

# UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS SOFTWARE PARA EL MODELADO Y LA SIMULACIÓN DE REDES DE COMUNICACIONES



## AUTOR

**Wílder Eduardo Castellanos Hernández**

Ingeniero Electrónico  
Investigador Grupo de Investigación en Nuevas Tecnologías, GNeT  
Unidades Tecnológicas de Santander  
wilder.eduardo@gnetuts.org  
COLOMBIA

## AUTOR

**Mónica Edith Chacón Osorio**

Auxiliar de Investigación  
Grupo de Investigación en Nuevas Tecnologías, GNeT  
Unidades Tecnológicas de Santander  
monica@gnetuts.org  
COLOMBIA

Fecha de Recepción del Artículo marzo 24 de 2006 Fecha de Aceptación del Artículo Abril 17 de 2006  
Artículo Tipo 2

## RESUMEN.

*El modelado y la simulación de redes de comunicaciones, es un área de gran incidencia sobre el desarrollo de las telecomunicaciones ya que estas técnicas son herramientas importantes en proyectos de investigación que buscan el desarrollo de nuevos modelos de comunicación sobre redes. El análisis del desempeño de las nuevas arquitecturas de red, es el principal aporte de las herramientas computacionales de simulación, en la evolución de los sistemas actuales de comunicación, ya que permitirán evaluar nuevas tecnologías y aplicaciones telemáticas más complejas. Estudios recientes, muestran que actualmente existe una gran cantidad de programas que se han desarrollado y otros tantos que han evolucionado con el tiempo, para convertirse en herramientas con grandes capacidades para el estudio de las redes, convirtiendo al software de simulación, en un elemento activo de aprendizaje utilizado en la enseñanza de los fundamentos teóricos de las comunicaciones de datos.*

*El artículo está dividido en tres partes: en la primera se definen brevemente los fundamentos teóricos del modelado y la simulación, así como los tipos de simulación que se pueden ejecutar; en la segunda, se hace una descripción de las herramientas de simulación más utilizadas, señalando las posibilidades que ofrece cada programa en el análisis de las diferentes tecnologías de telecomunicaciones. Finalmente, como aplicación de los fundamentos de simulación y de las herramientas computacionales, se exponen algunos ejercicios de simulación que se han implementado satisfactoriamente en el Laboratorio Especializado de Modelado y Simulación de Redes de Telecomunicaciones en las Unidades Tecnológicas de Santander. Con estos ejercicios prácticos se pretende mostrar las oportunidades reales que ofrecen las técnicas de simulación y además, dar una visión de los estudios que se pueden desarrollar en el área de las telecomunicaciones mediante la utilización de software de simulación.*

## PALABRAS CLAVES

Software de telecomunicaciones  
Simulación de redes de comunicaciones  
Simulaciones continuas y discretas  
NCTUNS  
COMNET

## ABSTRACT

The modeling and simulation of communication networks, is an important area in telecommunications field, because these computer tools are used to analyze the performance of new topologies, services and applications over LAN, MAN and WAN models. This greater use of simulation for network analyses is due in part to the increased number of networks in existence

and to their greater complexity. Analysis, computer simulation and experimentation are the three main techniques to evaluate the performance of communication networks. Most of analytical techniques are devoted to only the brush-fire research on the performance evaluation of communication networks. It is usually too costly to build up an experimental network to evaluate its performance. For the above reasons, computer simulation is widely used to design, analyze and evaluate communication networks.

This article is divided in three parts: the first part defines the theoretical concepts of the modeling and simulating for communication networks and the different types of simulations; the second part describes the principal characteristics of the simulating software tools more used in telecommunications. Finally, the third part exposes some simulation exercises are analyzed. These exercises are development in the Networks Simulation Laboratory of the Telecommunications Program in the "Unidades Tecnológicas de Santander" and pretend to describe the real opportunities offer for the simulation software in the development of studies about new telecommunications networks.

## KEYWORDS

Computer simulation tools  
Simulation of communications networks  
Discrete and Continue Simulations  
NCTUNS  
COMNET

## INTRODUCCIÓN

El acelerado desarrollo de las técnicas de procesamiento y de las tecnologías para la transmisión de la información; ha provocado que las redes de comunicaciones entren en una era de continuas transformaciones que les permiten ajustarse, al incansable avance de la tecnología. Este desarrollo permanente de las comunicaciones, así como la aparición de servicios de red novedosos y cada vez más complejos, han llevado a los proveedores de tecnologías, a las empresas de telecomunicaciones, a las universidades y a los grupos de investigación, a desarrollar principalmente tres técnicas para evaluar el desempeño de las diferentes tecnologías de red; dichas técnicas son: el análisis, la simulación y la experimentación [16]. Sin embargo, considerando la complejidad de las nuevas topologías, los protocolos y el tráfico de las redes, es generalmente imposible construir un modelo analítico que pueda cubrir todos los aspectos técnicos. Por lo tanto, la mayoría de las técnicas analíticas son utilizadas solamente para la evaluación del desempeño de una red en funcionamiento. Por otro lado, generalmente resulta costoso construir una red experimental para evaluar su desempeño. Por estas razones, los programas computacionales que permiten simular diferentes tecnologías de telecomunicaciones, son ampliamente utilizados; ya que facilitan el análisis de las redes y representan además, una reducción en los costos y en el tiempo del diseño y planeación de los nuevos sistemas de comunicaciones.

Por lo tanto, ha surgido un área dentro de las telecomunicaciones, dedicada al desarrollo de herramientas

computacionales para la simulación de redes; permitiendo evaluar el desempeño de múltiples tecnologías dentro de arquitecturas de red más complejas y verificar el comportamiento dinámico de algoritmos, protocolos y aplicaciones. Y a su vez, hacer estudios de tráfico y enrutamiento para la detección de posibles fallas antes, durante y después de la implementación física.

Con respecto al ambiente educativo, las simulaciones de sistemas telemáticos, constituyen un importante complemento a la conceptualización teórica, ya que estas herramientas facilitan el estudio y comprensión de los conceptos teóricos; especialmente en instituciones que no cuentan con la posibilidad de experimentar sobre redes físicas [1][4].

A continuación se definen brevemente los fundamentos teóricos del modelado y la simulación de redes, así como los tipos de simulación que se pueden ejecutar. Esta fundamentación establecerá los conceptos teóricos necesarios para el análisis y clasificación de las diferentes herramientas software de simulación. Posteriormente, se describen unos ejercicios de simulación que se han implementado como proyectos de investigación en diferentes áreas de las telecomunicaciones y desarrollados en el Laboratorio Especializado en Modelado y Simulación de Redes de Telecomunicaciones en las Unidades Tecnológicas de Santander. Con estos ejercicios prácticos no se pretende describir los pasos a seguir en la configuración de simulaciones ni la publicación de los resultados de las investigaciones, por el contrario, el objetivo es mostrar las oportunidades reales que ofrecen las diferentes herramientas de simulación y además, dar una visión de los estudios que se pueden desarrollar en el área de las telecomunicaciones mediante la utilización de software de simulación.

## 1. SIMULACIÓN DE REDES DE COMUNICACIONES

La simulación es una técnica que permite reproducir la esencia de un fenómeno sin reproducir el fenómeno en sí [8], con la ventaja adicional de poder hacerlo en una escala de tiempo muy pequeña, comparada con la que se necesitaría para obtener los mismos resultados utilizando físicamente el objeto a simular. Además, esta técnica permite recrear con "exactitud" los eventos, propiedades, características y funcionamiento de un sistema, permitiendo su análisis, con una inversión menor a la que se necesitaría en la experimentación sobre un modelo real.

La simulación, también puede ser definida como el estudio cuantitativo de un sistema real, en el cual se trabaja con un modelo simplificado que abstrae los elementos, sucesos y magnitudes del modelo original. En este modelo se hace una representación numérica de la evolución del sistema, durante un cierto periodo de tiempo, en el cual se calculan algunos parámetros representativos a partir de los datos recogidos, haciendo uso de un programa de simulación [8]. De acuerdo a lo anterior es preciso definir lo siguiente:

Modelo de simulación, se refiere al conjunto de hipótesis acerca del funcionamiento del sistema expresado como las

relaciones matemáticas y/o lógicas entre los elementos del sistema. Es decir, el modelo de la simulación hace referencia a la representación del sistema real, las variables a analizar y a las condiciones de funcionamiento.

Proceso de simulación, será la ejecución del modelo a través del tiempo en un computador, para generar muestras representativas del comportamiento del sistema, con unos valores asociados a las variables, para obtener los resultados referidos a unos ciertos parámetros que especifican el comportamiento del sistema.

### 1.1. TIPOS DE SIMULACIÓN

Los tipos de simulación se pueden clasificar según la evolución de la simulación a través del tiempo en: continuas, aquellas donde las variables de estado pueden tomar valores dentro de un rango continuo y están en función del tiempo y discretas, donde las variables solamente están definidas en ciertos instantes de tiempo [3][14].

Las simulaciones discretas, pueden subdividirse en: simulaciones orientadas a eventos y simulaciones orientadas a procesos [5].

Adicionalmente, las simulaciones también se pueden clasificar según el comportamiento del modelo en: determinísticas, aquellas en las que la variación de su estado se puede predecir con certeza y estocásticas, que varían su estado de forma aleatoria a través del tiempo, sin seguir algún tipo de patrón [5].

La mayoría de los modelos de redes de comunicaciones son estocásticos, dinámicos y discretos, salvo aquellos que involucran un análisis de la capa física, los cuales son de tipo continuo.

## 2. CLASIFICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS SOFTWARE PARA EL MODELADO Y LA SIMULACIÓN DE REDES DE COMUNICACIONES

Las herramientas software para el análisis de redes, se pueden clasificar, según el enfoque y las características, de la siguiente manera [9]:

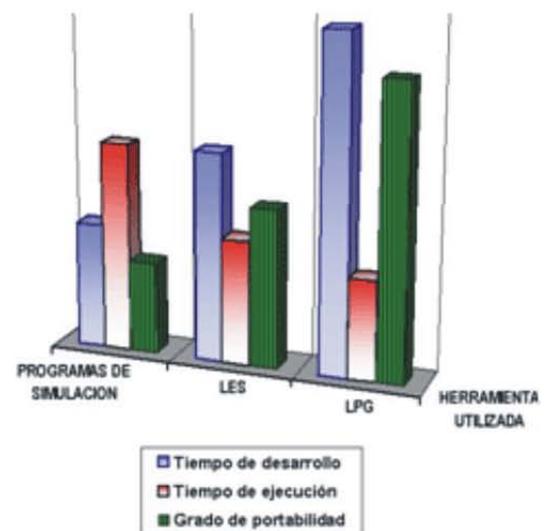
- Software específico de simulación. Programas que permiten describir modelos sin programar, cuentan con ambientes totalmente gráficos y son más fáciles de usar. En contraparte por ser rígidos, están limitados solo a algunas aplicaciones. Algunas herramientas son: NCTUns, COMNET III, OPNET MODELER, Cisco Packet Tracer, KIVA, FLAN.
- Lenguajes Específicos de Simulación (L.E.S.), como su nombre lo indica, son lenguajes de propósito específico, que permiten controlar el tiempo simulado (cual evento o proceso es el siguiente), la generación de números aleatorios y la realización de cálculos estadísticos. Los LES son más versátiles, ya que sus limitaciones son más reducidas debido a la posibilidad de simular una amplia variedad de tecnologías y

modelos de red. Entre los lenguajes de simulación más conocidos están GPSS, SIMULA, SIMSCRIP, MODSIM, Sim++, PARSEC, JAVASIM.

- Lenguajes de Propósito General (L.P.G.), Este tipo de lenguajes no siempre contienen librerías especializadas, lo cual dificulta la implementación de dispositivos de red dentro de procesos de simulación. Esto eleva el tiempo necesario para desarrollar una simulación. En esta categoría se pueden ubicar a lenguajes de programación de alto nivel como: C++ y Java.
- Simulación de nivel físico. Estos programas de simulación, contienen generalmente librerías que facilitan el análisis de algunos parámetros del nivel físico de las redes, mediante simulaciones de eventos continuos. Dentro de este grupo se encuentran: el TOPSIM, LABVIEW, MATLAB y el MathCad, entre otros.

En la Figura 1 se muestran las principales diferencias de las herramientas software para la simulación de redes, de acuerdo a las características de: tiempo de desarrollo (tiempo invertido en la construcción de un modelo de red), tiempo de ejecución (tiempo durante el cual se debe ejecutar la simulación para obtener los resultados esperados) y grado de portabilidad (característica por la cual un caso de simulación puede transportarse de un sistema operativo a otro sin necesidad de cambiar su código fuente). El software específico de simulación nos ofrece la posibilidad de construir modelos de red en menor tiempo, comparado con los lenguajes específicos de simulación (LES) y los lenguajes de propósito general (LPG). Sin embargo, tienen el más bajo grado de portabilidad ya que el proceso de simulación, dependería del sistema operativo sobre el cual se configuró inicialmente (ver Figura 1).

**Figura 1. Comparación de las herramientas software para la simulación de redes**



### 3. PRINCIPALES HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN DE REDES DE COMUNICACIONES

Dentro de las herramientas más utilizadas a nivel académico y empresarial para el modelado y la simulación de redes de comunicaciones, se puede mencionar a: COMNET III, OPNET MODELER y algunas alternativas de software libre como: FLAN, NCTUns, KIVA y OMNET++.

A continuación se hace un breve resumen de las principales características de algunos de los simuladores de redes más utilizados en el área de las telecomunicaciones.

#### 3.1. SOFTWARE PARA LA SIMULACIÓN DE REDES DE COMPUTADORES

Estos programas se limitan a la simulación y análisis de redes LAN. Dentro de los más destacados están: FLAN (F- Links And Nodes), herramienta basada en Java, que permite el diseño, construcción y evaluación, de una red de computadores en un ambiente simulado. La sencillez de su interfaz gráfica, facilita el uso en el proceso de enseñanza aprendizaje, de los protocolos de enrutamiento de las redes. KIVA, está orientado principalmente a simular el comportamiento del protocolo IP y especialmente el tratamiento de los datagramas y el encaminamiento de los mismos por una red. También permite el análisis de los protocolos auxiliares ARP e ICMP y emula el funcionamiento básico de tecnologías de enlace como Ethernet. [2].

#### 3.2. OPNET MODELER™ (OPTIMIZED NETWORK ENGINEERING TOOLS)

Permite diseñar y estudiar redes, dispositivos, protocolos y aplicaciones; brindando escalabilidad y flexibilidad, cualidades que le permiten ofrecer a sus usuarios, trabajar en procesos de investigación y desarrollo.

##### 3.2.1. Características generales

Está basado en la teoría de redes de colas e incorpora librerías que facilitan el modelado de redes, con un extenso grupo de aplicaciones y protocolos como: TCP, IP, OSPF, BGP, RIP, RSVP, Frame Relay, FDDI, ATM, WIFI, MPLS, PNNI, DOCSIS, UMTS, IP Multicast, IP Móvil, entre otras.

El desarrollo de los modelos se realiza jerárquicamente, mediante la interconexión de nodos de múltiples tecnologías, utilizando diferentes tipos de enlaces. En OPNET MODELER, se implementan tres tipos de modelos [10]: modelo de red, modelo de nodos y modelo de procesos.

El modelo de la red, involucra la creación de nodos, los cuales internamente están constituidos por distintos tipos de módulos y conexiones; finalmente se define la función que desempeñará cada módulo o nodo durante la simulación, a través de los modelos de proceso.

#### 3.3. COMNET III

COMNET III es una herramienta comercial orientada al diseño, configuración y estudio de las redes de comunicaciones. Fue desarrollado por CACI Products Inc, haciendo uso del lenguaje de programación MODSIM II. Por medio de este programa es posible crear topologías de redes complejas, configurar varias tecnologías, protocolos y dispositivos de red, para hacer un análisis detallado del funcionamiento y del rendimiento de redes tipo LAN, MAN y WAN, utilizando una interfaz gráfica en un ambiente de ventanas [12].

##### 3.3.1. Características generales

Este software es de tipo gráfico, que permite analizar y predecir el funcionamiento de redes informáticas, desde topologías básicas de interconexión hasta esquemas mucho más complejos de simulación con múltiples redes interconectadas con diversos protocolos y tecnologías como Ethernet, ATM, Satelitales, Frame Relay, X.25, FDDI, SDH, etc. Dentro del área de trabajo del programa, se hace la descripción gráfica del modelo de red, se asocian las fuentes generadoras de tráfico, se configuran los parámetros y las características de los dispositivos de acuerdo a la aplicación que se desea implementar; luego se pone en marcha la simulación y finalmente se analizan los reportes estadísticos sobre el desempeño de la red, los cuales son generados automáticamente al finalizar la simulación. Los informes pueden contener información acerca de: la ocupación de los enlaces o nodos, la cantidad de mensajes generados, el número de colisiones, entre otros [13].

#### 3.4. OMNET++

OMNeT++ es un simulador de redes de eventos discretos por medio de módulos orientados a objetos [11].

Un modelo en OMNET++, se construye con módulos jerárquicos que intercambian mensajes, los cuales pueden contener estructuras complejas de datos, con parámetros propios que permiten personalizar el envío de paquetes a los destinos a través de rutas, compuertas y conexiones. Los módulos de más bajo nivel son llamados Simple Modules y son programados en C++ usando una librería de simulación.

Las simulaciones en OMNET++ pueden utilizar varias interfaces de usuario, dependiendo del propósito. La interfaz más avanzada permite visualizar el modelo, controlar la ejecución de la simulación y cambiar variables u objetos de éste, lo cual facilita la demostración de su funcionamiento. Una de las características más importantes de OMNET++ es la posibilidad de ejecutar simulaciones distribuidas y paralelas, gracias a la programación por módulos; además cabe resaltar que se puede acceder a los archivos fuente del programa por medio de compiladores de C++, lo que permite que el simulador, las interfaces y las herramientas de desarrollo OMNET++, puedan ser ejecutadas sin inconvenientes sobre diferentes sistemas operativos como Windows, Linux y algunas versiones de UNIX.

### 3.5. NCTUNS

NCTUns (National Chiao Tung University, Network Simulator) es un simulador y emulador de redes y sistemas de telecomunicaciones avanzado. NCTUns es software libre y se ejecuta sobre Linux Fedora. Debido a sus características, es considerado como el más avanzado programa de simulación para redes de telecomunicaciones.

NCTUns permite evaluar y diagnosticar el desempeño de protocolos y aplicaciones en diferentes tipos de redes. Las simulaciones ejecutadas con esta herramienta, cuentan con características muy especiales, ya que NCTUns simula en tiempo real y con una interfaz similar a la de los sistemas reales, lo cual permite familiarizar más al usuario con el diseño, configuración e implementación de aplicaciones en redes de comunicaciones [15].

#### 3.5.1. Características generales

Sintaxis sencilla pero muy efectiva para describir la topología, los parámetros y la configuración de una simulación.

Permite la simulación de arquitecturas de redes sencillas. Sin embargo, su mayor potencial está en la simulación de redes tan complejas como las redes GPRS, satelitales y ópticas. Puede ser utilizado como emulador. Esto permite que un host externo conectado a una red del mundo real, pueda intercambiar paquetes con otros nodos en una red simulada dentro de NCTUns. Esta característica resulta interesante en redes móviles e inalámbricas; ya que para dichas aplicaciones provee recursos para el manejo y el estudio de sistemas de radiofrecuencia; permitiendo efectuar mediciones para analizar y establecer los niveles de calidad de servicio (QoS) de las señales radiadas.

Permite definir obstáculos, trayectorias de movimiento y el desplazamiento de los terminales móviles (celulares GPRS y computadores portátiles), al tiempo en que se hacen las mediciones de atenuación, interferencia y de ancho de banda.

Utiliza directamente el conjunto de protocolos TCP/IP de Linux, por consiguiente se generan resultados de simulación de alta fidelidad.

Puede utilizar las herramientas de configuración y monitoreo de UNIX, así como las aplicaciones instaladas para generar tráfico.

En NCTUns, la configuración de una red simulada, es exactamente igual a la configuración de una red IP del mundo real.

Simula protocolos de redes como: IEEE 802.3, IEEE 802.11, IP, IP Mobile, Diffserv, RIP, OSPF, UDP, TCP, RTP/RTCP, SDP, FTP, entre otros.

## 4. UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS SOFTWARE EN EL MODELADO Y SIMULACIÓN DE REDES DE TELECOMUNICACIONES.

Debido a la importancia que tienen para la sociedad de la información y el conocimiento, las redes de comunicaciones; resulta, no solo interesante sino también necesario, aprovechar las ventajas que brindan las herramientas de simulación, en la enseñanza de los fundamentos teóricos de las redes de comunicaciones, en la investigación de nuevas arquitecturas y en el desarrollo de nuevos protocolos y aplicaciones de red. En los ejercicios de aplicación que se describen a continuación, no se pretende explicar como se configura una simulación ni tampoco analizar el desempeño de unos modelos de red; en cambio, se pretende principalmente, identificar las principales características de los programas de simulación, establecer los elementos que componen una simulación y mostrar las posibilidades que ofrecen las diferentes herramientas de simulación en el desarrollo de estudios y proyectos innovadores sobre nuevas tecnologías, que aporten al avance de las telecomunicaciones.

### 4.1. EJERCICIOS DE MODELADO Y SIMULACIÓN DE REDES DE COMUNICACIONES

#### 4.1.1. Análisis de redes de LANE y ATM en COMNET III.

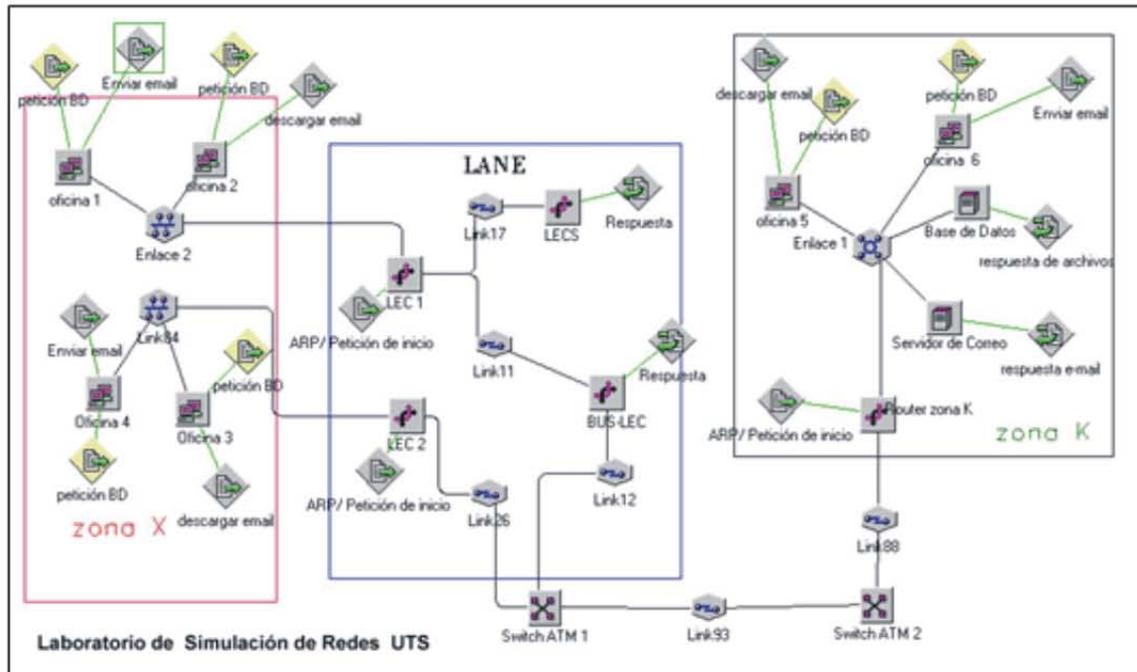
Con el modelo de red de la Figura 2 es posible analizar el funcionamiento de los modelos de superposición y las ventajas de ATM en las redes LAN estandarizadas (Ethernet 802.3 y Token ring). La red se compone de tres subredes, cada una de éstas cuenta con dos grupos de computadores, que representan 20 hosts. Dos de estas redes son Ethernet 802.3 CSMA/CD (Zona X) y la tercera es una LAN en anillo Token Ring (Zona K), las subredes se interconectan por medio de switches ATM y están configuradas bajo una arquitectura Cliente Servidor.

En la red se configuran dos servidores: uno para el acceso a una base de datos y otro de correo electrónico. Ambos ubicados en la subred de la zona K. Por medio de la red LANE se permite el intercambio simultáneo de gran flujo de información entre los hosts de toda la red.

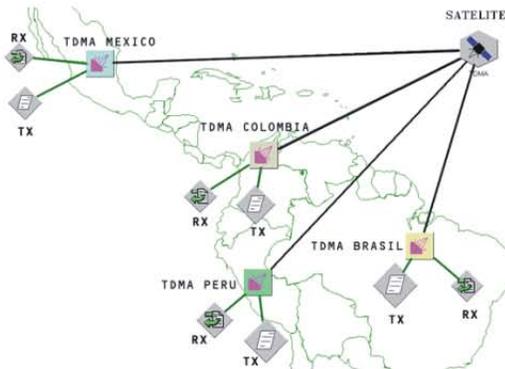
#### 4.1.2. Simulación de redes satelitales con acceso TDMA

COMNET tiene herramientas que permiten el análisis de la tecnología TDMA, en la transmisión de datos a grandes distancias, utilizando sistemas satelitales. El modelo de red (Figura 3) plantea la interconexión de 4 subredes, ubicadas en diferentes países latinoamericanos, a través de un satélite, el cual permite el intercambio de información a altas velocidades. Los generadores de tráfico se configuran de tal manera que provean gran cantidad de flujo de información, con el fin de analizar el uso del canal, los retardos en la transmisión y recepción de la información, así como la atenuación por efectos atmosféricos, ya que los cuatro nodos tienen condiciones climáticas diferentes.

**Figura 2. Ejercicio de aplicación: modelado de una red LANE y ATM en COMNE III**



**Figura 3. Modelado de una red satelital en COMNET**



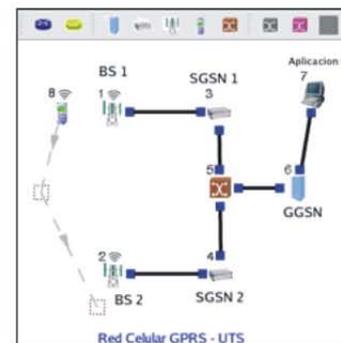
#### 4.1.3. Simulación de una red GPRS en NCTUns.

Es posible diseñar y configurar una red GSM/GRPS utilizando la interfaz gráfica de NCTUns. Además, es posible la visualización del efecto de roaming entre estaciones base GPRS, la simulación y la generación de resultados acerca de los parámetros configurados.

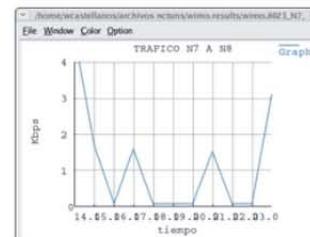
El modelo de red (Figura 4) está compuesto por dos estaciones base (BS, Base Station) conectadas a sus respectivos nodos GPRS (SGSN, Serving GPRS Support Nodes), los cuales son interconectados a un Gateway GPRS (GGSN, Gateway GPRS Support Nodes) por medio de un switch GPRS (este dispositivo no se necesita en una red GPRS real, solo se utiliza para darle funcionalidad al modelo dentro

de NCTUns) y de allí un servidor de aplicaciones móviles (N7, nodo 7). El Terminal móvil (N8, nodo 8) que se desplaza a través de una trayectoria y con una velocidad definida por el usuario, debe solicitar el envío de información desde el servidor de contenidos, tráfico que se visualiza en la Figura 5.

**Figura 4. Modelado de una red GPRS en NCTUns**



**Figura 5. Tráfico del Terminal móvil (N7) al servidor de contenidos (N8)**



#### 4.1.4. Análisis de los protocolos señalización de las comunicaciones multimedia en tiempo real (RTP, RTCP, SDP).

Es interesante aprovechar las oportunidades que nos ofrece NCTUns en el análisis de los protocolos RTP, RTCP y SDP que son utilizados para el transporte de contenido multimedia sobre las redes.

NCTUns incorpora una librería para los protocolos RTP y RTCP, la cual permite configurar una aplicación para el transporte de información en tiempo real y analizar el comportamiento de una red WAN desde tres niveles:

- Recepción de paquetes RTP y RTCP, envío de paquetes RTCP, pero sin transmisión de paquetes RTP.
- Envío y recepción de paquetes RTP y RTCP.

Las dos configuraciones anteriores utilizan una velocidad de transmisión fija, un ancho de banda definido y un esquema de codificación.

- Envío de paquetes RTP a una velocidad de transmisión dinámica, que se ajusta al reporte de QoS (calidad del servicio) de los paquetes RTCP recibidos.

#### 4.1.5. Simulación de redes ópticas.

Dentro NCTUns es posible diseñar, configurar y simular una red óptica, la cual debe estar compuesta de enlaces ópticos; switches ópticos y enrutadores ópticos de borde (enrutadores que interconectan una red óptica con una red no óptica), Ver Figura 6.

El modelo de red (Figura 6) está compuesto por 9 hosts interconectados por una red óptica, los cuales intercambian información entre sí y a su vez, con un servidor conectado a Internet (red no óptica). Los enlaces están configurados para que manejen 3 canales WDM (Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División de Longitud de

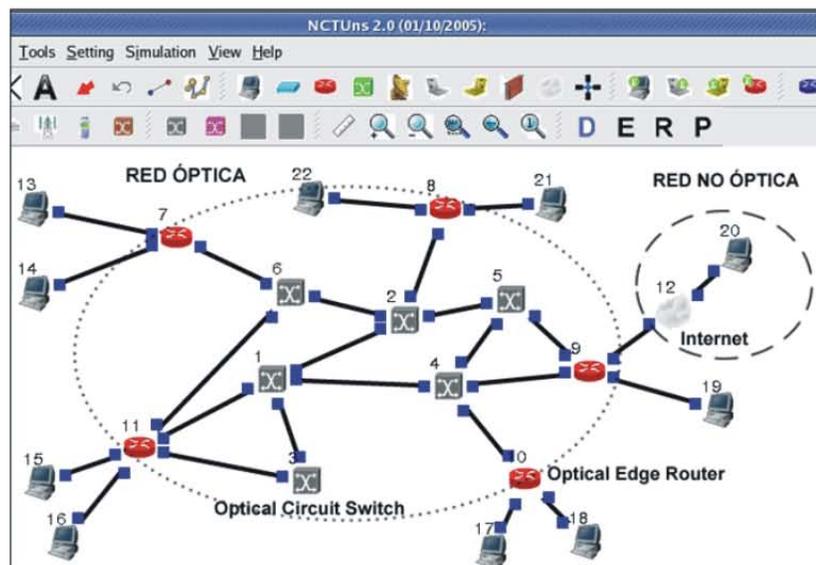
Onda), los cuales tiene una configuración independiente de ancho de banda, "BER" y retardos en la propagación de la señal.

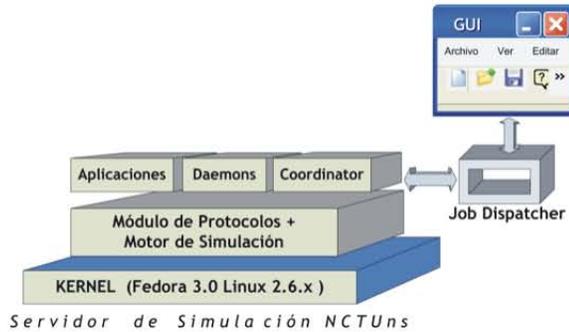
#### 4.2. SIMULACION DE REDES COMPLEJAS Y ARQUITECTURAS DISTRIBUIDAS DE SIMULACIÓN

Las características de programas de simulación, como COMNET III, permiten desarrollar investigaciones en temas como: la transmisión de datos por redes satelitales; análisis de arquitecturas como IPoATM, XDSLoATM y MPLS; estudio y simulación de redes WDM con conmutación óptica. Tecnologías que por su alto costo de implementación física, resultan inasequibles. Por otra parte, NCTUns nos ofrece la posibilidad de desarrollar estudios de las redes de comunicaciones móviles GSM/GPRS; análisis de los protocolos SIP y RSVP y de redes con altos niveles de QoS como IntServ y DiffServ. Además, por las características de código abierto, NCTUns permite a los investigadores desarrollar sus propios módulos o protocolos.

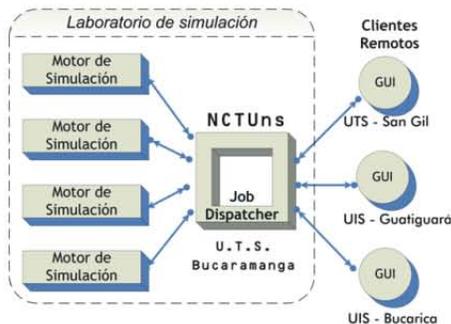
La configuración de simulaciones distribuidas, es posible mediante la utilización de herramientas como OMNET++ y NCTUns, las cuales surgen como una solución en la simulación de redes muy extensas. Mientras que en OMNET++ se pueden configurar simulaciones que se ejecutan en ambientes Windows. NCTUns debido a su arquitectura de sistema abierto (Figura 7), en la cual la GUI y el motor de simulación son elementos separados que utilizan un modelo cliente servidor, permite ejecutar simulaciones remotas, paralelas, distribuidas y concurrentes, lo cual permite entre muchas otras cosas, correr simulaciones simultáneas entre diferentes nodos de una red y cuyos resultados individuales sirven para el análisis de un sistema único. Esto quiere decir, que un usuario, puede enviar su proyecto de simulación a un servidor remoto que esté ejecutando el motor de simulación, utilizando su propia GUI y además correr múltiples simulaciones concurrentes en diferentes hosts conectados a dicho servidor.

**Figura 6. Ejercicio de aplicación: modelo de red óptica en NCTUNS**



**Figura 7. Arquitectura de NCTUns**

Tal como se muestra en la Figura 8, un cliente ubicado en la sede de las UTS localizada en San Gil, conectado a la red institucional, puede ejecutar sus procesos de simulación utilizando uno de los motores de simulación, instalado en el servidor central ubicado en la sede de Bucaramanga. De igual manera es posible que un cliente ubicado en la U.I.S sede Bucarica y otro en la sede Guatiguará compartan los resultados de una simulación por medio del Dispatcher, instalado en el laboratorio de simulación de las U.T.S.

**Figura 8. Modelo de simulación distribuida**

## 5. CONCLUSIONES

Las herramientas software de simulación evidencian grandes ventajas para la planeación y diseño de nuevas topologías y servicios de red; ya que facilita el análisis de tráfico de redes, permite evaluar el desempeño de las redes frente a la implementación de nuevas tecnologías, representa un ahorro sustancial de los costos, permiten la manipulación del modelo de la red para efectuar cambios y experimentos que resultarían muy costosos, difíciles o hasta imposibles de realizar sobre el sistema real y permiten comparar diseños alternativos.

Es importante utilizar las técnicas de diseño de experimentos en la planeación de los procesos de simulación. Lo cual, complementado con la utilización de una metodología para la validación de los modelos y los resultados de las simulaciones,

darán una mayor rigurosidad científica a los experimentos desarrollados.

El éxito de la simulación, así como la veracidad de los resultados, están relacionados directamente con el software que se utilice. Estos resultados son aproximaciones de los datos que se obtienen sobre un sistema real, ya que pueden existir factores externos que impidan que los resultados finales sobre la red física, sean los mismos que se obtuvieron durante las simulaciones.

Cabe señalar que las herramientas de simulación no proporcionan una técnica de optimización, es decir, no brindan las dimensiones de las variables del sistema que maximizan el rendimiento o las prestaciones del mismo, sino que únicamente se limitan a informar cuál sería el comportamiento del sistema, basado en el análisis de las condiciones que se indiquen para el proceso de simulación.

Resultados de estudios a nivel internacional, evidencian la favorabilidad del uso de elementos activos (como los son las herramientas de simulación) para el aprendizaje de conceptos teóricos, al punto de incentivar a varias universidades en el uso y desarrollo de programas que le permitan al estudiante participar activamente en su propio aprendizaje de las telecomunicaciones [1][4]. En esta área las herramientas software de simulación de topologías y aplicaciones de red, deben ir de la mano de los cursos teóricos para garantizar que el estudiante desarrolle competencias para la aplicación de los fundamentos básicos de redes, en la configuración e implementación de las mismas a nivel laboral.

## 6. REFERENCIAS

- [1] AL- HOLOU, Nizar y BOOTH, Knicolas K. Using Computer Network Simulation Tools as Supplements to Computer Network Curriculum. In: 30TH ASEE/IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE (October 18-21 2000: Kansas City).
- [2] CANDELAS, Francisco. Herramienta para simular y evaluar la interconexión de redes con IP. [online], [citado Enero de 2006]. <http://disclab.ua.es/kiva/docs/SimuladorDoc.pdf>
- [3] Curso Simulación de redes de comunicaciones. Universidad Politécnica de Madrid [online]. [citado Noviembre de 2005]. <http://greco.dit.upm.es/~enrique/simredes.htm>
- [4] GOLDSTEIN, Cecil y LEISTEN, Susanna. Using a Network Simulation Tool to engage students in Active Learning enhances their understanding of complex data communications concepts [online]. [Citado Agosto 2005] Conference in Research and Practice In Information technology. <http://crpit.com/confpapers/crptiv42goldstein.pdf>
- [5] HERNANZ, Daniel. Laboratorio de Redes de computadores. Área de Ingeniería Telemática Universidad de Alcalá de Henares [online]: <http://it.aut.uah.es/danihc>
- [6] KAPLAN, Gadi. Simulating Networks. IEEE Spectrum, Institute of Electrical and Electronic Engineer. pp 74-76. January 2001.
- [7] KIM, Andrew. OPNET Tutorial [online]. Marzo 2003 [citado

Diciembre de 2005]: <http://www.dpg.devry.edu/akim/new/opnet.doc>

[8] KLETON, David W. Simulation Modeling and Analysis. Tercera Edición. Mc Graw Hill, 2000.

[9] LAW, Averill M. y McComas, Michael G. Simulation Software for Communications Networks: The State of the Art. IEEE Communications Magazine. Institute of Electrical and Electronic Engineer. pp 44-47. March 1994.

[10] Openet Modeler. [online], [Citado 15 de Septiembre 2005]: <http://www.opnet.com/products/modeler/home.html>

[11] QUONG, Russell W. OMNET ++ User's Manual. [online], [Citado 15 de Diciembre 2005]: <http://www.omnetpp.org>

[12] SULLIVAN, Jeffrey. COMNET III Getting Started Guide, Release 2.0. CACI Products. 1998. 62 p.

[13] SULLIVAN, Jeffrey. COMNET III Tutorial. A Detailed Guide for Modeling Networks, Release 2.1. CACI Products. 1999. 226 p.

[14] TIPPER, David. System Modeling and Simulation. Telecommunications Review. pp 10-29. University of Pittsburgh. June 2003.

[15] WANG, Shie-Yuan The GUI User Manual for the NCTUns 2.0 Network Simulator and Emulator [citado Diciembre de 2005] [online]: <http://www.csie.nctu.edu.tw/~shieyuan>

[16] YAN, Guanhua y JIN, Yuehui. An Efficient Method to Simulate Communications Networks. IEEE Press pp 192-199. Institute of Electrical and Electronic Engineer. June 2000.