



SISTEMA DE INFORMACIÓN ACADÉMICO Y CIENTÍFICO PARA EL ANÁLISIS Y LA SIMULACIÓN DE TRÁFICO CAÓTICO EN REDES DE PAQUETES DE NUEVA GENERACIÓN

RESUMEN

El proceso de paquetización en las redes ha facilitado el proceso de integración de los servicios. En esta misma medida, las características del tráfico han tenido un importante giro a un comportamiento caótico. Este caos se refleja en la repetición de ráfagas de información en todas las escalas de tiempo, lo que encaja en la teoría de fractales y autosimilaridad en las redes. Protocolos como el IP requieren de la activación de mecanismos que adviertan al protocolo de usuario, TCP y SCTP, para que los mismos activen los mecanismos de recuperación y disminución de las ráfagas. Los fenómenos de sincronización global (estancamiento de todos los usuarios por congestión en la red) están muy relacionados a esta autosimilaridad del tráfico, dado que tradicionalmente los protocolos de Transporte están aislados de la red y la red está aislada del usuario a nivel de las capas de comunicación.

Por ello, es necesario determinar la situación de la red. Caracterizar el tráfico. Identificarlo. Dicha identificación está basada en la determinación del parámetro de Hurst, para lo cual existen diversos métodos. Los trabajos de tres científicos que desarrollaron módulos en Matlab, fueron analizados en este desarrollo. Ellos son: Reinaldo Scappini, Darryl Veitch y Hae-Duck Joshua Jeong. Dichos módulos calculan el parámetro H con diferentes métodos matemáticos en el dominio del tiempo y la frecuencia, al igual que generan tráfico autosimilar en la misma forma.

■ Franklin Planchart

email: franklin.planchart@gmail.com

CANTV. Centro de estudios de Telecomunicaciones. Ministerio
del Poder popular de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones.
República Bolivariana de Venezuela.

Fecha de Recepción: 29 de febrero de 2012
Fecha de Aceptación: 12 de septiembre de 2012

El software desarrollado en este trabajo está basado en interfaz gráfica, toma dichos módulos y los une en una sola aplicación, mediante un riguroso análisis de integración de las bases de datos, de los gráficos y adaptación de diversos módulos para facilitar la automatización.

Un componente del software está orientado al sector educativo de Ingeniería de Telecomunicaciones o Computación del último semestre o año y otra parte está orientada a la investigación de campo de Científicos e Ingenieros de la Red.

Palabras claves: autosimilaridad, fractales, Hurst, autocorrelación, wavelet

ACADEMIC INFORMATION SYSTEMS AND SCIENCE FOR ANALYSIS AND SIMULATION OF CHAOTIC TRAFFIC IN PACKET NETWORKS NEXT GENERATION

ABSTRACT

The process of packetized networks has facilitated the process of integration of services. To this extent, the characteristics of traffic have had a major twist to a chaotic behavior. This chaos is reflected in repetition of burst of information at all scales of time, which fits in the theory of fractals and self similarities in networks. Protocols such as IP require activation mechanisms that alert to the user, using TCP or SCTP protocol for example, that activate the mechanisms of recovery and decrease of the burst. The phenomena of global synchronization, that brings as a consequence the stagnation of all users by network congestion, are closely related to this selfsimilarities of the traffic, given that transport protocols are isolated from the network.

It is therefore necessary to determine the status of the network. Characterize and identify it. This identification is based on the determination of the Hurst parameters, for which there are several methods. The work of three scientists who developed modules in Matlab were analyzed in this development. They are Reinaldo Scappini, Darryl Veitch y Hae-Duck Joshua Jeong. These modules calculate the H parameter with different mathematical methods in the

domain of time and frequency, similar to stochastically self similar traffic generated in the same way.

The software developed in this work is based on graphical interface. It takes these modules and binds together them in a single application, through a rigorous analysis of integration of the databases, graphics and adaptation of many modules to facilitate automation.

A component of the software is geared to the education sector of telecommunications engineering or computing in the last period and another part is oriented to research field of scientist and engineers from the network.

Key words: selfsimilarity, fractal, Hurst, selfcorrelation, wavelet

1. OBJETIVO.

La finalidad del presente es la de divulgar y difundir el resultado del desarrollo de una herramienta de software implementada en MATLAB, con interfaces gráficas al usuario, para el análisis de tráfico caótico en redes de paquetes, como el producto de una fase del estudio de Doctorado en Ingeniería en la Universidad Central de Venezuela del MSc. en Ingeniería Eléctrica, Franklin Planchart. Ello es, análisis de tráfico con características autosimilares a nivel estocástico. El software recoge importantes aportes de científicos a nivel mundial en el análisis y generación de tráfico autosimilar. Se considera una herramienta de gran interés para estudiantes de Ingeniería de Telecomunicaciones, Computación, Electrónica y/o Electricidad del último semestre y para investigadores y científicos que estén realizando trabajo de campo para caracterizar el tráfico en redes de paquetes. Especialmente redes de nueva generación (NGN, siglas en inglés, como es normalmente conocida).

2. IMPORTANCIA DE CARACTERIZAR EL TRÁFICO

Este estudio partió del análisis del caos. Este último se define como la repetición de una irregularidad en diferentes escalas de tiempo. Esa repetición ha conllevado a los fractales. Se dice entonces que ese suceso de la irregularidad a diferentes escalas representa la autosimilaridad estocástica. Un parámetro que determina o explica dicho comportamiento es el parámetro de Hurst, dado que el mismo afecta directamente el cálculo del tiempo de ocupación del servidor cuando se atiende un paquete y a los sistemas de almacenamiento para los paquetes que llegan a los nodos, Routers o Switches.

Sin duda alguna los modelos de tráfico tradicionales basados en Poisson bajo el esquema actual de paquetización de los servicios, no se adaptan ni soportan lo que en realidad ha estado ocurriendo en las redes debido al proceso de integración de todos los servicios, dado que la tendencia es el caos en las redes de paquetes. La tendencia es la autosimilaridad estocástica.

En el proceso Poisson, los eventos son totalmente independientes, por lo que se concluye que son procesos sin memoria. La siguiente es la función de probabilidad de ocurrencia de un evento "x", en este caso, la llegada de una determinada cantidad de paquetes y λ es el promedio de paquetes por segundo.

$$f(x) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^x}{x!} \quad (1)$$

Igual importancia tiene el expresar los tiempos entre llegadas de los paquetes. En un proceso Poisson, la probabilidad de tiempos entre llegadas de paquetes viene dada por:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (2)$$

$$0 \leq x \leq \infty$$

Donde x es el tiempo de ocurrencia y f(x) la probabilidad de que ese tiempo ocurra.

De esta forma, el trabajo aquí desarrollado, orienta a todos los algoritmos a realizar los cálculos en esos dos tópicos. Se hace la excepción de que los paquetes fueron expresados en bytes. Entonces los cálculos se refieren a cantidad de bytes y tiempo entre llegadas de los paquetes.

A continuación se expresan fórmulas matemáticas que ponen de manifiesto el impacto de la autosimilaridad, a través de un parámetro denominado el parámetro de Hurst, aspecto principal en el análisis de tráfico caótico.

En este sentido, las fórmulas de Little para sistemas M/M/1 y M/D/1 en lo que respecta a los elementos en espera en los buffer o memorias son respectivamente:

$$w = \frac{\rho^2}{(1-\rho)} \quad (3)$$

$$w = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} + \rho \quad (4)$$

Donde ρ es el tiempo de atención o despacho del paquete por parte del servidor o troncal. En un sistema con tráfico autosimilar con dependencia larga en la correlación temporal, el tamaño de la cola viene dado por:

$$w = \frac{\rho^{\frac{1}{2(1-H)}}}{(1-\rho)^{\frac{H}{(1-H)}}} \quad (5)$$

Siendo H el parámetro de Hurst. En la misma forma, en los esquemas tipo M/M/n, se pueden aplicar las fórmulas de Little para calcular el porcentaje de utilización de los servidores y la capacidad de las memorias de entrada. El concepto de linealidad es aplicable y utilizando superposición, la resolución en sistemas de redes se logra mediante sumatorias de los flujos en los nodos. Esta es una gran ventaja de los sistemas clásicos. Por los momentos, en

los sistemas de tráfico caótico la superposición no se puede aplicar.

3. CARACTERIZACIÓN Y GENERACIÓN DE TRÁFICO AUTOSIMILAR

En la tabla 1 se refleja un esquema que muestra los métodos para determinar el parámetro H. Los expresados en el dominio del tiempo permiten calcular aproximadamente el parámetro H, mientras que los del dominio de la frecuencia permiten determinarlo exactamente. El método de la transformada Wavelet ha demostrado ser por los momentos, el más exacto, versátil y se augura un gran aporte al desarrollo de equipos y sistemas.

En lo referente a la generación de un tráfico autosimilar, igualmente existe la posibilidad de hacerlo en los dos dominios. Los basados en el dominio del tiempo encuentran como máximo exponente a la posibilidad de modular fuentes no autosimilares, cuyas características están orientadas a un tráfico de Poisson Markoviano, con apagados y encendidos de la fuente cuya probabilidad de tiempo de apagado y encendido corresponden a funciones del tipo de cola pesada, lo cual simula ráfagas [11]. En el dominio de la frecuencia, se puede generar el tráfico a través de la transformada de Fourier de la autocorrelación, con Periodogramas (minimización de la expresión de transformada de Fourier de la autocorrelación entre la serie de Fourier de la señal) y a través de la Transformada Wavelet.

Tabla 1. Métodos de estimación de H

Métodos gráficos aproximados	Métodos exactos
Pendiente recta Varianza/Tiempo	Periodograma. Transformada de Fourier
Pendiente recta Rango-Desviación Estándar	Ondículas. Transformada Wavelet

4. RELACIÓN MATEMÁTICA DE LOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE H CON LOS ALGORITMOS DE CÓMPUTO

Los diversos métodos para el cálculo del parámetro de Hurst tienen demostraciones matemáticas que han posibilitado llegar a expresiones que han permitido realizar dimensionamientos correctos de las redes, a pesar de que todavía no existe un tratado de Ingeniería de tráfico como las heredadas del sistema tradicional, que abrió todo un esquema hacia lo referente al Erlang B y al Erlang C.

En el siguiente cuadro se muestran los diferentes métodos para calcular el parámetro de Hurst en forma resumida, las cuales son el fundamento para el desarrollo de los algoritmos y software de análisis de tráfico autosimilar.

Tabla 2. Métodos de cálculo de H y fórmulas asociadas

Método de cálculo de H	Fórmula principal
Rango Escalado R/S	$\log \left(\frac{R(m)}{R(s)} \right) \approx H \log(N) - H \log(2)$
Rango Escalado Promedio E/S promedio muestras	$\log \left(\frac{R(m)}{R(s)} \right) \approx H \log(N) - H \log(2)$
Varianza Tiempo V/T	$\log \text{Var}(X^m) = \log \text{Var}(X) - \beta \log(m)$
Logaritmo/Escala(Wavelet)	$\log_2(E[d_x(j, k)]) = j\gamma + \log_2(C)$
Wavelet/Octavas	$\log_2(\text{Var}[d_x(j, k)]) \approx j\gamma$

La generación de muestras de tráfico autosimilar se implementó mediante módulos de software FGNIFOURIER.m y FGNDWv2.m. El primero genera muestras a través de la transformada de Fourier y el segundo a través de transformada Wavelet[10]. En la bibliografía especificada se indican en detalle los algoritmos de generación de tráfico autosimilar.

5. SOFTWARE DE ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE TRÁFICO AUTOSIMILAR

El software implementado tiene un alto componente académico y un componente de investigación científica. Las interfaces son orientadas a objetos, y existen algunas pequeñas implementaciones no orientadas a objeto y están relacionadas a crear facilidad de validación del software.

5.2. Módulos .m en Matlab incorporados en el software

5.1. Facilidades del software

El software fue desarrollado en MATLAB, versión 7.9.0.

Las facilidades del software permiten:

- Generar tráfico autosimilar a través de Transformada Inversa de Fourier con Ruido Gaussiano
- Modulo externo .m para generar tráfico autosimilar a través de la transformada inversa Wavelet.
- Determinación del parámetro H de un tráfico usando los métodos temporales y método de transformada Wavelet
- Módulo para análisis científico o de Ingeniería de diversas muestras de tráfico

Tabla 3. Módulos .m desarrollados por Reinaldo Scappini. Universidad de la Plata.(*) Indica una nueva versión implementada en este trabajo

Aplicaciones desarrolladas por Ricardo Scappini. Universidad Nacional de la Plata	
Módulo Matlab.m	Aplicación
CargaVectores.m	Carga de Vectores y generación de procesos sintéticos equivalentes para la muestra número 1.
CargaVectores2.m(*) (versión de CargaVectores,m)	Carga de Vectores y generación de procesos sintéticos equivalentes para la muestra número 2.
SerieTEscalada.m	Graficador de comportamiento
SerieTiempoEscaladoComparada.m	Graficador de comportamiento para dos procesos
RangoEscalado.m	Estimación de H, por el método gráfico de Rango Reescalado
RangoEscaladoPromedio.m	Idem anterior para dos procesos
VarianzaTiempo.m	Estimación de H, por el método gráfico de Varianza vs Tiempo
Varianzav2.m(*) (versión de VarianzaTiempo)	Igual anterior, cambios fundamentales para adaptar al modo objeto, cuando se llame al módulo.Compatibilidad
VarianzaTiempoComparada.m	Idem anterior para dos procesos
VarianzaW.m	Estimación H, por el método regresión de Varianza coeficientes Wavelets vs Octavas
VarianzaEv2.m(*) (versión de VarianzaW.m)	Modificación al anterior para adaptarlo al modo gráfico
FBM.m	Estudio gráfico del comportamiento de autocorrelación de dos procesos
FGNIFOURIER.m	Generación de secuencias autosimilares sintéticas con exponente H determinado, con transformada de Fourier

Todos los módulos fueron modificados para adaptarlos al modo objeto. Así, las entradas a funciones se dan desde los objetos. Igualmente, gran parte de los cambios están orientados a poder manipular los gráficos generados por la función, dado que el despliegue de gráficos desde los módulos .m se manejan en forma diferente a los módulos .fig en Matlab. Como las funciones en .m buscan graficar y plasmar las informaciones resultantes

en el estado presente en la versión desarrollada por Scappini, fue necesario realizar cambios en las funciones para almacenar los valores de interés y poder realizar manipulación externa y por supuesto, poder almacenar y generar archivos históricos. Pero los cambios no alteran el fundamento algorítmico desarrollado por el autor que implementó los módulos.m básicos.

Tabla 4. Módulos desarrollados por Darryl Veitch. LDestimatev2.m es una modificación al original LDestimate.m

Aplicaciones desarrolladas por Darryl Veitch	
Módulos .m	Aplicación
LDestimate.m	Determina el valor de alfa acorde a las condiciones establecidas en el programa.
LDestimatev2.m(*)	Automatiza el cálculo de H mediante iteración automática de J1,J2, número de desvanecimientos.
Newchoosej1.m	Selecciona el mejor j1, para un j1 específico.
Regrescomp.m	Determina rangos j1-j2 de confianza, acorde al valor Q.
initDWT_discrete.m	MRA para calcular coeficientes Wavelets
wtspec.m	Efectúa la descomposición mediante Wavelets Daubechies

Los módulos desarrollados por Hae-Duck Joshua de la Universidad de Canterbury[10], para generar un tráfico autosimilar basado en wavelets, utiliza módulos distribuidos según la siguiente estructura:

Tabla 5. Aplicaciones desarrolladas por Hae-Duck Joshua Jeong

Módulos	Aplicación
FGNDW.m	Genera un tráfico autosimilar mediante la transformada inversa Wavelet
FGNDWSpectrum	Crea "n" frecuencias y calcula el espectro de frecuencia de la potencia.
Daub	Retorna los coeficientes Wavelets de Deubechies

Tabla 6. Aplicaciones .m desarrolladas por Franklin Planchart

Módulos	Aplicación
Validacion_metodo.m	Calcula las varianzas de los vectores sintéticos activados para validar
Activa_Validacion.m	Activa la validación del software a través de vectores sintéticos autosimilares
ResumenH.m	Resumen de los factores H de todos los archivos .txt seleccionados.

El programa ResumenH.m, es una rutina sencilla que permite representar desde el nivel de comandos en Matlab las salidas del resumen del cálculo de H para diferentes muestras a las cuales se les realizó el cómputo masivo en el menú “Análisis Múltiple”.

5.3 Estructura del software desarrollado con interfaz gráfica

El software con interfaz gráfica al usuario une todos los programas .m para que dichos módulos sean llamados sin necesidad de conocer los detalles de las funciones o para ejecutar pruebas que son repetitivas, evitando tener que ejecutar módulo por módulo. La

otra importancia es que coloca módulos de diferentes autores, y realiza adaptaciones de interés en algunos módulos, perfeccionando la salida.

Para ello, todos los módulos fueron adaptados para trabajar con dicha interfaz. El módulo LDEstimate.m fue modificado a fin de automatizar el proceso de iteración de octavas en los Wavelets, el número de desvanecimientos del Wavelet y el parámetro de calidad del segmento seleccionado.

En la figura 1 se encuentra una descripción general de los módulos desarrollados en extensión .fig, encargados de llamar a las rutinas .m modificadas, adaptadas y optimizadas en algunos casos, manteniendo el núcleo del algoritmo de dichos módulos.

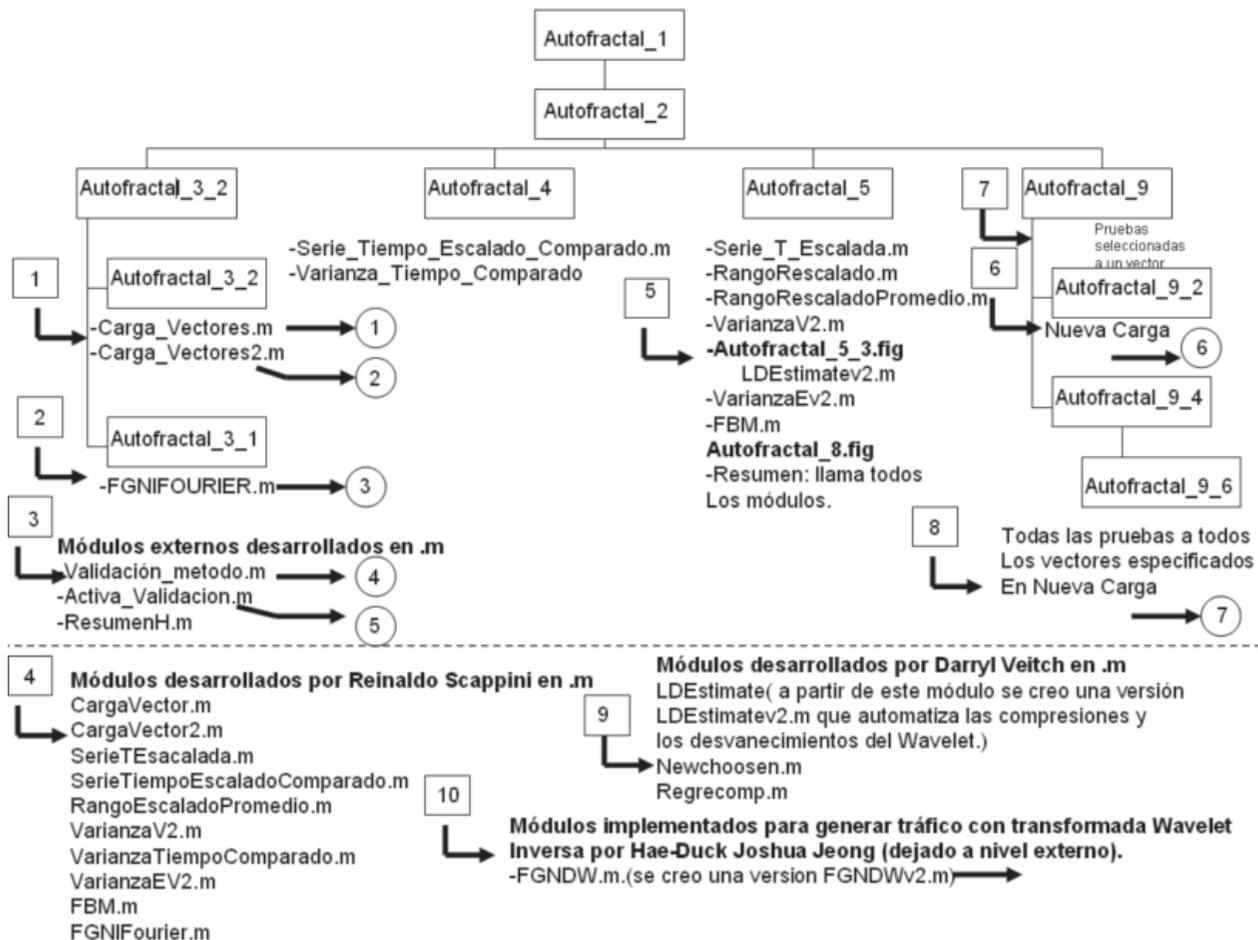


Figura 1. Estructura del Software de Análisis y Simulación de Tráfico Autosimilar Módulos autofractales

La gráfica anterior se refleja en el software implementado en esa misma estructura, haciendo

los llamados a las rutinas mencionadas anteriormente.

Las tres primeras ventanas tratan lo concerniente a generación de tráfico autosimilar y determinación del parámetro H con cada uno de los métodos expuestos. Estos cálculos están caracterizados en que cada prueba requiere que se especifique y cargue la muestra a

analizar. El módulo científico y de ingeniería es la última ventana, en la cual se puede cargar un archivo y realizarle todas las pruebas o las pruebas que se requieran, marcando las opciones, mediante una sola carga del vector. También está la opción de cargar “n” archivos y hacerles todas las pruebas. El resultado queda almacenado para uso del investigador o centros de estadísticas e ingeniería/planificación de la red.

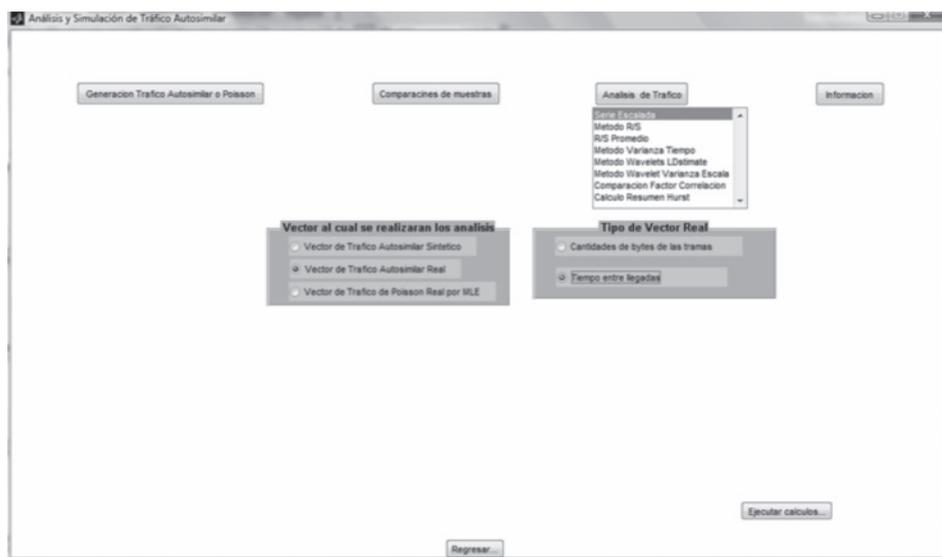


Figura 2. Autofractal_5.fig. Ejemplo de menues del software. Su estructura coincide con lo expuesto en la figura 1.

6. VALIDACIÓN DEL SOFTWARE

El procedimiento de validación del software se realizó en esta primera instancia, mediante la siguiente metodología:

- 20 muestras de cálculo con cada uno de los métodos de para determinar H por FGNIFOU-RIER (Fourier).
- 20 muestras de cálculo con cada uno de los métodos para determinar H por FGNDWv2 (wavelet).
- 4 muestras Bellcore Morristown Research and Engineering, las mismas utilizadas en el trabajo de W. E. Leland and D. V. Wilson[1] W. E. Leland, M. S. Taqqu, W. Willinger, and D. V. Wilson, “On the self-similar nature of ethernet traffic (extended version)”, IEEE/ACM Transactions on Networking, vol.2, pp.1–15, Feb. 1994.. Estas trazas ampliamente conocidas y mencionadas en muchas de las publicaciones hechas sobre este tema, están disponibles en el siguiente sitio llamado The Internet Traffic Archive: <http://ita.ee.lbl.gov/html/contrib/BC.html>. En particular se trata de cuatro capturas de tráfico, llamadas BC-pAug89.TL; BC-pOct89.TL; BCOct89Ex.TL y BC-Oct89Ext4.TL. La descripción detallada de las trazas, se pueden ver, tanto en la página del enlace(link), como en el trabajo citado.
- Vector acumulado de tamaño de bytes proveniente de un cálculo sobre BC-Aug89.TXT. Nota: todos los archivos .TL deben ser copiados en .TXT o .dat para que el software los pueda tratar.
- Vector fgn8.dat, colocado por Darryl Veitch para realizar pruebas de validación.

6.1 Validación con vectores sintéticos FGNIFOU-RIER:

Se generaron 20 muestras y se calcularon los parámetros H con todos los métodos, desde el menú “Análisis Múltiple”, Pruebas a un vector. Se activó la validación con el programa: Activa_validacion.m.

Tabla 7. Cálculo de H con los cinco métodos para vectores FGNIFOURIER.m

FGNI	R/S	R/S Prom	V/T	LDestimate	WLog/Esc	Q	j1	j2	N
0.5000	0.5383	0.5256	0.5102	0.5068	0.5714	0.9955	6.0000	11.0000	5.0000
0.5800	0.5607	0.5699	0.5459	0.5502	0.6383	0.9828	4.0000	9.0000	8.0000
0.5500	0.5272	0.5451	0.5151	0.5304	0.6553	0.9997	3.0000	14.0000	9.0000
0.5900	0.5742	0.5757	0.5568	0.5722	0.7040	0.9910	6.0000	11.0000	5.0000
0.6000	0.5965	0.5923	0.5765	0.5986	0.6215	0.9994	10.0000	16.0000	6.0000
0.6500	0.6363	0.6461	0.6022	0.6811	0.6373	0.9742	11.0000	16.0000	7.0000
0.6800	0.6909	0.6602	0.6447	0.6675	0.6493	0.9787	7.0000	12.0000	9.0000
0.6900	0.6985	0.6788	0.6650	0.6593	0.6824	0.9292	5.0000	10.0000	8.0000
0.7000	0.6663	0.6736	0.6646	0.6915	0.7483	0.9803	7.0000	16.0000	4.0000
0.7500	0.7409	0.7420	0.7291	0.7405	0.7559	0.9970	6.0000	16.0000	2.0000
0.7800	0.7664	0.7541	0.7276	0.7609	0.7366	0.9993	7.0000	12.0000	8.0000
0.7900	0.7419	0.7427	0.7376	0.7969	0.7600	0.8766	7.0000	12.0000	1.0000
0.8000	0.7436	0.7507	0.7305	0.7536	0.7752	0.9988	11.0000	16.0000	8.0000
0.8100	0.7590	0.7756	0.7658	0.8010	0.7789	0.9560	11.0000	16.0000	4.0000
0.8800	0.8489	0.8725	0.8340	0.8723	0.8575	0.9668	5.0000	11.0000	4.0000
0.8900	0.8660	0.8789	0.8684	0.8576	0.8779	0.9543	11.0000	16.0000	3.0000
0.9000	0.8773	0.8549	0.8266	0.8848	0.8700	0.9419	10.0000	16.0000	2.0000
0.9000	0.8773	0.8549	0.8266	0.8848	0.8700	0.9419	10.0000	16.0000	2.0000
0.9100	0.8550	0.8780	0.8656	0.9014	0.9188	0.9991	5.0000	11.0000	8.0000
0.9500	0.9020	0.9099	0.8829	0.9740	0.9157	0.9483	11.0000	16.0000	1.0000
0.9800	0.8993	0.8980	0.8455	0.9755	0.9489	0.9913	5.0000	10.0000	2.0000
0.9900	0.9234	0.9403	0.9038	0.9751	0.9520	1.0000	11.0000	16.0000	9.0000
1.0000	0.9591	0.9208	0.8888	1.0000	0.9658	0.9928	6.0000	16.0000	2.0000

La columna 1 es el valor de H generado en el vector sintético. Las siguientes cinco columnas son los métodos cálculo de H. Las última cuatro columnas son el factor de calidad, los niveles de compresión j1 y j2 y el número de desvaneciente del Wavelet Daubechies.

La siguiente tabla refleja el cálculo de cada uno de los factores H con los diferentes métodos, con respec-

to al factor H con el cual se calculó la serie a raíz de la Transformada de Fourier. La última línea, encerrada en rojo, calcula el promedio de las desviaciones estándar. En este caso, LDestimate resultó tener la desviación menor. Es decir, es el método más exacto, lo que está acorde a los resultados y conclusiones de las múltiples pruebas realizadas en los trabajos referidos en la bibliografía.

Tabla 8. Cálculo de desviación estándar para vectores FGNIFOURIER.m

R/S	R/Sprom	V/T	LDestim	Var/Esc
0.0383	0.0256	0.0102	0.0068	0.0714
0.0193	0.0101	0.0341	0.0298	0.0583
0.0228	0.0049	0.0349	0.0196	0.1053
0.0158	0.0143	0.0332	0.0178	0.1140
0.0035	0.0077	0.0235	0.0014	0.0215
0.0137	0.0039	0.0478	0.0311	0.0127
0.0109	0.0198	0.0353	0.0125	0.0307
0.0085	0.0112	0.0250	0.0307	0.0076
0.0337	0.0264	0.0354	0.0085	0.0483
0.0091	0.0080	0.0209	0.0095	0.0059
0.0136	0.0259	0.0524	0.0191	0.0434
0.0481	0.0473	0.0524	0.0069	0.0300
0.0564	0.0493	0.0695	0.0464	0.0248
0.0510	0.0344	0.0442	0.0090	0.0311
0.0311	0.0075	0.0460	0.0077	0.0225
0.0240	0.0111	0.0216	0.0324	0.0121
0.0227	0.0451	0.0734	0.0152	0.0300
0.0227	0.0451	0.0734	0.0152	0.0300
0.0550	0.0320	0.0444	0.0086	0.0088
0.0480	0.0401	0.0671	0.0240	0.0343
0.0807	0.0820	0.1345	0.0045	0.0311
0.0666	0.0497	0.0862	0.0149	0.0380
0.0409	0.0792	0.1112	0.0000	0.0342
0.0320	0.0296	0.0512	0.0162	0.0368

6.2 Validación con Vectores sintéticos FGNDWv2

El siguiente es un análisis de cálculo del parámetro H con todos los métodos, pero con muestras generadas

a través de la transformada inversa Wavelet. Para esta prueba se fijó el máximo nivel de compresión a 16, y el número de desvanecimientos en 10.

Tabla 9. Cálculo de H con los cinco métodos para vectores FGNDWv2.m

FGNI	R/S	R/S Prom	VT	LDestimate	WLog/Esc	Q	j1	j2	N
0.5000	0.4981	0.4935	0.4565	0.5014	0.6972	0.9938	4.0000	9.0000	4.0000
0.5500	0.5472	0.5596	0.5417	0.5526	0.6094	0.9617	7.0000	14.0000	2.0000
0.5800	0.5993	0.5866	0.5722	0.5795	0.6625	0.9661	6.0000	11.0000	8.0000
0.5900	0.6114	0.5971	0.5733	0.6044	0.6040	0.9842	10.0000	16.0000	4.0000
0.6000	0.6252	0.6096	0.6003	0.6150	0.6156	0.8227	8.0000	16.0000	1.0000
0.6500	0.6511	0.6474	0.6416	0.6779	0.7545	0.9977	10.0000	16.0000	5.0000
0.6800	0.6600	0.6508	0.6223	0.6963	0.7569	0.9994	8.0000	13.0000	6.0000
0.7000	0.6806	0.6923	0.6717	0.7313	0.7045	0.9618	11.0000	16.0000	2.0000
0.7500	0.7623	0.7425	0.7234	0.7196	0.7398	0.9626	11.0000	16.0000	2.0000
0.7800	0.7884	0.7660	0.7451	0.7776	0.7463	0.9953	6.0000	14.0000	8.0000
0.7900	0.8052	0.7812	0.7715	0.7945	0.7631	0.7901	8.0000	14.0000	3.0000
0.8000	0.7915	0.7789	0.7689	0.8359	0.8261	0.9919	10.0000	16.0000	5.0000
0.8500	0.8372	0.8405	0.8245	0.7797	0.8997	0.9782	11.0000	16.0000	9.0000
0.8800	0.8847	0.8612	0.8337	0.8293	0.8514	0.9542	11.0000	16.0000	7.0000
0.8900	0.8637	0.8569	0.8096	0.9074	0.8747	0.9075	11.0000	16.0000	3.0000
0.9000	0.8285	0.8290	0.7846	0.9222	0.8769	0.9713	8.0000	13.0000	8.0000
0.9500	0.9371	0.9203	0.9109	0.9138	0.9468	0.4396	11.0000	16.0000	8.0000
0.9800	0.9088	0.8865	0.8624	0.9329	0.9629	0.9576	11.0000	16.0000	5.0000
0.9900	0.9022	0.9052	0.8755	0.9928	0.9694	0.9979	11.0000	16.0000	2.0000
1.0000	0.9608	0.9296	0.8968	0.9654	0.9772	0.8469	11.0000	16.0000	2.0000

A continuación se reflejan los cálculos de la desviación estándar para cada una de las muestras, con respecto al parámetro H con el cual se calculó la serie. Según los datos con los cuales se calculó dicha desviación, el método LDestimate, transformada Wavelet, es más exacto. Tabla 10. Cálculo de desviación para vectores FGNDWv2.m

6.3 Validación mediante cálculos en archivos provenientes de Bellcore Morristown Research and Engineering <http://ita.ee.lbl.gov/html/contrib/BC.html>.

A continuación se colocan los resultados de análisis múltiple a las pruebas provenientes de archivos de Bellcore Morristown Research and Engineering. La comparación se hace con respecto a una ejecución de la versión original de los módulos, realizada por Reinaldo Scappini [7] en el año 2010:

Resultados Globales del calculo del Parametro de Hurts

Calculo Tiempo entre llegadas de paquetes

	Range Escala	R/S	R/S prom	Varianza/Tiempo	Wavelet	LDestimate	Wavelet/Octavas	Q	J1	J2	N
BC-gAug99.txt	0.7371	0.7955	0.8017	0.8256	0.7558	0.8943	0.8943	10	15	9	
BC-pOct99.txt	0.8382	0.8155	0.8443	0.7519	0.7856	0.9075	0.9075	6	11	5	
BC-Oct99E4.txt	0.9156	0.8974	0.8675	0.8623	0.8269	0.2857	0.2857	7	12	3	
BC-Oct99E4.txt	0.9707	0.9598	0.9205	0.9313	0.8328	0.9491	0.9491	11	16	9	

Calculo tamaño de los paquetes

	Range Escala	R/S	R/S prom	Varianza/Tiempo	Wavelet	LDestimate	Wavelet/Octavas	Q	J1	J2	N
BC-gAug99.txt	0.8066	0.9091	0.7938	0.8321	0.8997	0.9130	0.9130	9	14	3	
BC-pOct99.txt	0.8600	0.8832	0.8400	0.8046	0.7832	0.9670	0.9670	8	14	2	
BC-Oct99E4.txt	0.9235	1	0.8668	0.9296	0.8907	0.9911	0.9911	11	16	4	
BC-Oct99E4.txt	1	1	0.9512	0.8655	0.9075	0.9284	0.9284	9	15	8	

Figura 3. Pruebas a muestras reales de laboratorios Bellcore con autofractal_9_6: Pruebas múltiples a múltiples vectores.

Los archivos correspondientes se pueden comparar con las corridas de los módulos ejecutadas por Reinaldo Scappini. La única diferencia se observa en LDestimate, dado que Scappini utilizó un método visual, y el trabajo realizado en esta investigación permite comparar a través de múltiples matrices y calcular los rangos óptimos, considerando que una diferencia $(j_1-j_2) < 4$ no es deseable.

Así Q sea mayor, es conveniente, según las experimentaciones, tener una diferencia mayor o igual cinco. Darryl Veitch lo advierte a través del módulo Regrescomp.m dando mensajes de rango no óptimo. La decisión aquí estriba en un resultado experimental, determinándose que ese rango pudiese ser satisfactorio. De todas formas se considera que el módulo LDEstimatev2.m debe ser probado con otros archivos disponibles en Internet.

Tabla 11. Resultados obtenidos por Reinaldo Scappini. Fuente[7]

Archivo	R/S	V/T	LDestimate	Var/escala	J1	J2
pAug89.TL	.737	.802	.821	.756	9	16
pOct89.TL	.839	.844	.755	.785	6	16

Las diferencias en LDEstimatev2 se deben a que en este caso están realizadas automáticamente, mientras que Reinaldo Scappini lo realizó por aproximación gráfica.

6.4 Validación mediante un vector acumulado.

Este es un caso en el que la tendencia del parámetro de Hurst es 1. El archivo se guardo en acumulado.txt: $\text{acumulado} = \text{cumsum}(\text{pAug89}(:;2))$. Se seleccionó la columna de tamaño de paquetes. Este vector se encuentra almacenado. El procedimiento es grabarlo en x.txt y se le hace la prueba de cálculo.

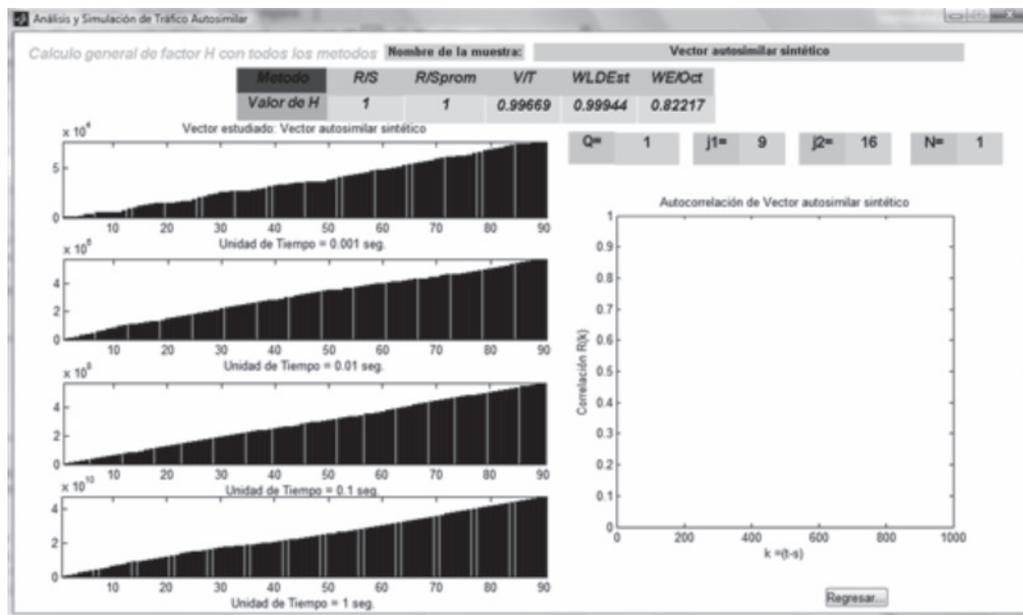


Figura 4. Resultado de Análisis de Resumen H, del menú de análisis múltiple, todas las pruebas a un vector acumulado en tamaño bytes. BC-pAug89.txt.

En el caso de la ejecución del software de Reinaldo Scappini el resultado fue $H=0.733$ con LDEstimate, resultado que no concuerda con los otros métodos, donde el valor de H siempre da superior a .9. Ello es debido a la ecuación faltante en el software, modificada en este trabajo de desarrollo de software, por lo cual el módulo está en prueba mediante la operación automática de generación de compresiones y desvanecimientos de los Wavelets. Según los resultados, la modificación realizada ha sido justificada y documentada en informes extensos del autor.

6.5 Prueba del archivo fgn8, cargado directamente por Darryl Veitch

Se procedió a cargar este archivo en x.txt para ejecutar las pruebas como si fuera un vector sintético. El resultado concuerda con lo expuesto por darryl Veitch en la documentación de LDEstimate.m

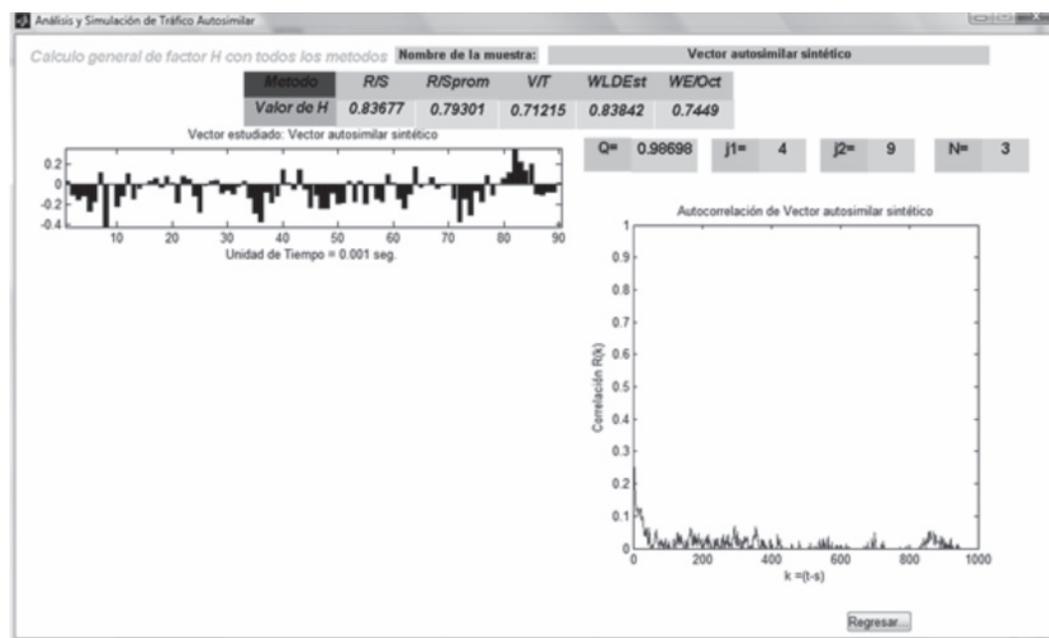


Figura 5. Pruebas al vector fgn8.dat de Darryl Veitch mediante la opción de análisis múltiple, todas las pruebas a un vector, Resumen H.

7. CONCLUSIONES

El software implementado para cálculo del parámetro H, con interfaz gráfica a usuario, se desarrolló empleando utilerías elaboradas en Matlab por diversos científicos a nivel mundial, y realizando modificaciones para hacerlas compatibles a nivel de lenguaje orientado a objetos. En la misma forma se introdujo una automatización propia al módulo desarrollado por Darryl Veitch sobre los Wavelets.

El módulo desarrollado por Darryl Veitch para cálculo del factor H basado en Wavelets, resultó el más exacto, según las pruebas de validación. Dicho módulo

fue modificado con el objetivo de obtener una solución óptima al cálculo de H, acorde al nivel de compresión y de desvanecencia del Wavelet.

Se desarrollaron aplicaciones particulares para validar el software, con resultados que se consideran satisfactorios.

Este software tiene un alto componente orientado a la enseñanza y la academia, para un nivel del octavo o noveno semestre de Ingeniería de Telecomunicaciones o Eléctrica. El componente científico e ingenieril permite realizar pruebas múltiples a vectores provenientes de las muestras recolectadas en campo a través de un analizador de protocolo de comunicaciones.

Se considera que la herramienta se puede habilitar para ser utilizada en el análisis de tráfico de cualquier red que se considere tenga una tendencia a la autosimilaridad, a fin de determinar el parámetro H a nivel de las diferentes estructuras de topología de red: conmutación, enrutamiento, acceso y transmisión. El último, transmisión, se puede aplicar cuando las arquitecturas de red están implementadas en protocolos MPLS directas sobre fibra óptica, como la MetroEthernet. Tener MPLS activo no es un requisito, pero se considera que una red de un operador debe tener una forma de establecer los circuitos y que los núcleos incorporen el potencial de los protocolos de enrutamiento para que la red reduzca las mallas virtuales.

8. RECOMENDACIONES

Iniciar pruebas de medición sobre arquitecturas de redes a nivel nacional con el software implementado, como complemento a otras herramientas de análisis de red. Igualmente, introducir este software para ser utilizado, probado y modificado por la Academia Universitaria.

Luego de esta fase, iniciar proyectos para la automatización de recolección de muestras y sus análisis en tiempo real.

Seguida de esta fase, analizar junto a los proveedores la factibilidad técnica económica de que todos los componentes de red tengan incorporada la asignación dinámica de buffer en ambiente autosimilar fractal.

Un proyecto de mayor reto conlleva a plantear o rediseñar los modelos de comunicaciones, con el objetivo de que las interfaces entre las capas de comunicaciones introduzcan el análisis predictivo en ambiente autosimilar. De esta manera, protocolos como el TCP no esperarán a una reacción ante la congestión en las redes, tal como sucede actualmente, sino que las ventanas de control del TCP se adaptarían a una forma más flexible que no implique un impacto en la reducción súbita del máximo de velocidad a transmitir. El algoritmo del TCP está diseñado para actuar ante una contingencia en ambiente de tráfico Poisson: es decir, la reacción. En un ambiente caótico es necesario analizar y producir un nuevo protocolo con estas consideraciones, para aprovechar la posibilidad de acción proactiva. En este sentido, es necesario analizar el RFC 3168, que introduce un cambio en las banderas de TCP y en el campo TOS (Tipo de Servicio en IPv4, por ejemplo) para aplicar métodos de Notificación Explícita de Congestión en el mundo IP hacia el TCP. Dicho método, trabajando en conjunto con

algoritmos de predicción y manejo de memoria dinámica en ambiente autosimilar, causará un alto impacto en la optimización de los servicios ofrecidos por las redes de Telecomunicaciones. La característica de semejanza en las diferentes escalas de tiempo facilitará el diseño de nuevas implementaciones en los protocolos de comunicaciones, y es una teoría que está siendo recomendada por diversos científicos.

Dado que los sistemas de señalización están migrando igualmente a IP, e inclusive, los datagramas del sistema de señalización número 7, pudiesen estar siendo igualmente impactados, el estudio del tráfico para ambientes autosimilares es importante para la optimización del servicio, y de esta manera, facilitar las migraciones e integraciones de redes, al igual que reducir los riesgos de degradación del servicio.

9. REFERENCIAS

- [1] Janeuski, Toni. Mobile Communication series Traffic análisis and design of wireles IP networks. 2003
- [2] Diaz Campion, Gabriel Jesús. Teoría de Tráfico Telefónico. 2010.
- [3] Malo, Martinez Julio. Análisis de Teoría de Ondículas orientada a las aplicaciones de Ingeniería Eléctrica: Fundamentos. Julio 2002.
- [4] Alzate Marco. Modelos de tráfico en análisis y control de redes de Comunicaciones. Universidad Distrital Francisco José Caldas. S/F.
- [5] Castro, R; Lopez,M; Martinez, J. Universidad Politécnica de Madrid, España. Universidad de Tarapacá, Chile. Martinez, M. Universidad Simón Bolivar. Introducción a la Transformada Wavelet.
- [6] Hae-Duck, Joshua Jeong. Modelling of Self-Similar Teletraffic for simulation Universidad de Canterbury. 2002.
- [7] Ramón Scappini, Reinaldo José. Studio del tráfico autosimilar orientado a la simulación mediante la utilización de Wavelets u onditas. Facultad Informática Universidad Nacional de la Plata. Agosto 2010.
- [8] W.Willinger and T.G. Kurtz. The changing nature network traffic: Scaling Phenomenon. S/F
- [9] Veitch,D; Abry, P. A. Wavelet-based joint estimator of the parameter of long range dependence information theory. IEEE transactions on Volume 45, Issue 3, Apr 1999. Page(s) 878-897.

- [10] Jeong, H-D; Mc Nickle,D and Pawlikowski, K. Fast self-similar teletraffic conference base on FGN and Wavelets, in proceedings of IEEE International conference on networks (Iconn 99). Austria.
- [11] Planchart Coronado, Franklin Jesús. Algoritmo de simulación y análisis de tráfico autosimilar con dependencia de largo alcance tipo G/M/N. Congreso Internacional de Científicos en Cuba. Diciembre 2010.
- [12] Vecchio, R. “Modelización de tráfico auto-similar y evaluación de sus efectos en el tamaño de las colas. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Buenos Aires. Escuela de post-Grado”,2003.
- [13] Bravo, J.; Marrone L. Tráfico Autosimilar. Método Algebraico para asignación Dinámica de Buffer . S/F.
- [14] Shoichiro Nakamura. Análisis Numérico y Visualización Gráfica con Matlab.Prentice-Halls Hispanoamericana. 1997.
- [15] (Norros,I. “On the Use of Fraccional Brownian Motion in the Theory of Connectionless Network”. IEEE Journal on Selected Areas in Comunication, Agosto 1995
- [16] Aguilar, P. Jairo. Componentes de la Ingeniería de Tráfico. Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T). 2008.