

# Ampliando la Vida Útil de las WSN por Medio de los Protocolos de Ruteo, Modificación de AODV

Juan de Dios Benitez<sup>1,2</sup>, Eduardo O. Sosa<sup>1,2</sup>, Diego Alberto Godoy<sup>1,2</sup>, Edgardo A. Belloni<sup>1,2</sup>, Fabian Favret<sup>1</sup>, Hernán Bareiro<sup>1</sup>, Ricardo Urdinola<sup>1</sup>, Micaela Olivera<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y Comunicaciones (C.I.T.I.C.) - Universidad Gastón Dachary (UGD)

<sup>2</sup>Secretaría de Investigación y Posgrado (SECIP). Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales - Universidad Nacional de Misiones

{juan.benitez, eduardo.sosa, diegodoy, ebelloni, fabianfavret, hbareiro, rurdinola, molivera}@citic.ugd.edu.ar,

## Resumen

En este trabajo se presenta una modificación en el protocolo de ruteo multi salto reactivo AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector) para WSN (Wireless Sensor Network) el cual permite por medio de la adaptación del cálculo de su métrica, aumentar la vida útil de una red al disminuir la probabilidad de aparición de segmentaciones. De esta manera, mediante la distribución de la carga energética de los nodos a lo largo de la red, se consigue una optimización en el consumo de las baterías de los nodos individuales, concluyendo con una vida útil de la red mejorada y aumentada. El presente estudio conforma una línea de investigación dentro del proyecto denominado “*Diseño de arquitecturas de soporte a la Internet del futuro y Ambientes Inteligentes para su Aplicación en Ciudades Inteligentes – Fase II*” de la Universidad Gastón Dachary.

**Palabras clave:** AODV, Protocolo Reactivo, Redes de Sensores Inalámbricos

## Contexto

El trabajo se enmarca en el proyecto de investigación denominado “*Diseño de Arquitecturas de Soporte a la Internet del Futuro y Ambientes Inteligentes*” y “*Diseño de arquitecturas de soporte a la Internet del futuro y Ambientes Inteligentes para su Aplicación en*

*Ciudades Inteligentes – Fase II*”, acreditados en la Secretaría de Investigación y Desarrollo de la UGD por RR.19/A/12 y RR.18/A/14 respectivamente. Se relaciona y articula directamente con diversos proyectos de investigación acreditados en la Secretaría de Investigación y Posgrado (SECIP) de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de la UNaM, enfocados en las temáticas “*Internet del Futuro*” e “*Internet de las Cosas*”, entre los que se incluyen: Proyecto 16Q457 “*Hacia la Programación de Sensores Inalámbricos en la Forma Web 2.0*”; Proyecto 16Q474 “*Simulaciones de Sistemas Modernos de Comunicación*”; y Proyecto 16Q519 “*Ambientes Inteligentes. Una Mirada a Internet del Futuro*”. Referente a este proyecto existen 7 tesinas de grado en curso, 5 tesinas de grado finalizadas, un trabajo final de Especialización finalizado (UNLP), una tesis de Maestría en Ingeniería de Software finalizado (UNLP) y una Tesis Doctoral en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones finalizada (Universidad de Vigo, España).

## 1. Introducción

El aumento de la capacidad de cómputo, la miniaturización de los componentes y el abaratamiento de los dispositivos, hacen posible la realización de la IoT (Internet of Things) [1] y de la Inteligencia Ambiental [2], en la que los

objetos cotidianos contarán con sensores conectados a Internet.

El desarrollo de estas tecnologías brinda oportunidades de aprovechamiento económico e industrial únicas, pero a la vez presentan un enorme desafío tecnológico. Como parte del desarrollo de las tecnologías de la IoT, las WSN [3] son un área de álgido estudio y desarrollo [4]. Hoy en día existen WSNs con miles de nodos, recolectando datos en infinidad de entornos, para todo tipo de fines y a un costo relativamente razonable.

## 2. Proyecto de Investigación

El objetivo general del proyecto marco es: "Diseñar arquitecturas de soporte a Internet del futuro y Ambientes Inteligentes para su aplicación a Ciudades Inteligentes". Como objetivos específicos se indican: A) Especificar el Estado del Arte de la Internet del de Futuro y los Ambientes y Ciudades Inteligentes. B) Determinar los protocolos de ruteo óptimos para implementaciones de WSN y ciudades inteligentes. C) Determinar el impacto en la vida útil de una red WSN a través de la utilización del protocolo AODV [5] estándar por medio de simulaciones. D) Analizar y diseñar una modificación a la métrica de dicho protocolo para que el mismo sea energéticamente eficiente aumentando la vida útil de una red. E) Simular escenarios de Ciudades inteligentes de redes de sensores inalámbricos. F) Determinar cuál es la métrica correcta que optimiza la vida útil de la red. G) Realizar las simulaciones de comparación entre los protocolos AODV estándar y AODV modificado, para analizar la mejora en la red.

### Protocolo AODV

Una de las características más importantes que poseen los nodos en redes WSN es la habilidad de crear redes autónomas. Si se tiene en cuenta que usualmente son desplegados en grandes áreas de difícil acceso [6] [7], es fundamental contar con cierto grado de autonomía y auto

organización en los nodos a fin de facilitar el despliegue e implementación de la red WSN. Sin embargo, esto requiere que los nodos cumplan dos funciones muy diferentes: la recolección de información del medio para la cual fue distribuido y a su vez, el encaminamiento de los paquetes desde el origen hasta el destino seleccionado. [8] Generalmente, cuando se implementa una WSN, existe un nodo denominado Gateway o nodo Sink [9], el cual posee mayores recursos tanto energéticos como de hardware en comparación a los otros nodos. Este nodo Sink suele tener acceso a internet (si fuera necesario), paneles solares, etc.

Por otro lado, los demás nodos que conforman la red son realmente limitados en lo que se refiere a: potencia de cómputo, almacenamiento y, esencialmente, a la capacidad de energía de sus baterías internas.

Ésta última limitación es un factor crítico a considerar. El tiempo de vida de la red depende directamente de la energía residual con la que cuenta cada nodo, definida como la energía remanente que poseen las baterías a ser utilizada. A medida que los nodos pierden energía, la red puede llegar a sufrir fragmentaciones como se puede ver en la fig. 1, causando lo que se denominan islas aisladas, las cuales son inalcanzables por el resto de la red a raíz de la limitada potencia de transmisión que poseen los nodos. Esto implica que el deceso de un solo nodo puede ocasionar una degradación operacional significativa de la red [10].

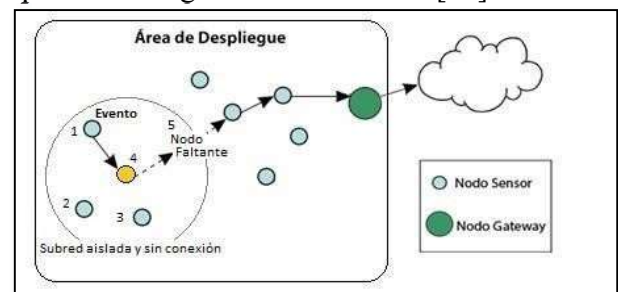


Figura 1: Fragmentación de la red

La complejidad de la red se incrementa cuando los paquetes se reenvían utilizando métodos

multi saltos, donde múltiples retransmisiones son necesarias para poder enviar un paquete desde el origen hasta el destino. Como consecuencia, el mayor consumo de energía se lleva a cabo en los momentos de transmisión y recepción de información por medio de los nodos. Esto implica que los protocolos y algoritmos de ruteo son claramente esenciales y decisivos en el tiempo de vida de una WSN. Sin embargo, uno de los algoritmos más utilizados por redes WSN como es el AODV – Un protocolo de Camino más corto - [11], sigue un enfoque tradicional con una búsqueda del camino con el menor costo a través del conteo de saltos, causando que los nodos participantes de la red concentren su tráfico a través de un grupo de nodos aumentando el consumo de energía en los mismos y de esta forma segmentando la red de manera más precipitada. El protocolo AODV [5] es un protocolo de ruteo reactivo, lo que implica que solo actúa cuando hay la necesidad de transmitir a un destino en particular a través de una ruta desconocida. El proceso se activa iniciando el descubrimiento del camino, lo que básicamente se lleva a cabo por medio de una inundación de la red a través de un paquete de RREQ (Route Request). Cuando el RREQ llega al nodo deseado, un paquete de RREP (Route Replay) es enviado al nodo origen de por medio de una transmisión en unicast como se puede ver en la fig. 2.

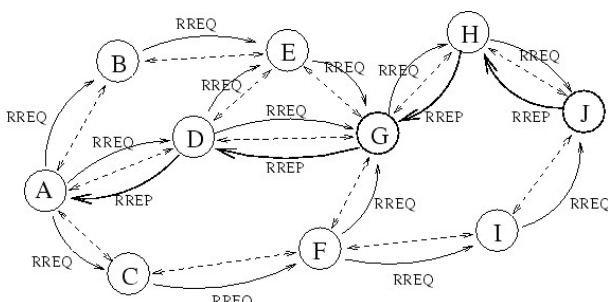


Fig. 2: Esquema de mensajes

El paquete RREQ, ver fig. 3, cuenta con un campo de 8 bits denominado “Hop Count” (conteo de saltos), el cual se incrementa en cada

retransmisión del paquete por todos los nodos participantes.

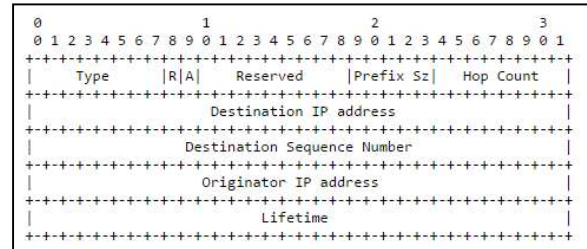


Fig. 3 Paquete RREQ

Cuando el paquete RREQ llega al destino, el campo de conteo de saltos tiene el valor necesario para transmitir el paquete entre el nodo origen y el destino. Esta métrica de saltos, representa la distancia física entre ambos nodos. Este costo es almacenado en el nodo, en su tabla de ruteo y determina el camino que se debe utilizar para alcanzar dicho destino

### Modificación del Protocolo AODV

La modificación que se ha realizado en el algoritmo de cálculo de la métrica del protocolo AODV estándar se centra en mejorar la vida de la red. Durante el proceso de descubrimiento, los nodos incrementan el costo en el campo de hop count en el RREQ. Si en lugar de incrementar el valor en una unidad por cada salto, se reemplaza dicho valor por una métrica que tenga en cuenta la energía residual que tiene el nodo que retransmite el paquete -por medio de una aproximación matemática- el resultado sería un protocolo sensible a la distribución de la energía de los nodos en la red. Si se implementa una métrica basada en la siguiente función matemática por partes donde al llegar el nivel de batería al 25% la función asigna el valor máximo de métrica igual a 255, mientras que en la franja  $25% < \text{Energía} < 100\%$  asignará valores acordes a la siguiente función cuadrática:

$$M = \begin{cases} 255 & \text{if } E \leq 0.25 \\ \dots & \text{if } 0.25 < E < 1.0 \end{cases} \quad (1)$$

La función propuesta para determinar este costo es:

$$f(x_n) \begin{cases} 255 & 0 \leq x \leq 0.25 \\ -\frac{3200}{9}x^2 + \frac{940}{9}x + \frac{2260}{9} & 0.25 < x \leq 1 \end{cases} \quad (2)$$

Donde “x” es la energía residual relativa en el nodo.

En la fig. 4 se puede apreciar de manera gráfica la ecuación 2 ejemplificando como irá variando la métrica a medida del decrecimiento de la energía relativa que cuenta el nodo.

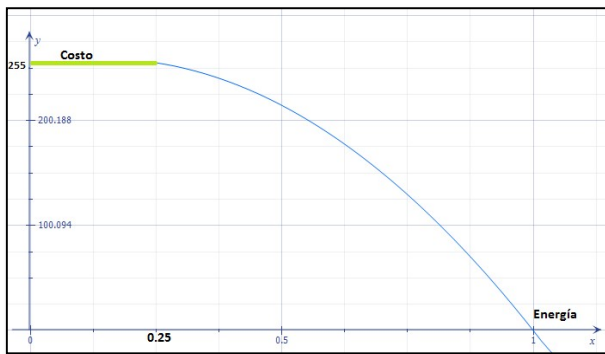


Fig. 4 Función de la Métrica

### Proceso de Simulación

El entorno usado para realizar los análisis y simulaciones se compone de un PC de uso general con un sistema operativo Linux distribución Ubuntu [12], en el cual se corre el simulador Omnet++ [13], un simulador de eventos discretos orientado a objetos [14] distribuido bajo licencia publica académica. Una de las características más importantes del simulador, proviene de la capacidad del uso adicional de frameworks, lo que permite simplificar la implementación de los módulos necesarios.

El equipo de desarrollo de Omnet++, mantiene el framework llamado INET [13]. Sin

embargo, para este trabajo se ha utilizado una extensión denominada INETMANET [15], la cual provee la implementación de MANETS,

incluyendo el protocolo AODV, desarrollada por la Universidad Upsala [16]. Esta Extensión

ha sido usada y testada por la comunidad Omnet++ por alrededor de 10 años, por lo que se considera una extensión estable.

El proceso de simulación consiste en dos series

de simulaciones. En la primera serie se utiliza el protocolo AODV estándar, mientras que la

segunda serie se realiza bajo las mismas características que la anterior, pero utilizando el protocolo AODV modificado. Cada serie cuenta con 50 corridas del simulador configuradas con diferentes semillas. Para poder mantener la coherencia entre las series de simulaciones, se configura al simulador para mantener el mismo juego de semillas entre las dos series, permitiendo comparar ambos protocolos.

Cada corrida del simulador consiste en la generación aleatoria de un escenario de 1Km<sup>2</sup> el cual cuenta con 25 nodos sensores distribuidos con una probabilidad uniforme. La densidad de nodos resultante permite una alta probabilidad del uso de ruteo multi salto, para realizar el encaminamiento de los paquetes desde un nodo origen hasta el nodo gateway.

Como se desea que la simulación represente un escenario lo más real posible, se han configurado los nodos de manera que tengan ciclos de transmisión de datos aleatorios en un intervalo entre 50 y 120 segundos.

Todos los nodos están equipados con un modelo de consumo de batería lineal, implementado en el framework INETMANET, y el consumo de energía es el único factor determinante en la muerte de los nodos. Los nodos se encuentran equipados con baterías de 3800mAh con un voltaje de 12V.

En la tabla 1, se puede observar el consumo de energía original configurado en la simulación.

Tabla 1 Consumo de Energía.

<i>Node's State</i>	<i>Value</i>
Idle	0.5mA
Receiving	1mA
Sleeping	1mA
Sleeping	0.001mA

Para poder reducir los tiempos de simulación, y debido a las limitaciones de hardware para las simulaciones se ha decidido incrementar cada uno de los consumos en diez mil veces

Como el interés de este trabajo es la medición del tiempo de vida de la red, se ha decidido que cada simulación se corte al momento que el primer nodo se queda sin batería y muere. En ese momento se realiza la medición de la energía residual de la red para comparar con el protocolo original.

### 3. Resultados

Usando los resultados de las simulaciones, se han comparado los parámetros de tiempo de vida y distribución de energía en la red utilizando ambos protocolos, AODV estándar y AODV modificado.

Como se puede apreciar en la fig. 5, el protocolo AODV modificado tiene un tiempo de vida de la red mayor que el AODV estándar.

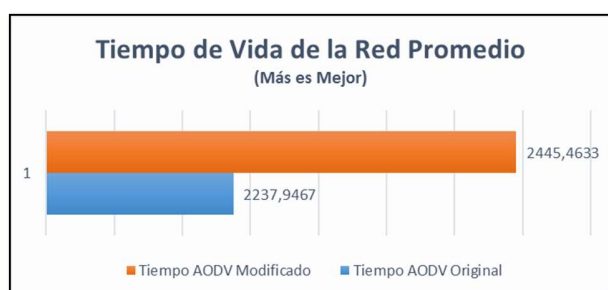


Fig. 5 Comparación de tiempo de vida en segundos

El resultado muestra una mejora del 9,2726% en la utilización del AODV modificado contra el AODV estándar.

Con la utilización del protocolo AODV modificado, se ha buscado obtener una mejor distribución del consumo de energía en la red. El resultado esperado se muestra a través del uso del desvío estándar de la energía residual promedio de las 50 corridas de simulación, representada en la fig. 6, donde la misma fue utilizada en la representación de una distribución normal fig. 7

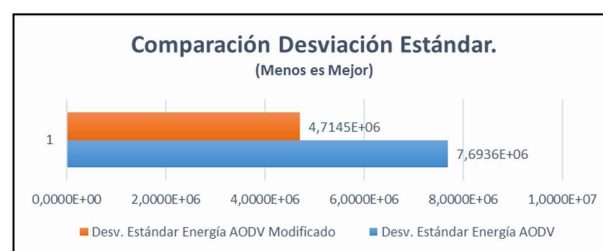


Fig. 6 Comparación de Desvío Estándar promedio.

Efectivamente al realizar el cambio de protocolo se logró una reducción del 38,72% en el desvío estándar del promedio de la energía residual del protocolo modificado sobre el protocolo estándar. Esto significa que los nodos distribuyeron su energía de una manera más homogénea en la red.

En la práctica esto es equivalente a decir que los paquetes utilizaron diferentes rutas, evitando que se concentre el tráfico sobre una misma ruta lo que sería afirmar que se estaría concentrando sobre un mismo grupo de nodos agotando de manera más rápida su energía.

Éste resultado se puede observar en el estudio de la distribución normal, donde el protocolo AODV con la métrica modificada es más estrecho

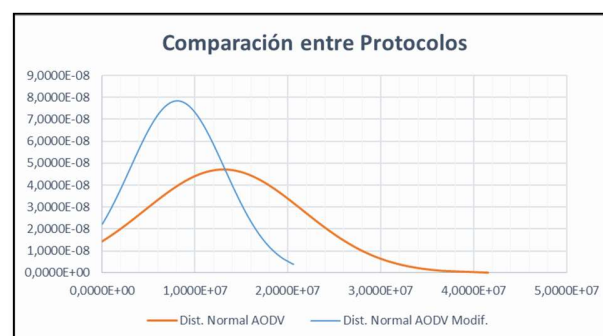


Fig. 7 Comparación de Distribución Normal.

De otra forma, se puede observar que el protocolo modificado, tiene una curva más hacia la izquierda que el AODV estándar, con lo que se puede deducir que la curva del protocolo modificado posee una energía residual media menor que el protocolo estándar.



Este es el efecto esperado y deseado en la comparación de ambos protocolos.

#### 4. Formación de Recursos Humanos

El equipo de trabajo se encuentra formado por una Doctora en Ingeniería Telemática (España), un Doctor en Ciencias Informáticas, Magister en Redes de Datos, un Doctor en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Magister y Especialista en Ingeniería de Software, un Maestrando de Ingeniería de la Web, dos Maestrandos de Redes de Datos, tres auxiliares de investigación graduado, y ocho auxiliares de investigación en período de realización de trabajos de grado. El número de tesis de grado en curso con proyecto aprobado es de cinco y el número de trabajos de especialidad finalizado es uno dentro de la línea de investigación. También se ha finalizado una Tesis de Doctorado. Los proyectos de grado se titulan “Diseño de un prototipo para monitoreo eficiente de iluminación basado en WSN utilizando HTML5”, “Contribución a la Gestión de Residuos Domiciliarios como una Aplicación en Ciudades Inteligentes” y “Análisis y comparación de modelos de propagación para optimizar la localización geográfica de Ganado”.

#### 5. Bibliografía

- [1] K Ashton, "'That 'Internet of Things' Thing'," 2009 (rev. 2011).
- [2] Ahola J., Ambient Intelligence, 2001.
- [3] W. Dargie and C. Poellabauer, "*Fundamentals of Wireless Sensor Networks - Theory and Practice*. Reino Unido: Wiley, West Sussex, 2010.
- [4] Eduardo O. Sosa, Contribuciones al establecimiento de una red global de Sensores Inalámbricos. Tesis Doctoral, Junio 17, 2011.
- [5] C. Perkins, Elizabeth M. Belding-Royer, S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," 2003.
- [6] Ruben Hidalgo, José Ignacio Moreno, "Routing Design in Wireless Sensor Networks and a Solution for Healthcare Environments," *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, vol. 9, no. 3, 2011.
- [7] G. Werner-Allen, K. Lorincz, M. Welsh, O. Marcillo, J. Johnson, M. Ruiz, "Deploying a wireless sensor network on an active volcano," 2006.
- [8] Rafael Marin Perez, "Algoritmos Fiables y Eficientes basados en Enrutamiento Geográfico para Redes Realistas de Sensores Inalámbricos," Murcia, 2012.
- [9] Fatma Bouabdallah, Nizar Bouabdallah, Raouf Boutaba, "On Balancing Energy Consumption in Wireless Sensor Networks," Rennes, France; Waterloo, Canada, 2008.
- [10] S. Ganesh, R. Amutha, "Efficient and Secure Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," Chennai, Tamil Nadu, India, 2013.
- [11] Huarui Wu, Chunjiang Zhao, Li Zhu, "Study on an Energy-aware Routing Algorithm for Agriculture WSN," *TELKOMNIKA*, vol. 11, no. 7, p. 3576~3584, 2013.
- [12] Canonical Ltd. Ubuntu. [Online]. <http://www.ubuntu.com/download/desktop>
- [13] OMNeT++ developers. [Online]. <https://inet.omnetpp.org/>
- [14] OpenSim Ltd. OMNeT++. [Online]. <https://omnetpp.org/>
- [15] Alfonso Ariza Quintana. GitHub. [Online]. <https://github.com/aarizaq/inetmanet-2.0>
- [16] Uppsala University. [Online]. <http://www.uu.se/>