/IDE-Overview.pdf>
- Varga, A., & Hornig, R. (2008). The Omnet++ discrete event simulation system. En Simutools '08, Proceedings of the 1st international conference on Simulation tools and techniques for communications, networks and systems & workshops (art. 60). Bruselas, Bélgica: ICST.
- International Electrotechnical Commission (IEC), "IEC TR 62351-12 Edition 1.0 2016-04 Power systems management and associated information exchange – Data and communications security – Part 12: Resilience and security recommendations for power systems with distributed energy resources (DER) cyber-physical," Geneva, Switzerland, 2016.

## **Apéndice**

### Apéndice A. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 1 para una cantidad de 20 nodos

Los datos que se muestran en las siguientes tablas, son el resultado de la organización de datos obtenidos por el simulador, al realizar ejecuciones en el escenario uno con 20 nodos y una cantidad variable de nodos transmitiendo.

#### Escenario 1. 20 Nodos. Tiempo de ida y vuelta

Cantidad Nodos	1	5	10	15	20
<b>Tiempo promedio [ms]</b>	<b>21.00</b>	<b>693.57</b>	<b>1436.99</b>	<b>1597.19</b>	<b>1644.54</b>
<b>Resultados</b>	20.9967	1714.13	3057.19	2280.43	3706.35
		354.275	1115.35	2192.55	751.563
		500.313	2008.88	984.265	1625.21
		245.472	2188.51	1078.93	2074.15
		653.659	503.519	1757.56	1214.83
			1346.48	1355.43	2257.63
			543.579	1839.03	1708.95
			1204.22	580.998	686.656
			965.196	1639.84	1764.65
				719.285	1028.19
				2615.49	687.892
				2640.08	1741.27
				2173.78	2487.76
				503.041	2567.08
					1417.15
					1782.39
					1698.75
					401.337

## Escenario 1. 20 Nodos. Tasa de pérdidas de paquetes

Cantidad Nodos	1	5	10	15	20
<b>Tasa promedio de pérdida de paquetes</b>	<b>0</b>	<b>62.9382</b>	<b>76.3495</b>	<b>97.3289</b>	<b>86.5331</b>
<b>Resultados</b>		24.8886	52.8953	85.6427	97.7741
		25.2087	66.6667	96.1024	56.9042
		12.4027	93.9343	96.1046	96.6055
		54.3265	24.9166	94.7661	95.3229
			49.3044	96.1603	98.3306
			64.683	96.7706	95.3786
			51.2792	28.8098	27.7531
			100	66.2771	96.9393
			77.475	45.3838	97.2176
				74.3048	62.2914
				86.5406	57.9533
				100	73.4149
				75.8621	96.9933
				29.4772	100
					65.4232
					91.7686
					90.4894
					36.8187

## Apéndice B. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 1 para una cantidad de 40 nodos

Los datos que se muestran en las siguientes tablas, son el resultado de la organización de datos obtenidos por el simulador, al realizar ejecuciones en el escenario uno con 40 nodos y una cantidad variable de nodos transmitiendo.

### Escenario 1. 40 Nodos. Tiempo de ida y vuelta

Cantidad Nodos	1	10	20	30	40
<b>Tiempo promedio [ms]</b>	<b>31.34</b>	<b>1624.98</b>	<b>1523.10</b>	<b>1606.64</b>	<b>1907.30</b>
<b>Resultados</b>	31.3416	1757.67	1287.72	2945.74	1758.92
		1150.86	1557.62	2120.37	1725.67
		2106.69	1197.88	1943.6	2525.03
		280.797	1572.99	2714.38	2652.1
		2611.74	2189.07	2835.17	2029.73
		2290.07	582.157	1692.15	2545.61
		1759.84	1331.82	1925.75	1198.53
		1574.23	2791.13	1186.27	1882.42
		1092.9	405.033	1886.2	335.283
			1819.6	148.797	1988.36
			2832.25	1287.66	2905.89
			1757.55	1493.01	1775.49
			2364.49	1018.51	2386.88
			2316.82	1467.29	1321.37
			1952.85	2048.74	535.958
			337.251	881.358	2881.53
			720.92	1845.98	2993.93
			93.9046	3006.16	2390.21
			1285.51	176.481	747.68
			2065.4	1581.48	439.888

<b>Cantidad Nodos</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>
				1966.27	2421.71
				2595.23	2385.33
				2076.67	2465.33
				1508.48	3425.85
				2277.06	2747.68
				797.15	2317.48
				543.948	1285.93
				507.306	2230.64
				792.711	1995.39
				929.168	1181.91
					1473.92
					1781.99
					639.52
					829.575
					1775.31
					1652.85
					2688.22
					2158.27

## Escenario 1. 40 Nodos. Tasa de pérdida de paquetes

Cantidad Nodos	1	10	20	30	40
<b>Tasa promedio de pérdida de paquetes</b>	<b>0.06</b>	<b>79.29</b>	<b>83.29</b>	<b>88.13</b>	<b>89.28</b>
<b>Resultados</b>	0.0556483	88.7528	95.1613	95.882	95.6594
		94.5434	96.1624	73.0662	97.5501
		70.0945	66.0734	96.5479	98.3862
		25.2784	96.7706	97.2732	98.7194
		77.3385	69.9833	97.7171	99.2766
		75.3898	35.9131	94.936	98.4967
		92.0511	92.881	96.6592	95.9956
		95.1559	95.6618	66.4627	94.8804
		95.0445	50.9465	93.7117	59.0428
			94.1046	51.1964	95.3281
			86.9783	94.3826	95.0501
			95.0501	96.663	95.8287
			85.1893	98.109	96.9933
			69.8775	97.7728	97.1651
			93.0517	96.0534	60.1893
			99.3322	42.2049	97.8865
			98.832	97.1079	98.7764
			54.6771	96.941	96.8854
			93.4855	55.2895	50.6682
			95.6643	96.4961	40.7572
				97.2732	97.8297
				98.5539	94.4939
				93.0958	98.7201
				94.9889	97.6641
				95.3863	92.4276
				96.6055	98.441
				95.3838	98.9439
				44.8775	96.0512
				95.6013	95.2196
				97.5542	98.108

Cantidad Nodos	1	10	20	30	40
					97.4986
					96.4405
					40.9243
					51.2249
					79.3987
					98.8883
					99.2205
					97.7728

### Apéndice C. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 1 para una cantidad de 60 nodos

Los datos que se muestran en las siguientes tablas, son el resultado de la organización de datos obtenidos por el simulador, al realizar ejecuciones en el escenario uno con 60 nodos y una cantidad variable de nodos transmitiendo.

#### Escenario 1. 60 Nodos. Tiempo de ida y vuelta

Cantidad Nodos	1	15	30	45	60
<b>Tiempo promedio [ms]</b>	<b>32.35</b>	<b>1043.06</b>	<b>1422.12</b>	<b>1525.02</b>	<b>1897.68</b>
<b>Resultados</b>	32.3538	32.3538	1465.68	1737.76	1071.45
		736.521	491.38	2412.38	2108
		263.448	1019.39	229.766	2795.79
		1875.15	1864.04	2553.89	2456.54
		97.7209	1078.17	304.345	1233.32
		1665.34	428.47	3390.82	2480.34
		1576.18	895.92	277.852	2027.71
		1201.1	1715.28	2514.58	1940.7
		1781.53	2058.7	1748.24	90.2713
		1279.51	1826.5	848.653	3221.16
		1551.2	326.759	2917.79	427.368
		26.8691	945.04	611.456	2044.97
		1489.73	1693.52	674.248	1846.16
		1146.26	385.855	1301.76	220.243
		922.936	701.807	1416.13	404.312
			1467.43	650.353	2793.16
			1789.03	2579.81	2170.37
			2461.15	1631.31	1295.1
			1584.93	890.956	2981.59
			1483.94	358.175	2016.27

Cantidad Nodos	1	15	30	45	60
			1930.73	384.672	2356.73
			222.46	2308.5	2363.28
			2420.22	2731.99	2231.89
			1570.91	1557.44	2452.51
			3498.05	2359.94	1956.38
			1538.28	1643.34	1074.42
			1705.29	1682.59	2830.4
			2363.97	1660.12	2542.36
			102.131	606.947	2006.17
			1628.58	1547.32	352.022
				282.698	2642.78
				474.285	2581.15
				3211.01	2008.47
				1815.34	1901.02
				1409.66	2386.97
				2317.77	717.551
				2487.42	3434.81
				572.139	2107.06
				3454.42	1394.49
				880.7	1838.72
				2023.32	2165.77
				2280.46	2668.32
				306.607	662.816
				1245.43	580.471
				331.363	2278.16
					1655.11
					1629.14
					1269.2
					730.625
					473.686
					2077.1
					762.588
					1837.41

<b>Cantidad Nodos</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>
					2404.14
					2600.02
					2731.76
					2621.71
					3322.47
					2688.9

## Escenario 1. 60 Nodos. Tasa de pérdidas de paquetes

Cantidad Nodos	1	15	30	45	60
<b>Tasa promedio de pérdida de paquetes</b>	<b>0.17</b>	<b>83.26</b>	<b>89.36</b>	<b>89.96</b>	<b>92.86</b>
<b>Resultados</b>	0.166945	96.1581	99.2766	94.0423	98.887
		96.828	92.0979	98.7764	98.4975
		96.882	97.4944	63.4797	98.0512
		92.2649	98.108	98.5539	99.6105
		36.5406	96.9933	65.2948	99.4989
		76.8076	98.5531	97.4388	99.7218
		95.4343	97.9399	71.8976	97.9399
		61.0462	97.3304	97.1604	99.0545
		98.0534	96.1046	98.8864	99.7774
		82.6281	97.941	59.9666	97.9967
		95.3281	59.7887	96.6611	67.2414
		44.9694	96.2736	99.2766	98.6096
		84.1871	93.5484	99.3318	97.6085
		94.4878	50.6125	98.6096	66.6481
		97.2176	53.5297	95.3255	64.7582
			91.5924	75.7643	98.8307
			97.1079	98.7771	98.109
			98.3315	96.663	99.6663
			94.8775	97.9955	98.6652
			75.7508	64.588	96.6036
			83.5838	68.9655	99.0535
			98.3315	97.8854	99.5548
			96.3252	97.8854	84.2603
			94.8218	98.4967	94.3795
			93.8855	98.0534	98.6652
			94.3239	98.7194	99.9443
			98.2202	98.3306	99.0535
			96.7149	98.0523	97.3319
			42.3719	63.7375	98.9433
			98.9994	95.1057	65.592
				62.9588	98.2193

Cantidad Nodos	1	15	30	45	60
				99.7218	98.0545
				95.0445	99.2214
				97.4402	98.7751
				96.8854	97.1047
				98.9421	46.4922
				97.8877	99.6109
				96.6611	99.5546
				99.4438	99.6102
				95.6594	98.608
				97.5501	87.0968
				97.8285	97.2717
				56.9839	55.7906
				96.5517	54.5606
				74.7913	97.7184
					99.2205
					86.3105
					99.4441
					99.9444
					64.8859
					99.6661
					99.6109
					97.8854
					99.4432
					96.882
					98.9427
					99.333
					97.8865
					98.832

### Apéndice D. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 1 para una cantidad de 80 nodos

Los datos que se muestran en las siguientes tablas, son el resultado de la organización de datos obtenidos por el simulador, al realizar ejecuciones en el escenario uno con 80 nodos y una cantidad variable de nodos transmitiendo.

#### Escenario 1. 80 Nodos. Tiempo de ida y vuelta

Cantidad Nodos	1	20	40	60	80
<b>Tiempo promedio [ms]</b>	<b>33.73</b>	<b>889.71</b>	<b>1191.44</b>	<b>1949.61</b>	<b>1875.69</b>
<b>Resultados</b>	33.73	230.766	440.033	1977.84	4530.21
		1374.44	305.268	2368.83	4130.77
		803.11	1766.1	3190.65	3800.28
		1271.59	2593.97	2529.35	3614.86
		1253.35	497.397	2412.26	3556.76
		455.548	277.404	2899.58	3501.67
		753.623	2300.14	2840.8	3469.05
		929.722	1450.72	3824.95	3422.95
		1860.57	2549.54	1027.62	334.7
		409.476	655.812	2568.82	3233.24
		1538.27	1980.95	3787.71	3064.16
		1307.93	955.407	1760.65	2845.89
		810.677	645.667	818.137	2802.52
		413.401	562.916	1492.3	2762.27
		1313.41	2174.05	2244.24	2720.84
		1095.22	2267.17	2619.08	2680.01
		320.504	1517.09	1409.03	2672.69
		1101.46	1805.88	560.125	2654.33
		28.7377	79.6893	1503.01	2623.79
		522.387	1320.41	1769.55	2564.73

Cantidad Nodos	1	20	40	60	80
			3213.1	1958.5	2551.51
			2726.67	4757.31	2501.93
			1047.11	603.192	2456.26
			395.212	753.579	2444.24
			1457.73	439.413	2436.49
			1251.76	2115.89	2423.36
			951.438	951.955	2362.93
			733.461	1451.98	2320.97
			1762.66	1481.79	2273.64
			1517.26	2457.79	2237.93
			269.789	1698.98	2214.91
			209.554	3046.93	2211.18
			217.213	709.955	2156.06
			1704.65	3775.71	2110.88
			1618.34	3231.34	2017.83
			932.265	3146.36	1990.59
			363.159	1373.25	1962.51
			119.821	2361.57	1939.51
			457.921	2889.4	1884.78
			562.832	463.69	1835.41
				243.528	1819.63
				401.489	1793.53
				2576.52	1726.24
				1708.59	1678.14
				2525.86	1643.03
				792.336	1640.74
				1955.08	1637.74
				2196.15	1593.56
				793.188	1575.46
				1847.55	1547.03
				787.373	1454.41
				447.44	1411.12
				234.289	1330.99

Cantidad Nodos	1	20	40	60	80
				2530.89	1325.44
				4238.13	1305.97
				2079.92	1303.45
				1832.02	1127.92
				1508.5	1050.22
				3054.98	998.69
					953.363
					923.286
					914.092
					893.683
					872.464
					849.776
					789.963
					772.948
					720.377
					685.507
					614.141
					600.103
					562.24
					1549.431
					545.771
					408.008
					362.302
					1320.553
					288.706
					270.751

## Escenario 1. 80 Nodos. Tasa de pérdidas de paquetes

Cantidad Nodos	1	20	40	60	80
<b>Tasa promedio de pérdidas de paquetes</b>	<b>33.73</b>	<b>889.71</b>	<b>1191.44</b>	<b>1949.61</b>	<b>1875.69</b>
<b>Resultados</b>	33.73	230.766	440.033	1977.84	4530.21
		1374.44	305.268	2368.83	4130.77
		803.11	1766.1	3190.65	3800.28
		1271.59	2593.97	2529.35	3614.86
		1253.35	497.397	2412.26	3556.76
		455.548	277.404	2899.58	3501.67
		753.623	2300.14	2840.8	3469.05
		929.722	1450.72	3824.95	3422.95
		1860.57	2549.54	1027.62	334.7
		409.476	655.812	2568.82	3233.24
		1538.27	1980.95	3787.71	3064.16
		1307.93	955.407	1760.65	2845.89
		810.677	645.667	818.137	2802.52
		413.401	562.916	1492.3	2762.27
		1313.41	2174.05	2244.24	2720.84
		1095.22	2267.17	2619.08	2680.01
		320.504	1517.09	1409.03	2672.69
		1101.46	1805.88	560.125	2654.33
		28.7377	79.6893	1503.01	2623.79
		522.387	1320.41	1769.55	2564.73
			3213.1	1958.5	2551.51
			2726.67	4757.31	2501.93
			1047.11	603.192	2456.26
			395.212	753.579	2444.24
			1457.73	439.413	2436.49
			1251.76	2115.89	2423.36
			951.438	951.955	2362.93
			733.461	1451.98	2320.97
			1762.66	1481.79	2273.64
			1517.26	2457.79	2237.93

Cantidad Nodos	1	20	40	60	80
			269.789	1698.98	2214.91
			209.554	3046.93	2211.18
			217.213	709.955	2156.06
			1704.65	3775.71	2110.88
			1618.34	3231.34	2017.83
			932.265	3146.36	1990.59
			363.159	1373.25	1962.51
			119.821	2361.57	1939.51
			457.921	2889.4	1884.78
			562.832	463.69	1835.41
				243.528	1819.63
				401.489	1793.53
				2576.52	1726.24
				1708.59	1678.14
				2525.86	1643.03
				792.336	1640.74
				1955.08	1637.74
				2196.15	1593.56
				793.188	1575.46
				1847.55	1547.03
				787.373	1454.41
				447.44	1411.12
				234.289	1330.99
				2530.89	1325.44
				4238.13	1305.97
				2079.92	1303.45
				1832.02	1127.92
				1508.5	1050.22
				3054.98	998.69
					953.363
					923.286
					914.092
					893.683

<b>Cantidad Nodos</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>60</b>	<b>80</b>
					872.464
					849.776
					789.963
					772.948
					720.377
					685.507
					614.141
					600.103
					562.24
					1549.431
					545.771
					408.008
					362.302
					1320.553
					288.706
					270.751

### Apéndice E. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 1 para una cantidad de 100 nodos

Los datos que se muestran en las siguientes tablas, son el resultado de la organización de datos obtenidos por el simulador, al realizar ejecuciones en el escenario uno con 100 nodos y una cantidad variable de nodos transmitiendo.

Escenario 1. 100 Nodos. Tiempo de ida y vuelta

Cantidad Nodos	1	25	50	75	100
<b>Tiempo promedio [ms]</b>	<b>25.25</b>	<b>881.16</b>	<b>1189.29</b>	<b>1615.28</b>	<b>1967.36</b>
<b>Resultados</b>	25.2466	1635.77	193.935	2124.15	6805.41
		454.233	361.009	445.823	6526.25
		1516.08	2541.85	2599.04	6292.56
		707.368	678.137	732.813	4954.22
		813.112	265.637	1119.86	4733.4
		925.882	1713.61	724.838	4091.56
		2270.67	428.029	1991.58	4088.62
		181.256	248.275	1554.96	3927.36
		248.262	449.843	619.408	3865.95
		317.249	1285.13	2620.39	3836.24
		1335.65	2068.44	1118.31	3643.35
		71.0077	3820.46	1102.8	3496.42
		256.342	984.625	1170.86	3376.05
		1172.71	1425.38	203.038	3319.32
		885.085	1494.67	286.501	3280.7
		1127.43	1444.32	858.295	3242.91
		1290.14	1586.98	3532.74	3123.24
		341.571	978.707	1953.35	3025.65
		1000.84	321.785	1167.27	2837.22
		583.607	1365.61	1455.52	2787.75

Cantidad Nodos	1	25	50	75	100
		661.737	988.556	612.58	2766.1
		1578.64	1712.61	3578.09	2732.74
		1541.38	409.148	2038.38	2728.89
		1030.41	514.169	2232.05	2711.94
		82.5095	749.291	2116.04	2702.59
			2069.82	1112.23	2668.93
			653.178	58.3013	2637.07
			2063.46	3360.28	2621.31
			333.586	337.569	2381.68
			392.228	2961.09	2221.64
			1910.88	555.969	2071.77
			1981.8	645.626	2066.54
			3020.11	597.575	2034.55
			1694.13	736.173	1953.37
			597.308	2565.63	1952.7
			771.281	314.237	1941.07
			897.76	406.335	1937.33
			1607.95	124.938	1834.07
			560.816	1994.24	1803.66
			4632.25	2290.73	1749.15
			239.401	2189.67	1657.86
			673.766	3088.99	1630.12
			168.243	1550.53	1626.9
			2140.41	3112.09	1595.41
			483.525	1620.63	1537.04
			1641.53	1723.94	1502.64
			1412.31	2177.38	1459.89
			946.067	431.785	1393.45
			349.335	3145.27	1385.13
			193.276	580.153	1340.91
				4181.33	1238.64
				703.073	1207.58
				612.088	1201.1

Cantidad Nodos	1	25	50	75	100
				2990.42	1148.68
				3614.85	1111.66
				1951.4	1020.42
				208.371	1020.07
				1500.29	1015.29
				2541.33	1010.18
				1603.81	967.666
				3583.53	948.895
				2752.05	938.053
				953.217	879.531
				1077.3	858.505
				1637.27	854.27
				1258.62	833.019
				2469.89	784.943
				2022.6	760.992
				2259.04	738.358
				1954.07	721.648
				170.894	695.722
				614.442	689.196
					674.739
					671.036
					657.821
					646.713
					645.305
					609.891
					591.894
					590.848
					590.489
					571.681
					514.403
					501.91
					477.578
					466.626

<b>Cantidad Nodos</b>	<b>1</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>100</b>
					404.771
					393.949
					371.409
					362.73
					306.374
					298.955
					260.211
					225.294

## Escenario 1. 100 Nodos. Tasa de pérdidas de paquetes

Cantidad Nodos	1	25	50	75	100
<b>Tasa de pérdidas de paquetes</b>	0.00	92.20	96.20	95.53	95.19
<b>Resultados</b>	0	98.0523	80.8676	99.2209	99.7216
		61.6027	99.3882	80.7457	99.8888
		99.6659	98.2202	100	99.8888
		97.8297	99.833	99.1653	99.4994
		98.9421	81.6009	99.9443	99.3326
		99.2205	98.8307	99.7774	99.7773
		98.7194	99.7775	99.2205	99.7774
		97.2717	80.0334	99.5551	98.441
		52.951	99.1091	97.6628	100
		69.188	98.832	78.4761	99.8886
		98.6644	98.6644	99.4438	100
		99.4997	98.7764	99.6663	99.8887
		99.2766	98.7194	99.7216	99.8886
		95.1084	98.5523	77.6543	99.6663
		98.5531	99.5553	99.8886	82.0256
		99.2214	99.4435	90.9232	86.5481
		91.8799	99.7219	99.7216	84.7137
		99.4992	96.9933	98.6652	79.9221
		90.99	98.441	99.2209	79.8109
		97.7728	98.7215	99.7775	99.7216
		98.1636	99.4432	99.4432	99.9443
		86.0478	99.2205	99.7773	97.5542
		97.1651	99.2205	99.5553	98.441
		89.4883	66.9077	98.5531	80.5339
		77.0857	76.0022	99.6663	99.9444
			99.4432	98.2183	84.5854
			67.3526	98.3853	99.9443
			99.7218	99.7221	99.8331
			79.3987	99.7216	84.0289
			69.5604	99.9443	96.049
			99.055	94.8775	99.8886

Cantidad Nodos	1	25	50	75	100
			99.3322	72.9143	99.7218
			99.6105	74.9443	99.9444
			99.5553	99.6659	99.8886
			99.4989	75.8065	98.8314
			99.3875	99.8887	99.8888
			99.4992	78.1737	99.5551
			99.333	73.9009	99.8331
			99.0545	99.8888	99.5548
			99.2214	99.1096	85.412
			79.9221	99.6105	99.9444
			99.6109	99.5553	99.9444
			78.6748	99.0535	100
			99.7218	98.7194	84.2047
			66.2959	99.8331	99.8886
			89.6609	98.8327	99.3318
			99.8331	99.3326	99.0545
			99.8332	99.277	99.8332
			98.8327	79.5884	99.9444
			78.3648	99.6665	99.8331
				76.1136	98.5539
				99.3879	98.6096
				68.1313	99.4992
				99.6665	99.4992
				99.5548	100
				99.8332	81.7372
				98.2768	98.4975
				99.8331	85.5395
				99.333	98.4418
				98.9427	99.7774
				99.333	86.8743
				99.8331	99.1657
				99.7775	99.6105
				99.4994	99.3882

Cantidad Nodos	1	25	50	75	100
				99.3879	79.8441
				96.4961	99.6109
				99.6102	81.4135
				98.2749	99.9443
				97.3319	99.1662
				99.5553	78.8216
				99.7219	99.6107
				75.7508	99.7775
				73.0812	85.0945
					82.4053
					99.8888
					99.6665
					99.4989
					83.1573
					82.8508
					99.4994
					100
					99.4441
					99.833
					99.6663
					99.9444
					88.3824
					82.6281
					99.3322
					84.9666
					99.333
					99.9443
					99.6105
					99.833
					82.1925
					99.8888
					99.6105
					99.5546

Cantidad Nodos	1	25	50	75	100
					99.7777
					78.6429

## Apéndice F. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 2 para una cantidad de 20 nodos

Los datos que se muestran en las siguientes tablas, son el resultado de la organización de datos obtenidos por el simulador, al realizar ejecuciones en el escenario dos con 20 nodos y una cantidad variable de nodos transmitiendo.

Escenario 2. 20 Nodos. Tiempo de ida y vuelta

Cantidad Nodos	1	5	10	15	20
<b>Tiempo promedio [ms]</b>	<b>21.24</b>	<b>302.31</b>	<b>773.81</b>	<b>835.68</b>	<b>1424.17</b>
<b>Resultados</b>	21.2378	596.551	1467.56	1467.56	548.323
		444.697	1465.7	1465.7	2801.22
		292.309	1241.59	1241.59	1794.3
		104.027	1170.15	1170.15	1232.82
		73.9434	870.427	1128.53	1391.74
			690.501	906.968	942.286
			440.469	870.427	1814.02
			245.393	867.532	1403.77
			100.992	785.013	623.505
			45.2736	690.501	1992.99
				585.708	2101.5
				497.444	1449.51
				132.826	1470.18
				680.0423	1262.15
				45.2736	698.782
					1775.95
					969.878
					917.28
					1869.07

## Escenario 2. 20 Nodos. Tasa de pérdidas de paquetes

Cantidad Nodos	1	5	10	15	20
<b>Tasa promedio de pérdidas de paquetes</b>	<b>0.00</b>	<b>10.50</b>	<b>44.37</b>	<b>53.80</b>	<b>59.32</b>
<b>Resultados</b>	0	10.8454	45.1057	12.2914	0
		22.1913	42.6029	91.9911	99.6598
		10.1336	13.9198	99.2762	98.6598
		4.8414	95.9911	3.00501	99.2654
		4.50501	16.0824	97.3274	81.7575
			9.34891	14.5799	17.6307
			98.608	9.12632	6.51448
			4.22692	91.8708	85.2532
			91.9866	2.28031	97.6598
			25.8065	17.3623	99.3318
				24.5273	96.2653
				89.9654	7.84641
				99.9854	2.89371
				99.5632	78.8976
					1.66852
					45.6316
					99.5632
					99.8765
					1.55729

## Apéndice G. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 2 para una cantidad de 40 nodos

Los datos que se muestran en las siguientes tablas, son el resultado de la organización de datos obtenidos por el simulador, al realizar ejecuciones en el escenario dos con 40 nodos y una cantidad variable de nodos transmitiendo.

### Escenario 2. 40 Nodos. Tiempo de ida y vuelta

Cantidad Nodos	1	10	20	30	40
<b>Tiempo promedio [ms]</b>	<b>15.78</b>	<b>1066.12</b>	<b>1583.64</b>	<b>1828.65</b>	<b>1949.59</b>
<b>Resultados</b>	15.7806	112.67	1380.21	2479.19	2076.15
		4687.37	1213.47	2873.12	2176.63
		564.483	2489.08	3956.83	3575.14
		1176.28	215.879	437.093	328.43
		2329.45	2587.41	2262.65	2692.73
		158.037	1405.37	3462.97	3466.34
		92.5003	1447.7	1363.88	1122.86
		222.934	436.21	2758.39	1450.23
		251.373	359.547	2560.73	3059.12
			843.089	574.623	2543.63
			1391.71	578.087	2059.82
			2078.29	374.679	273.994
			2814	586.025	953.056
			2517.38	924.358	467.265
			1742.95	1281.25	262.594
			1085.72	2082.54	2358.84
			1946.34	2126.04	3192.65
			1996.52	2496.01	2456.68
			2138.28	57.871	2139.27

<b>Cantidad Nodos</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>
				2975.51	2828.44
				1574.16	750.317
				3538.8	2282.51
				1287.77	2377.69
				1127.8	133.957
				2094.81	1892.17
				1997.24	2720.7
				1725.72	3027.61
				830.541	2247.37
				2642.15	3078.79
					1417.38
					2327.13
					1577.46
					249.899
					2112.56
					2589.63
					3036.2
					857.449
					1921.56

## Escenario 2. 40 Nodos. Tasa de pérdidas de paquetes

Cantidad Nodos	1	10	20	30	40
<b>Tiempo promedio [ms]</b>	<b>0</b>	<b>52.79</b>	<b>84.91</b>	<b>87.40</b>	<b>88.37</b>
<b>Resultados</b>	0	13.6819	99.2659	99.2205	99.3318
		98.832	98.832	98.7764	98.4983
		35.1336	96.1645	95.831	99.055
		96.5479	27.9199	37.208	47.8865
		98.6326	96.4365	98.6096	99.2214
		84.3072	95.2699	96.6592	96.7706
		12.1938	98.3652	99.4435	99.1653
		15.2948	96.9983	98.3853	77.2829
		61.9366	44.3764	99.9865	98.3296
		11.2903	35.448	97.4958	90.3118
			95.831	52.784	99.9652
			97.049	51.1123	98.4418
			92.0379	39.8442	71.9933
			94.6021	59.9222	59.3993
			88.8877	98.8327	46.0211
			98.3296	98.7764	68.149
			71.5637	97.1047	99.2218
			97.1063	95.0445	98.8877
			92.7697	97.6085	97.3304
			81.0239	43.35	98.4967
				94.7134	98.608
				98.3853	49.861
				95.7175	97.1604
				95.5457	97.9422
				98.6088	50.0278
				96.1046	99.1653
				97.8309	97.3274
				97.6641	99.1101
				94.8276	97.0506
				96.7168	88.4252
					98.0512

<b>Cantidad Nodos</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>
					97.7184
					98.8314
					54.3987
					98.3306
					98.2202
					90.2113
					97.9978

## Apéndice H. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 2 para una cantidad de 60 nodos

Los datos que se muestran en las siguientes tablas, son el resultado de la organización de datos obtenidos por el simulador, al realizar ejecuciones en el escenario dos con 60 nodos y una cantidad variable de nodos transmitiendo.

### Escenario 2. 60 Nodos. Tiempo de ida y vuelta

Cantidad Nodos	1	15	30	45	60
<b>Tiempo promedio [ms]</b>	<b>27.23</b>	<b>621.54</b>	<b>1547.56</b>	<b>1613.91</b>	<b>1872.31</b>
<b>Resultados</b>	27.2286	80.3862	1184.91	1737.76	1606.92
		56.9567	1668.09	2412.38	1943.43
		1055.44	162.275	229.766	421.584
		28.1712	2026.42	2553.89	2807.58
		1245.92	519.432	1304.345	435.36
		1213.97	2975.59	3390.82	729.233
		426.638	176.76	1277.852	718.097
		529.316	1306.79	2514.58	2557.14
		780.765	2919.22	1748.24	2259.23
		32.8644	1347.78	1848.653	357.836
		1179.01	1520.86	2917.79	3940.88
		671.328	2180.52	1611.456	1362.88
		554.939	1507.82	674.248	2884.65
		200.779	155.866	1301.76	2038.27
		1266.66	2097.71	1416.13	2007.61
			741.375	650.353	625.022
			1484.41	2579.81	2889.79
			211.264	1631.31	2192.44
			705.681	890.956	2182
			1331	358.175	2788.88

Cantidad Nodos	1	15	30	45	60
			3977.26	384.672	3652.53
			1817.37	2308.5	229.634
			2025.43	2731.99	836.735
			1077.94	1557.44	718.219
			2447.94	2359.94	3402.5
			3048.99	1643.34	2923.99
			476.036	1682.59	2900
			1708.83	1660.12	3948.63
			632.27	606.947	1650.9
			2990.93	1547.32	1906.89
				282.698	1526.01
				474.285	540.204
				3211.01	2070.58
				1815.34	1582.28
				1409.66	3767.05
				2317.77	737.476
				2487.42	2314.74
				572.139	335.946
				3454.42	1597.67
				880.7	3075.74
				2023.32	2241.91
				2280.46	2147.43
				306.607	2224.32
				1245.43	717.616
				331.363	495.594
					3011.8
					1626.76
					2957.88
					706.418
					2392.64
					1170.32
					3241.94
					1244.05

<b>Cantidad Nodos</b>	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>
					1841.45
					2414.88
					2196.72
					768.298
					1766.45
					833.18

## Escenario 2. 60 Nodos. Tasa de pérdidas de paquetes

Cantidad Nodos	1	15	30	45	60
<b>Tiempo promedio [ms]</b>	<b>0.00</b>	<b>72.66</b>	<b>87.09</b>	<b>89.96</b>	<b>91.40</b>
<b>Resultados</b>	0	95.2116	98.5523	94.0423	96.7149
		95.4394	98.7208	98.7764	96.218
		55.4009	65.8143	63.4797	71.2618
		44.296	98.7764	98.5539	99.277
		84.8637	60.0667	65.2948	75.0278
		92.8731	97.7171	97.4388	99.7773
		40.9572	71.6194	71.8976	70.4508
		94.4969	99.0535	97.1604	98.9421
		88.8641	98.4418	98.8864	99.1648
		26.7261	84.5854	59.9666	73.6637
		94.0456	97.8842	96.6611	98.8314
		92.7657	95.6062	99.2766	98.7201
		96.4385	87.813	99.3318	98.6637
		31.98	73.2073	98.6096	98.7764
		55.4814	97.443	95.3255	95.0473
			98.0534	75.7643	75.3752
			98.7751	98.7771	98.9439
			58.1849	96.663	96.3293
			61.0679	97.9955	96.941
			98.5531	64.588	98.1069
			97.3289	68.9655	99.3875
			96.7706	97.8854	99.8888
			96.4405	97.8854	63.0846
			96.9376	98.4967	69.0768
			98.9427	98.0534	99.2209
			97.7184	98.7194	98.3306
			57.119	98.3306	98.8307
			80.3115	98.0523	99.3882
			56.1179	63.7375	96.3829
			95.1029	95.1057	97.4402
				62.9588	97.7171

Cantidad Nodos	1	15	30	45	60
				99.7218	72.4541
				95.0445	97.3845
				97.4402	99.7773
				96.8854	98.7201
				98.9421	72.6919
				97.8877	89.3215
				96.6611	69.911
				99.4438	98.7201
				95.6594	99.4432
				97.5501	99.5548
				97.8285	98.3862
				56.9839	98.8307
				96.5517	99.6663
				74.7913	69.7661
					97.5501
					99.4994
					99.333
					67.3152
					97.8854
					99.6107
					99.4994
					99.3879
					97.8854
					92.7617
					99.0535
					65.9432
					85.8176
					71.3968

## Apéndice I. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 2 para una cantidad de 80 nodos

Los datos que se muestran en las siguientes tablas, son el resultado de la organización de datos obtenidos por el simulador, al realizar ejecuciones en el escenario dos con 80 nodos y una cantidad variable de nodos transmitiendo.

### Escenario 2. 80 Nodos. Tiempo de ida y vuelta

Cantidad Nodos	1	20	40	60	80
<b>Tiempo promedio [ms]</b>	<b>13.54</b>	<b>1100.03</b>	<b>1763.61</b>	<b>1826.53</b>	<b>1996.46</b>
<b>Resultados</b>	13.54	600.331	2037.62	2157.99	3157.04
		1534.74	336	596.922	477.478
		247.732	2644.94	2612.22	2382.58
		1453.16	2841.32	1785.85	853.835
		51.2832	2025.93	896.765	2296.29
		2616.46	2113.72	3029.86	1824.52
		243.486	1096.09	3432.67	1867.47
		334.812	2896.74	2100.29	1453.03
		1226.09	1751.06	2484.19	1327.87
		1229.26	1975.31	2580.56	1161.97
		348.258	1184.67	2286.5	2598.15
		495.993	1868.5	612.185	582.864
		888.248	1958.27	278.9	801.319
		1018.49	587.957	1832.86	1906.76
		1683.63	1671.19	525.193	559.216
		1709.28	735.569	446.063	362.872
		2938.67	2171.6	614.785	517.2
		798.54	582.184	99.2549	2117.93
		830.816	2029.73	1918.63	1916.39
		1751.23	589.362	2464.33	5637.43

Cantidad Nodos	1	20	40	60	80
			1925.03	2412.83	2843.98
			2629.2	2306.7	2480.07
			356.694	1071.15	1344.26
			2449.49	1493.42	635.757
			606.474	1597.74	3839.2
			2030.86	804.237	1488.87
			451.225	2073.13	1822.92
			2070.69	604.467	757.024
			1916.98	2377.91	1859.98
			3228.19	778.394	2902.51
			2185.46	2610.1	886.229
			2542.54	2834.01	1962.85
			2439.57	1138.43	2148.4
			2545.27	1983.22	937.653
			807.821	2316.31	682.188
			2828.39	2013.07	2384.58
			2291.2	525.82	660.834
			1046.51	3198.44	1108.16
			1136.11	2401.31	2183.14
			1958.81	1958.45	1464.67
				991.164	3286.69
				1416.45	1953.14
				2364.19	2934.72
				2190.23	587.871
				2320.32	4494.4
				474.654	589.289
				1590.31	2727.97
				1958.05	854.328
				3403.45	487.532
				2992.45	3621.13
				3364.32	851.871
				1626.76	2366.5
				2037.13	2217.24

Cantidad Nodos	1	20	40	60	80
				1767.65	1833.69
				1269.69	2168.67
				2449.35	2566.11
				1517.57	2171.44
				2613.21	3123.98
				2262.63	3239.21
				1727.34	2864.03
					2193.4
					2131.29
					3503.57
					2704.53
					5788.38
					2565.65
					2074.48
					1498.77
					1908.3
					2089.29
					916.077
					707.206
					3238.3
					1929.83
					3005.06
					2906.81
					2790.66
					499.173
					2134.45

## Escenario 2. 80 Nodos. Tasa de pérdidas de paquetes

Cantidad Nodos	1	20	40	60	80
<b>Tiempo promedio [ms]</b>	<b>13.54</b>	<b>1100.03</b>	<b>1763.61</b>	<b>1826.53</b>	<b>1996.46</b>
<b>Resultados</b>	13.54	600.331	2037.62	2157.99	3157.04
		1534.74	336	596.922	477.478
		247.732	2644.94	2612.22	2382.58
		1453.16	2841.32	1785.85	853.835
		51.2832	2025.93	896.765	2296.29
		2616.46	2113.72	3029.86	1824.52
		243.486	1096.09	3432.67	1867.47
		334.812	2896.74	2100.29	1453.03
		1226.09	1751.06	2484.19	1327.87
		1229.26	1975.31	2580.56	1161.97
		348.258	1184.67	2286.5	2598.15
		495.993	1868.5	612.185	582.864
		888.248	1958.27	278.9	801.319
		1018.49	587.957	1832.86	1906.76
		1683.63	1671.19	525.193	559.216
		1709.28	735.569	446.063	362.872
		2938.67	2171.6	614.785	517.2
		798.54	582.184	99.2549	2117.93
		830.816	2029.73	1918.63	1916.39
		1751.23	589.362	2464.33	5637.43
			1925.03	2412.83	2843.98
			2629.2	2306.7	2480.07
			356.694	1071.15	1344.26
			2449.49	1493.42	635.757
			606.474	1597.74	3839.2
			2030.86	804.237	1488.87
			451.225	2073.13	1822.92
			2070.69	604.467	757.024
			1916.98	2377.91	1859.98
			3228.19	778.394	2902.51
			2185.46	2610.1	886.229

Cantidad Nodos	1	20	40	60	80
			2542.54	2834.01	1962.85
			2439.57	1138.43	2148.4
			2545.27	1983.22	937.653
			807.821	2316.31	682.188
			2828.39	2013.07	2384.58
			2291.2	525.82	660.834
			1046.51	3198.44	1108.16
			1136.11	2401.31	2183.14
			1958.81	1958.45	1464.67
				991.164	3286.69
				1416.45	1953.14
				2364.19	2934.72
				2190.23	587.871
				2320.32	4494.4
				474.654	589.289
				1590.31	2727.97
				1958.05	854.328
				3403.45	487.532
				2992.45	3621.13
				3364.32	851.871
				1626.76	2366.5
				2037.13	2217.24
				1767.65	1833.69
				1269.69	2168.67
				2449.35	2566.11
				1517.57	2171.44
				2613.21	3123.98
				2262.63	3239.21
				1727.34	2864.03
					2193.4
					2131.29
					3503.57
					2704.53

Cantidad Nodos	1	20	40	60	80
					5788.38
					2565.65
					2074.48
					1498.77
					1908.3
					2089.29
					916.077
					707.206
					3238.3
					1929.83
					3005.06
					2906.81
					2790.66
					499.173
					2134.45

## Apéndice J. Resultados de la ejecución de la simulación en el escenario 2 para una cantidad de 100 nodos

Los datos que se muestran en las siguientes tablas, son el resultado de la organización de datos obtenidos por el simulador, al realizar ejecuciones en el escenario dos con 80 nodos y una cantidad variable de nodos transmitiendo.

### Escenario 2. 100 Nodos. Tiempos de ida y vuelta

Cantidad Nodos	1	25	50	75	100
<b>Tasa de pérdidas de paquetes</b>	<b>30.11</b>	<b>740.51</b>	<b>1823.52</b>	<b>1928.40</b>	<b>2019.88</b>
<b>Resultados</b>	30.11	1984.36	2148.32	2506.89	1746.47
		1688.51	1355.35	2117.59	1891.68
		691.163	2275.42	2197.11	2572.88
		408.331	1903.73	2354.55	3157.61
		85.0056	2666.91	2488.63	1501.12
		70.9489	2415.95	1762.75	2286.52
		288.777	1381.18	1709.14	4256.72
		407.255	1420.11	1843.8	2280.82
		579.39	2405.41	2251.33	612.594
		1545.56	2112.85	1968.9	54.1094
		1343.78	191.334	1732.45	882.434
		39.066	2559.4	56.8089	828.91
		1575.57	1510.36	2758.68	785.246
		196.472	625.75	753.037	527.928
		69.779	1695.31	700.185	773.297
		415.264	2543.48	686.231	915.093
		587.532	1063.99	282.634	501.887
		563.212	1699.57	3906.65	3398.25
		2487.34	3169.56	2473.93	1525.01
		52.4711	2224.71	838.163	2463.45

Cantidad Nodos	1	25	50	75	100
		1176.83	388.892	1984.79	674.059
		834.271	2331.01	360.864	2135.59
		296.5	132.184	4602.76	6149.01
		144.575	1901.83	1780.62	1465.99
		980.819	217.332	7631.49	3330.49
			2105.04	3040.16	594.063
			1786.78	2400.12	758.212
			6277.46	4320.85	801.765
			2618.67	3139.45	276.982
			2615.62	2607.46	198.417
			774.406	5493.89	11377.3
			3847.96	464.396	595.84
			190.064	3218.16	375.695
			3133.91	1662.49	2452.46
			373.727	315.396	1025.61
			52.7254	2004.49	1901.37
			1248.2	1924.16	1324.1
			666.459	2400.34	3237.89
			236.756	2679.55	691.822
			3192.41	2159.63	1744.56
			2378.28	521.203	6970.9
			1535.08	488.645	1149.37
			1676.11	2850.48	3549.54
			297.912	1241	1898.87
			1754.66	403.003	1397.44
			4350.57	1591.75	2787.89
			440.165	695.064	3185.1
			3069.77	2669.45	364.397
			2389.89	2603.26	3217.12
				334.951	432.332
				2934.07	1276.81
				2027.89	1638.79
				1684.12	492.642

Cantidad Nodos	1	25	50	75	100
				15.4545	1283.69
				1558.79	6641.21
				409.366	324.069
				2987.33	2552.88
				279.349	2998.6
				637.243	929.725
				2628.35	12109.8
				462.328	512.893
				402.18	896.832
				1781.02	3813.79
				3124.16	430.638
				2239.49	797.141
				2543.74	3405.16
				2719.18	3063.36
				3498.28	549.169
				689.355	770.165
				2401.03	444.882
				405.22	1039.71
				437.527	3059.38
					1489.67
					2983.57
					3121.62
					985.681
					937.83
					685.581
					402.808
					2468.37
					3037.3
					807.585
					5031.02
					1692.97
					3243.3
					392.518

<b>Cantidad Nodos</b>	<b>1</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>100</b>
					392.518

## Escenario 2. 100 Nodos. Tasa de pérdidas de paquetes

Cantidad Nodos	1	25	50	75	100
<b>Tasa de pérdidas de paquetes</b>	<b>0</b>	<b>89.16</b>	<b>96.90</b>	<b>94.41</b>	<b>95.35</b>
<b>Resultados</b>	0	84.975	98.9421	99.7773	99.7773
		83.6394	97.6085	98.7764	99.7775
		85.1893	99.333	99.4441	99.6109
		98.5539	98.832	99.4994	99.7775
		58.9872	98.9989	99.3882	99.8888
		99.1091	98.2739	98.0512	99.4432
		98.8327	99.3322	99.3322	99.3879
		98.2749	86.804	93.3185	98.0512
		96.4405	99.3875	99.6659	100
		99.5548	99.1648	99.3875	99.5546
		98.9978	72.6919	98.6644	100
		51.9488	97.7741	99.6105	99.8887
		79.2988	99.1096	99.833	99.6102
		57.0078	99.7216	99.3326	100
		98.8314	99.2214	70.3395	79.1875
		99.1653	99.3318	79.433	84.6581
		97.9422	98.7757	80.1001	87.2707
		99.1101	97.8854	77.7531	82.2024
		98.3324	99.277	98.2739	83.4816
		98.9421	97.5528	98.2739	99.9443
		78.5992	99.9444	71.5795	99.8886
		98.7201	98.108	99.2766	99.4441
		53.645	74.7773	99.8331	99.6659
		98.6088	99.8331	99.6102	85.7063
		97.8321	72.5806	99.4994	99.6661
			99.5546	99.9443	99.3322
			98.7764	99.054	99.9443
			99.7777	99.8887	99.4438
			99.1662	99.6663	82.8603
			98.887	97.7753	99.8331
			98.8877	99.1657	99.9443

Cantidad Nodos	1	25	50	75	100
			99.2209	99.6661	99.8887
			73.0812	78.8976	100
			96.4942	100	100
			57.254	99.9444	99.7218
			99.9444	99.2205	99.8331
			99.7219	78.921	99.8888
			70.3003	99.5546	99.8888
			60.1893	99.6659	99.5548
			99.333	97.8865	82.6281
			98.1646	98.7771	99.8331
			99.5551	99.1662	99.9444
			98.3324	99.7774	99.5546
			99.6102	99.8331	85.9288
			90.1612	98.9427	100
			68.5031	99.6659	98.8307
			98.4418	71.5479	99.7775
			98.2212	99.2766	99.6109
			56.0623	73.2481	99.8332
				99.5548	98.8314
				99.3322	99.2214
				77.1969	99.7219
				98.1646	99.4435
				99.7218	99.5548
				99.6663	100
				99.7216	82.8508
				98.7771	98.1636
				82.916	88.0423
				99.3875	98.7757
				70.2057	99.4992
				99.8888	84.7052
				99.5551	99.7775
				77.5306	99.1653
				74.3318	99.8331

Cantidad Nodos	1	25	50	75	100
				99.1662	99.2205
				99.1101	99.4997
				100	83.9176
				99.8332	100
				95.2673	99.3885
				98.9994	77.4319
				99.7218	99.8331
				74.4574	99.8888
				99.1653	86.5406
				99.2218	80.2339
				75.9733	98.9439
					99.4441
					99.7216
					81.8232
					85.6347
					99.9444
					99.7775
					98.388
					98.441
					99.5551
					100
					80.6559
					88.0846
					99.4992
					84.4655
					99.6109
					100
					99.8887
					100
					82.8603
					99.2774
					99.9444
					98.2739

Cantidad Nodos	1	25	50	75	100
					99.7777
					80.1446