

# Método de evaluación y selección de herramientas de simulación de redes

Evaluation and selection method of network simulation tools

## Alexander García Dávalos, M.Sc.

Director - Grupo de Investigación en Telemática e Informática Aplicada  
Universidad Autónoma de Occidente.  
Cali (Colombia)  
agdavalos@uao.edu.co

## Lina Marcela Escobar Paz

Asistente de investigación - Grupo de Investigación en Telemática e Informática Aplicada  
Universidad Autónoma de Occidente.  
Cali (Colombia)  
lmescoabar@uao.edu.co

## Andrés Navarro Cadavid, Ph.D.

Director - Grupo de Informática y Telecomunicaciones, i2T  
Universidad ICESI. Cali (Colombia)  
anavarro@icesi.edu.co

## Andrés Vásquez Mejía

Investigador - Grupo de Informática y Telecomunicaciones, i2T  
Universidad ICESI. Cali (Colombia)  
andres469@gmail.com

Fecha de recepción: 22 de Febrero / 2011

Fecha de aceptación: 7 de Marzo / 2011

### Palabras clave

Simulación, redes inalámbricas, evaluación, selección, función de costo.

### Keywords

Simulation, wireless networks, evaluation, selection, cost function.

Colciencias **4**  
tipo

## Resumen

Existen diversas herramientas de software para simulación de redes (comerciales y libres). El hecho genera una pregunta interesante para los investigadores: ¿Cuál es mejor utilizar? Este artículo propone un nuevo método de evaluación/selección basado en dos elementos claves: la norma ISO/IEC 9126-1, que define un modelo de calidad y evaluación de herramientas de software; y una función de costo, compuesta por los valores asignados a las seis características definidas en dicha norma, que permite obtener una valoración para cada una de las herramientas de software a evaluar, basándose en la encuesta a expertos. Se realizó un ejercicio de prueba del método propuesto, para evaluar las herramientas de simulación NS-2 y NCTUns, y sus resultados se contrastaron con la información consultada en publicaciones (artículos e informes técnicos) sobre evaluación/selección de herramientas de simulación de redes.

## Abstract

Currently exists many software tools designed for Network Simulation (both commercial and Open source), situation that present an important decision to make for many researchers: Which tool use for network simulation? This paper proposes a method for evaluation/selection of network simulation tools, based in two key factors: ISO/IEC 9126-1 standard, which defines a quality model for software evaluation; and a cost function, based on values assigned to each one of the six items defined by ISO/IEC 9126-1. This method allows an expert based classification for each of the analyzed tools. We executed a test for NS-2 and NCTUns network simulation tools and obtained results was contrasted with technical reports and scientific articles related with network simulation tools.

## I. Introducción

La simulación es una herramienta muy poderosa que puede facilitar el entendimiento y comprensión de sistemas complejos de diversos ámbitos: comunicaciones, hardware, software, automatización, etc.

Es notable la popularidad de la simulación mediante software, ya que permite a investigadores y expertos recrear sistemas y escenarios antes de que estos sean desarrollados, de tal manera que se pueda analizar su comportamiento y mejorar los diseños. Así mismo, al usar la simulación mediante software, los investigadores pueden estudiar problemas, sin tener que desplegar infraestructura física alguna, y concentrarse en sus análisis antes que en el funcionamiento de la infraestructura de pruebas.

La simulación puede ser un método eficaz en la enseñanza, la investigación o la demostración de redes y protocolos, que permite reducir costos de implementación. Además, la simulación de una red puede proporcionar ciertas ventajas, como la simplificación del control y monitoreo de la red, la visualización de su comportamiento y la obtención de datos estadísticos para su análisis.

Son diversas las herramientas de software que se han creado para simular redes [3]. Aunque la mayoría han sido desarrolladas con fines específicos (p.ej. probar un sólo componente de la red o protocolo), también hay herramientas extensibles y que permiten a los usuarios adicionar sus propios modelos y protocolos, y crear dispositivos de red (nodos), entre otras funcionalidades.

En [15] los autores presentan una revisión de diferentes herramientas de simulación de redes (comerciales y libres), describen cada una de ellas y el soporte a las características fundamentales requeridas en la simulación de redes tipo MANET.

A partir de la existencia de diversas herramientas software de simulación (comerciales y libres), surge una pregunta importante: ¿Cuál herramienta usar para la simulación de redes? Esta pregunta la han abordado muchos de los investigadores que se enfrentan a la tarea de simular redes, y en la mayoría de los casos no hay una metodología formal que permita una toma de decisión fundamentada e imparcial.

En la literatura especializada se hallan varios trabajos, investigaciones y algunos casos de estudio acerca del análisis/evaluación de herramientas software de simulación de redes inalámbricas. La mayoría difieren en la selección de las herramientas evaluadas, la intención del documento (comparación o descripción), el enfoque del estudio (credibilidad de resultados, características, rendimiento...) y el nivel de detalle.

Entre los artículos hallados en la literatura están [1, 4, 5, 6, 8, 9], los cuales abordan el tema del análisis/evaluación de herramientas software de simulación de redes. En [4] por ejemplo, se presenta una comparación detallada de varias herramientas de acuerdo a unos criterios definidos (visualización, ventajas, desventajas, estadísticas...). Por otro lado, en [8] hay un estudio realizado con cuatro herramientas populares (J-Sim, OM-NeT++, NS-2 y OPNET Modeler). El autor presenta las fortalezas y debilidades de cada una de las herramientas

de simulación estudiadas y las compara basándose en el número de artículos y estudios publicados previamente.

Pero, en realidad no se encuentra en la literatura una metodología concreta para abordar este problema, sino que normalmente se selecciona una herramienta de simulación a partir de comparaciones de algunas de las características más relevantes de las herramientas existentes, pero sin que haya una metodología definida para esta tarea.

Por tal motivo, el presente artículo plantea un método formal para la evaluación/selección de herramientas de simulación de redes, que sirva a los investigadores e interesados en el tema de la simulación de redes, como apoyo en el proceso de evaluación/selección de una herramienta, de acuerdo con unos parámetros de evaluación definidos.

Para la tarea de realizar la implementación del método propuesto para la evaluación/selección de herramientas software de simulación de redes, se planteó utilizar un utilitario que permitiera encuestar a investigadores expertos en el tema y a partir de su experiencia en el uso de software de simulación de redes y la aplicación del método, hacer la evaluación/selección, lo cual se puede usar como elemento de apoyo en la toma de la decisión respecto de la herramienta a utilizar para simulación de redes.

Este artículo se ha estructurado de la siguiente manera: en la sección II se presentan los antecedentes del método propuesto para la evaluación/selección de herramientas de software. En la sección III, una revisión de herramientas de software para la realización de encuestas. En la sección IV, el diseño y la construcción del aplicativo que implementa el modelo de selección/evaluación de herramientas de simulación de redes inalámbricas. En la sección V, los resultados obtenidos a partir de la implementación del método de evaluación/selección con un aplicativo bajo *Google Docs*. Y finalmente, en la sección VI, las conclusiones del presente trabajo.

## II. Método de evaluación de herramientas de simulación

La diversidad de software existente para simulación de redes hace necesaria la definición de algunos criterios básicos que deben tenerse en cuenta a la hora de seleccionar una herramienta de software. En torno a esto se considera pertinente seguir las indicaciones propuestas en [2], que están sujetas al estándar ISO/IEC 9126-1, que define un modelo de calidad y evaluación de herramientas de software.

Los autores de [2] plantean seis ítems que deben ser considerados de forma general en la valoración de calidad del software:

- » **Funcionalidad:** Las características de este ítem hacen referencia a las capacidades de la herramienta para modelar las diferentes tecnologías y protocolos, y al seguimiento que se puede hacer al comportamiento de la tecnología modelada en el proceso de simulación.
- » **Confiabilidad:** Lo que se busca con este ítem es verificar que la herramienta tenga el respaldo requerido para usarla como herramienta de análisis en procesos

de simulación, y garantizar que los resultados obtenidos sean aceptados como resultados científicos confiables.

- » **Uso:** Las características que se han definido buscan verificar que el uso de la herramienta garantice eficiencia en el tiempo de construcción, el modelado y las configuraciones particulares del modelo para las diferentes tecnologías a estudiar/investigar.
- » **Eficiencia:** Este ítem se refiere a la capacidad que tiene la herramienta para proveer el rendimiento adecuado en relación a la complejidad del proceso de simulación.
- » **Mantenimiento:** En este ítem se consideran las características necesarias para realizar modificaciones y/o adaptaciones específicas a la herramienta. También involucra el nivel de entendimiento que ofrece el software sobre su funcionamiento.
- » **Portabilidad:** Este ítem reúne atributos que se refieren a la posibilidad de transferir el software de un entorno (p.ej. plataforma operativa) a otro.

### **A. Método propuesto**

A partir del modelo presentado en [2], se plantea un método de evaluación/selección de redes, que incluye algunas consideraciones específicas que facilitan la toma de decisiones.

A continuación se presentan las consideraciones y forma de valoración que tendrá cada ítem en el proceso de evaluación de las herramientas de software. Se hicieron dos consideraciones básicas, a saber:

- » Para cada atributo que se considere se plantea valorar el nivel de relevancia (Alta: A, Media: M, Baja: B, Ninguna: N) que tendrá dicho atributo, como elemento de decisión a la hora de la selección. Es decir, en la definición de la característica se debe plantear el nivel de relevancia respecto a la importancia conceptual/cualitativa que representa.
- » Se plantea para cada atributo una valoración adicional, orientada al nivel de soporte que ofrece la herramienta para dicho atributo. Es decir, si la herramienta presenta el soporte adecuado para la característica evaluada se debe considerar lo siguiente: si el soporte es mínimo la valoración será menor (p.ej. 0 ó 1) o por el contrario si el soporte es bueno, la valoración será mayor (p.ej. 4 ó 5).

### **B. Asunciones**

Para la valoración de los ítems se definieron dos conceptos:

- » **Relevancia:** hace referencia a la valoración cualitativa de cada atributo definido en los ítems. Se definieron cuatro opciones que indican cuán importante es la característica definida en el ítem que se está evaluando. En la tabla 1 se muestran los valores planteados para cada opción.

La valoración nula es considerada debido a que entre las características a evaluar, se pueden haber definido algunas que no sean indispensables o no se estiman importantes desde el punto de vista conceptual, pero que pueden ser valoradas desde el punto de vista técnico.

Opción	Valor
Alta (A)	5
Media (M)	3
Baja (B)	1
Nula (N)	0

**Tabla 1.** Valoración de relevancia

» **Valoración:** se considera la valoración para el nivel de aceptación/soporte del atributo a evaluar en cada ítem. Los valores definidos están en un rango de 0 a 5; cero será el menor valor o valoración nula y cinco el mayor valor.

**C. Valoración de una herramienta de simulación**

El método de selección de la herramienta de simulación está sujeto a la valoración obtenida mediante una función de costo. Una vez se hayan definido los valores de Relevancia y Valoración para cada ítem, se podrá calcular el valor de la función de costo [10,11] para la herramienta de simulación de acuerdo con la fórmula 1.

$$f_i = W_f \sum_{i=1}^n F + W_c \sum_{i=1}^n C + W_u \sum_{i=1}^n U + W_e \sum_{i=1}^n E + W_m \sum_{i=1}^n M + W_p \sum_{i=1}^n P$$

**Fórmula 1.** Función de costo

La aplicación de la función de costo consiste en sumar los valores asignados a cada característica definida para los seis ítems propuestos, para obtener el valor de evaluación alcanzado por una herramienta de simulación dada.

La función de costo está compuesta por los seis elementos definidos en la norma ISO/IEC 9126-1 y cada ítem de la función se resume de la siguiente manera: los valores asociados a  $W_f$ ,  $W_c$ ,  $W_u$ ,  $W_e$ ,  $W_m$ ,  $W_p$ ; representan los porcentajes de importancia correspondientes a cada ítem de calidad. La sumatoria de los valores  $W$  mencionados anteriormente debe ser igual a 1 o en su valor equivalente al 100%.

Donde,

- $W_f$  porcentaje de importancia para el ítem funcionalidad.
- $W_c$  porcentaje de importancia para el ítem confiabilidad.
- $W_u$  porcentaje de importancia para el ítem uso (o usabilidad).
- $W_e$  porcentaje de importancia para el ítem eficiencia.

$W_m$ , porcentaje de importancia para el ítem mantenimiento.

$W_p$ , porcentaje de importancia para el ítem portabilidad.

El proceso de evaluación de software de simulación de redes se debe realizar teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

- » Definir las características que se desea evaluar para cada ítem, teniendo en cuenta cada sub-ítem.
- » Asignar un valor a la valoración y relevancia de cada característica considerada.
- » Promediar los valores obtenidos en valoración y relevancia de forma independiente, de tal manera que para cada ítem evaluado se obtenga un valor promedio.
- » El valor promedio de relevancia debe ser consecuente con el valor de importancia (W) asignado en la función de costo, es decir si el promedio obtenido es alto (5 - cinco) el porcentaje debe ser alto, en caso contrario si el valor promedio obtenido es bajo (1 - uno), entonces el valor del porcentaje debe ser bajo.

Finalmente se obtendrá un único valor de costo para cada herramienta evaluada y será seleccionada aquella que logre el mayor valor en la función de costo. Cabe señalar que el proceso de evaluación debe ser el mismo para todas las herramientas analizadas, es decir, las características definidas para cada ítem deben ser las mismas.

Los valores de la sumatoria para cada ítem de evaluación estarán regidos por la cantidad de características que se desee evaluar.

La función de costo está sujeta a los ítems que sean considerados en el proceso de evaluación de la herramienta. Aunque en la norma ISO/IEC 9126-1 se definen seis ítems para el proceso de evaluación de herramientas software de simulación no necesariamente se tendrán que evaluar todos, ya que los ítems que no sean considerados deben excluirse de la función de costo planteada, o en su defecto asumir para estos ítems el valor cero.

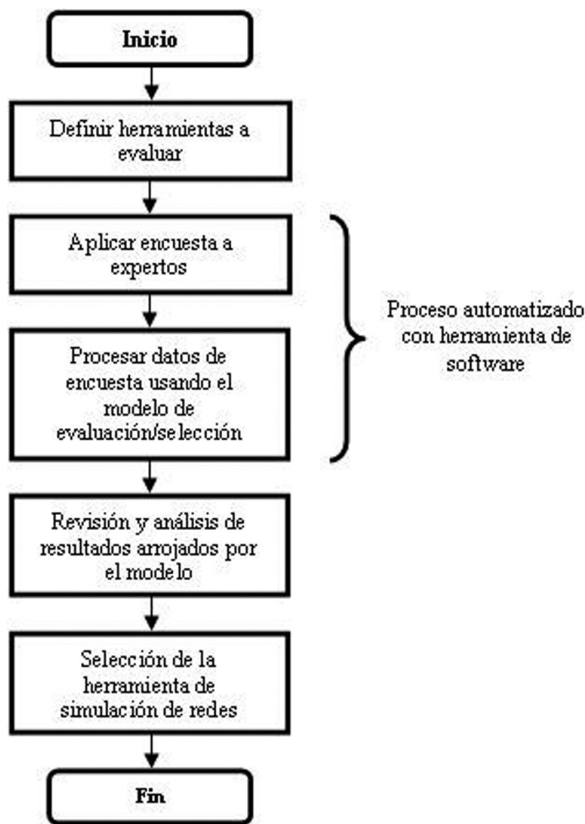
La exclusión de cualquier ítem en el proceso de evaluación de la herramienta de software estará afectada por su contexto de operación.

Todo el proceso de evaluación/selección de herramientas de simulación de redes comprende un conjunto de pasos definidos, los cuales se pueden apreciar en el diagrama general de la figura 1.

La encuesta y el procesamiento de datos se pueden realizar a través de herramientas especializadas existentes. Si lo prefiere el usuario, podrá desarrollar su propio aplicativo para hacerlo.

Para la prueba del método propuesto se decidió realizar un ejercicio que permitiera validar todos los pasos definidos en el proceso de evaluación/selección de herramientas de simulación de redes. Las condiciones para el ejercicio de prueba fueron las siguientes:

- » Herramientas de simulación a evaluar: las herramientas seleccionadas para el ejercicio de prueba fueron NCTUns y NS-2, que son dos de las herramientas de software más populares para la simulación de redes.



**Figura 1.** Diagrama general para la evaluación/selección de herramientas de simulación de redes

NS-2 es un software orientado a simular eventos discretos. Está compuesto por un conjunto de componentes requeridos y otros tantos opcionales, contiene un script de instalación para configurar, compilar e instalar estos componentes. NS-2 se puede ejecutar en plataformas Unix (Free BSD, Linux, SunOS, Solaris) y plataformas Windows desde la versión 95. Soporta una gran cantidad de protocolos de las capas de aplicación y transporte, y otros utilizados para el enrutamiento de los datos, entre los cuales están: FTP, CBR, HTTP, TCP, UDP, entre otros [14]. NCTUns es un simulador y emulador de redes y sistemas de telecomunicaciones avanzado. Permite desarrollar, evaluar y diagnosticar el desempeño de protocolos y aplicaciones en diferentes tipos de redes (LAN, MAN, WAN). Las simulaciones hechas con esta herramienta cuenta 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 manejo del diseño, configuración e implementación de aplicaciones en redes de comunicaciones. Se

puede instalar en las distribuciones Linux Red Hat y Fedora Core. Utiliza una sintaxis sencilla pero muy efectiva para describir la topología, los parámetros y la configuración de una simulación. Esta descripción se genera a partir de la interfaz gráfica del usuario [3].

- » Encuesta a expertos: se seleccionó un grupo de nueve personas con conocimiento y experiencia previa en el uso de las herramientas de software a evaluar, NS-2 y NCTUs.
- » Herramientas de software: se decidió usar una herramienta de software que permitiera de manera sencilla y ágil la realización de la encuesta a los usuarios expertos y el procesamiento de los datos, para lo que se necesitó revisar los aplicativos existentes para este fin. En la siguiente sección se presenta de manera detallada cómo funciona la herramienta seleccionada y el proceso realizado para la encuesta a los expertos.

Los resultados del ejercicio de prueba fueron satisfactorios y se presentan en la sección V.

### **III. Revisión de herramientas software para la construcción de la aplicación**

Para la implementación del método de evaluación/selección propuesto se planteó construir una aplicación web, que permitiera encuestar a expertos del área temática y procesar los datos de la encuesta aplicando la función de costo.

Una solución web implica generalmente el uso de una base de datos relacional para el almacenamiento de los datos, un lenguaje(s) de programación específico para construcción de este tipo de aplicaciones (generalmente lenguajes de script), un servidor web o el hosting necesario para publicar la aplicación y algunas herramientas de software adicionales para la puesta a punto de la aplicación.

Con base en estas necesidades se propuso inicialmente que la aplicación se construyera en PHP ([www.php.net](http://www.php.net)), porque es un lenguaje de programación de licencia GPL, ampliamente usado para la construcción de aplicaciones web, que tiene conectividad con bases de datos (p.ej. MySQL, Postgress, entre otras), y existe una gran comunidad de usuarios que publican en sus listas de correos y foros electrónicos, documentación de la herramienta. Además cuenta con una gran cantidad de librerías que son útiles para la elaboración de aplicaciones de todo tipo.

Usar una herramienta de distribución libre como PHP para desarrollar una aplicación web que incluye una encuesta a expertos, sería conveniente en la medida que el software permitiría que los programadores elaboraran de manera personalizada la aplicación (incluir gráficos, crear la base de datos y realizar modificaciones a las líneas de código) a través de configuraciones sencillas y disponibles. Pero, para el caso particular del ejercicio de prueba que se pretendía realizar, los programadores no contaban con la experiencia previa necesaria en programación en lenguaje PHP para



lograr la construcción del aplicativo en un tiempo relativamente corto (alrededor de dos semanas), como lo demandaba el proyecto de investigación en el cual está enmarcada dicha actividad.

Debido a lo anterior, se optó por revisar las herramientas existentes, tales como *LimeSurvey* ([www.limesurvey.org](http://www.limesurvey.org)), lo que permite realizar encuestas de código abierto en PHP. Pero el afinamiento de las librerías y la versión de PHP en el servidor destinado para la instalación de la aplicación podría superar el tiempo destinado para la tarea.

Ante este inconveniente, y como una solución a corto plazo, se planteó la creación de un formulario tipo encuesta que maneja la aplicación *Spreadsheets* de *Google Docs*.

Con una cuenta de usuario de Google se puede tener acceso a muchos de los servicios que provee este gigante tecnológico, entre ellos a la elaboración de documentos que pueden ser almacenados en línea, editados y compartidos por el dueño de la cuenta en el servidor.

En *Google Docs*, una hoja de cálculo puede ser convertida en un formulario que puede ser enviado a las personas que se desee, sin que la hoja de cálculo original pueda ser editada o manipulada (acceso de sólo lectura).

El administrador (usuario que está a cargo de la encuesta) puede enviar un formulario y recibir los datos ingresados en éste, datos que se almacenan en filas de una hoja de cálculo y que pueden utilizarse para realizar cálculos matemáticos, como por ejemplo calcular los promedios que se requieren para la valoración de una determinada herramienta de simulación.

Esta solución es sencilla porque su elaboración sólo demanda conocimientos básicos en el manejo de hojas de cálculo, la administración resulta fácil y es transparente para los usuarios. Además, se puede implementar en el tiempo presupuestado para la tarea (dos semanas).

Después de la implementación de la encuesta, se pudo acceder al formulario desde cualquier computador con una conexión a Internet y a pesar de ser un ambiente distribuido para el cliente (la hoja de cálculo y demás servicios usados por el dueño de la cuenta están en el servidor de Google), es centralizado para el usuario administrador.

## **IV. Diseño y construcción del formulario utilizando google docs**

Para diseñar el formulario de la encuesta se tuvo en cuenta la cantidad de características a evaluar en cada ítem, y los datos de relevancia y valoración que debían ingresar los encuestados en cada una de ellos.

### **A. Construcción del formulario**

Dentro de las opciones que Google Docs presenta a sus usuarios se encuentran: edición de documentos, hojas de cálculo, presentaciones y formularios. Para acceder a estos servicios el usuario debe autenticarse en el servidor de Google.

Cuando se selecciona la opción de crear un formulario se carga una interfaz de edición

que permite que se adicionen preguntas de diferentes tipos (selección única, selección múltiple, campo de texto, lista de selección, rango de números y párrafo).

Por cada pregunta ingresada se puede agregar un texto descriptivo y validar su respuesta. También se puede agregar un nombre a la encuesta y un párrafo introductorio referente al formulario. Se dispone de un conjunto de herramientas que permiten enviar el formulario a una lista de correos y analizar las respuestas de forma estadística.

A medida que se ingresan las preguntas y se guardan los cambios, la hoja de cálculo que soporta el formulario va generando automáticamente las columnas correspondientes a cada pregunta. Al final de la edición se tendrá en la hoja de cálculo una columna por cada pregunta, exceptuando la primera, *timestamp* (estampilla o marca de tiempo) que se crea por defecto para registrar la hora de envío del formulario diligenciado.

Una vez el formulario está listo para distribuirse en la red, se utiliza la opción de envío, donde se incluyen los correos de los encuestados. No es necesario que sean usuarios de Gmail, el servidor de correo de Google. Se pueden incluir grupos de correo o correos individuales separados por comas y una pequeña descripción del formulario.

**Herramienta a evaluar \***  
 Seleccione el nombre de la herramienta software de simulación que desea evaluar

**Ítem Funcionalidad - Relevancia. Permite modelar redes 802.11 \***  
 Seleccione la relevancia para esta característica de aplicabilidad

**Ítem Funcionalidad - Valoración. Permite modelar redes 802.11 \***  
 Seleccione la valoración para esta característica de aplicabilidad

**Ítem Funcionalidad - Relevancia. Permite modelar redes GSM/GPRS 3G \***  
 Seleccione la relevancia para esta característica de aplicabilidad

**Ítem Funcionalidad - Valoración. Permite modelar redes GSM/GPRS 3G \***  
 Seleccione la valoración para esta característica de aplicabilidad

Figura 2. Formulario para expertos

	A	B	C	D	E
1	Nombre y Apellido	Herramienta	Promedio Relevancia Funcionalidad	Promedio Valoración Funcionalidad	Costo total de la herramienta
2	Experto 1	NCTUns	4.73	3.47	3.29
3	Experto 2	NCTUns	5.00	4.20	3.70
4	Experto 3	NCTUns	4.73	4.33	3.75
5	Experto 4	NS-2	4.47	4.40	4.36
6	Experto 5	NS-2	4.07	3.33	3.58
7	Experto 6	NS-2	3.13	3.13	3.65
8	Experto 7	NS-2	3.47	3.33	2.72
9	Experto 8	NCTUns	4.33	4.73	4.90
10	Experto 9	NS-2	5.00	5.00	4.50

Figura 3. Hoja de cálculo con la valoración de los expertos

Lo que el encuestado recibe en el mensaje es una invitación para que llene la encuesta y un enlace que le permite acceder al formulario (ver figura 2). Cuando el usuario diligencia el formulario y lo envía, el usuario administrador analiza las respuestas de la encuesta.

Al ingresar el usuario administrador con su cuenta y revisar la hoja de cálculo, encuentra las respuestas marcadas por los encuestados organizadas en filas. Luego, el usuario procede a realizar los cálculos de los promedios para cada ítem utilizando como insumo los datos almacenados en las celdas. Finalmente con los pesos asociados a cada ítem, se calcula el valor de la función de costo para cada herramienta de simulación evaluada (ver figura 3).

Para calcular los promedios y la valoración de la herramienta de software, se insertan las fórmulas en las celdas de la primera fila (aunque el valor que muestran es 0 – cero-, las formulas ya se encuentran insertadas). Cuando todos los encuestados hayan llenado el formulario, se arrastran las celdas que contienen las fórmulas hacia abajo y se obtienen los resultados correspondientes a cada columna.

Los reportes asociados a cada usuario se generan en una hoja de cálculo diferente donde se hace referencia a los datos y resultados que se encuentran en la hoja de cálculo principal (nombre, apellido, entidad, herramienta de software a evaluar, promedios y valoración de la herramienta). Esta hoja se exporta a formato PDF para luego ser enviada a los usuarios interesados.

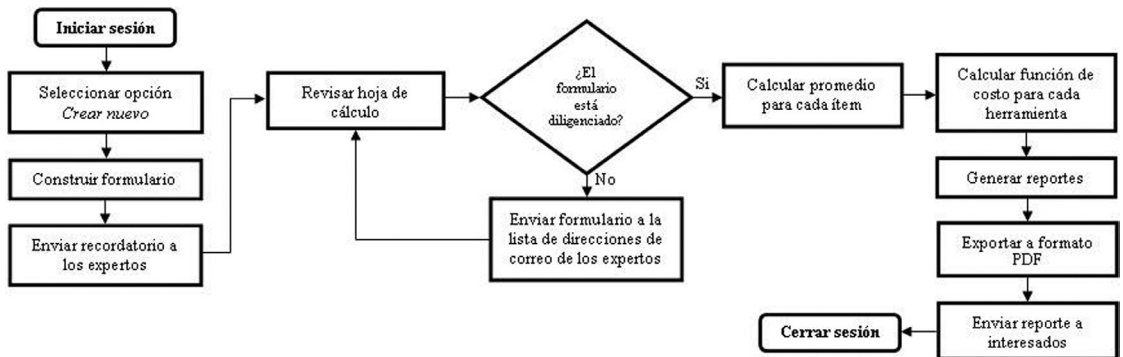


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso usando un formulario de *Google Docs*

En la figura 4 se presenta el diagrama de flujo del proceso completo que se realiza para la evaluación/selección de las herramientas de simulación de redes usando el formulario de *Google Docs*.

## V. Encuesta y análisis de resultados

Después de los resultados positivos obtenidos en las pruebas iniciales de la aplicación, se procedió a enviar el formulario a la lista de direcciones de correo de los expertos que aceptaron participar en el proceso de validación del método de evaluación propuesto.

La petición de colaboración para diligenciar la encuesta se envió vía correo electrónico a nueve expertos en el manejo de las herramientas a evaluar, NS-2 y NCTUns, que son integrantes de grupos de investigación nacionales activos en la temática de redes.

Se seleccionaron tres criterios relevantes entre todas las características evaluadas:

- » Soporte de uso: documentación de desarrollo, gran comunidad de usuarios, foros activos con tiempos de respuesta no muy largos...
- » Flexibilidad: facilidad de modificación de los componentes de la herramienta.
- » Soporte a múltiples tecnologías de red (802.11, WiMAX, GSM/GPRS).

La **Tabla 2** muestra los valores de la función de costo obtenidos para cada herramienta evaluada, según la opinión de los expertos. Se selecciona la herramienta que logre el mayor valor de la función de costo.

En el ejercicio de prueba realizado se encontró que la diferencia entre los resultados obtenidos al promediar los valores de la función de costo de cada una de las herramientas es muy pequeña, pero existe una ligera ventaja de NCTUns sobre NS-2. Esto indica que sería la herramienta a seleccionar.

### A. Revisión de documentos y trabajos de investigación relacionados

Para contrastar los resultados obtenidos con el método propuesto, se realizó una revisión de artículos y trabajos, que puso en evidencia la existencia de varios

Expertos encuestados	Herramienta	Costo total	Promedio
Experto 1	NCTUns	3.29	3.91
Experto 2		3.70	
Experto 3		3.75	
Experto 4		4.90	
Experto 5		4.36	
Experto 6	NS-2	3.58	3.76
Experto 7		3.65	
Experto 8		2.72	
Experto 9		4.50	

**Tabla 2.** Resultados obtenidos en la encuesta

trabajos, investigaciones y algunos casos de estudio acerca del análisis/evaluación de herramientas software de simulación de redes inalámbricas.

NS-2 es generalmente criticada por su arquitectura compleja que incide sobremanera en la modificación o adición de nuevos componentes [1, 8]. De NCTUns se conocen resultados de estudios de simulaciones que se han realizado como la herramienta, pero no aportes concretos y fuertes en el tema del mantenimiento [7].

Los trabajos que están más relacionados son [4, 5, 6, 8, 9] ya que incluyen una de las dos herramientas evaluadas, generalmente NS-2, que se consideran en el presente ejercicio de prueba. Aunque la lista de herramientas es larga, en [5] y [6] sólo se muestra una descripción muy general y de forma independiente de la estructura de cada una de ellas.

Por el contrario, en [4] se presenta una comparación detallada de varias herramientas, incluyendo a NS-2, de acuerdo con unos criterios definidos (p.ej. visualización, ventajas, desventajas, estadísticas...), pero hay una serie de diferencias importantes que se deben mencionar:

- » Las herramientas se analizan desde el punto de vista de la investigación en la industria, por lo tanto se enfocan en cuestiones (p.ej. el soporte a ciertos modelos) que son necesarias para su proyecto, pero no tan relevantes para los investigadores académicos.
- » No consideran aspectos que son importantes, como por ejemplo problemas de

instalación y son muy breves las opiniones sobre la visualización y las estadísticas que ofrecen.

- » Los casos de estudio presentados no tienen ejemplos prácticos de cuestiones relacionadas con la facilidad de uso de la herramienta.

En general, los documentos consultados permitieron evaluar las fortalezas y debilidades de las herramientas con respecto a la implementación, el análisis y las capacidades de visualización. En resumen se tiene que:

- » NS-2 tiene como ventajas el número de modelos disponibles [1], la flexibilidad de la configuración para ejecutar las simulaciones [9] y la creciente comunidad de usuarios [4]. En [5] se recomienda a NS-2 como la mejor opción para usuarios interesados en obtener resultados precisos y confiables en implementaciones de la capa física, y sugiere también que se utilice para simulaciones a gran escala. Por otro lado, en [1, 8] se listan como sus puntos débiles la arquitectura, el elevado consumo de recursos que conduce a la falta de escalabilidad y el lenguaje OTcl. En [4] se afirma que algunos protocolos y características no están bien documentados y que no hay una clara diferencia entre OTcl y C++.
- » NCTUns parece ser la herramienta de simulación más adecuada para fines educativos y experimentales, ya que posee un motor de simulación bien diseñado, incluye un editor gráfico para el diseño de las topologías de red, permite agregar nuevos modelos de protocolos y modificar la pila de protocolos existentes [7]. Lo anterior hace que sea una herramienta apropiada para el desarrollo de nuevos módulos enfocados en necesidades o problemáticas específicas de investigación. Además, se puede conectar una red virtual simulada con una real, y permite almacenar los archivos de bitácora (log) que se graban durante la simulación, para luego utilizarse y poder visualizar el flujo de datos. Sin embargo, el autor de [7] muestra su inconformidad respecto al soporte de los sistemas y la máquina dedicada requerida para su uso.

## Conclusiones

- » El nuevo método propuesto para la evaluación/selección de herramientas de software de simulación de redes tiene su fundamento en dos elementos claves: el estándar ISO/IEC 9126-1, que define un modelo de calidad y evaluación de herramientas de software, y una función de costo, que está compuesta por los valores asignados a las seis características definidas en la norma ISO/IEC 9126-1, que permite obtener una valoración formal para cada una de las herramientas de software a evaluar, basándose en la encuesta a expertos, y tomar la decisión de cuál herramienta usar para la simulación de redes.
- » Se creó un formulario sencillo de encuesta usando Google Docs para la encuesta

a expertos en el uso de las dos herramientas de simulación de redes, NS-2 y NCTUns, escogidas para las pruebas de validación, y los resultados obtenidos en el ejercicio de prueba del método de selección/evaluación fueron contrastados con la información que se había consultado en la revisión bibliográfica sobre la temática. Los valores que arrojó la función de costo, muestran una pequeña diferencia a favor de NCTUns.

- » En general respecto a las dos herramientas evaluadas se puede mencionar que NS-2 sobresale por el número de modelos disponibles y la gran cantidad de información que se encuentra en línea acerca de su configuración y uso. Mientras que NCTUns posee un motor de simulación bien diseñado y ofrece soporte para la adición de nuevos modelos y modificación de protocolos existentes, por lo que es apropiada para el desarrollo de nuevos módulos enfocados en necesidades o problemáticas específicas de investigación. **ST**

## Referencias bibliográficas

1. J. Lessmann, P. Janacik, L. Lachev, and D. Orfanus. Comparative Study of Wireless Network Simulators. The Seventh International Conference on Networking, pp. 517-523, 2008.
2. X. Franch, J. P. Carvallo. Using Quality Model Software package Selection. Software IEEE, Volume: 20, Issue: 1, page(s): 34- 41, 2003.
3. W. Kash, J. Ward and J. Andrusenko. Wireless Network Modeling and Simulation Tools for Designers and Developers. Communications Magazine, IEEE, Vol. 47, No. 3, pp. 120-127, April 2009.
4. L. Begg, W. Liu, K. Pawlikowski, S. Perera, and H. Sirisena. Survey of Simulators of Next Generation Networks for Studying Service Availability and Resilience. Technical Report TRCOSC 05/06, Department of Computer Science & Software Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, February 2006.
5. L. Hogie, P. Bouvry, and F. Guinand. An Overview of MANETs Simulation. In Electronic Notes in Theoretical Computer Science, Proc. of 1st International Workshop on Methods and Tools for Coordinating Concurrent, Distributed and Mobile Systems (MTCoord 2005), LNCS, pp. 81-101, Namur, Belgium, April 2005. Elsevier.
6. D. Curren. A Survey of Simulation in Sensor Networks. En línea: <http://www.cs.binghamton.edu/~kang/teaching/cs580s/david.pdf>, 2007
7. P. Novák. Simulation of Network Structures. Master's thesis, Department of Software Engineering, Charles University in Prague, August 2006.
8. M. Köksal. A Survey of Network Simulators Supporting Wireless Networks. En línea: <http://www.ceng.metu.edu.tr/~e1595354/A%20Survey%20of%20Network%20Simulators%20Supporting%20Wireless%20Networks.pdf>
9. B. Schilling. Qualitative Comparison of Network Simulation Tools. Technical report, Institute of Parallel and Distributed Systems (IPVS), University of Stuttgart, January 2005.

10. H. J. Wang, R. H. Katz, and J. Giese. Policy-enabled Handoffs across Heterogeneous Wireless Networks. Proceedings of the Second IEEE Workshop on Mobile Computer Systems and Applications, 1998, pp. 1-10.
11. Andrés Navarro C., Andrés F Millán, Alexander García Dávalos, Gabriel Tamura, Zeida M. Solarte, Sandra L. Céspedes, Claudia L. Zúñiga, Oscar W. Jiménez. Sistema Universal para Portabilidad de Dispositivos Móviles en Ambientes de Redes Inalámbricas Heterogéneas". Cali, Agosto de 2008. ISBN 978-958-8122-70-0. pag. 132.
12. Google Docs. En línea: <http://docs.google.com/#all>
13. NCTUns. En línea: <http://nsl.csie.nctu.edu.tw/nctuns.html>
14. NS-2. En línea: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
15. J. L. Hogue, P. Bouvry, and F. Guinand. "An Overview of MANETs Simulation". Proc. of 1st International Workshop on Methods and Tools for Coordinating Concurrent, Distributed and Mobile Systems (MTCoord 2005), LNCS, pages 81101, April 2005. Elsevier.

## **Agradecimientos**

A los investigadores expertos en las herramientas de simulación de redes, que generosamente participaron en el diligenciamiento de la encuesta para el ejercicio de prueba del método de evaluación/selección de las herramientas de software.



## Currículum vitae

### Alexander García Dávalos

Ingeniero de Sistemas graduado en 1995 en la Universidad Técnica Estatal de la Aviación Civil de Moscú (Federación Rusa). Magíster en Ciencias Computacionales del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (Méjico) en convenio con la UNAB (Bucaramanga, Colombia). Actualmente es profesor de computación móvil y sistemas operativos en la Universidad Autónoma de Occidente (Cali, Colombia), y dirige el Grupo de Investigación en Telemática e Informática Aplicada de la misma universidad. Entre sus áreas de interés están las redes inalámbricas, la computación móvil y ubicua, e IPTV móvil.

### Lina Marcela Escobar Paz

Ingeniera de Sistemas graduada en la Universidad Autónoma de Occidente (Cali, Colombia) en el año 2009. Actualmente es asistente de investigación del Grupo de investigación en Telemática e Informática Aplicada de la Universidad Autónoma de Occidente, y ha estado trabajando en algunos proyectos de investigación con el apoyo financiero de Colciencias, el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación del gobierno Colombiano. Entre sus áreas de interés están la computación móvil, las redes inalámbricas y las redes de próxima generación.

### Andrés Navarro Cadavid

Ingeniero Electrónico en 1993 y Magíster en Gestión de la Tecnología en 1999, ambos grados obtenidos en la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín (Colombia). Obtuvo el grado de Doctor Ingeniero en Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Valencia (España) en el 2003. Actualmente es profesor titular en la Universidad Icesi (Cali, Colombia) y líder del Grupo de Investigación en Informática y Telecomunicaciones (i2T), de la misma universidad. Entre sus áreas de interés están los sistemas inalámbricos, su planificación y optimización, y los modelos de propagación aplicables a la región Andina.

### Andrés Vásquez Mejía

Ingeniero Telemático graduado en la Universidad Icesi (Cali, Colombia) en el año 2008. Actualmente emprende negocios de comercialización con base en la investigación sobre el estado del arte de las Tecnologías y actual Mercado Potencial, para la expansión tecnológica en términos de exportación e importación. Dentro de sus áreas de interés se encuentran la investigación, la vigilancia tecnológica para el análisis de inteligencia competitiva y empresarial, y la computación aplicada a las finanzas.