

## Análisis de las prestaciones de 802.11e en redes MANET

María Murazzo<sup>1\*</sup>, Nelson Rodríguez<sup>2\*</sup>, Daniela Villafañe<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>[marite@unsj-cuim.edu.ar](mailto:marite@unsj-cuim.edu.ar), <sup>2</sup>[nelson@iinfo.unsj.edu.ar](mailto:nelson@iinfo.unsj.edu.ar), <sup>3</sup>[villafañe.unsj@gmail.com](mailto:villafañe.unsj@gmail.com)

\* *Docentes e Investigadores, Departamento e Instituto de Informática – FCEFYN - UNSJ*

**Abstract.** El desarrollo de las redes de comunicaciones móviles y sus servicios, ha supuesto un gran esfuerzo científico y técnico para dotar de mecanismos capaces de garantizar QoS (Quality of Service)<sup>1</sup> a los usuarios.

En el caso de las redes móviles ad-hoc (MANET), este esfuerzo es relevante debido a la complejidad y dinamicidad del entorno. Por lo cual, para proporcionar QoS en estas redes, es importante garantizar los requerimientos necesarios y gestionar eficientemente los recursos disponibles.

Con el objeto de proporcionar la calidad demandada por las actuales aplicaciones, han surgido propuestas que abordan la problemática de la QoS en diferentes capas.

Este trabajo aborda la problemática de la provisión de QoS en redes MANET desde la perspectiva de la subcapa MAC, mediante la implementación de 802.11e, para analizar el retardo y la sobrecarga que sufren las transmisiones en ambientes con baja y alta granularidad de nodos.

**Keywords:** MANET, QoS, 802.11e, NS2, CBR

### 1 Introducción

Una red móvil ad hoc (MANET) es una red de comunicaciones formada espontáneamente por un conjunto de dispositivos móviles inalámbricos capaces de comunicarse entre sí, sin la necesidad de una infraestructura de red fija o gestión administrativa centralizada.

Estas redes nacen bajo el concepto de autonomía e independencia, al no requerir el uso de infraestructura pre-existente ni una administración centralizada como las redes cableadas.

Debido a que el alcance de transmisión de los dispositivos es limitado, pueden llegar a ser necesarios nodos intermedios para transferir datos de un nodo a otro. Por ello, en una red MANET cada nodo puede operar como fuente, destino o router (naturaleza “multihop”).

---

<sup>1</sup> En español, calidad de servicio.

En estas redes, los nodos son libres para moverse arbitrariamente, produciendo cambios en la topología de la red. El grado de movilidad y cambio de la topología depende de las características de los nodos. Las variaciones en el canal de radio y las limitaciones de energía de los nodos pueden producir cambios en la topología y en la conectividad. Por lo que, las MANET deben adaptarse dinámicamente para ser capaces de mantener las conexiones activas a pesar de estos cambios [1].

## 2 QoS en Redes MANET

Las actuales redes de telecomunicación, y principalmente las MANET, se caracterizan por un constante incremento del número, complejidad y heterogeneidad de los recursos que las componen. Esta heterogeneidad, se pone aun más de manifiesto según el tipo de aplicaciones que se ejecutan. En la actualidad, la mayoría del tráfico de red es generado por aplicaciones de tipo multimedial o con fuertes restricciones en cuanto a la cantidad de recursos que demandan de la red.

El tráfico multimedia, como el utilizado en telefonía IP o videoconferencia, puede ser extremadamente sensible a los retardos y puede crear demandas de QoS muy restrictivas sobre las redes que los transportan. Cuando los paquetes son entregados usando el modelo de mejor esfuerzo, estos no arriban en una manera oportuna. El resultado son imágenes no claras, desiguales, movimientos lentos, y el sonido no se lo obtiene sincronizado con la imagen.

Los aspectos críticos que causan la mayor parte de los problemas en aplicaciones con grandes restricciones de recursos son: *falta de ancho de banda, retardo extremo a extremo y pérdida de paquetes.*

Respecto a la falta de ancho de banda, la mejor opción para contrarrestarlo, es clasificar el tráfico dentro de clases de QoS y priorizar tráfico de acuerdo a la importancia del mismo.

El retardo extremo a extremo, se puede disminuir dándole a los paquetes pertenecientes a aplicaciones sensitivas, cierta prioridad para que en el camino extremo a extremo sean tratados de manera más ágil.

Por último, y en relación a la pérdida de paquetes, estos pueden ser descartados cuando un enlace está congestionado. Un paliativo para esta problemática es un esquema de scheduler de tráfico que permita proporcionar un mejor servicio a paquetes pertenecientes a aplicaciones sensibles [2].

La QoS, es un término usado para definir la capacidad de una red para proveer diferentes niveles de servicio a los distintos tipos de tráfico. Permite que los administradores de una red puedan asignar a un determinado tráfico prioridad sobre otro y, de esta forma, garantizar que un mínimo nivel de servicio le será provisto.

Aplicando técnicas de QoS se puede proveer un servicio más acorde al tipo de tráfico y de esta manera permitir: priorizar ciertas aplicaciones de nivel crítico en la red, maximizar el uso de la infraestructura de la red, proveer una mejor performance a aplicaciones sensitivas al delay como son las de voz y video y responder a cambios en los flujos del tráfico de red.

Al aplicar técnicas de QoS, el administrador de la red puede tener control sobre los diferentes parámetros que definen las características de un tráfico en particular (retardo extremo a extremo, latencia, variaciones de latencia, pérdida de paquetes, ancho de banda).

El problema de la administración de QoS, está prácticamente resuelto en redes fijas, pero esto no sucede en redes inalámbricas y específicamente en redes MANET cuyas características hacen necesario un nuevo estudio para afrontar este problema.

La topología dinámica, la naturaleza multihop y los escasos recursos de los nodos hacen necesario que los mecanismos de provisión de QoS sean lo más ligeros posibles, en cuanto a carga de procesamiento, como de recursos de red (ancho de banda), para evitar que el throughput o capacidad disponible por nodo se reduzca drásticamente [3].

De todo lo enunciado se puede llegar a la conclusión que la única manera de poder lograr la coexistencia de aplicaciones con diferentes niveles de requerimientos de recursos es realizando una adecuada administración del tráfico mediante la priorización implícita o explícita de los paquetes de datos.

La priorización de tráfico, permitirá que ciertos flujos de datos puedan ser tratados de forma preferencial logrando maximizar el uso del ancho de banda, minimizar el retardo extremo a extremo y minimizar la pérdida de paquetes. Esta priorización se logra mediante la implementación de mecanismos de QoS que permita una gestión de los flujos de tráfico [4].

Existen diversas formas de proveer mecanismos de QoS a las redes: ruteo con QoS, señalización de QoS y MAC (Medium Access Control) con QoS. De todas estas opciones en este trabajo se seleccionó el análisis del impacto de la implementación de mecanismos de QoS en la capa MAC mediante el uso del estándar 802.11e.

## **2.1 QoS en Capa MAC**

Las características de movilidad de los nodos que pertenecen a una red MANET hacen muy difícil la administración de QoS en los niveles de red. Dicha movilidad produce una sobrecarga excesiva, lo cual produce un empeoramiento en la eficiencia de la red.

El estándar 802.11e no congestiona la red con paquetes de señalización, ni con paquetes de descubrimiento de rutas, sino que plantea una forma de administración general, la cual se basa en los tiempos de espera. El que tiene mayor prioridad de transmisión es el que menos tiempo debe esperar. Esto hace, que no sea necesario inundar la red con paquetes, pues cada nodo por separado sabrá si tiene que transmitir o no de acuerdo al tiempo que tenga que esperar, de este modo cada nodo transmite de forma independiente, lo cual evita la necesidad de sincronizarse con los demás nodos para reservar recursos y asignar prioridades de forma conjunta. Otra diferencia importante es que se provee QoS a los paquetes o flujos de datos y no a los nodos que están transmitiendo, a diferencia del ruteo QoS el cual se encarga de hacer reserva de recursos de acuerdo a las capacidades de los nodos; por esta razón con 802.11e no hay necesidad de sincronizarse con los nodos de la ruta seleccionada. Por otra parte, al ser

tan dinámica, las MANET tienen caídas de enlaces muy frecuentemente, lo cual hace que se deban realizar procesos de retransmisión. Dichos procesos en el estándar 802.11e se realizan ejecutando algoritmos de backoff sin la necesidad de reenvíos de paquetes de manera global [5].

### 3 Escenarios de trabajo

Para poder analizar el comportamiento de las redes MANET con respecto a la implementación del estándar 802.11e que provee QoS, fue necesario el uso de un simulador de redes. La herramienta de simulación usada fue Network Simulator 2 (NS-2) versión 2.28, con el parche de 802.11e [6].

Se estudiaron dos parámetros en las transmisiones para el estudio de QoS en los ambientes MANET, el *retardo extremo a extremo* y la *sobrecarga*.

Respecto a los escenarios de simulación, se trabajaron con cuatro escenarios de 20 y 100 nodos, esta variación en la granularidad de los escenarios permitió el análisis del impacto de los distintos niveles de sobrecarga de paquetes de ruteo.

La cantidad de transmisiones en las simulaciones es proporcional a la cantidad de nodos. Se usó la relación de  $n/2$  cantidad de transmisiones activas, donde  $n$  es la cantidad de nodos que se crearon. De esta forma, y siempre que  $n$  sea un número par todos los nodos estarán involucrados en al menos un flujo de datos punto a punto.

Con respecto a las transmisiones, se consideraron dos tipos. El primer tipo de transmisión es de voz 64 Kb/s, este flujo de datos está destinado a los nodos con mayor prioridad (nodos cero y  $n-1$ ). Este flujo de datos se marcará con un ID particular para poder ubicarlo en los archivos resultantes de la simulación. Para el segundo tipo de transmisiones, se consideró que el resto de los nodos corriera una aplicación del tipo CBR de video (*Constant Bit Rate* – Tasa de bits constantes) de 4Mbits/s.

El protocolo de ruteo seleccionado para realizar las simulaciones es AODV (*Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing*) debido a que el retardo que se produce por el rearmado de las tablas de ruteo tiende a estabilizarse cuando la granularidad de la red es alta (superior a los 10 y 15 nodos) [7], lo cual es propicio para los escenarios que se manejan en las simulaciones.

Las simulaciones se realizaron durante 2000 segundos sobre dos modelos de movilidad; *RWPM (Random Waypoint Mobility Model)* y *RWKM (Random Walk Mobility Model)* [8].

En cuanto a las aplicaciones, la transmisión de voz, marcada con un ID especial, comienza a ejecutarse en el segundo 1.0 (el nodo 0 comienza la transmisión de datos) y se detiene 5 segundos antes de que el tiempo de simulación llegue al final. Con las demás transmisiones el mecanismo es el siguiente: se toma el número de nodo que tiene la tarea de enviar datos (dicho número está entre los números  $(1, n/2 - 1)$ ) y a ese número se le suman 5.0 segundos. El resultado de esa operación indica el momento dentro de la simulación en que el nodo comenzará a transmitir. Al igual que la

transmisión marcada, las demás finalizan 5 segundos antes que el tiempo de simulación llegue a su fin.

## 4 Resultados Obtenidos

A continuación se muestran los resultados de las simulaciones, donde se evalúa el impacto de la implementación de 802.11e en el retardo extremo a extremo y la sobrecarga de paquetes de ruteo, también se analiza el comportamiento de esta implementación en escenarios con 20 y 100 nodos para evaluar si la granularidad posee efectos en el desempeño de la red.

### 4.1 Análisis del retardo

La Figura 1 muestra que el retardo es mucho menor cuando se aplica QoS a través de 802.11e. El retardo promedio sin QoS es de 10,50 segundos ( $\pm 7,50$  segundos), mientras que en el caso de una red con QoS se registra un promedio de 0,010 segundos ( $\pm 0,014$  segundos). Los valores registrados cuando no se aplica QoS son muy dispares durante toda la simulación.



Figura 1: Retardo con 20 Nodos, con RWKM

La Figura 2 muestra los resultados cuando el tipo de movimiento es RWPM. Aquí, el retardo promedio cuando no se implementó QoS es de 2,89 segundos ( $\pm 1,30$  segundos), en el caso contrario es de 0,003 ( $\pm 0,004$  segundos). Al igual que con el modelo RWKM, y aunque el retardo promedio es mucho más bajo, la inestabilidad del tiempo de retardo está presente también cuando el tipo de movimiento es RWPM.

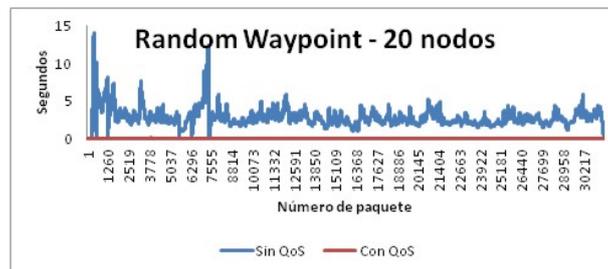


Figura 2: Retardo con 20 Nodos, con RWPM

Como una primera conclusión, se puede observar que el modelo de movilidad afecta el retardo extremo a extremo cuando no se aplica QoS. El tipo de movimiento RWPM produce menores retardos en transmisiones QoS que el modelo RWKM. Si la red tiene implementado QoS, el modelo de movilidad no produce un gran impacto. La Figura 3 muestra que el retardo es, en general menor a 1 segundo.

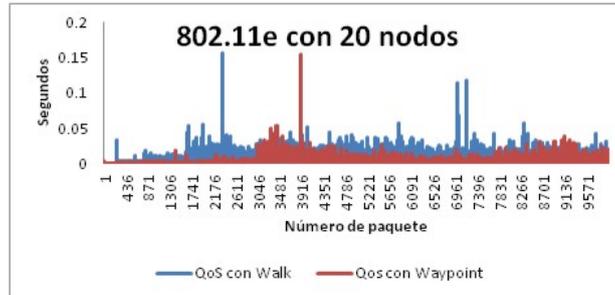


Figura 3: Comparación de QoS según la movilidad para 20 nodos

En caso de un escenario con 100 nodos, o sea, alta tasa de granularidad, se observa que el retardo se vuelve muy inestable en cualquiera de los dos tipos de movimiento cuando no se aplica 802.11e. En la Figura 4, el retardo promedio registrado fue de 11,13 segundos ( $\pm 8,05$  segundos) sin QoS. Mientras que cuando se aplica QoS el tiempo de retardo promedio es de 2,100 segundos ( $\pm 1,266$  segundos).



Figura 4: Retardo con 100 Nodos, con RWKM

La Figura 5 presenta los retardos cuando el movimiento es Random Waypoint. El tiempo promedio cuando no se aplica QoS en este caso 7,03 segundos ( $\pm 6,37$  segundos). De igual manera que en el caso anterior, se puede observar que la inestabilidad de los retardos, cuando no se aplica 802.11e, está muy marcada. El tiempo promedio cuando se aplica QoS es de 1,503 segundos ( $\pm 1,204$  segundos).

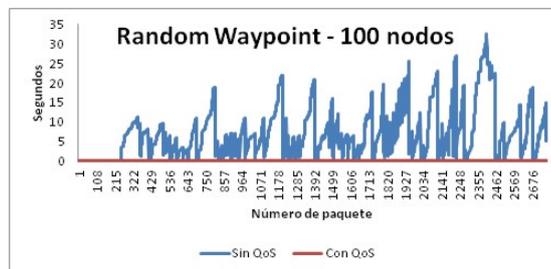


Figura 5: Retardo con 100 Nodos, con RWPM

La Figura 6 muestra la comparativa entre los tipos de movimiento cuando se aplica QoS. Se puede percibir que el tipo de movimiento RWPM genera más inestabilidad que el RWKM. Así mismo, el retardo más alto se lo registró con el movimiento de tipo Walk. En líneas generales el aumento excesivo de la granularidad aumenta el retardo en la red, aún teniendo QoS, para cualquier tipo de movimiento.

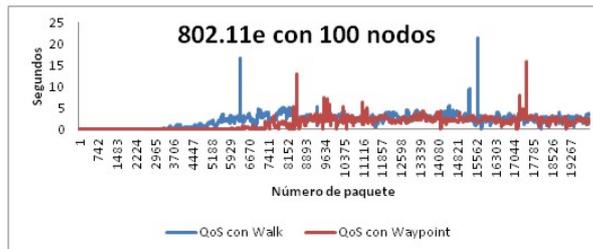


Figura 6: Comparación de QoS según la movilidad para 100 nodos

#### 4.2 Análisis de la sobrecarga

En la Figura 7 se observa la sobrecarga de paquetes de ruteo cuando la cantidad de nodos es 20 y el tipo de movimiento es de Random Walk. Se puede ver que la sobrecarga durante toda la simulación es inestable para la red sin QoS implementado, mientras que para aquella que tiene implementada 802.11e la sobrecarga es estable y en general es baja.

Para el caso de la red sin QoS se registró una cantidad promedio de paquetes de ruteo de 66 paquetes ( $\pm 43$  paquetes), lo cual indica una gran inestabilidad en la sobrecarga de la red. Para su contraparte con QoS se registró una cantidad promedio de 5 paquetes ( $\pm 2$  paquetes), lo cual confirma lo expuesto en el primer párrafo.

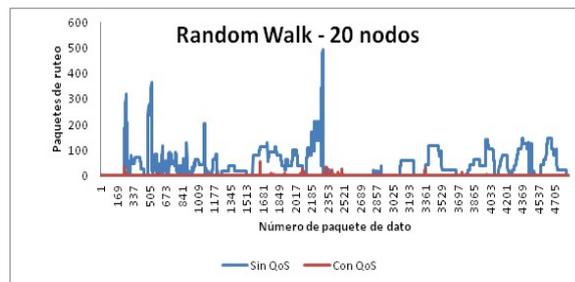


Figura 7: Sobrecarga con 20 Nodos, con RWKM

En el caso de la red cuyo movimiento es el Random Waypoint, Figura 8, se observa que la sobrecarga sigue siendo mayor en la red sin 802.11e. La sobrecarga continúa siendo inestable pues se registró una cantidad promedio de 35 paquetes ( $\pm 17$  paquetes). En cuanto a la red con QoS se registró una cantidad promedio de 3 paquetes ( $\pm 1$  paquetes).

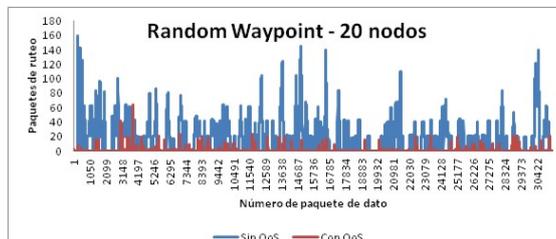


Figura 8: Sobrecarga con 20 Nodos, con RWPM

Como se muestra en la Figura 9, al comparar el impacto del tipo de movimiento en las redes con QoS, se observa que el modelo de movilidad con la granularidad estudiada, no afecta en gran medida la sobrecarga de la red cuando se implementa 802.11e.



Figura 9: Comparación de QoS según la movilidad para 20 nodos

En la Figura 10, con el movimiento del tipo Random Walk, se evidencia que la sobrecarga es muy inestable cuando no se aplica QoS. El promedio de paquetes de ruteo en el caso de la red sin QoS implementado es de 5087 paquetes ( $\pm 3304$  paquetes), mientras que para la red con QoS el promedio de paquetes de ruteo registrado es de 2880 paquetes ( $\pm 1354$  paquetes).

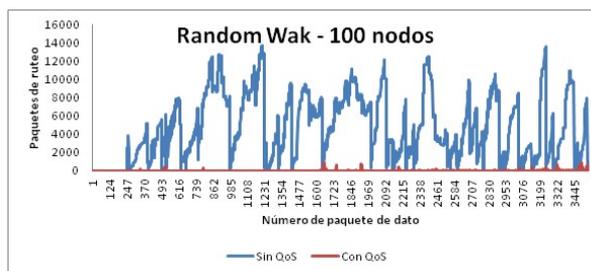


Figura 10: Sobrecarga con 100 Nodos, con RWKM

En el caso de las redes con movimiento Random Waypoint, Figura 11, el promedio de paquetes de ruteo que se registró cuando el estándar 802.11e no estaba implementado fue de 4122 paquetes ( $\pm 3104$  paquetes), mientras que cuando no se implementó se obtuvo un promedio de 2561 paquetes ( $\pm 1294$  paquetes).

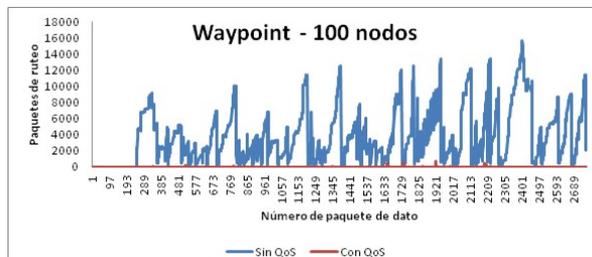


Figura 11: Sobrecarga con 100 Nodos, con RWPM

La Figura 12 muestra la diferencia entre las redes con QoS implementado según el tipo de movimiento. Si bien no se puede observar claramente cuál es más inestable, el hecho de que la desviación estándar sea mayor que el promedio en el caso de la red con movimiento Random Walk, es un indicador de que esta es la que presenta mayor inestabilidad. Aunque en líneas generales la red con mayor sobrecarga es aquella cuyo movimiento es del tipo Random Waypoint.

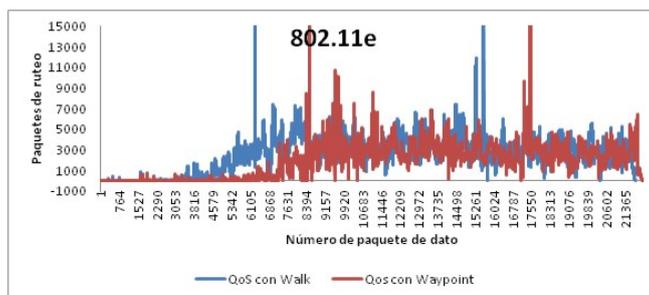


Figura 12: Comparación de QoS según la movilidad para 100 nodos

## 5 Conclusiones

Respecto al retardo, se puede concluir que la implementación del estándar 802.11e produce mejores resultados en las redes que lo implementan. Cualquiera sea el tipo de movilidad, y la cantidad de nodos, el retardo es siempre más bajo y más estable cuando el tráfico pertenece a una red con 802.11e. Aun cuando la granularidad es alta el retardo promedio en las redes con QoS es menor a 1 segundo. Siempre que la granularidad de la red sea menor a 100 nodos, el retardo promedio será muy bajo, no importa qué tipo de movimiento tienen los nodos.

En cuanto a la estabilidad de los tiempos de retardo se puede concluir que en los escenarios donde no se implementó el estándar 802.11e, el retardo fue muy inestable. Es decir, que sin importar el tipo de movimiento que tengan los nodos ni la cantidad, el retardo varía en forma significativa. Lo anterior permite afirmar que entornos con características de movimiento y granularidad como los que se simularon, no son aptos para aplicaciones en tiempo real sin una administración acorde de QoS a nivel MAC, las cuales son altamente sensibles a los cambios en el throughput de la red. Para las redes con 802.11e, la estabilidad cuando la granularidad es baja no es un factor

importante, debido a que, si bien en la mayoría de los casos la misma estaba presente, el retardo promedio es tan bajo (inferior al segundo) que la estabilidad o inestabilidad no afecta demasiado la eficiencia de las aplicaciones que son sensibles al mismo.

Con respecto a la sobrecarga, el estándar 802.11e marca una gran diferencia en la recarga entre las redes que lo implementan de aquellas que no lo hacen. Mientras que la granularidad sea baja la sobrecarga se mantiene estable y no alcanza grandes valores cuando se implementa el estándar de QoS a nivel de MAC. Cuando la granularidad de la red es baja, y se implementa QoS, la sobrecarga de la red es estable y se mantiene en bajos niveles. Para una tasa de granularidad alta, y si las aplicaciones son del tipo CBR, la sobrecarga se vuelve inestable y alta. Esto permite concluir que en el caso de redes con alta granularidad, las aplicaciones sensibles al ancho de banda se verán seriamente afectadas, debido a que la sobrecarga no sólo es alta sino que además es inestable. Las redes con alta granularidad, sin importar el tipo de movimiento que tengan los nodos, no son aptas para aplicaciones sensibles al ancho de banda, debido a que existe una gran sobrecarga de ruteo, y esta es muy inestable. De lo anterior se puede concluir que los entornos móviles con alta granularidad no son aptos para aplicaciones como video llamadas, juegos en línea, streaming de video HD, etc., que son, como se mencionó, sensibles al ancho de banda.

En lo que respecta al efecto de los modelos de movilidad analizados, cuando no se aplica QoS a nivel de la subcapa MAC, el modelo de movilidad tiene un efecto directo y drástico en los retardos de los paquetes de datos. El modelo de movilidad junto con la granularidad fueron los causantes de la gran inestabilidad que se detectó en los retardos en las simulaciones. En general, el modelo Random Walk fue el que generó mayores y más inestables retardos que su contraparte, el Random Waypoint.

## **6 Bibliografía**

- [1] Michel Barbeau y Evangelos Kranakis. "Principles of Ad-Hoc Networking". John Wiley and Sons – 2007.
- [2] Kim, Anbin. "QoS support for advanced multimedia systems". Information Networking (ICOIN), 2012 International Conference. Page(s): 453 - 456
- [3] Murazzo, Rodríguez, Vergara, Carrizo, González, Grosso. "Administración de QoS en ambientes de redes de servicios convergentes". WICC 2013, Parana, Entre Rios, Argentina.
- [4] Robert Wójcik. "Flow Oriented Approaches to QoS Assurance". Journal ACM Computing Surveys (CSUR). Volume 44 Issue 1, January 2012 .Article No. 5.
- [5] Díaz, Marrone, Barbieri, Robles. "Ruteo en redes ad-hoc". WICC 2010, Calafate, Santa Cruz, Argentina.
- [6] Wietholter, Hoene. "Design and Verification of an IEEE 802.11e EDCF Simulation Model in ns-2.26". Technical University Berlin Telecommunication Networks Group (2003).
- [7] Marrone, Robles, Murazzo, Rodríguez, Vergara. "Administración de QoS en MANET". WICC 2011 – Rosario, Santa Fe, Argentina.
- [8] Mohapatra, Panda. "Implementation and Comparison of Mobility Models In Ns-2". National Institute of Technology, Rourkela 2009.