



## MODELO DE SIMULACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DE LA QoS

(Model of Simulation for the QoS Evaluation)

Recibido: 05/06/2012 Aceptado: 23/02/2017

**Cruz, Marely**

Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba.

[marely@uci.cu](mailto:marely@uci.cu)

### RESUMEN

La incorporación de nuevos servicios a las redes existentes, sin estar preparadas para soportarlos, ha traído consigo un fenómeno ya conocido como la necesidad de incorporar calidad de servicio a las redes y a la par de esta comprobar el correcto funcionamiento de las mismas. Entre las formas de evaluación de la QoS, la modelación del comportamiento de la red para luego ser empleada en simuladores ha dejado atrás la forma de realizar modelos matemáticos, los cuales en el entorno una red con gran cantidad de equipos y teniendo en cuenta la heterogeneidad de los mismos es casi imposible representar. De ahí, que se impone la necesidad de acercar cada vez más estos modelos de simulación a la realidad, para así poder obtener resultados más precisos de los mismos. Teniendo en cuenta el déficit de estos análisis en casi la totalidad de las redes existentes, nos damos a la tarea de desarrollar un modelo integral y preciso que permita evaluar la calidad de servicios en redes que empleen el protocolo 802.3, el cual es ampliamente utilizado en las redes de área local.

**Palabras clave:** modelo, simulación, protocolo, QoS, evaluación de la QoS.

### ABSTRACT

The incorporation of new services to the existent networks, without being prepared these for support them, has brought a phenomenon already known as the necessity of incorporating quality of service to the networks and at the sometime of this to check the correct operation of them. Among the QoS evaluation forms, modeling the behavior of the network for being use in shammers, has stopped the way of carry out mathematic models, those which in the environment of the network with great quantity of teams and keeping in mind the heterogeneity of them is almost impossible to represent. So, it is impose the necessity of bringing near more and more these simulation models to the reality for obtaining precise results of them. Keeping in mind the deficit of these analyses in almost the entirety of the existent networks our main task is to develop an specify and integral model which allow to evaluate the quality of service in networks that use the protocol 802.3, which is broadly used in the networks of local area.

**Keywords:** model, simulation, protocol, QoS, evaluation of the QoS.

## INTRODUCCIÓN

Con el amplio desarrollo de las redes hemos sido testigos del rápido crecimiento del tráfico de paquetes en redes informáticas, con la finalidad de considerar diversos tipos de tráfico en servicios de redes convergentes como video conferencias, voz sobre IP, entre otros. En el ámbito de las redes de área local el crecimiento se ha manifestado por el surgimiento de exigentes servicios; los cuales imponen nuevos requerimientos tales como: el ancho de banda, la velocidad de transferencia de datos y la seguridad de las redes, entre otros, los cuales son imprescindibles tener controladas para evaluar correctamente el desempeño de la red.

Todo ello ha obligado a la incorporación de soluciones telemáticas que permitan evaluar y mejorar los servicios que prestarán dichas redes, surgiendo la denominada calidad de servicio (QoS – Quality of Service) para las redes. Donde ha estado probado por algunos expertos según Fernández (2002) la necesidad de la misma, en entornos de red local, sin tener que aumentar el ancho de banda, está dado por el uso de los nuevos servicios sensibles a la latencia, como por ejemplo: VoIP y video.

Para la evaluación del desempeño de la QoS, en una red, existen diferentes formas entre las que se encuentran: las herramientas de gestión de redes y los modelos de evaluación y simulación de las mismas. Las herramientas de gestión, aunque realizan mediciones de tráfico en tiempo real, son en su mayoría propietarias; lo que no permite la flexibilidad de una modificación para satisfacer necesidades que surgen constantemente. Estas, además, las adecúa el fabricante a su conveniencia y las orienta para la gestión y el control de la tecnología diseñada en ese momento y no para simular procesos de una red, ni para comprobar potencialidades.

Por otra parte, las simulaciones permiten realizar predicciones y son flexibles en cuanto a las variantes de equipos y servicios a analizar. Son ellos los más empleados en cuanto al desarrollo de procedimientos para la evaluación de estas potencialidades.

Para la evaluación de los parámetros de QoS, se encuentran en el mundo una serie de modelos y plataformas según Vera (2005) que materializan la ejecución de este proceso y posibilitan simular el funcionamiento de una red, para poder predecir el comportamiento antes de su implementación o para probar futuras operaciones.

Dentro de las diversas formas de evaluación de la QoS se encuentran una serie de herramientas entre las que se encuentran: los programas de gestión de red, los simuladores y modelos; todas estas plataformas que materializan la ejecución de ese proceso.

El empleo de la modelación y simulación en las redes de computadoras est   plenamente justificado, contando con un modelo que pueda valorar los parámetros de QoS, se puede predecir el desempeño de una red y probar el impacto de los nuevos servicios sobre una ya existente. Esto último dado a que pocas veces es posible probar soluciones propias sobre redes implementadas, debido a las perturbaciones que se ocasionarían. Dentro de los tipos de modelos de simulación en la actualidad, permiten

representar mejor las redes existentes teniendo en cuenta que la heterogeneidad de las mismas y la diversidad de servicios que se incrementan constantemente.

No obstante, los modelos existentes para la evaluación de parámetros de QoS que en su gran mayoría son empleados en simuladores de redes presentan diversos inconvenientes, como son: No tienen en cuenta todos los procesos reales que ocurren en una red al estar re-prensados en una sola estación de trabajo y tomar muchas variables a partir de estimaciones y no de procesos reales. Muchos de los simuladores son propietarios los cuales tienen el inconveniente de no poder conocer su código, por lo que no se puede hacer modificaciones necesarias para los cambios existentes en las redes, además del costo de los mismos para adquirirlos. Otros que si son de código abierto exigen, del que emplee los mismos, un conocimiento profundo de redes y programación, dificultándose su uso. Además, de las dificultades que presentan muchos de que evalúan solo algunos de los parámetros de QoS y no tienen en cuenta todos los procesos reales que ocurren como es el tiempo de adquisición del canal en el protocolo 802.3. Todos estos elementos señalados como dificultades de los modelos de evaluación de la QoS son tratados de tener en cuenta en el modelo propuesto en este trabajo.

## CONCEPCIÓN DEL MODELO DE EVALUACIÓN DE LA QoS

Existe una considerable cantidad de modelos, en simuladores de redes disponibles en el mercado y expuestos en diversas fuentes bibliográficas según Andrés y Bueno (2005), Martínez (2005).

### 2.1. Elementos distintivos para el análisis de los diferentes MEQoS.

Aspectos medulares lo constituyen los parámetros a evaluar y las soluciones tomadas para garantizar la precisión necesaria durante el proceso de evaluación. Es por todo ello que los aspectos distintivos tomados como referencia durante los análisis fueron:

- Los parámetros de QoS que se modelan por cada MEQoS. Los modelos que evalúan el funcionamiento de las redes, hasta ahora vistos según Andrés y Bueno (2005), Villanueva (2006), Gómez (1995) no abarcan una serie de parámetros de QoS requeridos para los servicios que en esta tesis se tienen en cuenta.

Partiendo de lo antes mencionado; se impuso un análisis de los servicios que en las condiciones planteadas en la investigación, es necesario desarrollar para obtener los parámetros adecuados para su correcta evaluación.

El modelo a obtener para la evaluación de la QoS, debe contener los parámetros de latencia, caudal, pérdida de paquetes y disponibilidad.

- Los tiempos de retardo que tienen en cuenta los MEQoS durante sus cálculos internos. En el parámetro de la latencia, se tendrá en cuenta el tiempo de adquisición del canal y de las retransmisiones al ocurrir colisiones, lo que garantizará que el modelo a desarrollar entregue valores que se acerquen más a la realidad y por tanto sea más preciso.



– El método empleado para confeccionar el modelo. La gran mayoría emplea como método de modelación, los de la máquina de estado finito y redes de Petri, según Jiménez (2005). Estos al representar la red de forma gráfica, dificultan el entendimiento del modelo cuando las redes se hacen complejas. Ello hace complejo también el poder transformar los modelos para posibles mejoras, o en el mejor de los casos, lograr incrementar un nuevo elemento para caracterizar un nuevo servicio. En el desarrollo de este trabajo se emplea un nuevo método llamado método basado en reglas, el cual permitió resolver los problemas señalados en modelos anteriores obteniendo muy buenos resultados, los cuales son plasmados en el presente.

– La proximidad de los procesos de simulación de los MEQoS, a los procesos reales de una red. La mayor parte de los simuladores existentes realizan la simulación en una sola estación, lo cual limita el poder contemplar procesos reales que ocurren en la red, teniendo la necesidad de estimar tiempos por ejemplo en la adquisición del canal, lo cual es considerado en el modelo desarrollado.

Sobre la base del análisis profundo y de la comparación; fueron emergiendo las limitaciones y virtudes de los MEQoS investigados. Ello contribuyó a la estructuración de la solución encontrada al problema científico a resolver.

## 2.2. Características generales del modelo de red objeto

El modelo de red que se analizará constituye una red local, con tecnología de transmisión por difusión, bajo un protocolo sin conexión y orientado a confirmación. Además, solo se analizarán los procesos comprendidos entre la capa física y la de red que son los que más fuertemente intervienen en todos los sucesos que acontecen a esos niveles de la arquitectura OSI, según Jain y Agrawala (1993), Halsall (1996) Della y Navarro (2001).

Para la modelación de una red a nivel local, uno de los mecanismos necesarios a tener en cuenta para comprender su funcionamiento son los protocolos de la capa de enlace de datos y específicamente el del Control de Acceso al Medio (MAC o Medium Access Control). Su conocimiento aporta, de forma acertada, cómo se comporta el mecanismo de acceso y transferencia de tramas entre los nodos que conforman la red. A partir de ese análisis se podrá determinar y modelar, todos los aspectos que intervienen en un proceso tan complejo como lo es el de las colisiones y valorar su influencia en los parámetros de QoS a evaluar en la red.

Dentro de los protocolos que se emplean a nivel MAC según Tanenbaum (2003) y Black (1993) se encuentran: el estándar 802.3 (conocido también por sus siglas CSMA/CD), el 802.4 (Token Bus) y el 802.5 (Token Ring) de la IEEE; los cuales se diferencian en la estructura de la capa física y en la de la subcapa MAC. No obstante, todos son compatibles en la capa de enlace de datos. Los mismos son protocolos orientados a confirmación y sin conexión. En los supuestos de la hipótesis se tomó el protocolo 802.3 por su amplio uso en las redes de área local y específicamente en las existentes en el país y es por ello que se ha orientado la atención hacia el mismo.

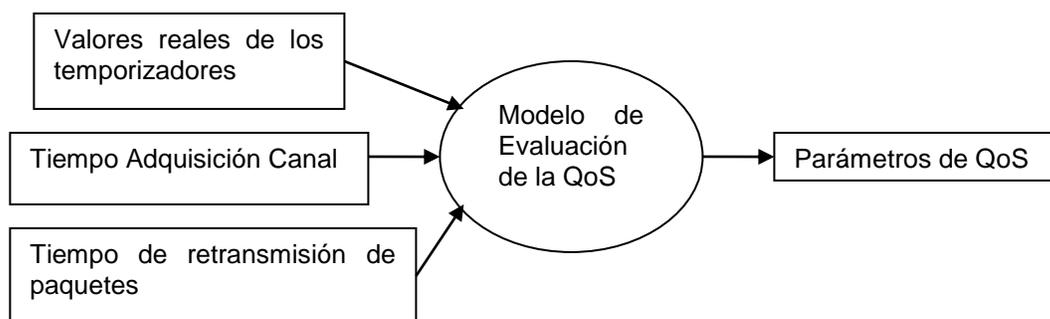
El estándar 802.3 de acuerdo a lo establecido en la RFC 826, contiene un protocolo de nivel 2 (enlace de datos), específicamente de la capa MAC y utiliza como técnica de acceso al medio la técnica de contienda. Durante el funcionamiento del CSMA/CD, es necesario destacar varios momentos importantes en el mecanismo de acceso y transmisión, los cuales inciden en los diversos parámetros de la red y que son de interés para el análisis desarrollado en la tesis. Ellos son:

- La estación que desea transmitir censa el canal. Si el canal está ocupado espera hasta que se desocupe; de otra manera transmite de inmediato.
- Si dos o más estaciones detectaron silencio en el canal y enviaron datos al mismo tiempo o casi al mismo tiempo, todas las transmisiones quedan dañadas ocurriendo lo que se conoce como colisión.
- Cuando cada estación transmisora detecta la colisión, detiene su transmisión, envía una secuencia pseudoaleatoria (llamada jam) y pone en funcionamiento el algoritmo de retroceso exponencial binario, para intentar ocupar nuevamente el canal.

La colisión constituye uno de los efectos más degradantes del tráfico en la red y es por ello que es tenido en cuenta en el análisis e incluido en los supuestos de la hipótesis. Esta genera, como se planteó, un proceso de espera que variará de forma pseudo – aleatoria y afectará (ver anexo 1) todo el mecanismo de la comunicación y por ende el comportamiento de los parámetros que se deseen evaluar. Estos también serán afectados aunque en menor cuantía, por los retardos necesarios que se producen en el proceso de adquisición del canal aun sin la ocurrencia de colisiones.

Partiendo de las especificidades vistas anteriormente del 802.3, se confeccionó la idea general del modelo de evaluación de la QoS, contenida en la figura 1.

**Figura 1. Representación general de modelo de evaluación de QoS**



**Fuente:** elaboración propia.

Para ganar en precisión en cuanto a las lecturas de la evaluación, se deben tomar los valores reales de los temporizadores, también tener en cuenta la afectación que introduce el tiempo de adquisición del canal y el tiempo empleado en las retransmisiones de los paquetes. Todo esto constituye las distintas variables de entrada (obtenidas mediante

sniffers) al modelo pretendido, lo que redundará en una evaluación más precisa de los parámetros de QoS a obtener en la salida.

### MODELO DE EVALUACIÓN DE LA QOS DE UNA RED 802.3

Este modelo se realiza sobre la base del funcionamiento del protocolo 802.3, suponiéndose el arribo de los paquetes de manera aleatoria y con la distribución de Poisson.

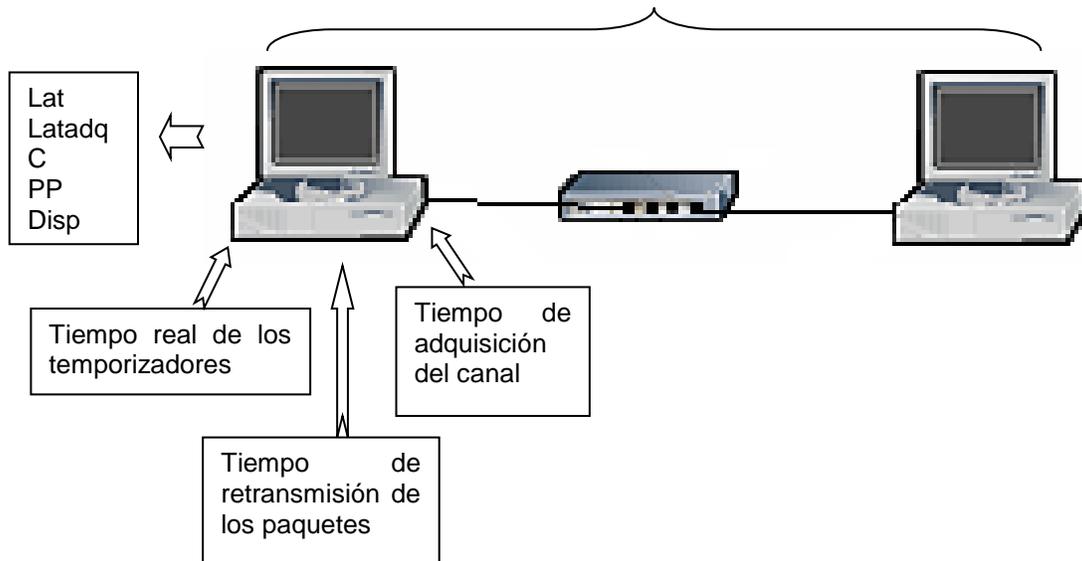
Se posibilita la realización de todos los procesos propios de la comunicación, desde la capa física a la capa de red, como son: el censado del canal, la adquisición del canal, la preparación de la trama, el envío de la trama, la recepción de la trama, la verificación de la trama, entre otros. Además, se permite la obtención de un conjunto de valores numéricos utilizados en los cálculos de los parámetros de QoS a evaluar.

El hecho de poder materializar los procesos reales de una red, permite la repetición de un número de veces deseado y la realización de un análisis estadístico de los procesos que se realizan. De esa forma se da un resultado más acertado de las variables de salida del sistema o parámetros de QoS.

El modelo de simulación de una red 802.3 está concebido de la siguiente forma:

**Figura 1. Concepción del modelo de simulación para una red 802.3**

Procesos reales de la comunicación



**Fuente:** elaboración propia.

En la figura 1 se aprecia que en el modelo de esta red se emplean varios nodos: uno receptor y los restantes transmisores; por lo que todos los eventos que se utilizan en el modelo se incluirán indistintamente en los módulos transmisor y receptor, tal como el caso anterior.

El modelo se implementa en una red real en la que solo se define el fichero que se va a transmitir. Cada estación se encarga de realizar todos los demás procesos necesarios para la comunicación.

Según el método basado en reglas, para crear el modelo, se fueron definiendo los siguientes pasos:

1- Los eventos de importancia, para el modelo desarrollado, son los mismos que los expresados en el epígrafe 3.2; aunque en algunos eventos existirán las diferencias inmersas en el proceso de acceso al canal, que serán las expuestas a continuación.

### **TRANSMITIR DATOS**

Durante este evento debe tenerse en cuenta que:

- Se censa el canal primero y si está vacío se adquiere. De ocurrir lo contrario, que esté ocupado, se pasa a ejecutar el algoritmo de retroceso exponencial binario.

- Durante la ejecución del algoritmo se incrementa la cantidad de intentos sucesivos por adquirir el canal. En general, tras  $i$  colisiones, se escoge un número aleatorio entre 0 y  $2^i - 1$  y se espera ese número de tiempos de ranuras (o sea se multiplica ese número aleatorio por el tiempo de ranura que es de  $51,2 \mu s$ ); posteriormente, tras transcurrir este tiempo de espera, se intenta adquirir el canal nuevamente.

- Tras 10 intentos sucesivos por adquirir el canal se dejará de incrementar el número de intentos (o sea  $i$ ) y se seguirá escogiendo otro número aleatorio dentro del intervalo entre 0 y  $2^{10} - 1$ .

- El proceso se repetirá de forma reiterada, mientras no sea adquirido el canal. Ello tendrá un límite de 16 intentos sucesivos a partir de los cuales se desechará la trama y se dará como pérdida de paquete.

- En el instante que se adquiera el canal, se procederá a tomar el paquete que se quiere transmitir (del buffer de salida, este paquete puede ser un paquete de dato, un ACK o un NCK) y se pondrá en el canal.

Este evento se incluirá en los dos módulos transmisor y receptor.



## PROCESAR RECEPCIÓN

Durante este evento se toma el paquete de la cola de recepción, se desensambla, se verifica el error en la cabecera del paquete, se pregunta si es para esta máquina y si es Mensaje, ACK o NCK.

- Si es ACK se contará la cantidad de paquetes que se transmitieron satisfactoriamente. En este momento se realiza el cálculo de algunos de los parámetros de QoS como son la latencia y el caudal.

- Si es NCK se pregunta si se vence el tiempo máximo de transmisión. Si el tiempo no se ha vencido se espera a que el mismo se venza (en este proceso de espera puede ocurrir que llegue un paquete ACK y entonces este tiempo se vuelve a poner a cero para empezar el conteo de otro nuevo mensaje). Si este tiempo se vence se cuentan las pérdidas de paquetes. En este instante se calculan los parámetros de QoS: pérdida de paquetes y la disponibilidad.

- Si es mensaje se procesa. Para esto se verifica si hay error en los datos, de existir error se prepara una trama NCK para ser transmitida y de no existir error se prepara una trama ACK para ser transmitida. En todos los casos las tramas se incluirán en la cola de transmisión.

Este evento se incluirá en los dos módulos transmisor y receptor.

## PROCESAR COLISIÓN POR ACK

Se espera el tiempo para recibir el ACK, si se vence se incrementa la pérdida de paquetes y la cantidad de colisiones. Aquí se calculan los parámetros de QoS de pérdidas de paquetes y disponibilidad.

Este evento solo se incluye en el módulo transmisor del modelo.

2- Los subsistemas (objetos) son los siguientes:

- Máquina

- Mensaje

3- Las propiedades relevantes de los objetos son:

- Máquina: Estado 1 - Rx o Tx

Estado 2 - Ocupada o Desocupada

Lista de mensaje

- Mensaje: Estado 1 - Sin procesar o Dato

Estado 2 - Paquete de dato, ACK o NCK

4- Las reglas de los eventos, al igual que el caso anterior, se definen para cada uno de ellos del modo siguiente:

#### **EVENTO PROCESAR ARRIBO:**

Regla 1: Si Estado 1 de la máquina es Rx, el Estado 2 de la máquina es Desocupada y la lista de mensajes de la cola tiene un mensaje, se invoca al Evento Procesar arribo.

#### **EVENTO TRANSMITIR DATO:**

Regla 1: Si Estado 1 de la máquina es Rx, el Estado 2 de la máquina es Ocupada y hay un mensaje en la cola, se transmite el dato y se toma el tiempo de inicio de la transmisión.

#### **EVENTO PROCESAR RECEPCIÓN:**

Regla 1: Si Estado 1 de la máquina es Rx, el Estado 2 de la máquina es Ocupada y el estado del mensaje de la cola de recepción está sin procesar, se llama a procesar recepción.

#### **EVENTO PROCESAR COLISIÓN POR ACK:**

Regla 1: Si Estado1 de la máquina es Rx, el Estado 2 de la máquina es Desocupada, el mensaje de la cola de recepción es distinto de dato y si el tiempo de inicio de transmisión más el tiempo máximo de transmisión es igual al tiempo de espera del ACK, entonces se invoca al evento procesar colisión por ACK.

El modelo obtenido no se basa en relaciones funcionales, ya que en sistemas más complejos esto haría más complicado los procedimientos. Como se planteó, las relaciones están subordinadas a reglas y en ellas se recogen todos los procedimientos que, en detalle se conocen, durante los diferentes procesos de la comunicación. Todo ello demuestra que, mientras mayor sea el conocimiento que se tenga de los procesos reales, mayor será la precisión con la que se desarrollará la simulación.

Una vez desarrollado el modelo propuesto en este trabajo, surge la necesidad de evaluar sus resultados para lo cual se emplea un modelo matemático en una red pequeña, ya que el mismo no es factible emplear en redes grandes y bajo las mismas condiciones se emplea el modelo desarrollado y se comparan resultados.

4. Análisis comparativo entre el modelo matemático y el modelo de simulación sobre la base del protocolo 802.3

El modelo elaborado aprovecha las características físicas, las expresiones logradas en el modelo matemático y las estadísticas de los procesos simulados y evalúa el comportamiento de los parámetros de QoS primordiales de la red multiservicio.

Antes de realizar el análisis comparativo de los resultados derivados de ambos modelos, es importante reflejar que el modelo de simulación de la red en que interviene el

protocolo 802.3, al igual que el modelo de simulación de la red simple, cumple con un conjunto de exigencias acordes con el funcionamiento de una red real.

En el anexo 15 se refleja el comportamiento de las variables y parámetros resultados de la simulación, y la valoración de ellos es mostrada a continuación:

- La cantidad de paquetes transmitidos es equitativa entre las diferentes estaciones de trabajo.

- El receptor recepciona la cantidad de paquetes transmitidos o un número menor de este, como consecuencia de las pérdidas de paquetes.

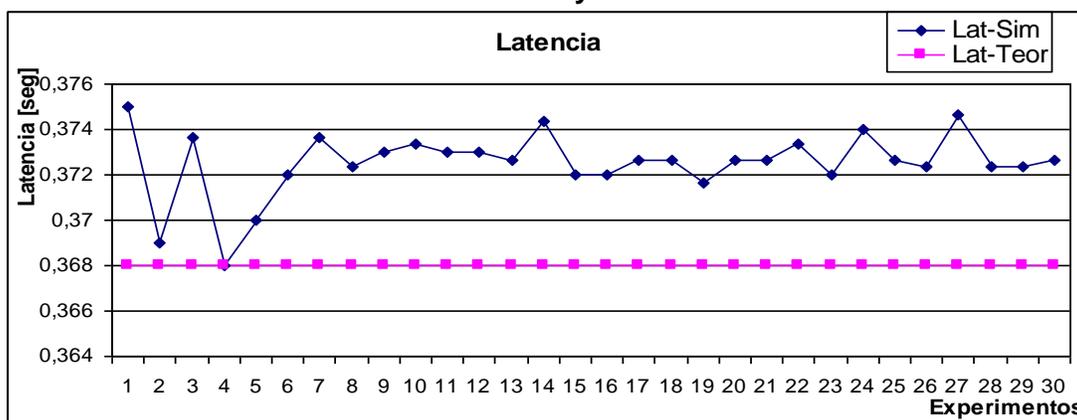
- La cantidad de ACK transmitidos y perdidos también manifiesta un correcto comportamiento, ya que los ACK perdidos son menores que los ACK transmitidos.

El análisis comparativo entre los resultados obtenidos que describen el comportamiento de los parámetros de QoS, entre el modelo analítico y los ofrecidos por el modelo de simulación resulta un proceso de notable importancia.

En el anexo 15 se muestran los resultados obtenidos en los experimentos para la latencia, el caudal y la pérdida de paquetes. Ellos reflejan los valores promedios de la red, determinados a partir del valor promedio de las tres estaciones transmisoras. Los valores promedios de las estaciones transmisoras se obtuvieron tomando el valor promedio de los paquetes transmitidos por esas estaciones.

En la figura 4.4 se muestra una gráfica de los resultados, de la simulación del modelo y comparado con el modelo analítico para la latencia.

**Fig. 4.4. Representación de la confrontación de los valores de latencia (Lat) obtenidos del modelo analítico y el modelo de simulación**



**Fuente:** elaboración propia.

En la figura 4.4 se puede constatar que el valor de la latencia durante la simulación, oscila alrededor de valores cercanos al valor teórico.

Para una mejor comprensión de esta variación se pueden observar los datos mostrados en la siguiente tabla, donde se aprecia el error obtenido en los modelos analíticos y de simulación.

**Tabla 4.6. Resultados de la latencia (Lat) según el modelo analítico y el modelo de simulación**

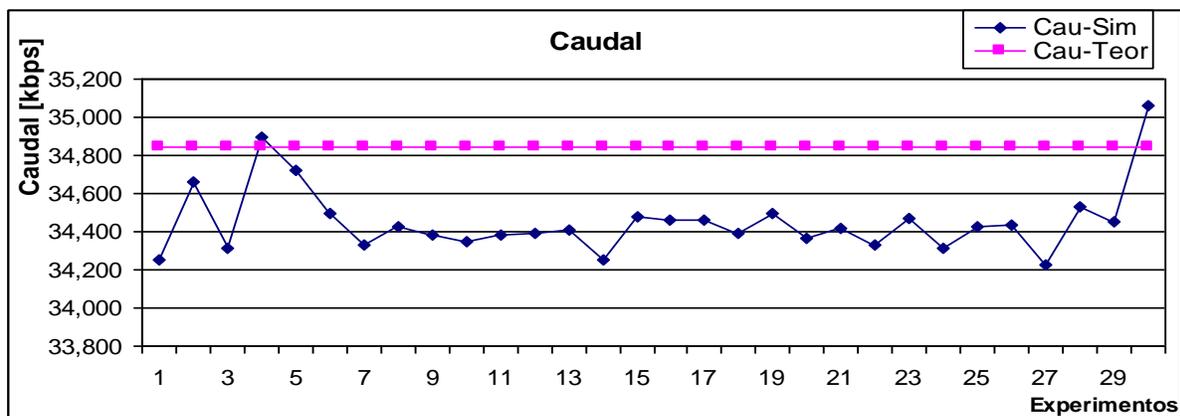
LATENCIA SEGÚN EL MODELO ANALÍTICO (S)	0,368
Latencia promedio según la simulación (s)	0,373
Error absoluto (s)	0,005
Psigerror (%)	1,34

**Fuente:** elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 4.6, el valor teórico se encuentra muy próximo al de la simulación y se puede apreciar que el error que presenta un modelo con respecto a otro es menor del 2%, en este caso es de 1,34%.

En la siguiente figura se muestra una gráfica de los resultados de la simulación y del modelo analítico para el caudal, la que muestra que existe una relación de un valor con respecto al otro.

**Figura. 4.5. Representación de la confrontación de los valores del caudal (C) obtenidos del modelo analítico y el modelo de simulación**



**Fuente:** elaboración propia.

En la gráfica de la figura 4.5 se aprecia que el valor del caudal, resultado de la simulación, oscila cerca del valor del caudal resultado del modelo analítico.

En la siguiente tabla se pueden apreciar los resultados del caudal de ambos modelos y el error obtenido para dicho parámetro.

**Tabla 4.7. Resultados del caudal (C) según el modelo analítico y el modelo de simulación**

CAUDAL SEGÚN EL MODELO ANALÍTICO (S)	34,847
Caudal según la simulación (Kbps)	34,452
Error absoluto (kbps)	0,395
Psigerror (%)	1,13

**Fuente:** elaboración propia.

En los resultados mostrados en la tabla 4.7 se observa que el error para el c culo del caudal tiene un valor menor del 2%, en este caso es de 1,13%.

Del análisis del error para la latencia y el caudal, se deriva que los mismos tienen valores aceptables y que est n plenamente justificados por los siguientes motivos:

- Los valores tanto de los modelos analíticos y de simulación fueron obtenidos mediante un escenario o red, pero a través de diferentes métodos, por lo que se esperan resultados similares en cuanto a los valores de los parámetros, mas no iguales.

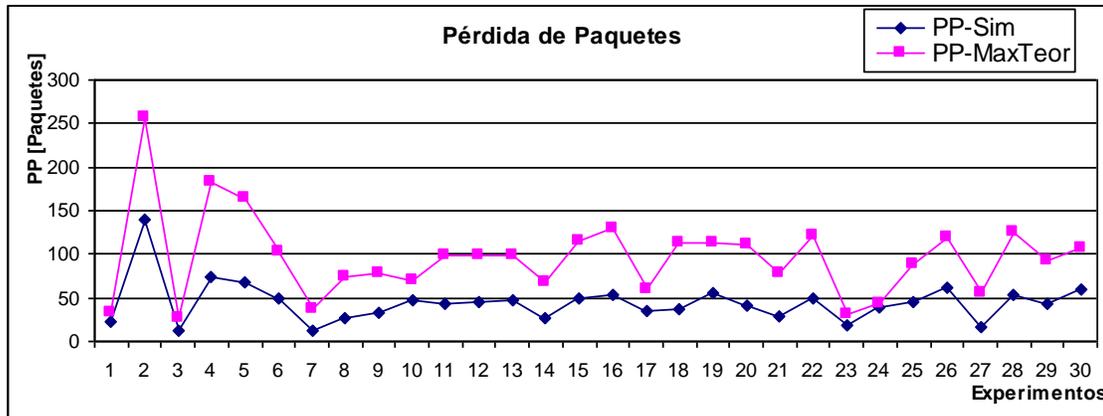
- El método analítico para la obtención del modelo, mediante ciertas suposiciones, introduce errores inevitables en los resultados.

- El método de simulación empleado se basa en el método de Monte Carlo, en el que se realizan procesos aleatorios y se calculan promedios de los resultados, el que también introduce errores inevitables que pueden ser hasta del orden del 10%.

- Las propias condiciones de la simulación donde se emplean las computadoras, y un *hub* serie confeccionado para realizar estos experimentos, introducen errores propios por su constitución.

En la siguiente figura se muestra una gráfica de los resultados del modelo de simulación y del modelo analítico para la pérdida de paquetes.

**Figura 4.6. Representación de la confrontación de los valores del caudal (C) obtenidos del modelo analítico y del modelo de simulación**



**Fuente:** elaboración propia.

En la gráfica de la figura 4.6, se observa el valor máximo de pérdida de paquetes para el modelo analítico y el valor obtenido del modelo de simulación en los experimentos realizados. El valor obtenido del modelo de simulación se manifiesta, en todos los casos, por debajo del valor máximo teórico calculado, lo cual demuestra que existe una correspondencia entre los dos modelos.

Los resultados de la comparación entre ambos modelos (analítico y de simulación) muestran que los resultados son muy próximos en cuanto a los parámetros de QoS, de lo cual se infiere que los resultados obtenidos por el modelo de simulación para la evaluación de la QoS son aceptables, contando además que el error entre ambos modelos también se manifiesta de forma aceptable.

Una vez realizada la comparación entre el modelo analítico y de simulación y demostrado que existe un comportamiento adecuado del modelo de simulación para la evaluación de la QoS, elaborado en esta investigación.

## CONCLUSIONES

- Los resultados del modelo de evaluación de la QoS de una red multiservicio demostraron que al tenerse en cuenta la influencia del tiempo de retardo que genera el control de acceso al medio, a través del tiempo de adquisición del canal se puede obtener un pronóstico más preciso del comportamiento de los parámetros de QoS.

- La comparación de los resultados, entre el modelo analítico del protocolo 802.3 y el modelo de simulación desarrollado sobre la base del protocolo 802.3, arrojó un margen de error inferior al 2%, demostrándose el diseño correcto del modelo de simulación desarrollado en este trabajo.

- El modelo de simulación de la red 802.3, de acuerdo al número de parámetros que evalúa y a los eventos que lo componen, garantiza una evaluación precisa e integral de la QoS en una red multiservicio.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrés, M. y Bueno, C. (2005). Simuladores UMTS. Documento en línea. Disponible en: <http://trajano.us.es/~fornes/RSR/2005/UMTS/Simuladores%20UMTS%20-%202005.pdf>. Consulta: 25/01/2010.

Black, U. (1993). Data Link protocols. Englewood Cliffs. USA. Prentice Hall.

Della, J. y Navarro, M (2001). Modelo de referencia OSI. Interconexión de sistemas abiertos, <http://web.frm.utn.edu.ar/comunicaciones/modelo-osi.html>. Consulta: 24/02/2011.

Fernández, G. (2002). Voz sobre IP. <http://www.ub.edu.ar/investigaciones/tesinas/33-crocco.pdf>. Consultas: 14/08/2011.

Gómez, I. (1995), I. Análisis y diseño de protocolos de acceso al medio para el control de redes eléctricas. Doctorado en Ciencias Físicas. Universidad Sevilla. España.

Halsall, F. (1996). Data Communications, Computer Networks and Open System. USA. Addison-Wesley.

Jain, B. y Agrawala, A. (1993). Open System Interconnection. USA. McGraw-Hill.

Jiménez, E. (2005). Modelado y Simulación de Procesos Logísticos y de Producción Mediante Redes de Petri. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial. Volumen 2, número 4, (Pp. 123-216).

Martínez, J. (2005). Manual de prácticas de simulación. [http://wpd.ugr.es/~rnavajas/wordpress/wp-content/uploads/2017/03/manual\\_pract\\_GII.pdf](http://wpd.ugr.es/~rnavajas/wordpress/wp-content/uploads/2017/03/manual_pract_GII.pdf). Consulta: 16/06/2011.

Tanenbaum, A. (2003). Computer Networks, 4th Edition, New Jersey Prentice Hall.

Vera, I. (2005). Simulación de redes de computadores aplicados a la docencia. <http://grado11liceodelosandes.wikispaces.com/file/view/memoria.pdf>. Consulta: 12/04/2011.

Villanueva, F. (2006). Simulador ns2. Principios básicos. <http://crysol.inf-cr.uclm.es/es/node/224>. Consulta: 22/02/2011.