

MODELO PARA DESCRIBIR EL COMPORTAMIENTO DEL TRÁFICO DE DATOS EN UNA RED LOCAL ETHERNET Y WiFi EMPLEANDO GEOMETRIA FRACTAL

Gustavo Adolfo Pérez Zapata
Ingeniero de Sistemas

Director

Prof. John William Branch, M.Sc, Ph.D(c)

Co-Director

Prof. Juan David Velásquez H, M.Sc, Ph.D(c)

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas – Escuela de Sistemas
Maestría en Ingeniería de Sistemas
Medellín, Colombia
2007

Resumen

Se recolectaron muestras de encabezados de paquetes IP provenientes de dos redes red Lan con conexiones Ethernet e inalámbricas en dos laboratorios experimentales. El primero se ubico en la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y se denomino ambiente experimental académico. El segundo en la entidad Bancaria Coltefinanciera S.A. y se denomino ambiente experimental comercial El conjunto de muestras para cada uno de los laboratorios se filtraron y se escalaron con algoritmos construidos y obtuvieron los archivos que nos permitieron analizar las series de tiempos a diferentes escalas y buscar la caracterización propia de la geometría fractal bajo un modelo propuesto. Se trabajó las características de auto similitud, la dependencia de largo plazo y la dimensión fractal.

Palabras clave: *Tráfico, Fractal, Multi-Fractal, Hurst, TCP/IP, Auto-similitud, Wi-Fi, Caos, Colas, Dimensión fractal*

Abstract

Samples were collected of head of packages IP originating of two networks LAN Ethernet with wireless connections and in two experimental laboratories. First located in the National University of Colombia seat Medellin and denominate academic experimental environment. The second in the organization Coltefinanciera S.A. and it denominate commercial experimental environment, the set of samples for each one of the laboratories were filtered and they escalated with constructed algorithms and they obtained the archives that allowed us to analyze the series of times on different scales and to look for the own characterization of geometry fractal under a proposed model.

One worked the characteristics of self similarity, the dependency of long term and the dimension fractal.

Key words: traffic, Fractal, Multi-Fractal, Hurst, TCP/IP, self-similarity, Wi-Fi, Chaos, Tails, Dimension fractal

Agradecimientos

Al director y consejero en el ambiente académico el profesor John William Branch.

A los doctores Jorge Acosta y Jairo Uribe por el apoyo en el ámbito laboral de Coltefinanciera.

*A mis hijos Melissa y Joshua
Que mis logros sean bienestar para su futuro*

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	11
1.1 MOTIVACIÓN	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.3 TRABAJOS PREVIOS	13
1.4 OBJETIVOS	16
1.4.1 GENERAL	16
1.4.2 ESPECÍFICOS	16
1.5 CONTRIBUCIONES	17
1.6 ORGANIZACIÓN	17
TRÁFICO DE DATOS EN UNA RED LAN: FUNDAMENTOS	19
2.1 REDES DE DATOS TCP/IP	19
2.2 ETHERNET	21
2.3 WIFI	22
MODELO PARA DESCRIBIR EL COMPORTAMIENTO DEL TRÁFICO DE DATOS EN UNA RED LOCAL ETHERNET Y WIFI EMPLEANDO GEOMETRIA FRACTAL	24
3.1 ESTABLECER LABORATORIO	24
3.2 MODELO PROPUESTO	28
3.2.2 EXTRACCIÓN DE ESCALAS	30
3.2.3 CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO DE DATOS	31
3.2.3.1 AUTO SIMILITUD	31
PROPIEDADES ESTADÍSTICAS SIMILARES A DIFERENTES ESCALAS	32
TIEMPO CONTINUO	32
TIEMPO DISCRETO	33

3.2.3.2 DISTRIBUCIÓN DE COLA HIPERBÓLICA.....	37
3.2.3.3 DEPENDENCIA O MEMORIA DE LARGO PLAZO	38
MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DEL PARÁMETRO DE HURST	40
MÉTODO DE LA VARIANZA O GRAFICO VARIANZA/TIEMPO	41
RANGO REESCALADO O GRAFICO R/S	42
ESTIMADOR DE WHITTLE Y PERIODOGRAMA	43
ESTIMADOR BASADO EN ONDITAS [ABRY-VEITCH,1998].....	45
ESTIMADOR DE KETTANI Y GUBNER, BASADA EN LA FUNCIÓN DE AUTO-CORRELACIÓN.....	47
3.2.3.4 DIMENSIÓN FRACTAL DE LA SERIE DE TIEMPO	50
RESULTADOS.....	52
4.1 CAPTURA Y FILTRADO DE MUESTRAS.....	52
4.2 EXTRACCIÓN DE ESCALAS.....	54
4.3 CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO DE DATOS.....	60
4.3.1 DISTRIBUCIÓN DE COLA HIPERBÓLICA.....	61
4.3.2 DEPENDENCIA O MEMORIA DE LARGO PLAZO	68
4.3.3 DIMENSIÓN FRACTAL	75
5 CONCLUSIONES	84

Lista de Figuras

FIGURA 1. FASES DE LA ACTIVIDAD ESTABLECER LABORATORIO.....	25
FIGURA 2. DISEÑO DEL AMBIENTE EXPERIMENTAL ACADÉMICO	26
FIGURA 3. DISEÑO DE AMBIENTE EXPERIMENTAL COMERCIAL.....	27
FIGURA 4. MODELO PROPUESTO	28
FIGURA 5. FASES DE LA ACTIVIDAD CAPTURAR MUESTRAS.....	29
FIGURA 6. FASES DE LA ACTIVIDAD EXTRACCIÓN DE ESCALAS	31
FIGURA 7. CARACTERIZACIÓN FRACTAL DEL TRÁFICO	36
FIGURA 8. ATRACTOR FRACTAL DE LA MUESTRA DELTALOG7	
ESCALA 100SEG VS. ZOOM 60%.....	78

Lista de Tablas

TABLA 1.	MODELO TCP/IP POR CAPAS	20
TABLA 2.	ESTÁNDARES DEL PROTOCOLO 802.11	22
TABLA 3.	CONTROL DE LA MUESTRA DEL AMBIENTE EXPERIMENTAL ACADÉMICO	52
TABLA 4.	CONTROL DE LA MUESTRA DEL AMBIENTE EXPERIMENTAL COMERCIAL	53
TABLA 5.	ESCALAS DEL AMBIENTE EXPERIMENTAL ACADÉMICO	55
TABLA 6.	ESCALAS DEL AMBIENTE EXPERIMENTAL COMERCIAL.	60
TABLA 7.	ESTIMACIÓN DE ÍNDICE DE COLA ACADÉMICO	63
TABLA 8.	ESTIMACIÓN DE ÍNDICE DE COLA COMERCIAL	68
TABLA 9.	PARÁMETRO DE HURST PARA EL AMBIENTE EXPERIMENTAL ACADEMICO	70
TABLA 10.	PARÁMETRO DE HURST PARA EL AMBIENTE EXPERIMENTAL COMERCIAL	75
TABLA 11.	DIMENSIÓN FRACTAL DEL AMBIENTE EXPERIMENTAL ACADÉMICO	77
TABLA 12.	DIMENSIÓN FRACTAL DEL AMBIENTE EXPERIMENTAL COMERCIAL	83

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

A través de los años, las personas con el uso de redes locales o de amplia cobertura han aumentado sus demandas de información, trayendo consigo un problema de congestión de redes y deterioro en la velocidad de acceso.

Siempre el problema se ha planteado simplemente en la ampliación de los anchos de banda tanto para los usuarios finales, como para las empresas prestadoras de servicios.

En un ejemplo práctico, si una red local se transmite a 10 mega bits por segundo y se considera que ya esta saturada y presenta demasiada lentitud, solo debe conseguir cableado y equipos de red que le soporten 100 mega bits/s. Otro ejemplo mas cercano es si se tiene el servicio de Internet a 128 k con una empresa prestadora del servicio y considera lenta su comunicación su única alternativa es aumentar a 256 o en adelante en múltiplos de 56 k, lo cual es mucho mas costoso pero mas fácil.

La verdad es que la problemática de la transmisión de de datos, requiere de un análisis mas matemático, el manejo de colisiones en los componentes de la red no se puede medir simplemente por la capacidad el canal. La revisión de la matemática convencional con que se pronostica el comportamiento de los datos de la redes debe ser revaluada. Es así como diferentes investigaciones sobre el tema tratan de demostrar que el comportamiento de los datos no obedece a las distribuciones normales empleadas en las redes trabajadas y conocidas de la voz convencional o análoga.

Esta tesis esta enfocada a encontrar en dos laboratorios con condiciones diferentes, que el comportamiento de los datos en redes locales, puede ser

representada por la geometría fractal por presentar características auto similares y se aparta de la geometría euclidiana al presentar una dimensión fractal.

1.1 Motivación.

Al tratar un tema que al parecer resulta resuelto para todo el mundo como es la transmisión de datos y la ampliación de canal como alternativa única de solución, resulta un poco simple a la luz de los investigadores.

La aceptación de esta premisa, es desconocer que la matemática convencional que se utilizó por más de cien años para la voz, solo sirve para este propósito y que se ha tratado a los datos de forma equivocada desde su concepción.

La realidad que los investigadores han buscado y en particular en esta tesis es contestar la pregunta, ¿si no es la matemática convencional la que explica el comportamiento del tráfico de los datos, entonces cual? Para los diferentes investigadores la geometría fractal es la solución. Pero adicionalmente el problema crece día a día en la medida que la cantidad de datos y la oportunidad de ellos, aumenta en forma exponencial con la entrada de las comunicaciones móviles.

1.2 Planteamiento del Problema.

Los trabajos actuales para gestión de ancho de banda están soportados matemáticamente con distribuciones como la Poisson, encontrándose gran variedad de inconsistencias debido a que no pueden representar el comportamiento de los datos, como si hace acertadamente con la voz.

Muchos autores han reconocido que la Geometría fractal puede representar el comportamiento del tráfico de datos bajo diferentes medios. Esta tesis pretende modelar este comportamiento de los datos en una red Lan Ethernet introduciendo nuevos conceptos en estas como son la comunicación WiFi o inalámbrica, encontrando en el conjunto de datos las propiedades de la mencionada geometría como son la auto similitud y la dimensión fractal.

1.3 Trabajos Previos.

En 1876 con la invención del teléfono por Alexander Graham Bell y su vertiginoso crecimiento posterior, trajo consigo los problemas predecibles del tráfico de red [Bellamy, 2000]. Pero cien años de existencia le permitieron a los diferentes científicos encontrar un concepto básico, totalmente identificable y matemáticamente explicable como la teorías determinísticas Poisson. El tiempo y la aceptación del comportamiento matemático de la voz en la red pública conmutada PSTN (Teléfono análogo convencional) en grandes instalaciones a nivel mundial, lo convirtieron en uno de los hallazgos de tecnología más exitosos de la humanidad.

Históricamente, estos antecedentes han marcado el estudio de tráfico en la PSTN, pero desde los 80 se vienen insinuando que el comportamiento de los datos que corren por la red PSTN no es el mismo que el de la voz, como lo muestra [Jain, 1986] en un estudio de una red Token Ring donde compara las funciones de densidad de probabilidad de muestras físicas contra modelos analíticos convencionales.

La entrada de los datos sobre la PSTN se da en primera instancia cuando surge la necesidad que la red experimental Arpnet en 1974 cubriera mas universidades y entes gubernamentales de los EEUU, para cubrir estas distancias hacen uso de la red existente, la telefónica, e interconectan las redes locales existentes en cada universidad, ministerio de defensa, centros de investigación, etc. Pero el hito real del aprovechamiento o usurpación de la

PSTN se da cuando Leiner y Cols en 1985 definen el concepto de Internet que hoy conocemos, creando una gran cantidad de tráfico al poder cualquier persona, ya no solo investigadores, funcionarios de seguridad o profesores y estudiantes, entrar a compartir grandes volúmenes de información [Paxon,1994][claffy,1994].

El comportamiento del tráfico de los datos sobre esta red ya vuelve a ser cuestionado en los años 90 con [Leland, 1994] donde se mostraba que el tráfico Ethernet era estadísticamente auto-similar, y que ninguno de los modelos de tráfico existentes podía mostrar de forma correcta este comportamiento.

El rendimiento de una red se evalúa con la medición de los tiempos en que los paquetes entran a la red, según [Yamakawa, 1998] los paquetes aparecen en forma de ráfagas 4 ó 5 veces mayores al promedio habitual de paquetes por unidad de tiempo, lo que provoca elevados retardos y en algunos casos pérdida de datagramas en los enrutadores., lo cual no puede ser explicado por los modelos convencionales como el Poisson.

Paxon [Paxon, Ago, 1994] realiza un estudio sobre el comportamiento de las aplicaciones más comunes en Internet determinando que la mayoría de ellas son difícilmente modeladas con procesos de Poisson.

Mas recientemente los trabajos [Bestavros, 1996] [Yamakawa, 1998] han demostrado que el comportamiento de los datos sobre red PSTN tiene un comportamiento auto-similar y que con la geometría fractal existe un acercamiento a su representación.

Igualmente se encuentran trabajos sobre paquetes IP que transportan voz o su abreviación VoIP, mostrando también un comportamiento auto-similar igual al presentado por un paquete de datos lo cual no es de extrañar [Dinh, 2004].

Para determinar el comportamiento de los datos, ráfagas entre las ráfagas de tráfico presentes en todas las escalas de tiempo, algunos autores han presentado modificaciones viables al parámetro de Hurts, siendo este el método de la estadística de rango re-escalado mas usados actualmente para determinar si un proceso o una serie de tiempo presenta dependencia de amplio rango [Kettani,

2002][Vecchio, 2003][Alarcón-Aquino, 2003]. El parámetro de Hurst debe su nombre al hidrólogo C. Hurst, quien interesado en estudio del río Nilo encontró en 1951 que el nivel del río era una secuencia con dependencia de amplio rango [Le Boudec, 2004]. Podemos notar que cada uno de los autores trata de insinuar que el algoritmo logrado para este cálculo es el más aproximado a la realidad, y algunos solo utilizan una herramienta de programación lo que puede insinuar que con otras alternativas estos algoritmos pueden generar mayor o menor precisión en el cálculo.

Todos estos esfuerzos son aproximaciones y por esto la comunidad científica continúa buscando el modelo más cercano que pueda interpretar el comportamiento de los datos tanto en Internet como en la intranet. Pero a este caso podemos ahondar un poco más el problema al encontrar que los paquetes ya no solo viajan en medios convencionales como el cobre o el UTP, también viajan en medios inalámbricos. Es normal hoy en día en Colombia y el mundo encontrar puntos de acceso a Internet por el mero hecho de encontrarse dentro de este sitio o campus, como por ejemplo, restaurantes, cafés, aeropuertos y universidades. Para estas formas de intercambio de paquetes se exige la misma calidad que si estuviese alambrado [López y otros, 2003]. La tecnología inalámbrica se constituye como la más fuerte rival del Ethernet en redes locales, colocando en posición comprometedora a quien ha reinado por más de 20 años.

1.4 Objetivos.

1.4.1 General.

Proponer un Modelo que permita describir el comportamiento del tráfico de datos en una red local Ethernet y WiFi empleando geometría fractal.

1.4.2 Específicos.

1. Diseñar una red local que sirva de ambiente controlado de experimentación, capturando todo el flujo de datos en la red, proveniente de las diferentes aplicaciones que interactúan entre las estaciones y el servidor, con el fin de facilitar la obtención de flujos de datos a diferentes escalas de tiempo.
2. Construir una base de datos con los paquetes que sean capturados en posiciones estratégicas de la red y almacenarlos, con el fin de descubrir patrones y hacer mediciones que nos permitan más adelante trabajar sobre ellos.
3. Diseñar un modelo para describir el comportamiento fractal del tráfico de datos de una red local Ethernet y Wifi empleando geometría fractal.
4. Comparar el Modelo aplicado a los datos almacenados en nuestra base y establecer si la nueva geometría fractal puede explicar el comportamiento del tráfico de datos en una red local Ethernet y WiFi.

1.5 Contribuciones

El aporte general de esta tesis es un modelo que permite encontrar auto similitud o auto semejanza en el tráfico de datos de una red Ethernet y en especial con componentes de red inalámbricos o Wifi como es conocido comercialmente.

El análisis de dos fuentes diferentes de datos permite inferir que el grado de utilización y las razones de utilización no influyen el comportamiento de los datos.

El modelo en si entrega tres características fundamentales para comprobar el comportamiento auto similar del tráfico de datos, tales como la distribución de colas hiperbólicas, la memoria de largo plazo y la dimensión fractal opuesta a la euclidiana por todos conocida.

Este documento trata de que los lectores miren hacia la nueva generación de redes IP y apliquen los nuevos conceptos de la geometría fractal y abandonen el paradigma de las redes de voz convencional o análoga y su sustentación sobre las teorías de Poisson.

1.6 Organización.

Este documento se encuentra organizado de la siguiente manera: En el capítulo uno encontramos la introducción y los objetivos trazados para el presente trabajo. Adicionalmente un recuento de los trabajos previos y su influencia para la construcción del modelo.

En el capítulo 2 encontramos las diferentes definiciones de los elementos que conforma una red de área local y hacemos énfasis en las nuevas tecnologías como son las inalámbricas o wifi.

En el capítulo tres describimos detalladamente la forma como se desarrolló la implementación de los laboratorios, la recolección de las muestras en los dos ambientes creados y el modelo a seguir para encontrar auto similitud en el tráfico de datos de las dos redes locales seleccionadas, mostrando la sustentación estadística de cada método.

En el cuarto se entrega los resultados de los pasos del capítulo tres, en cual se muestra los datos capturados, las escalas de tiempo encontradas y la aplicación del modelo propuesto a cada una de estas.

Por ultimo damos una relación de los trabajos futuros y la aplicación de la geometría fractal en la gestión de redes de voz y datos por tanto que la la entrada del estándar de TCP/IP se encuentra actualmente en voz, datos y video.

Capítulo 2

TRÁFICO DE DATOS EN UNA RED LAN: FUNDAMENTOS

El trabajo en las comunicaciones no solo se subscribe a permitir que el emisor envíe datos al receptor, una de las principales actividades es controlar todos los mensajes que circulan a través de la red, para esto se cuenta con diferentes topologías de redes y tecnologías que han entrado impuestas por el mercado (“de facto”) o por organizaciones de estudios de estándares.

2.1 Redes de datos TCP/IP

Una definición sencilla del concepto de red es la comunicación entre dos o más equipos de cómputo, si esta unión no supera unos cuantos metros la denominamos una red de área local LAN (Local Área Network). Entre las ventajas que presenta una LAN está: permitir la transmisión de datos entre sus usuarios, compartir recursos como archivos e impresoras, y obtener velocidades de transmisión de datos altas en distancias relativamente cortas.

Cuando deseamos unir redes LAN que se encuentran distantes, digamos de una ciudad a otra se denominan redes de amplia cobertura o WAN (Wide Area Network).

Luego llega el concepto de Internet que lo podemos definir como la unión de las redes WAN existentes. TCP/IP es un conjunto de protocolos que permiten que dos máquinas con arquitecturas diferentes se puedan comunicar entre sí, es lo que permite la transmisión de datos dentro de una red y la base esencial de Internet.

El Protocolo de Internet (IP) y el Protocolo de Transmisión (TCP), fueron desarrollados inicialmente en 1973 por el informático estadounidense Vinton Cerf como parte de un proyecto dirigido por el ingeniero norteamericano Bob Kahn y patrocinado por la Agencia de Programas Avanzados de Investigación (ARPA, siglas en inglés) del Departamento Estadounidense de Defensa. Internet

comenzó siendo una red informática de ARPA (llamada ARPAnet) que conectaba redes de ordenadores de varias universidades y laboratorios en investigación en Estados Unidos.

TCP/IP no es un único protocolo, sino es en realidad un conjunto de protocolos que cubren los distintos niveles del modelo OSI. Los dos protocolos que dan nombre al conjunto son el TCP (Transmission Control Protocol) y el IP (Internet Protocol), La arquitectura del TCP/IP consta de cinco niveles o capas en las que se agrupan los protocolos, y que se relacionan con los niveles OSI de la siguiente manera:

4.	Aplicación	DNS, TLS/SSL, TFTP, FTP, HTTP, IMAP, IRC, NNTP, POP3, SIP, SMTP, SNMP, SSH, TELNET, BitTorrent, RTP, rlogin, ENRP, SIP
3.	Transporte	TCP, UDP, DCCP, SCTP, IL, RUDP
2.	Red	IP (IPv4, IPv6), ICMP, IGMP, ARP, RARP
1.	Enlace	Ethernet, Wi-Fi, Token ring, PPP, SLIP, FDDI, ATM, DTM, Frame Relay, SMDS

Tabla 1. Modelo TCP/IP por capas

- **Aplicación:** Corresponde con los niveles OSI de aplicación, presentación y sesión. Aquí se incluyen protocolos destinados a proporcionar servicios, tales como correo electrónico (SMTP), transferencia de Archivos (FTP), conexión remota (TELNET), acceso a paginas web HTTP (Hypertext Transfer Protocol) etc.
- **Transporte:** Es equivalente con el nivel de transporte del modelo OSI. Los protocolos de este nivel, TCP (Transmission Control Protocol) orientado a conexión y UDP (User Datagram Protocol) no orientado a conexión , los dos se encargan de manejar los datos y proporcionar la fiabilidad necesaria en el transporte de los mismos.
- **Internet:** Es el nivel de red del modelo OSI. Incluye al protocolo IP (Internet Protocol), que se encarga de enviar los paquetes de información a sus destinos

correspondientes. Es utilizado con esta finalidad por los protocolos del nivel de transporte, también a este nivel tiene otros dos protocolos el ICMP (Internet Control Message Protocol) y el IGMP (Internet Group Management Protocol).

- Red: Es la interfaz de la red real. TCP/IP no especifica ningún protocolo concreto, así es que corre por las interfaces conocidas, como por ejemplo: 802.2, CSMA/CD, X.25, etc.

2.2 Ethernet

La definición clásica de la norma o estándar (IEEE 802.3) que determina la forma en que los puntos de la red envían y reciben datos sobre un medio físico compartido que se comporta como un bus lógico, independientemente de su configuración física. Originalmente fue diseñada para enviar datos a 10 Mbps, aunque posteriormente ha sido perfeccionada para trabajar a 100 Mbps, 1 Gbps o 10 Gbps y se habla de versiones futuras de 40 Gbps y 100 Gbps. En sus versiones de hasta 1 Gbps utiliza el protocolo de acceso al medio CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detect - Acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones).

Ethernet fue creado por Robert Metcalfe y otros en Xerox Parc, centro de investigación de Xerox para interconectar computadoras Alto. El diseño original funcionaba a 1 Mbps sobre cable coaxial grueso con conexiones vampiro (que "muerden" el cable). Para la norma de 10 Mbps se añadieron las conexiones en coaxial fino (10Base2, también de 50 ohmios, pero más flexible), con tramos conectados entre sí mediante conectores BNC; par trenzado categoría 3 (10BaseT) con conectores RJ45, mediante el empleo de hubs y con una configuración física en estrella; e incluso una conexión de fibra óptica (10BaseF). Los estándares sucesivos (100 Mbps o Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10 Gbps) abandonaron los coaxiales dejando únicamente los cables de par trenzado sin apantallar (UTP - Unshielded Twisted Pair), de categorías 5 y superiores y la Fibra óptica.

2.3 Wifi

WiFi: acrónimo de Wireless Fidelity, es una marca de la Wi-Fi Alliance (anteriormente la Wireless Ethernet Compatibility Alliance), la organización comercial que prueba y certifica que los equipos cumplen los conjuntos de estándares IEEE 802.11x para redes inalámbricas.

Tipos de WiFi:

- IEEE 802.11b e IEEE 802.11g que disfrutan de una aceptación internacional debido a que la banda de 2.4 GHz está disponible casi universalmente. Y con una velocidad de hasta 11 Mbps y 54 Mbps, respectivamente.
- En los Estados Unidos y Japón, IEEE 802.11a, que opera en la banda de 5 GHz y que disfruta de una operatividad con canales relativamente limpios. En otras zonas, como la Unión Europea, 802.11a no está aprobado todavía para operar en la banda de 5 GHz, y los reguladores europeos están todavía considerando el uso del estándar europeo HIPERLAN.

Estándar	Descripción
802.11	Estándar WLAN original. Soporta de 1 a 2 Mbps.
802.11a	Estándar WLAN de alta velocidad en la banda de los 5 GHz. Soporta hasta 54 Mbps.
802.11b	Estándar WLAN para la banda de 2.4 GHz. Soporta 11 Mbps.
802.11e	Está dirigido a los requerimientos de calidad de servicio para todas las interfaces IEEE WLAN de radio.
802.11f	Define la comunicación entre puntos de acceso para facilitar redes WLAN de diferentes proveedores.
802.11g	Establece una técnica de modulación adicional para la banda de los 2.4 GHz. Dirigido a proporcionar velocidades de hasta 54 Mbps.
802.11h	Define la administración del espectro de la banda de los 5 GHz para su uso en Europa y en Asia Pacífico.
802.11i	Está dirigido a abatir la vulnerabilidad actual en la seguridad para protocolos de autenticación y de codificación. El estándar abarca los protocolos 802.1X, TKIP (Protocolo de Llaves Integrales –Seguras– Temporales), y AES (Estándar de Encriptación Avanzado).

Tabla 2. Estándares del protocolo 802.11

2.4 Auto Similitud o Auto Semejanza

El Matemático Franco - Americano padre de la Geometría Fractal Benoît B. Mandelbrot, estableció una diferencia abismal en la concepción euclidiana de las formas con las que se representaba la naturaleza, simplificándolo en su celebre frase:

“Clouds are not spheres, mountains are not cones, coastlines are not circles, and bark is not smooth, nor does lightning travel in a straight line.” The Fractal Geometry of Nature

Luego miro el concepto de longitud y en su artículo, “Como se mide la costa de Gran Bretaña” demostró que no existía una forma acertada de medir y que el concepto de la nueva geometría fractal es la clave para tal fin.

El concepto de auto similitud o autosemejanza fue creado dentro del marco del estudio de la geometría fractal y configurado como la principal característica de esta nueva teoría, definiéndola así:

“Es la capacidad de ver un objeto conformado por objetos iguales a diferentes escalas”.

De aquí en adelante se convierte en el objeto maspreciado entre los investigadores y matemáticos para encontrar las diferentes expresiones de la naturaleza, donde la geometría convencional no ha logrado explicarlas acertadamente.

Capítulo 3

MODELO PARA DESCRIBIR EL COMPORTAMIENTO DEL TRÁFICO DE DATOS EN UNA RED LOCAL ETHERNET Y WiFi EMPLEANDO GEOMETRIA FRACTAL

Diferentes autores han incursionado buscando la auto similitud en varias de las transmisiones de datos existentes como es el tráfico TCP, UDP, e Internet. Pero todos toman una o a lo sumo dos características de los sistemas auto semejantes, para el modelo se tomara lo más representativo de las características ya estudiadas y nos acercaremos a determinar con más exactitud la naturaleza fractal que encierra el comportamiento del tráfico de datos en redes Ethernet y adicionaremos el componente de redes inalámbricas que no se ha estudiado.

En la practica contar con dos ambientes controlados de experimentación que sean disímiles en el objetivo de su función, es importante para medir que su comportamiento no esta sujeto a la cantidad de tráfico, ni a la utilización de los mismos, los dos ambientes cuentan con conexiones Wifi diferentemente configuradas.

3.1 Establecer Laboratorio

Para tal fin se cubren tres fases metodológicas que son planeación, diseño y creación o implantación. El objetivo primordial es garantizar la confiabilidad del laboratorio en la captura de las muestras, para esta actividad se propone seguir las fases propuestas y graficadas en la Figura 1:

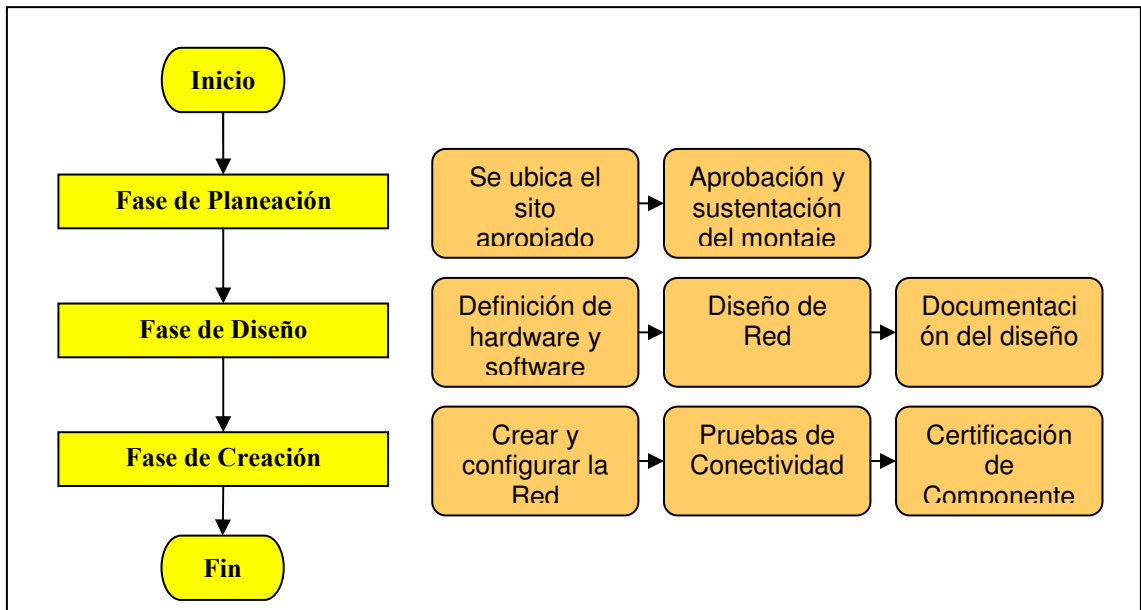


Figura 1. Fases de la Actividad Establecer Laboratorio.

Como inicio de este proceso debemos esbozar que se trabajaron dos ambientes controlados de experimentación. El primero se realizó en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín y se denominó Ambiente Experimental Académico y el segundo en la empresa financiera Coltefinanciera S.A. de la ciudad de Medellín y se denominó Ambiente Experimental Comercial.

Ambiente Experimental Académico

En la fase planeación se ubicó el sitio en el bloque M7 de la Facultad de Minas, en los laboratorios de la Escuela de Sistemas, se sustenta por la cantidad de tráfico establecido en la red, por la accesibilidad a los equipos centrales de esta y por la seguridad de los equipos a instalar.

Se ubicaron un servidor con conexión inalámbrica, una estación cliente con conexión inalámbrica, un punto de acceso inalámbrico conectado al swiche central de la sala 502 (sala 1 en la Figura 2). La infraestructura inalámbrica cuenta con un Wireless Gateway marca 3Com y dos tarjetas inalámbricas USB marca Dell 1450 que se instalaron en los equipos del laboratorio ya mencionados. El diseño de la red incluyendo los equipos de captura de muestras se puede apreciar en la Figura 2:

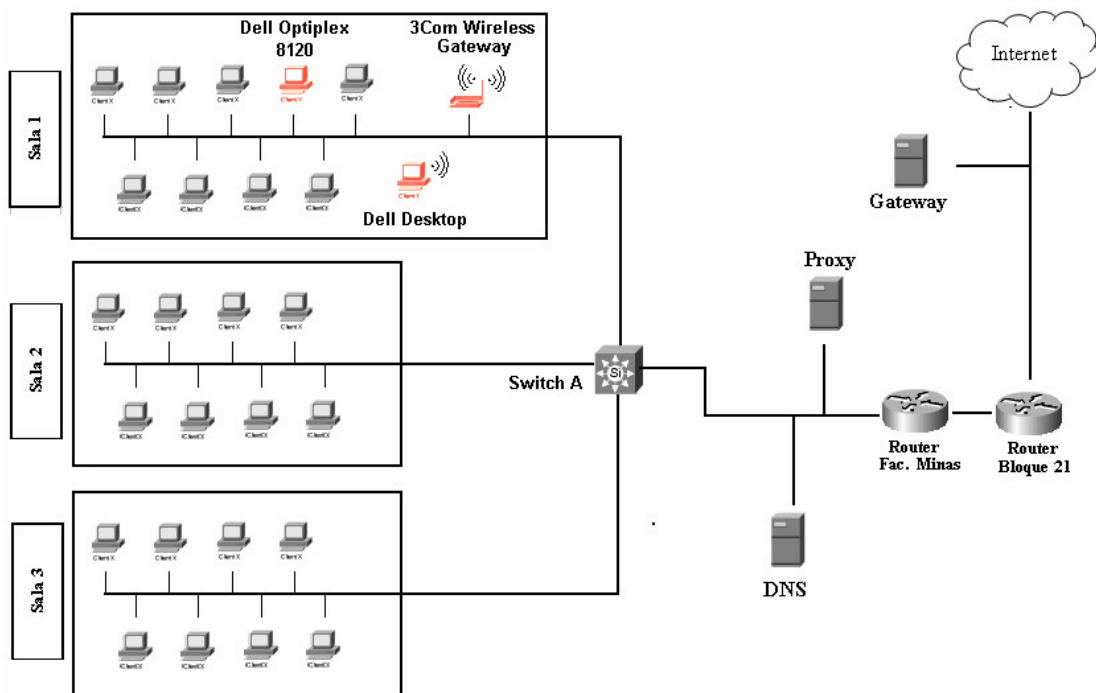


Figura 2. Diseño del Ambiente Experimental Académico

Ambiente Experimental Comercial

Se seleccionó el centro de cómputo de la empresa Coltefinanciera S. A. Primero por que proporciona un sitio seguro para la ubicación de los equipos y los cuales fueron proporcionados por misma empresa. Segundo un flujo de datos alto entre los equipos cliente y los servidores de la entidad, tercero una facilidad de intervención del swiche central de la entidad y por ultimo un alto uso de estaciones clientes inalámbricas.

El diseño propuesto e implementado puede apreciarse en la Figura 3.

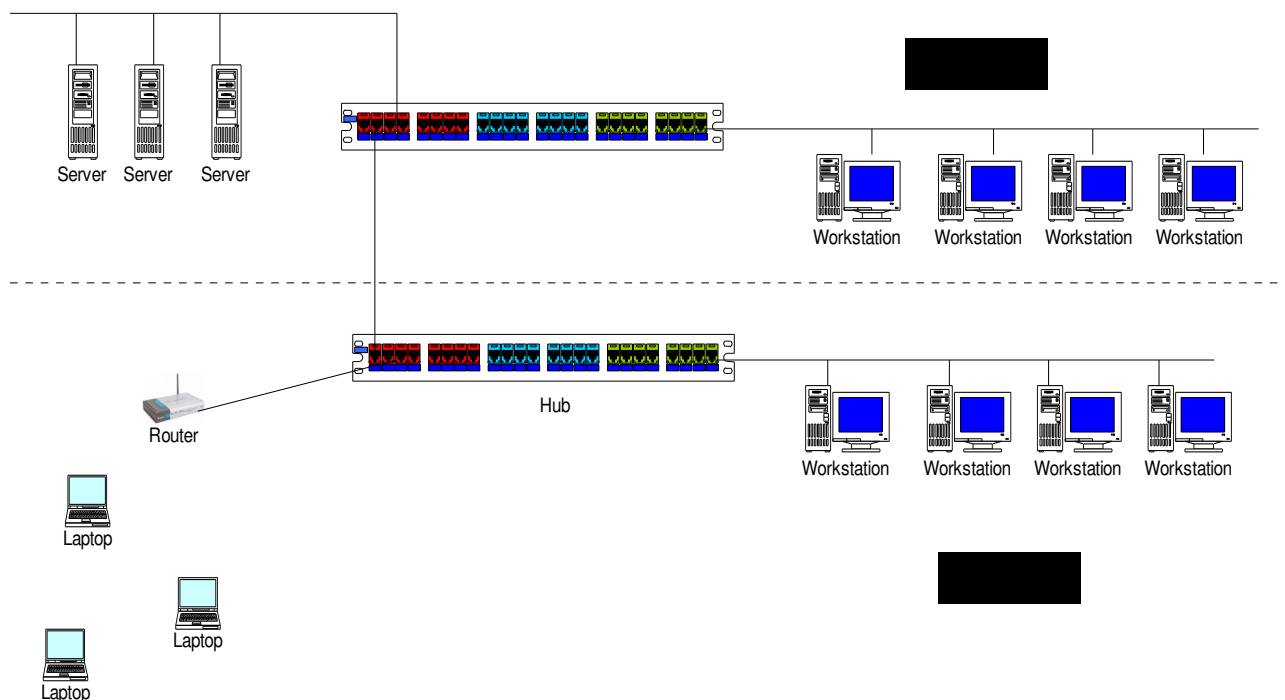


Figura 3. Diseño de Ambiente Experimental Comercial

3.2 Modelo Propuesto

El modelo propuesto consta de tres actividades: la captura o recolección de las muestras que los dos laboratorios pueden entregar, la extracción de escalas de tiempo puesto que se esta evaluando el tiempo de llegada entre paquetes y el principal que es la caracterización del tráfico para encontrar las particularidades propias de un comportamiento fractal.

La Figura 4 presenta los pasos a seguir en el modelo propuesto.

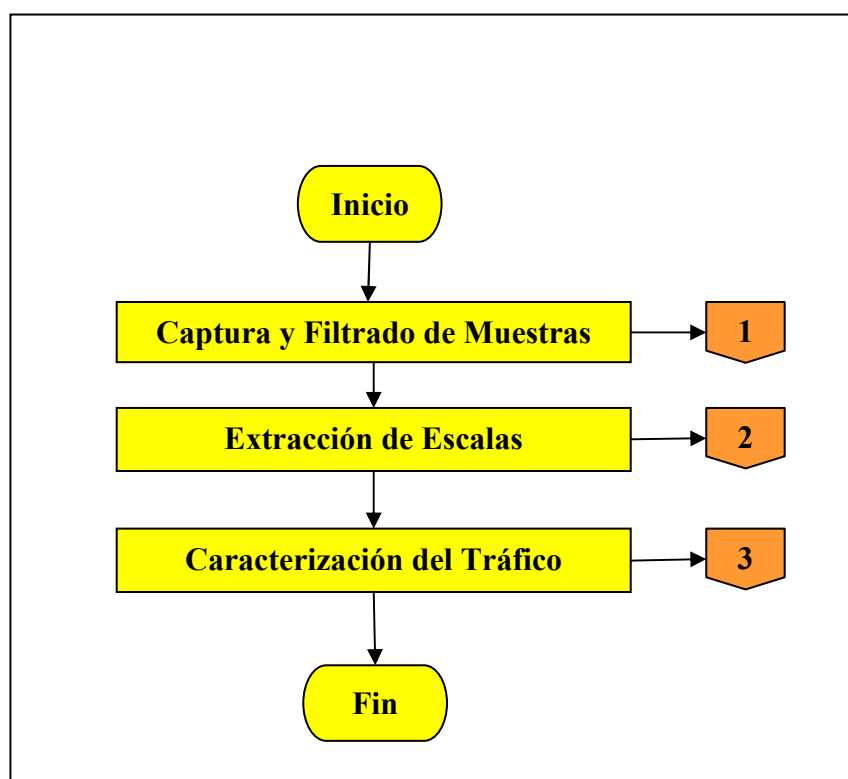


Figura 4. Modelo Propuesto

3.2.1 Captura de Muestras

El desarrollo de esta actividad esta marcada con una alta criticidad, puesto que la calidad de las muestras de los paquetes que sean capturados es la fuente de toda la investigación. Si estas muestras no contienen un control exacto de cuando, como y donde fueron tomadas, el resultado dificilmente puede ser verificable. Por lo tanto para el desarrollo de la actividad uno (1) nos basaremos en las actividades que se puede observar en la Figura 5:

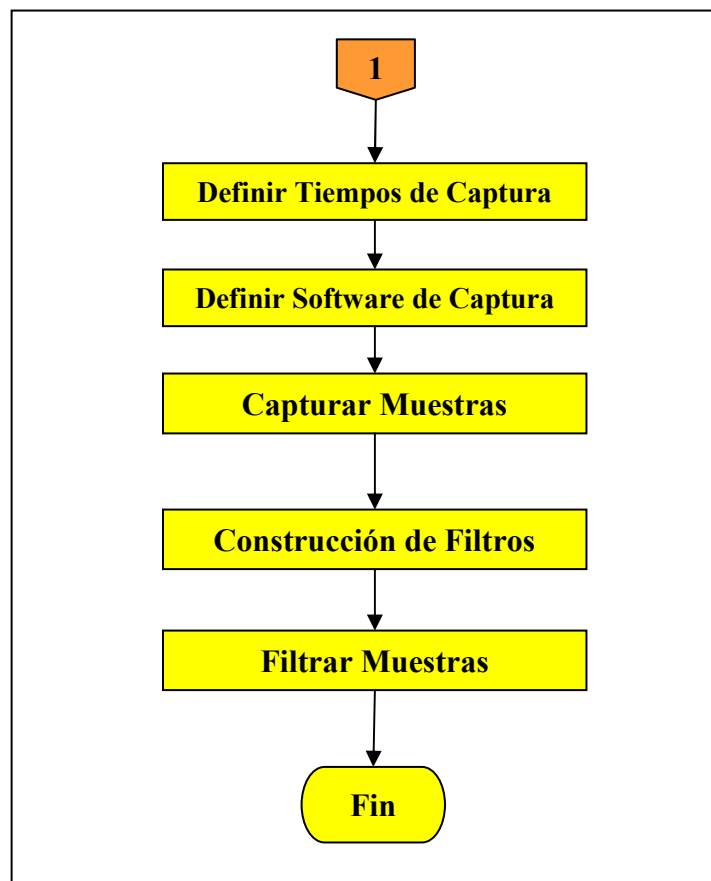


Figura 5. Fases de la Actividad Capturar Muestras

Definir Tiempos de Captura: Para cada uno de los ambientes controlados de experimentación se seleccionaron tiempos de captura de acuerdo a la función realizada evitando tomar muestras de tiempos inoficiosos o dependiendo del volumen de información.

Definir Software y Captura de muestras:: Para los dos ambientes experimentales se definió optar por utilizar el software **TCPdump** ¹. Para cada ambiente variaron las opciones de filtrado pero el resultado buscado era el mismo, capturar el tiempo de llegada entre paquetes en los tiempos de la toma de la muestra definido para ambiente de experimentación. Se recopilaron los datos en archivos y almacenaron en cada ambiente experimental.

Construir Filtros y Filtrar muestras: Normalmente en toda interacción con un medio dinámico como una red de datos, existen pequeñas perturbaciones que no permiten que la muestra sea totalmente pura, es decir que existen encabezados que son capturados pero no proporcionan la información adecuada, como es, el tiempo de llegada de los paquetes por lo tanto debemos depurarla y sacarla de la muestra.

Para cada ambiente se definió el filtrado de las muestras en forma diferente. En el ambiente Académico se filtro por medio de AWK y en el Comercial con programas desarrollados en “C” que permitieron generar una muestra homogénea dando menos de un 1 % de líneas capturadas a ser desechadas sobre el total de la muestra.

3.2.2 Extracción de Escalas

Si lo que se quiere es encontrar un comportamiento con respecto a los tiempos de llegada entre paquetes, es importante definir muy claramente las escalas de interés. Para esto definiremos si los resultados los calculamos en micro segundos , nano segundos, segundos, minutos, horas, días, etc. Para cada ambiente de experimentación.

¹ **tcpdump** es un herramienta en línea de comandos cuya utilidad principal es analizar el tráfico que circula por la red. Permite al usuario capturar y mostrar a tiempo real los paquetes transmitidos y recibidos en la red a la cual el ordenador está atado. Está escrito por Van Jacobson, Craig Leres, y Steven McCanne que trabajaban en este tiempo en el Grupo de Investigación de Red del Laboratorio Lawrence Berkeley. Más tarde el programa fue ampliado por Andrew Tridgell. (tomado de Wikimedia)

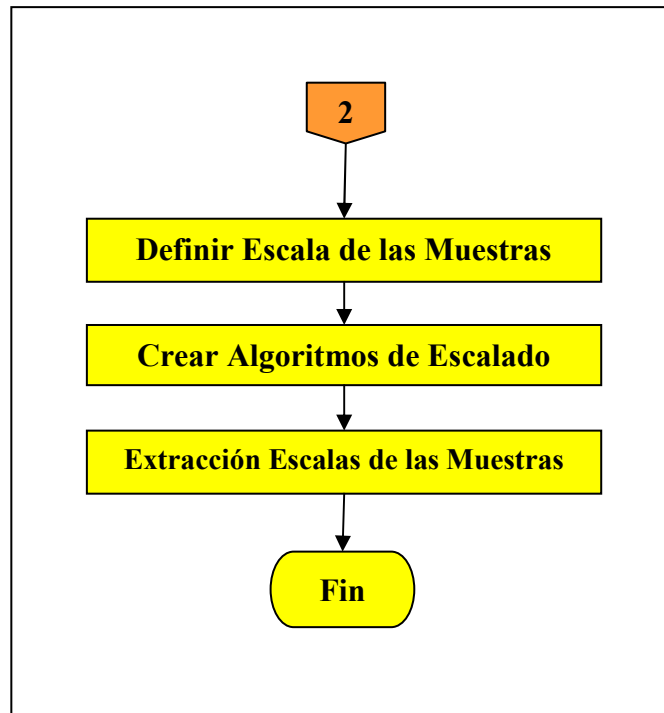


Figura 6. Fases de la actividad Extracción de Escalas

3.2.3 Caracterización del Tráfico de Datos

3.2.3.1 Auto similitud

La auto-similitud es un concepto asociado a dos áreas de investigación de los últimos tiempos; los fractales y la teoría del caos. Los fenómenos auto-similares tienen el mismo comportamiento cuando se visualizan en distintos grados de ampliación o a distintas escalas en una cierta dimensión. La dimensión puede ser el espacio (longitud, anchura) o el tiempo.

La auto-similitud es revelada al público cuando Manfred Schroeder [schroeder, 91] la define así:

“el concepto unificador que subyace a los fractales, al caos y las leyes de potencia es la auto-similitud, La auto-similitud, o

invariancia frente a campos de escala o tamaño, es un atributo que muchas leyes de la naturaleza y de innumerables fenómenos en mundo que nos rodea. De hecho, la auto-similitud es una de las simetrías decisivas que conforman nuestro universo y nuestros esfuerzos por comprenderlo”

Esta auto-similitud no determinística es muy frecuente en los fenómenos naturales como en los humanos. La podemos encontrar en los paisajes, en las olas del océano, en las fluctuaciones de la bolsa y en el tráfico de datos en un canal de comunicación.

Con fin de poder abarcar muchos de los trabajos realizados que tratan de alguna forma encontrar esta cualidad en el tráfico de datos se establece un camino para encontrar las características fractales que permitan insinuar que dicho comportamiento no puede ser regido con los parámetros establecidos hasta hoy como es la distribución de Poisson.

Propiedades estadísticas similares a diferentes escalas

Tiempo continuo

Una definición común de procesos estocásticos auto-similares se basa en un escalamiento directo de la variable temporal continua. Un proceso estocástico $x(t)$ es estadísticamente auto-similar con parámetro H ($0.5 < H < 1$) si para todo valor real $a > 0$, el proceso $a^{-H}x(at)$ tiene las mismas propiedades estadísticas que $x(t)$. Esta relación puede ser expresada por las siguientes tres condiciones:

$$E[x(t)] = \frac{E\{x(at)\}}{a^H}$$

Ecuación 1. Media

$$Var\{x(t)\} = \frac{Var\{x(at)\}}{a^{2H}}$$

Ecuación 2. Varianza

$$R_x(t,s) = \frac{R_x(at,as)}{a^{2H}}$$

Ecuación 3. Auto-Correlación

El valor de H, conocido como el parámetro de Hurst, o el parámetro de auto-similitud, es una medida clave de la auto-similaridad. Más precisamente H es una medida de la persistencia de la dependencia de largo plazo del proceso estocástico. Un valor de $H = 0.5$ indica ausencia de auto-similitud. Cuanto más cerca de 1 esté H, mayor el grado de persistencia y de la dependencia de largo plazo.

Tiempo discreto

Para una serie x estacionaria en el tiempo, se define en que la serie agregada m en el tiempo $x^{(m)} = \{x_k^m, k = 0,1,2,\dots\}$ sumando la serie de tiempo original sobre bloques de tamaño m adyacentes y no superpuestos. Esto se puede expresar como:

$$x_k^m = \frac{1}{m} \sum_{i=km-(m-1)}^{km} x_i$$

Ecuación 4

como un ejemplo $x(3)$ se define como:

$$x_k^3 = \frac{x_{3k-2} + x_{3k-1} + x_{3k}}{3}$$

Una manera de ver la serie agregada de tiempo es verla como una técnica para comprimir la escala de tiempo. Podemos considerar $x(1)$ como la mayor resolución posible para esta serie de tiempo. El proceso $x(3)$ es el mismo proceso reducido en su magnificación por un factor de 3. Promediando sobre cada grupo de tres puntos perdemos el detalle fino disponible a la mayor

resolución. Si la estadística del proceso (media, varianza, correlación, etc.) se conserva con la compresión, estamos tratando con un proceso auto-similar.

Podemos también ver cada punto en la serie $x(m)$ como promedio de tiempo del proceso x . Para un proceso ergódico, un promedio de tiempo debería equivaler a un promedio de ensamble y la varianza del promedio de tiempo debería tender a cero relativamente rápido a medida que m se torna mayor. Esto no ocurre con un proceso auto-similar, la varianza tiende a cero pero lo hace más lentamente que para un proceso ergódico estacionario.

Se dice, entonces, que un proceso s es exactamente auto-similar con parámetro β ($0 < \beta < 1$) si para todo $m = 1, 2, \dots$ tenemos

$$Var\{x^{(m)}\} = \frac{Var\{x\}}{m^\beta}$$

Ecuación 5. Varianza

$$R_{x^{(m)}}(k) = R_x(k)$$

Ecuación 6. Auto-Correlación

El parámetro β está relacionado con el parámetro H como $H = 1 - (\beta/2)$. Para proceso ergódico estacionario, $\beta = 1$ y la varianza del promedio del tiempo cae a cero a una tasa $1/m$. Para un proceso auto-similar, la varianza del tiempo cae más lentamente.

Se dice que un proceso x es asintóticamente auto-similar si para todo k suficientemente grande

$$Var\{x^{(m)}\} = \frac{Var\{x\}}{m^\beta} \quad \text{varianza}$$

Ecuación 7

$$R_{x^{(m)}}(k) \rightarrow R_x(k) \quad \text{a medida que } m \rightarrow \infty \quad \text{autocorrelación}$$

Ecuación 8

Para procesos auto-similares, la auto correlación del proceso agregado tiene la misma forma que la del proceso original. Esto podría sugerir que el grado de variabilidad, o de ráfagas, debería ser el mismo a diferentes escalas de tiempo.

Una interesante cualidad de las definiciones precedentes es que la auto correlación del proceso auto-similar agregado no tiende a cero a medida que $m \rightarrow \infty$. Esto está en contraste a un proceso estocástico típicamente usado para modelos de paquetes de datos, los cuales tienen la siguiente relación:

$$R^{(m)}(\tau) \rightarrow 0 \quad \text{cuando} \quad m \rightarrow \infty$$

Ecuación 9

Una función de auto correlación $R(\tau)$ que es igual a cero, para todo $\tau \neq 0$, es consistente con el ruido blanco (un proceso estocástico puramente aleatorio con un espectro de potencia uniforme).

Otra cualidad interesante de las definiciones precedentes es que la varianza de $x(m)$ decae más lentamente que $1/m$ a medida que $m \rightarrow \infty$; es decir, decae proporcionalmente a $1/m^\beta$. Para procesos estocásticos típicamente usados para modelos de paquetes de datos, la varianza decae proporcionalmente a $1/m$. Esta última tasa de decrecimiento se encuentra fácilmente considerando que $x(m)$ es un promedio de tiempo con tamaño de muestra m . La varianza del promedio es igual a la varianza de la variable aleatoria original dividida por m .

Sin embargo, para un proceso auto-similar, agregado por un factor de m no es la misma cosa que tomar un promedio muestral con tamaño de la muestra m , debido a la persistencia de las propiedades estadísticas a través de las escalas de tiempo.

En la Figura 7 se presenta el esquema a seguir, resaltando los varios trabajos analizados y el software utilizado para tal fin..

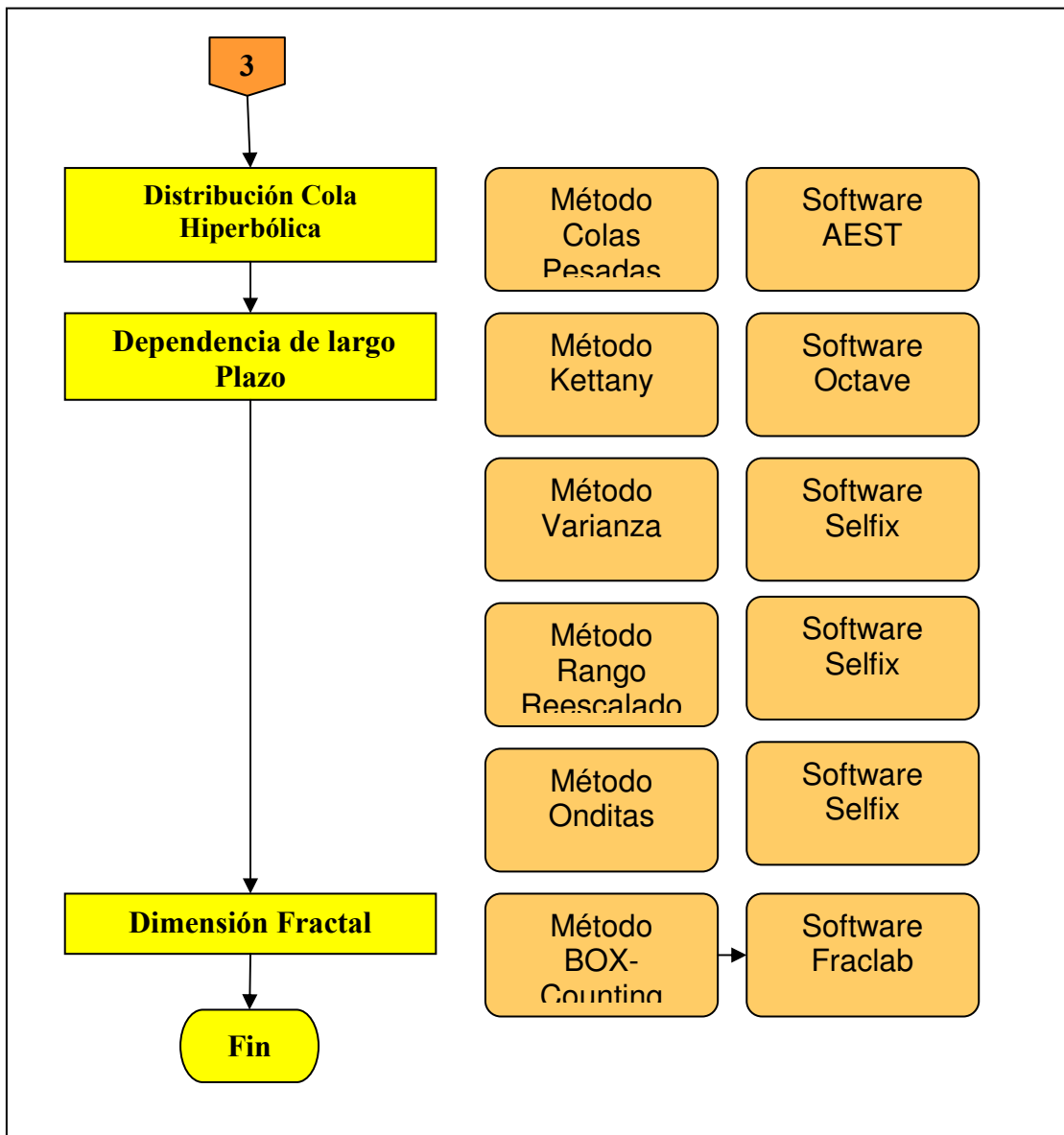


Figura 7. Caracterización fractal del tráfico

3.2.3.2 Distribución de Cola Hiperbólica

La distribución de una variable aleatoria X es de “colas pesadas” o hiperbólica si:

$$1 - F(x) = \Pr[X > x] \approx \frac{1}{x^\alpha} \quad \text{si } x \rightarrow \infty, \quad 0 < \alpha$$

Ecuación 10.

En general, una variable con una distribución de colas pesadas muestra una varianza alta o infinita. Una distribución de colas pesadas es la distribución Pareto, con parámetros k y α ($k, \alpha > 0$), con funciones de distribución y densidad:

$$f(x) = F(x) = 0 \quad (x \leq k)$$

Ecuación 11

$$f(x) = \frac{\alpha}{k} \left(\frac{k}{x}\right)^{\alpha+1}, \quad F(x) = 1 - \left(\frac{k}{x}\right)^\alpha \quad (x > k; \alpha > 0)$$

Ecuación 12

Con valor medio

$$E[X] = \frac{\alpha}{\alpha - 1} k \quad (\alpha > 1)$$

Ecuación 13

El parámetro k especifica el mínimo valor que puede tomar la variable aleatoria. El parámetro α determina la media y la varianza de la variable aleatoria. Si $\alpha < 2$ entonces la distribución tiene una varianza infinita, y si $\alpha \leq 1$, tiene media y varianza infinita. En las distribuciones de cola pesada, entre ellas la distribución Pareto, la cola de la distribución decae mucho más lentamente que la cola de la distribución exponencial.

3.2.3.3 Dependencia o Memoria de Largo Plazo

En los procesos auto-similares se dice que poseen memoria de largo plazo, esto es que el comportamiento actual o los valores de la variable del proceso, dependen de los valores pasados o del comportamiento pasado lejano inclusive.

En términos de la autocovarianza

Se puede definir la propiedad de memoria de largo plazo en términos del comportamiento de la autocovarianza $C(\tau)$ a medida que τ se incrementa.

Para muchos procesos, la autocovarianza rápidamente decae con τ . Por ejemplo, para procesos de incrementos Poisson con incrementos L y media λ , la autocovarianza para valores de $\tau > L$ es:

$$C(\tau) = R(\tau) - \lambda^2 = \lambda^2 - \lambda^2 = 0$$

Ecuación 14

Donde $R(\tau)$ es la autocorrelación de la serie de tiempo.

Un proceso dependiente de corto plazo satisface la condición de que su autocovarianza decae al menos tan rápidamente como una exponencial:

$$C(k) \approx a^{|k|} \text{ a medida que } |k| \rightarrow \infty, 0 < a < 1$$

Ecuación 15

donde \approx denota que las expresiones a ambos lados son asintóticamente proporcionales una a otra. En contraste, un proceso dependiente de largo plazo tiene una covarianza que decae hiperbólicamente:

$$C(k) \approx |k|^{-\beta} \text{ a medida que } |k| \rightarrow \infty, 0 < \beta < 1$$

Ecuación 16

donde β está relacionado con el parámetro de Hurst mediante

$$H = 1 - \frac{\beta}{2}.$$

Ecuación 17

En este caso

$$\sum_k C(k) \rightarrow \infty.$$

Ecuación 18

La dependencia de largo plazo refleja intuitivamente el fenómeno de persistencia en un proceso auto-similar, además de la existencia de ráfagas en todas las escalas de tiempo.

En el dominio de la frecuencia: espectro de densidad de potencias.

El espectro de densidad de potencias obedece a una ley de potencia cerca del origen:

$$S(\omega) \approx \frac{1}{|\omega|^\gamma} \quad \text{si } \omega \rightarrow 0, 0 < \gamma < 1$$

Ecuación 19

El espectro de densidades para un proceso estocástico discreto en el tiempo se define de la manera siguiente:

$$S(\omega) = \sum_{-\infty}^{\infty} R(k) e^{-j2k\omega}$$

$$S(0) = \sum_{-\infty}^{\infty} R(k)$$

Ecuación 20

Puede demostrarse que $\gamma = 1 - \beta = 2H - 1$

A continuación enumeraremos varios algoritmos utilizados para el el calculo del parámetro de Hertz como medida para comprobra la Depencia de largo plazo de sus variables a diferentes escalas de tiempo.

Métodos de estimación del parámetro de Hurst

Hurst estudió el comportamiento de los torrentes del Río Nilo para encontrar un diseño óptimo de presas, él descubrió que muchos fenómenos naturales exhiben un comportamiento que puede ser caracterizado por un proceso aleatorio sesgado, en el cual existe una dependencia de largo plazo, o una “memoria a largo plazo” entre las observaciones; es decir, que los eventos de un periodo influyen a todos los periodos que le siguen.

Mandelbrot redescubrió, expandió y refinó el trabajo de Hurst colocándolo en un contexto más general con el nombre de “análisis del rango reescalado”. El análisis del rango reescalado o análisis R/S es un método estadístico usado para evaluar la ocurrencia de eventos poco comunes. Es una herramienta estadística ideal para analizar procesos físicos y geofísicos tales como terremotos y dinámicas de fluidos. Dado que el análisis R/S fue inventado para dar una descripción estadística de los eventos poco comunes, esta técnica puede servir para describir también los choques y colapsos financieros. La aplicación del análisis R/S no tiene que limitarse sólo a eventos raros, sino que puede ser aplicado a cualquier serie de tiempo. El resultado que proporciona el análisis R/S es el coeficiente de Hurst, que es una medida de la tendencia o persistencia de una serie de tiempo.

H es la medida de intensidad de dependencia de largo plazo, la cual, gracias a Hurst, lleva el nombre de coeficiente de Hurst. Un valor de H igual a 0.5 da evidencia de un comportamiento aleatorio puro, es decir, implica una ausencia de dependencia estadística de largo plazo. Un proceso con un valor de H tal que $0 \leq H < 0.5$ es llamado un proceso antipersistente, en el que existe una tendencia de los valores que toma el proceso por compensarse uno al otro. La intensidad de este comportamiento antipersistente dependerá de qué tan cercano sea el valor de H a cero. Debido a su comportamiento, las series de tiempo de este tipo de procesos pueden ser más volátiles que una serie aleatoria.

Un proceso con un valor de H tal que $0.5 < H \leq 1$ es conocido como un proceso persistente, en el que los valores que toma el proceso tienden a reforzar la tendencia actual, esto es, si la tendencia de la serie de tiempo ha sido positiva en el último periodo observado, es más fácil que esta tendencia continúe siendo positiva que negativa en el siguiente periodo. La intensidad del comportamiento persistente se incrementa cuando H se aproxima a uno, y es este efecto de memoria de largo plazo el que causa la apariencia de tendencias y ciclos en el proceso. Mandelbrot llamó a éste el efecto José por la historia bíblica de los siete años de abundancia seguidos de los siete años de escasez.

Cuando una serie de tiempo tiene un valor de H diferente de 0.5, las observaciones no son independientes. Cada observación acarrea una memoria de todos los eventos que la precedieron, es decir, existe un efecto de sesgo o de memoria. Sin embargo, esta no es una memoria de corto plazo, comúnmente llamada Markoviana, esta memoria es distinta, es de largo plazo. Eventos más recientes tienen un impacto mayor que eventos distantes, pero estos últimos siguen influenciando al proceso.

Método de la varianza o gráfico varianza/tiempo

Para la serie agregada $x(m)$ de un proceso auto-similar, la varianza obedece a lo siguiente para valores grandes de m:

$$Var(x^{(m)}) \sim Var(x) / m^\beta$$

Ecuación 21

donde el parámetro de auto-similitud es: $H = 1 - \frac{\beta}{2}$

Entonces se puede obtener la ecuación:

$$\log[Var(x^{(m)})] \sim [\log Var(x)] - \beta \log(m)$$

Ecuación 22

Como $\log[Var(x^{(m)})]$ es una constante independiente de m , si se grafica $Var(x^{(m)})$ versus m en un grafico logarítmico-logarítmico, el resultado es una línea recta con una pendiente $-\beta$. El grafico se genera fácilmente a partir de una serie de datos $x(t)$ generando el proceso de agregación a diferentes niveles de m y luego computando la varianza. Valores de pendiente entre -1 y 0 sugieren auto-similitud. [Leland,1994],

Rango Reescalado o grafico R/S

Para un proceso estocástico $x(t)$ definido en diferentes instantes $t = 0, 1, 2, \dots$, el rango reescalado de $x(t)$ sobre un intervalo de tiempo N se define como la relación R/S de la siguiente forma:

$$R/S = \frac{\max_{1 \leq j \leq N} \left\{ \sum_{k=1}^j (x_k - M(N)) \right\} - \min \left\{ \sum_{k=1}^j (x_k - M(N)) \right\}}{\sqrt{1/N \sum_{j=1}^N (x_k - M(N))^2}}$$

Ecuación 23

donde $M(N)$ es la media sobre el periodo N :

$$M(N) = 1/N \sum_{j=1}^N x_j$$

Ecuación 24

El numerador en esta formula es una medida del rango del proceso y el denominador es la desviación estándar de la muestra.

Para un proceso auto-similar la formula tiene el siguiente comportamiento para N grande:

$$R/S \cong (N/2)^H \text{ con } H > 0.5$$

Ecuación 25

que se puede escribir como:

$$\log[R/S] \cong H \log(N) - H \log(2)$$

Ecuación 26

Si se grafica $[R/S]$ versus N en un gráfico logarítmico-logarítmico, el resultado será una recta con pendiente H . [Stallings,2002], [

Estimador de Whittle y Periodograma

Para un proceso estocástico estacionario, la autocorrelación y el espectro de densidad se definen:

$$R(k) = E[x(t)x(t+k)]$$
$$S(\omega) = \sum_k R(k)e^{-j\omega k}$$

Ecuación 27

Si se asume que el proceso es ergódico en su auto-correlación (promedios de tiempo iguales a promedios de ensamble) se puede estimar la auto-correlación de esta manera:

$$\hat{R}_N(k) = 1/N \sum_{n=0}^{N-1} X(n+k)X(n)$$

Ecuación 28

Como el espectro de densidades $S(\omega)$ es la transformada de Fourier de la función de auto-correlación $R(k)$, se podría esperar que una transformación de Fourier en la estimación de la función de auto-correlación podría producir una buena estimación del espectro de densidades, lo cual es así bajo ciertas condiciones razonables.

El espectro de densidades de un procesos estocástico $x(t)$ definido en tiempo discreto $\{x_t, t = 0,1,2,.. \}$ se puede estimar por una transformación de Fourier sobre un periodo N , como sigue:

$$I_N(\omega) = \frac{1}{2\pi N} \left\{ \sum_{k=1}^N X_k e^{jk\omega} \right\}^2$$

Ecuación 29

El estimador es mencionado en la literatura como un periodograma o función de intensidad.

Si se supone que las series de tiempo observadas provienen de un proceso auto-similar con parámetro H y que tiene una forma particular: movimiento fraccional Browniano, luego la densidad de potencia del proceso elegido puede ser expresada como $S(\omega, H)$, donde la forma de la densidad se conoce pero el parámetro H es desconocido.

Luego puede ser demostrado que H puede ser estimado encontrando el valor de H que minimiza la siguiente expresión:

$$\int_{-\pi}^{\pi} \frac{I_N(\omega)}{S(\omega, H)} d\omega$$

Ecuación 30

Este es conocido como el estimador de Whittle. Si la secuencia $\{x_k\}$ tiene duración N , luego la integral precedente se convierte en una suma discreta sobre

las frecuencias $\omega = \frac{2\pi}{N}, \frac{4\pi}{N}, \dots, 2\pi$. Una ventaja de esta aproximación es que no solo es una estimación de H sino también la varianza de la estimación, de tal manera que se pueden computar intervalos de confianza. Esto es posible porque el estimador es asintóticamente normal.

La varianza se expresa entonces:

$$Var(\hat{H}) = 4\pi \left[\int_{-\pi}^{\pi} \left(\frac{\partial \log S(w)}{\partial H} \right)^2 dw \right]^{-1}$$

Ecuación 31

El estimador de Whittle sirve para un propósito diferente que las técnicas anteriores. Aquellas técnicas se usan para probar cuando una serie dada es auto-similar y si lo fuese, obtener un valor aproximado de H . El estimador Whittle

asume que la serie es un proceso auto-similar de una forma particular y provee una estimación de H dentro de intervalos de confianza. [Beran, 1994]

Estimador basado en Onditas [Abry-Veitch,1998]

Transformada de Wavelets discreta (DWT)

La transformada de wavelets realiza un análisis de Fourier local proyectando la señal $x(t)$ en formas de ondas oscilatorias locales conocidas como wavelets. Una función wavelet $\psi(t)$ es una función pasa-banda la cual oscila con una frecuencia central f_0 . Si la ondita se escala (ya sea dilatando o comprimiendo) se obtiene la siguiente ecuación:

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{-j/2} \psi(2^{-j}t - k)$$

Ecuación 32

Esta ecuación indica que la frecuencia central de la ondita se mueve a $2^{-j}f_0$ y cambia su posición a $2^j k$. Usando onditas, una señal $x(t)$ es transformada en el dominio de escala-tiempo las onditas (j,k) , $j \in \mathbb{Z}^+$, $k \in \mathbb{R}$, donde \mathbb{R} representa el conjunto de números reales. Una descomposición basada en onditas hace uso de una función pasa-bajas $\phi(t)$ (o función de escalamiento), la cual puede ser representada como la ecuación anterior. Partiendo de la función de onditas $\psi(t)$ y de escalamiento $\phi(t)$, una señal $x(t)$ puede ser representada como:

$$x(t) = \sum_k c_x(j_0, k) \phi_{j_0, k} + \sum_{j \leq j_0} \sum_k d_x(j, k) \psi_{j, k}(t)$$

Ecuación 33

donde $c_x(j_0, k)$ representa los coeficientes de onditas. El primer termino en la ecuación anterior construye la resolución gruesa de $x(t)$, mientras que el segundo término agrega detalles en la reconstrucción en tanto $j \rightarrow -\infty$. Desde un punto de vista más práctico, los coeficientes de escalamiento y de onditas están

relacionados con un banco de filtros. Este banco de filtros incluye filtros de tiempo discreto pasa-baja y pasa-altas. Partiendo de esos filtros se puede obtener los coeficientes de escalamiento y de onditas.

Estimación de H usando Daubechies Wavelets (Onditas)

La estimación del parámetro de Hurst es obtenida realizando un promedio en el tiempo E_j de los DWT coeficientes $|d_x(j, k)|^2$ de la ondita a una escala j dada:

$$E_j(2^{-j} f_0) = \frac{1}{n_j} \sum_k |d_x(j, k)|^2,$$

Ecuación 34

donde f_0 es una frecuencia de referencia arbitraria, la cual se selecciona dependiendo del tipo de ondita $\psi(t)$ y n_j representa el numero de DWT coeficientes a la escala j . La relación lineal entre $\log_2(E_j)$ y la escala j para un intervalo de escalas $[j_1, j_2]$ indican la presencia de dependencia de largo plazo. Un estimador para el parámetro H puede ser obtenido realizando una regresión lineal de $\log_2(E_j)$ en la escala j para el intervalo de escalas $[j_1, j_2]$.

Estimador de Kettani y Gubner, basada en la función de auto-correlación

Sea X_i el valor de una serie de tiempo en el intervalo i -ésimo. Se dice que X_i es un proceso estacionario de segundo orden si su media $E(X_i)$ no depende de i y si la función de autocovarianza del proceso descrita por:

$$E[(X_i - E(X_i))(X_j - E(X_j))]$$

Ecuación 35

depende de i y j a través de su diferencia $k = i - j$, en cuyo caso se tiene:

$$\gamma(k) = E[(X_{i+k} - E(X_{i+k}))(X_i - E(X_i))]$$

Ecuación 36

entonces se tiene

$$\sigma^2 = \gamma(0) = E[(X_i - E(X_i))^2]$$

Ecuación 37

y

$$\rho(k) = \frac{\gamma(k)}{\sigma^2},$$

Ecuación 38

para denotar la varianza y la función de auto correlación del proceso X_i respectivamente.

Un proceso estacionario de segundo orden se llama exactamente auto-similar de segundo orden con parámetro de Hurst $0 < H < 1$, si

$$\gamma(k) = \frac{\sigma^2}{2} (|k+1|^{2H} - 2|k|^{2H} + |k-1|^{2H})$$

Ecuación 39

o equivalentemente,

$$\rho(k) = \frac{1}{2} \left(|k+1|^{2H} - 2|k|^{2H} + |k-1|^{2H} \right).$$

Ecuación 40

Si X_i es un proceso Gaussiano, esto es conocido como ruido fraccional Gaussiano.

Si X_i es exactamente auto-similar de segundo orden, tenemos que

$$\rho(1) = 2^{2H-1} - 1,$$

Ecuación 41

Se puede entonces resolver para hallar H

$$\hat{H} = \frac{1}{2} [1 + \log_2(1 + \rho(1))].$$

Ecuación 42

Dados los datos observados X_1, \dots, X_n , sea

$$\hat{\mu}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i,$$

Ecuación 43

$$\hat{\gamma}_n(k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-k} (X_i - \hat{\mu}_n)(X_{i+k} - \hat{\mu}_n),$$

Ecuación 44

$$\hat{\sigma}^2 = \hat{\gamma}_n(0)$$

Ecuación 45

y

$$\hat{\rho}_n(k) = \frac{\hat{\gamma}_n(k)}{\hat{\sigma}_n^2},$$

Ecuación 46

denotan la media muestral, la covarianza muestral, la varianza muestral y la autocorrelación muestral, respectivamente.

Se tiene entonces $\hat{H}_n = \frac{1}{2} [1 + \log_2(1 + \hat{\rho}_n(1))]$ para denotar el parámetro de Hurst estimado del proceso Xi.

Y con ancho del intervalo del 95% de confianza $\omega_n = \frac{5}{\sqrt{n}}$ alrededor de \hat{H}_n .
[Kettani,2002]

3.2.3.4 Dimensión Fractal de la Serie de Tiempo

La dimensión fractal provee una medida de comparación entre figuras, mientras mas parecida sea a una línea recta (el ideal euclideo) su dimensión mas se acercara a uno, y lo mismo sucederá mientras mas se parece al plano (dimensión de 2). De esta manera el valor de las dimensiones de la figuras serán números fraccionarios y no enteros, lo que permite caracterizar una figura, y mostrar su diferencia o parecido a otra. Se dice que la dimensión de las series de tiempo, a diferentes escalas de tiempo, del tráfico de paquetes de una red de datos de área local posee dimensión fractal.

Conteo de cajas (Box-countig)

Sobre una figura fractal se dibuja una malla de N cuadrados o cajas de lado r . Entonces se verifica cuantos $N(r)$ de ellas hay algún punto perteneciente a la figura fractal. Las restantes cajas están vacías. Se repite la medida para distintos tamaños de r , de cajas. Y se presentan los resultados en un gráfico, donde el eje de abcisas representa el logaritmo del inverso del tamaño de lado de las cajas, $\ln(1/r)$ y el eje de ordenadas el logaritmo del número de cajas no vacías, $\ln(N(r))$.

Los puntos se sitúan a lo largo de una línea recta de pendiente positiva. Es decir ajustan a una función del tipo:

$$\ln N(r) = D * \ln(1/r) + C$$

Ecuación 47

Despejando $N(r)$, se tiene:

$$N(r) = Cte * r^{-D}$$

Ecuación 48

Una ley potencial de exponente - D.

El método de Box-counting es sin duda el más extendido en la literatura científica. Puede aplicarse con más o menos éxito a cualquier distribución de puntos, curvas, superficies, volúmenes. En la práctica, se utiliza una rejilla de celdas de lado r cubriendo el objeto a explorar. Se contabilizan las celdas N ocupadas por la imagen y se repite la operación para otro tamaño de celda de lado r . El ajuste a la ley de potencias dado por la Ecuación 22 determina la dimensión fractal D del objeto. Si la relación no ajusta a una ley de potencias, el objeto no es auto similar. [Barnsley ,1993]

CAPITULO 4

RESULTADOS

4.1 Captura y Filtrado de Muestras

Ambiente Experimental Académico

Debido a que el tráfico de datos no fue tan alto como el esperado, en las pruebas iniciales, se ampliaron los rangos de tiempo en que los datos serían capturados y se dejó en funcionamiento el laboratorio en jornadas continuas que incluían noches y fines de semana donde la actividad de la red es relativamente baja.

Se definió como software de captura el TCPDUMP el cual captura solo los encabezados de los paquetes que circulan por la red y que se escuchan en un puerto promiscuo (ósea que escucha los paquetes de toda la red). Los usos del software anterior fueron -W -F. En la tabla 3 se muestran los archivos creados con sus fechas de inicio de captura y terminación y la cantidad de cabeceras de paquetes IP capturadas.

MUESTRA ACADEMICA		
Archivo	Fecha	Numero de Cabeceras
logtcpdump	Marzo 13 - Abril 6	6.725.120
logtcpdump.0	Abril 7 - Abril 17	2.970.190
logtcpdump.1	Abril 17 - Abril 18	218.227
logtcpdump.2	Abril 18 - Abril 20	586.705
logtcpdump.3	Abril 20 - Abril 24	3.808.549
logtcpdump.4	Abril -25 - Abril 25	110.143
logtcpdump.5	Abril 26 - Abril 27	556.272
logtcpdump.6	Abril 28 - Mayo 1	8.173.679
logtcpdump.7	Mayo 2 -Mayo 3	1.301.044
Total de Cabeceras Capturadas		24.449.929

Tabla 3. Control de la Muestra del Ambiente Experimental Académico

Ambiente Experimental Comercial

Este ambiente después de su inicio manifestó un buen volumen de tráfico de datos por lo tanto se establecieron tiempos diarios diurno, se obviaron horarios nocturnos, sábados, Domingos y festivos donde la actividad de la red era muy inferior. Igualmente se definió como software de captura el TCPDUMP con el parámetro -ttt que permite capturar los encabezados de los paquetes IP adicionando los tiempos de llegada de cada uno de ellos.

MUESTRA COMERCIAL							
Enero		Febrero		Marzo		Abril	
1.479.316	30/01/2006	982.519	02/02/2006	1.373.510	01/03/2006	2.580.642	04/04/2006
2.669.325	31/01/2006	2.820.735	03/02/2006	2.135.753	02/03/2006	3.083.675	05/04/2006
827.393	03/01/2006	3.932.882	06/02/2006	3.804.134	07/03/2006	6.109.913	06/04/2006
		2.186.643	07/02/2006	5.068.677	08/03/2006	2.910.690	07/04/2006
		2.465.222	08/02/2006	92.406	09/03/2006	1.124.187	10/04/2006
		8.163.533	09/02/2006	4.096.437	10/03/2006	5.363.459	11/04/2006
		1.920.461	13/02/2006	3.441.104	13/03/2006	3.534.711	12/04/2006
		2.326.633	15/02/2006	5.655.398	14/03/2006	2.325.031	17/04/2006
		1.424.259	16/02/2006	436.052	15/03/2006	1.872.854	18/04/2006
		3.452.879	17/02/2006	2.575.176	16/03/2006	2.256.099	19/04/2006
		2.156.715	21/02/2006	1.875.126	17/03/2006	1.920.882	20/04/2006
				937.296	21/03/2006	1.526.180	21/04/2006
				1.678.979	22/03/2006	2.673.978	24/04/2006
				2.410.982	23/03/2006	3.965.931	25/04/2006
				2.684.783	24/03/2006	1.501.957	26/04/2006
				2.602.031	27/03/2006	1.604.547	27/04/2006
				2.100.926	28/03/2006	1.947.222	28/04/2006
				2.407.715	29/03/2006		
				1.832.242	30/03/2006		
				2.471.690	31/03/2006		
4.976.034		31.832.481		49.680.417		46.301.958	
Total de Cabeceras de Paquetes							132.790.890

Tabla 4. Control de la Muestra del Ambiente Experimental Comercial

Es de anotar que la tabla 4 ya tienen aplicados los filtros de depuración por lo tanto el número de muestras allí recopiladas son las que usaremos en la identificación del comportamiento del tráfico de datos.

4.2 Extracción de Escalas

Ambiente Experimental Académico

En este ambiente se crearon algunos algoritmos que permitieron la extracción de las siguientes escalas de acuerdo a la medición del tiempo en:

- Decasegundo
- Hectosegundo
- Kilosegundo
- Segundo
- Decisegundo
- Centisegundo
- Milisegundo

Captura Original	Cabeceras	nombre del archivo	numero de lineas
logtcpdump	6725120	delta.log.es1000	599
		delta.log.es100	5975
		delta.log.es10	58574
		delta.log.es1	487425
		delta.log.es01	1787554
		delta.log.es001	2592182
		delta.log.es0001	3111318
logtcpdump.0	2970190	delta.log0.es1000	560
		delta.log0.es100	5585
		delta.log0.es10	54610
		delta.log0.es1	442799
		delta.log0.es01	1447812
		delta.log0.es001	1897340
		delta.log0.es0001	2105120
logtcpdump.1	218227	delta.log1.es1000	21
		delta.log1.es100	203
		delta.log1.es10	1999
		delta.log1.es1	17773
		delta.log1.es01	85974
		delta.log1.es001	146568
		delta.log1.es0001	165288
logtcpdump.2	586705	delta.log2.es1000	73
		delta.log2.es100	724
		delta.log2.es10	7125
		delta.log2.es1	61016
		delta.log2.es01	250257

		delta.log2.es001	469287
		delta.log2.es0001	523652
logtcpdump.3	3808549	delta.log3.es1000	220
		delta.log3.es100	2192
		delta.log3.es10	21630
		delta.log3.es1	188766
		delta.log3.es01	932973
		delta.log3.es001	3056025
		delta.log3.es0001	3365247
		logtcpdump.4	110143
delta.log4.es100	91		
delta.log4.es10	889		
delta.log4.es1	7929		
delta.log4.es01	37840		
delta.log4.es001	65614		
delta.log4.es0001	75676		
logtcpdump.5	556272	delta.log5.es1000	84
		delta.log5.es100	830
		delta.log5.es10	8169
		delta.log5.es1	70338
		delta.log5.es01	278508
		delta.log5.es001	415758
		delta.log5.es0001	457275
logtcpdump.6	8173679	delta.log6.es1000	358
		delta.log6.es100	3568
		delta.log6.es10	-
		delta.log6.es1	294182
		delta.log6.es01	1062269
		delta.log6.es001	1561984
		delta.log6.es0001	2208843
logtcpdump.7	1301044	delta.log7.es1000	181
		delta.log7.es100	1798
		delta.log7.es10	17712
		delta.log7.es1	152969
		delta.log7.es01	641737
		delta.log7.es001	988919
		delta.log7.es0001	1087533

Tabla 5. Escalas del Ambiente Experimental Académico

Ambiente Experimental Comercial

Para el ambiente comercial también se elaboraron algoritmos que permitieron sacar las escalas de tiempo así:

1	segundo
10	segundos
60	segundos
3600	segundos

	Nombre del Archivo	No de Líneas
1	t_01032006_c_esc_1	31851
2	t_01032006_c_esc_10	3185
3	t_01032006_c_esc_60	530
4	t_01032006_c_esc_3600	8
5	t_02022006_c_esc_1	11963
6	t_02022006_c_esc_10	1196
7	t_02020006_c_esc_60	199
8	t_02022006_c_esc_3600	3
9	t_02032006_c_esc_1	32124
10	t_02032006_c_esc_10	3212
11	t_02032006_c_esc_60	535
12	t_02032006_c_esc_3600	8
13	t_03022006_c_esc_1	28138
14	t_03022006_c_esc_10	2813
15	t_03022006_c_esc_60	468
16	t_03022006_c_esc_3600	7
17	t_04042006_c_esc_1	35039
18	t_04042006_c_esc_10	3503
19	t_04042006_c_esc_60	583
20	t_04042006_c_esc_3600	9
21	t_05042006_c_esc_1	33223
22	t_05042006_c_esc_10	3322
23	t_05042006_c_esc_60	553
24	t_05042006_c_esc_3600	9
25	t_06022006_c_esc_1	64478
26	t_06022006_c_esc_10	6447
27	t_06022006_c_esc_60	1074
28	t_06022006_c_esc_3600	17
29	t_06042006_c_esc_1	77315
30	t_06042006_c_esc_10	7731
31	t_06042006_c_esc_60	1288
32	t_06042006_c_esc_3600	21
33	t_07022006_c_esc_1	38122
34	t_07022006_c_esc_10	3812
35	t_07022006_c_esc_60	635

36	t_07022006_c_esc_3600	10
37	t_07032006_c_esc_1	74480
38	t_07032006_c_esc_10	7448
39	t_07032006_c_esc_60	1241
40	t_07032006_c_esc_3600	20
41	t_07042006_c_esc_1	35266
42	t_07042006_c_esc_10	3526
43	t_07042006_c_esc_60	587
44	t_07042006_c_esc_3600	9
45	t_08022006_c_esc_1	32555
46	t_08022006_c_esc_10	3255
47	t_08022006_c_esc_60	542
48	t_08022006_c_esc_3600	9
49	t_08032006_c_esc_1	79262
50	t_08032006_c_esc_10	7926
51	t_08032006_c_esc_60	1321
52	t_08032006_c_esc_3600	22
53	t_09022006_c_esc_1	63660
54	t_09022006_c_esc_10	6366
55	t_09022006_c_esc_60	1061
56	t_09022006_c_esc_3600	17
57	t_09032006_c_esc_1	144
58	t_09032006_c_esc_10	14
59	t_09032006_c_esc_60	2
60	t_09032006_c_esc_3600	0
61	t_10022006_c_esc_1	37575
62	t_10022006_c_esc_10	3757
63	t_10022006_c_esc_60	626
64	t_10022006_c_esc_3600	10
65	t_10032006_c_esc_1	67278
66	t_10032006_c_esc_10	6727
67	t_10032006_c_esc_60	1121
68	t_10032006_c_esc_3600	18
69	t_10042006_c_esc_1	9163
70	t_10042006_c_esc_10	916
71	t_10042006_c_esc_60	152
72	t_10042006_c_esc_3600	2
73	t_11042006_c_esc_1	59176
74	t_11042006_c_esc_10	5917
75	t_11042006_c_esc_60	986
76	t_11042006_c_esc_3600	16
77	t_12042006_c_esc_1	28323
78	t_12042006_c_esc_10	2832
79	t_12042006_c_esc_60	472
80	t_12042006_c_esc_3600	7
81	t_13022006_c_esc_1	31151
82	t_13022006_c_esc_10	3115
83	t_13022006_c_esc_60	519
84	t_13022006_c_esc_3600	8
85	t_13032006_c_esc_1	32468
86	t_13032006_c_esc_10	3246

87	t_13032006_c_esc_60	541
88	t_13032006_c_esc_3600	9
89	t_14022006_c_esc_1	33980
90	t_14022006_c_esc_10	3398
91	t_14022006_c_esc_60	566
92	t_14022006_c_esc_3600	9
93	t_14032006_c_esc_1	32526
94	t_14032006_c_esc_10	3252
95	t_14032006_c_esc_60	542
96	t_14032006_c_esc_3600	9
97	t_15022006_c_esc_1	32926
98	t_15022006_c_esc_10	3292
99	t_15022006_c_esc_60	548
100	t_15022006_c_esc_3600	9
101	t_15032006_c_esc_1	1117
102	t_15032006_c_esc_10	111
103	t_15032006_c_esc_60	18
104	t_15032006_c_esc_3600	0
105	t_16022006_c_esc_1	30250
106	t_16022006_c_esc_10	3025
107	t_16022006_c_esc_60	504
108	t_16022006_c_esc_3600	8
109	t_16032006_c_esc_1	34930
110	t_16032006_c_esc_10	3493
111	t_16032006_c_esc_60	582
112	t_16032006_c_esc_3600	9
113	t_17022006_c_esc_1	33564
114	t_17022006_c_esc_10	3356
115	t_17022006_c_esc_60	559
116	t_17022006_c_esc_3600	9
117	t_17032006_c_esc_1	38499
118	t_17032006_c_esc_10	3849
119	t_17032006_c_esc_60	545
120	t_17032006_c_esc_3600	10
121	t_17042006_c_esc_1	32707
122	t_17042006_c_esc_10	3270
123	t_17042006_c_esc_60	641
124	t_17042006_c_esc_3600	9
125	t_18032006_c_esc_1	0
126	t_18032006_c_esc_10	0
127	t_18032006_c_esc_60	0
128	t_18032006_c_esc_3600	0
129	t_18042006_c_esc_1	34376
130	t_18042006_c_esc_10	3437
131	t_18042006_c_esc_60	572
132	t_18042006_c_esc_3600	9
133	t_19042006_c_esc_1	32587
134	t_19042006_c_esc_10	3258
135	t_19042006_c_esc_60	543
136	t_19042006_c_esc_3600	9
137	t_20022006_c_esc_1	33503

138	t_20022006_c_esc_10	3350
139	t_20022006_c_esc_60	558
140	t_20022006_c_esc_3600	9
141	t_20042006_c_esc_1	10374
142	t_20042006_c_esc_10	1037
143	t_20042006_c_esc_60	172
144	t_20042006_c_esc_3600	2
145	t_21022006_c_esc_1	26328
146	t_21022006_c_esc_10	2632
147	t_21022006_c_esc_60	438
148	t_21022006_c_esc_3600	7
149	t_21032006_c_esc_1	21988
150	t_21032006_c_esc_10	2198
151	t_21032006_c_esc_60	366
152	t_21032006_c_esc_3600	6
153	t_21042006_c_esc_1	27302
154	t_21042006_c_esc_10	2730
155	t_21042006_c_esc_60	455
156	t_21042006_c_esc_3600	7
157	t_22032006_c_esc_1	33775
158	t_22032006_c_esc_10	3377
159	t_22032006_c_esc_60	562
160	t_22032006_c_esc_3600	9
161	t_23032006_c_esc_1	33622
162	t_23032006_c_esc_10	3362
163	t_23032006_c_esc_60	560
164	t_23032006_c_esc_3600	9
165	t_24032006_c_esc_1	32652
166	t_24032006_c_esc_10	3265
167	t_24032006_c_esc_60	544
168	t_24032006_c_esc_3600	9
169	t_24042006_c_esc_1	33149
170	t_24042006_c_esc_10	3314
171	t_24042006_c_esc_60	552
172	t_24042006_c_esc_3600	9
173	t_25042006_c_esc_1	14920
174	t_25042006_c_esc_10	1492
175	t_25042006_c_esc_60	248
176	t_25042006_c_esc_3600	4
177	t_26042006_c_esc_1	29879
178	t_26042006_c_esc_10	2987
179	t_26042006_c_esc_60	497
180	t_26042006_c_esc_3600	8
181	t_27032006_c_esc_1	34905
182	t_27032006_c_esc_10	3490
183	t_27032006_c_esc_60	581
184	t_27032006_c_esc_3600	9
185	t_27042006_c_esc_1	32370
186	t_27042006_c_esc_10	3237
187	t_27042006_c_esc_60	539
188	t_27042006_c_esc_3600	8

189	t_28032006_c_esc_1	32739
190	t_28032006_c_esc_10	3273
191	t_28032006_c_esc_60	545
192	t_28032006_c_esc_3600	9
193	t_28042006_c_esc_1	32744
194	t_28042006_c_esc_10	3274
195	t_28042006_c_esc_60	545
196	t_28042006_c_esc_3600	9
197	t_29032006_c_esc_1	34338
198	t_29032006_c_esc_10	3433
199	t_29032006_c_esc_60	572
200	t_29032006_c_esc_3600	9
201	t_30012006_c_esc_1	14852
202	t_30012006_c_esc_10	1485
203	t_30012006_c_esc_60	247
204	t_30012006_c_esc_3600	4
205	t_30022006_c_esc_1	2
206	t_30022006_c_esc_10	0
207	t_30022006_c_esc_60	0
208	t_30022006_c_esc_3600	2
209	t_30032006_c_esc_1	32831
210	t_30032006_c_esc_10	3283
211	t_30032006_c_esc_60	547
212	t_30032006_c_esc_3600	9
213	t_31012006_c_esc_1	27729
214	t_31012006_c_esc_10	2772
215	t_31012006_c_esc_60	462
216	t_31012006_c_esc_3600	7
217	t_31032006_c_esc_1	34672
218	t_31032006_c_esc_10	3467
219	t_31032006_c_esc_60	577
220	t_31032006_c_esc_3600	9

Tabla 6. Escalas del Ambiente Experimental Comercial

4.3 Caracterización del Tráfico de datos

En la búsqueda de la auto similitud o autosemejanza sobre el tráfico de datos en una red local, se presentan varias características con las cuales se podría insinuar un comportamiento fractal. Para el presente trabajo se han tomado en especial tres, considerando que es el mínimo dentro de un modelo de evaluación. La primera es la Distribución de Colas Hiperbólica o Pesadas,

luego el calculo de la memoria de largo plazo utilizando el para metro de Hurtz y por ultimo la dimensión Fractal.

4.3.1 Distribución de Cola Hiperbólica

El método de estimación del índice de cola utilizado, descrito en [Taquq y Crovella, 1999], usa las propiedades de escala y la convergencia del límite central para distribuciones estables. Por medio de la agregación de la serie de datos original se puede establecer una relación entre cada serie agregada, lo que permite hacer una estimación del índice de cola. Esto se logra al comparar varias series a diferentes niveles de agregación con un determinado factor de agregación. Por ejemplo si se tienen 10 niveles de agregación y un factor de agregación de 2, se tendrán 10 series agregadas hasta un grado de agregación de 1024 (2¹⁰), como sigue: x2, x4, x8, x16, x32, x64, x128, x256, x512, x1024.

Este método de estimación se hizo por medio de la herramienta AEST, que permite evaluar el índice de cola α .

Ambiente Experimental Académico

	Captura Original	Cabeceras	nombre del archivo	Índice de cola estimado
1			delta.log.es1000	0,58987
2			delta.log.es100	0,827784
3	logtcpdump	6725120	delta.log.es10	0,955387
4			delta.log.es1	1,023916
5			delta.log.es01	1,002923
6			delta.log.es001	1,003035
7			delta.log.es0001	1,014651
8			delta.log0.es1000	0,951584
9	logtcpdump.0	2970190	delta.log0.es100	0,933824
10			delta.log0.es10	1,021944
11			delta.log0.es1	0,999941
12			delta.log0.es01	0,998347
13			delta.log0.es001	0,967005
14			delta.log0.es0001	1,006193

15			delta.log1.es1000	No estima.
16			delta.log1.es100	1,073748
17			delta.log1.es10	1,102538
18			delta.log1.es1	1,135386
19			delta.log1.es01	1,202557
20			delta.log1.es001	1,259758
21			delta.log1.es0001	1,255217
22			delta.log2.es1000	1,239348
23			delta.log2.es100	1,032794
24			delta.log2.es10	1,094842
25			delta.log2.es1	1,120844
26			delta.log2.es01	1,34914
27			delta.log2.es001	1,294048
28			delta.log2.es0001	1,420946
29			delta.log3.es1000	1,003155
30			delta.log3.es100	0,992776
31			delta.log3.es10	1,113028
32			delta.log3.es1	1,065297
33			delta.log3.es01	1,08998
34			delta.log3.es001	1,104741
35			delta.log3.es0001	1,07107
36			delta.log4.es1000	No estima
37			delta.log4.es100	1,338205
38			delta.log4.es10	1,004556
39			delta.log4.es1	1,118351
40			delta.log4.es01	1,145093
41			delta.log4.es001	1,215442
42			delta.log4.es0001	1,172159
43			delta.log5.es1000	No estima
44			delta.log5.es100	1,078493
45			delta.log5.es10	1,079723
46			delta.log5.es1	1,064093
47			delta.log5.es01	1,207114
48			delta.log5.es001	1,16358
49			delta.log5.es0001	1,173329
50			delta.log6.es1000	** No Estimate **
51			delta.log6.es100	1,299448
52			delta.log6.es10	-
53			delta.log6.es1	1,00049
54			delta.log6.es01	0,996709
55			delta.log6.es001	0,990479
56			delta.log6.es0001	** No Estimate **
57			delta.log7.es1000	** No Estimate **
58			delta.log7.es100	** No Estimate **

59	delta.log7.es10	1,104901
60	delta.log7.es1	1,133717
61	delta.log7.es01	1,152462
62	delta.log7.es001	1,24451
63	delta.log7.es0001	1,135134

Tabla 7. Estimación de Índice de Cola Académico

Para el caso de la distribución normal el índice de cola (α) es de un valor de dos. Cuando el valor del índice de cola (α) esta entre cero y dos, se dice en [Taqqu y Crovella, 1999] que la distribución de probabilidad de la serie temporal es de cola pesada, es decir mas a alargada que la normal.

Ambiente Experimental Comercial

		Prueba AEST		
	Nombre del Archivo	No de Lineas	Alpha Estimado	Media Estimada
1	t_01032006_c_esc_1	31851	1,178061	43,082132
2	t_01032006_c_esc_10	3185	1,42173	430,832339
3	t_01032006_c_esc_60	530	1,117725	2587,575472
4	t_01032006_c_esc_3600	8	No estimado	No estimado
5	t_02022006_c_esc_1	11963	1,406095	82,010867
6	t_02022006_c_esc_10	1196	1,542026	820,302676
7	t_02020006_c_esc_60	199	1,163324	4929,497487
8	t_02022006_c_esc_3600	3	No estimado	No estimado
9	t_02032006_c_esc_1	32124	1,181557	66,45343
10	t_02032006_c_esc_10	3212	1,182894	664,498132
11	t_02032006_c_esc_60	535	1,080565	3988,725234
12	t_02032006_c_esc_3600	8	No estimado	No estimado
13	t_03022006_c_esc_1	28138	1,431208	100,177269
14	t_03022006_c_esc_10	2813	1,544005	1001,991113
15	t_03022006_c_esc_60	468	2,164549	6020,014957
16	t_03022006_c_esc_3600	7	No estimado	No estimado
17	t_04042006_c_esc_1	35039	1,160994	73,63125
18	t_04042006_c_esc_10	3503	1,16389	736,471596
19	t_04042006_c_esc_60	583	1,326377	4419,735849
20	t_04042006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
21	t_05042006_c_esc_1	33223	1,138147	92,796195
22	t_05042006_c_esc_10	3322	1,169759	928,036424
23	t_05042006_c_esc_60	553	1,473882	5572,949367
24	t_05042006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
25	t_06022006_c_esc_1	64478	1,265626	60,755374
26	t_06022006_c_esc_10	6447	1,165485	607,585854
27	t_06022006_c_esc_60	1074	0,97099	3646,490689
28	t_06022006_c_esc_3600	17	No estimado	No estimado
29	t_06042006_c_esc_1	77315	1,072618	78,942974
30	t_06042006_c_esc_10	7731	1,110043	789,468245
31	t_06042006_c_esc_60	1288	1,13837	4737,836957
32	t_06042006_c_esc_3600	21	No estimado	No estimado
33	t_07022006_c_esc_1	38122	No estimado	No estimado
34	t_07022006_c_esc_10	3812	No estimado	No estimado
35	t_07022006_c_esc_60	635	No estimado	No estimado
36	t_07022006_c_esc_3600	10	No estimado	No estimado
37	t_07032006_c_esc_1	74480	1,069314	50,944522
38	t_07032006_c_esc_10	7448	1,085389	509,44522
39	t_07032006_c_esc_60	1241	1,081754	3056,936342
40	t_07032006_c_esc_3600	20	No estimado	No estimado
41	t_07042006_c_esc_1	35266	1,218699	82,516163
42	t_07042006_c_esc_10	3526	1,296622	825282757
43	t_07042006_c_esc_60	587	1,196981	4950,839864
44	t_07042006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado

45	t_08022006_c_esc_1	32555	1,445408	75,68352
46	t_08022006_c_esc_10	3255	1,579223	756,9149
47	t_08022006_c_esc_60	542	1,315447	4538,426199
48	t_08022006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
49	t_08032006_c_esc_1	79262	1,033056	63,789104
50	t_08032006_c_esc_10	7926	1,06814	637,894903
51	t_08032006_c_esc_60	1321	1,066416	3827,369417
52	t_08032006_c_esc_3600	22	No estimado	No estimado
53	t_09022006_c_esc_1	63660	1,062361	128,013509
54	t_09022006_c_esc_10	6366	1,142885	1280,135093
55	t_09022006_c_esc_60	1061	1,198705	7680,810556
56	t_09022006_c_esc_3600	17	No estimado	No estimado
57	t_09032006_c_esc_1	144	0,990196	638,715278
58	t_09032006_c_esc_10	14	0	6469,571429
59	t_09032006_c_esc_60	2	No estimado	No estimado
60	t_09032006_c_esc_3600	0	No estimado	No estimado
61	t_10022006_c_esc_1	37575	1,023844	278,304617
62	t_10022006_c_esc_10	3757	1,028738	2782,925472
63	t_10022006_c_esc_60	626	1,136195	16701,73163
64	t_10022006_c_esc_3600	10	No estimado	No estimado
65	t_10032006_c_esc_1	67278	1,026142	59,447903
66	t_10032006_c_esc_10	6727	1,013354	594,544674
67	t_10032006_c_esc_60	1121	1,183345	3567,759144
68	t_10032006_c_esc_3600	18	No estimado	No estimado
69	t_10042006_c_esc_1	9163	1,28929	122,67467
70	t_10042006_c_esc_10	916	1,587798	1227,124454
71	t_10042006_c_esc_60	152	2,089061	7391,848684
72	t_10042006_c_esc_3600	2	No estimado	No estimado
73	t_11042006_c_esc_1	59176	1,015215	90,472455
74	t_11042006_c_esc_10	5917	1,008919	904782829
75	t_11042006_c_esc_60	986	1,203629	5429,509128
76	t_11042006_c_esc_3600	16	No estimado	No estimado
77	t_12042006_c_esc_1	28323	1,003605	124,752392
78	t_12042006_c_esc_10	2832	1,083408	1247,646893
79	t_12042006_c_esc_60	472	0,994144	7485,881356
80	t_12042006_c_esc_3600	7	No estimado	No estimado
81	t_13022006_c_esc_1	31151	1,405017	61,632532
82	t_13022006_c_esc_10	3115	1,566488	616,342215
83	t_13022006_c_esc_60	519	1,788134	3699,084778
84	t_13022006_c_esc_3600	8	No estimado	No estimado
85	t_13032006_c_esc_1	32468	1,196966	104,469354
86	t_13032006_c_esc_10	3246	1,221524	1044,89772
87	t_13032006_c_esc_60	541	No estimado	No estimado
88	t_13032006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
89	t_14022006_c_esc_1	33980	1,028619	244,460006
90	t_14022006_c_esc_10	3398	1,566297	2444,600059
91	t_14022006_c_esc_60	566	1,047856	14676,01413
92	t_14022006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
93	t_14032006_c_esc_1	32526	1,00942	170,503659
94	t_14032006_c_esc_10	3252	1,116563	1705,608733
95	t_14032006_c_esc_60	542	1,089412	10231,8524
96	t_14032006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
97	t_15022006_c_esc_1	32926	1,012044	70,604143
98	t_15022006_c_esc_10	3292	1,038647	706,154921

99	t_15022006_c_esc_60	548	1,070723	4240,016423
100	t_15022006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
101	t_15032006_c_esc_1	1117	1,060526	389,700985
102	t_15032006_c_esc_10	111	2,562977	3882,531532
103	t_15032006_c_esc_60	18	0	23017
104	t_15032006_c_esc_3600	0	No estimado	No estimado
105	t_16022006_c_esc_1	30250	1,179106	47,01514
106	t_16022006_c_esc_10	3025	1,312528	470,151405
107	t_16022006_c_esc_60	504	1,290939	2821,646825
108	t_16022006_c_esc_3600	8	No estimado	No estimado
109	t_16032006_c_esc_1	34930	1,227816	73,698225
110	t_16032006_c_esc_10	3493	1,186275	736,98225
111	t_16032006_c_esc_60	582	No estimado	No estimado
112	t_16032006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
113	t_17022006_c_esc_1	33564	1,09333	102,831397
114	t_17022006_c_esc_10	3356	1,061333	1028,431764
115	t_17022006_c_esc_60	559	1,603081	6173,368515
116	t_17022006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
117	t_17032006_c_esc_1	38499	1,285827	48,642822
118	t_17032006_c_esc_10	3849	1,277648	486,534684
119	t_17032006_c_esc_60	545	1,256245	4264,499083
120	t_17032006_c_esc_3600	10	No estimado	No estimado
121	t_17042006_c_esc_1	32707	1,136056	71,064359
122	t_17042006_c_esc_10	3270	1,238596	710,749847
123	t_17042006_c_esc_60	641	1,146943	2921,232449
124	t_17042006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
125	t_18032006_c_esc_1	0	No estimado	No estimado
126	t_18032006_c_esc_10	0	No estimado	No estimado
127	t_18032006_c_esc_60	0	No estimado	No estimado
128	t_18032006_c_esc_3600	0	No estimado	No estimado
129	t_18042006_c_esc_1	34376	1,122431	54,45619
130	t_18042006_c_esc_10	3437	1,268715	544,595578
131	t_18042006_c_esc_60	572	1,242576	3262,328671
132	t_18042006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
133	t_19042006_c_esc_1	32587	1,09315	69,209225
134	t_19042006_c_esc_10	3258	1,154455	692,133517
135	t_19042006_c_esc_60	543	1,010854	4152,801105
136	t_19042006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
137	t_20022006_c_esc_1	33503	1,085086	59,988628
138	t_20022006_c_esc_10	3350	1,051054	599,923582
139	t_20022006_c_esc_60	558	1,067595	3600,318996
140	t_20022006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
141	t_20042006_c_esc_1	10374	1,060729	185,13476
142	t_20042006_c_esc_10	1037	1,074801	1850,756027
143	t_20042006_c_esc_60	172	1,014648	11015,65698
144	t_20042006_c_esc_3600	2	No estimado	No estimado
145	t_21022006_c_esc_1	26328	1,005203	81,864745
146	t_21022006_c_esc_10	2632	0,988883	817,111322
147	t_21022006_c_esc_60	438	1,01083	4848,803653
148	t_21022006_c_esc_3600	7	No estimado	No estimado
149	t_21032006_c_esc_1	21988	1,080501	42,596325
150	t_21032006_c_esc_10	2198	1,565491	426,093722
151	t_21032006_c_esc_60	366	1,966522	2558,592896
152	t_21032006_c_esc_3600	6	No estimado	No estimado

153	t_21042006_c_esc_1	27302	1,137235	55,866347
154	t_21042006_c_esc_10	2730	1,352862	558,680952
155	t_21042006_c_esc_60	455	1,344381	3352,085714
156	t_21042006_c_esc_3600	7	No estimado	No estimado
157	t_22032006_c_esc_1	33775	1,245219	49,685448
158	t_22032006_c_esc_10	3377	1,508647	496,919159
159	t_22032006_c_esc_60	562	1,346842	2984,569395
160	t_22032006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
161	t_23032006_c_esc_1	33622	1,123592	71,689638
162	t_23032006_c_esc_10	3362	1,280534	716,908983
163	t_23032006_c_esc_60	560	1,303697	4303,675
164	t_23032006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
165	t_24032006_c_esc_1	32652	1,227761	82,205776
166	t_24032006_c_esc_10	3265	1,225655	822,067075
167	t_24032006_c_esc_60	544	1,469875	4932,823529
168	t_24032006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
169	t_24042006_c_esc_1	33149	1,105548	80,645057
170	t_24042006_c_esc_10	3314	1,393933	806,632167
171	t_24042006_c_esc_60	552	1,500611	4842,443841
172	t_24042006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
173	t_25042006_c_esc_1	14920	No estimado	No estimado
174	t_25042006_c_esc_10	1492	No estimado	No estimado
175	t_25042006_c_esc_60	248	No estimado	No estimado
176	t_25042006_c_esc_3600	4	No estimado	No estimado
177	t_26042006_c_esc_1	29879	1,21727	50,217644
178	t_26042006_c_esc_10	2987	1,549389	501,815199
179	t_26042006_c_esc_60	497	1,604907	3001,519115
180	t_26042006_c_esc_3600	8	No estimado	No estimado
181	t_27032006_c_esc_1	34905	1,109785	74,529638
182	t_27032006_c_esc_10	3490	1,165664	745,350716
183	t_27032006_c_esc_60	581	1,248287	4469,160069
184	t_27032006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
185	t_27042006_c_esc_1	32370	1,239217	49,539821
186	t_27042006_c_esc_10	3237	1,428819	495,398208
187	t_27042006_c_esc_60	539	1,656385	2974,55102
188	t_27042006_c_esc_3600	8	No estimado	No estimado
189	t_28032006_c_esc_1	32739	1,198635	64,147408
190	t_28032006_c_esc_10	3273	1,261454	641,625115
191	t_28032006_c_esc_60	545	1,426443	3852,333945
192	t_28032006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
193	t_28042006_c_esc_1	32744	1,090619	59,442799
194	t_28042006_c_esc_10	3274	1,171875	594,350031
195	t_28042006_c_esc_60	545	1,305712	3567,33945
196	t_28042006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
197	t_29032006_c_esc_1	34338	1,154215	70,098899
198	t_29032006_c_esc_10	3433	1,236728	701,136906
199	t_29032006_c_esc_60	572	1,346758	4207,895105
200	t_29032006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
201	t_30012006_c_esc_1	14852	1,501697	99,517843
202	t_30012006_c_esc_10	1485	1,627576	995,292256
203	t_30012006_c_esc_60	247	0,789318	5964,558704
204	t_30012006_c_esc_3600	4	No estimado	No estimado
205	t_30022006_c_esc_1	2	No estimado	No estimado
206	t_30022006_c_esc_10	0	No estimado	No estimado

207	t_30022006_c_esc_60	0	No estimado	No estimado
208	t_30022006_c_esc_3600	2	No estimado	No estimado
209	t_30032006_c_esc_1	32831	1,214303	55,774786
210	t_30032006_c_esc_10	3283	1,167226	557,750228
211	t_30032006_c_esc_60	547	1,158999	3347,226691
212	t_30032006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado
213	t_31012006_c_esc_1	27729	1,427067	96,193011
214	t_31012006_c_esc_10	2772	1,584833	962,127706
215	t_31012006_c_esc_60	462	1,265504	5772,766234
216	t_31012006_c_esc_3600	7	No estimado	No estimado
217	t_31032006_c_esc_1	34672	1,267057	71,265257
218	t_31032006_c_esc_10	3467	1,322445	712,528411
219	t_31032006_c_esc_60	577	1,24727	4276,379549
220	t_31032006_c_esc_3600	9	No estimado	No estimado

Tabla 8. Estimación de Índice de Cola Comercial

4.3.2 Dependencia o Memoria de Largo Plazo

Una manera de determinar la dependencia de largo plazo es estimando el parámetro de Hurst, el método escogido es el algoritmo de Hurst Kettani. Este considera que la serie temporal es un Ruido Fraccional Gaussiano, luego si efectivamente dicha serie se comporta de forma similar a este modelo entonces dará estimaciones aproximadas. Si la serie de datos no presenta auto-similitud puede dar resultados que no estén dentro del intervalo de dependencia de largo plazo para el parámetro de Hurst (0.5-1).

Basado en la anterior suposición y si la serie realmente es auto-similar dará estimaciones con intervalos de error pequeños con una confianza del 95% es decir son mas pequeños que los intervalos del método basado en onditas, como lo muestran los que proponen [Kettani,2002].

Se parte de la suposición que el tráfico de paquetes de datos en una red de área local es auto-similar, basados en los estudios de [Leland,1993] [Ramirez,2004] [Lent,1998].

Ambiente Experimental Académico

A continuación se muestran los resultados de la implementación del algoritmo de Hurst-Kettani para las series de tiempo escaladas.

	Captura Original	Cabeceras	Nombre del Archivo	Parámetro de Hurst estimado
1	Logtcpdump	6725120	delta.log.es1000	0.56217
2			delta.log.es100	0.91856
3			delta.log.es10	0.98516
4			delta.log.es1	0.99035
5			delta.log.es01	0.97612
6			delta.log.es001	0.88419
7			delta.log.es0001	0.93258
8	logtcpdump.0	2970190	delta.log0.es1000	0.52029
9			delta.log0.es100	0.79153
10			delta.log0.es10	0.96411
11			delta.log0.es1	0.96853
12			delta.log0.es01	0.95530
13			delta.log0.es001	0.92912
14			delta.log0.es0001	0.91614
15	logtcpdump.1	218227	delta.log1.es1000	0.75651
16			delta.log1.es100	0.81064
17			delta.log1.es10	0.68272
18			delta.log1.es1	0.70386
19			delta.log1.es01	0.82409
20			delta.log1.es001	0.72221
21			delta.log1.es0001	0.69237
22	logtcpdump.2	586705	delta.log2.es1000	0.95165
23			delta.log2.es100	0.90327
24			delta.log2.es10	0.86135
25			delta.log2.es1	0.82571
26			delta.log2.es01	0.84358
27			delta.log2.es001	0.58454
28			delta.log2.es0001	0.57843
29	logtcpdump.3	38 ,m08549	delta.log3.es1000	0.97658
30			delta.log3.es100	0.82406
31			delta.log3.es10	0.81011
32			delta.log3.es1	0.93301
33			delta.log3.es01	0.90650
34			delta.log3.es001	0.91667

35			delta.log3.es0001	0.82735
36	logtcpdump.4	110143	delta.log4.es1000	0.25484
37			delta.log4.es100	0.53725
38			delta.log4.es10	0.65566
39			delta.log4.es1	0.84882
40			delta.log4.es01	0.76239
41			delta.log4.es001	0.90793
42			delta.log4.es0001	0.83438
43			logtcpdump.5	556272
44	delta.log5.es100	0.80976		
45	delta.log5.es10	0.61359		
46	delta.log5.es1	0.85922		
47	delta.log5.es01	0.88410		
48	delta.log5.es001	0.80575		
49	delta.log5.es0001	0.71237		
50	logtcpdump.6	8173679		
51			delta.log6.es100	0,98617
52			delta.log6.es10	0,99475
53			delta.log6.es1	0,99475
54			delta.log6.es01	0,97689
55			delta.log6.es001	0,84615
56			delta.log6.es0001	0,9093
57			logtcpdump.7	1301044
58	delta.log7.es100	0,85783		
59	delta.log7.es10	0,8213		
60	delta.log7.es1	0,80219		
61	delta.log7.es01	0,71482		
62	delta.log7.es001	0,7258		
63	delta.log7.es0001	0,65249		

Tabla 9. Parámetro de Hurst para el Ambiente Experimental Academico

De los resultados en la Tabla 9 se puede inferir que el comportamiento del tráfico de paquetes es un proceso de dependencia de largo plazo, ya que el parámetro de Hurst esta entre 0.5 y 1 para la mayor parte de los resultados sin importar la escala.

Con interés de comparar los resultados obtenidos anteriormente se midió para un archivo el parámetro de Hurst por otros métodos ya explicados. Estos muestran que las estimaciones por todos los diferentes métodos, en la mayoría

de los casos presentan parámetros de Hurst para el intervalo que indica dependencia de largo plazo.

Ambiente Experimental Comercial

	Nombre del Archivo	P. HURST
1	t_01032006_c_esc_1	0,72139
2	t_01032006_c_esc_10	0,68628
3	t_01032006_c_esc_60	0,64463
4	t_01032006_c_esc_3600	0,45388
5	t_02022006_c_esc_1	0,70599
6	t_02022006_c_esc_10	0,66532
7	t_02020006_c_esc_60	0,65401
8	t_02022006_c_esc_3600	0,12122
9	t_02032006_c_esc_1	0,77476
10	t_02032006_c_esc_10	0,73228
11	t_02032006_c_esc_60	0,67441
12	t_02032006_c_esc_3600	0,43397
13	t_03022006_c_esc_1	0,72838
14	t_03022006_c_esc_10	0,71798
15	t_03022006_c_esc_60	0,70398
16	t_03022006_c_esc_3600	0,35877
17	t_04042006_c_esc_1	0,74226
18	t_04042006_c_esc_10	0,69941
19	t_04042006_c_esc_60	0,66247
20	t_04042006_c_esc_3600	0,43857
21	t_05042006_c_esc_1	0,77574
22	t_05042006_c_esc_10	0,73977
23	t_05042006_c_esc_60	0,70412
24	t_05042006_c_esc_3600	0,48365
25	t_06022006_c_esc_1	0,81146
26	t_06022006_c_esc_10	0,80122
27	t_06022006_c_esc_60	0,79355
28	t_06022006_c_esc_3600	0,6219
29	t_06042006_c_esc_1	0,82211
30	t_06042006_c_esc_10	0,79288
31	t_06042006_c_esc_60	0,7583
32	t_06042006_c_esc_3600	0,62019
33	t_07022006_c_esc_1	0,90439
34	t_07022006_c_esc_10	0,88739
35	t_07022006_c_esc_60	0,86084
36	t_07022006_c_esc_3600	0,61263
37	t_07032006_c_esc_1	0,84937
38	t_07032006_c_esc_10	0,83937
39	t_07032006_c_esc_60	0,82633

40	t_07032006_c_esc_3600	0,7163
41	t_07042006_c_esc_1	0,748462
42	t_07042006_c_esc_10	0,74525
43	t_07042006_c_esc_60	0,70848
44	t_07042006_c_esc_3600	0,47375
45	t_08022006_c_esc_1	0,73742
46	t_08022006_c_esc_10	0,71762
47	t_08022006_c_esc_60	0,71654
48	t_08022006_c_esc_3600	0,44114
49	t_08032006_c_esc_1	0,82942
50	t_08032006_c_esc_10	0,80222
51	t_08032006_c_esc_60	0,77277
52	t_08032006_c_esc_3600	0,66866
53	t_09022006_c_esc_1	0,84481
54	t_09022006_c_esc_10	0,81973
55	t_09022006_c_esc_60	0,78178
56	t_09022006_c_esc_3600	0,63394
57	t_09032006_c_esc_1	0,80555
58	t_09032006_c_esc_10	0,65173
59	t_09032006_c_esc_60	-0,5
60	t_09032006_c_esc_3600	No estimado
61	t_10022006_c_esc_1	0,79106
62	t_10022006_c_esc_10	0,74342
63	t_10022006_c_esc_60	0,68462
64	t_10022006_c_esc_3600	0,39427
65	t_10032006_c_esc_1	0,82853
66	t_10032006_c_esc_10	0,79027
67	t_10032006_c_esc_60	0,74278
68	t_10032006_c_esc_3600	0,58097
69	t_10042006_c_esc_1	0,74563
70	t_10042006_c_esc_10	0,72351
71	t_10042006_c_esc_60	0,72637
72	t_10042006_c_esc_3600	-0,5
73	t_11042006_c_esc_1	0,85073
74	t_11042006_c_esc_10	0,81412
75	t_11042006_c_esc_60	0,77099
76	t_11042006_c_esc_3600	0,5668
77	t_12042006_c_esc_1	0,82531
78	t_12042006_c_esc_10	0,78296
79	t_12042006_c_esc_60	0,73252
80	t_12042006_c_esc_3600	0,4121
81	t_13022006_c_esc_1	0,75333
82	t_13022006_c_esc_10	0,72856
83	t_13022006_c_esc_60	0,71713
84	t_13022006_c_esc_3600	0,49748
85	t_13032006_c_esc_1	0,83157
86	t_13032006_c_esc_10	0,82096
87	t_13032006_c_esc_60	0,81102
88	t_13032006_c_esc_3600	0,61424
89	t_14022006_c_esc_1	0,8426
90	t_14022006_c_esc_10	0,80252

91	t_14022006_c_esc_60	0,75303
92	t_14022006_c_esc_3600	0,38307
93	t_14032006_c_esc_1	0,84673
94	t_14032006_c_esc_10	0,80814
95	t_14032006_c_esc_60	0,759
96	t_14032006_c_esc_3600	0,49782
97	t_15022006_c_esc_1	0,81184
98	t_15022006_c_esc_10	0,76896
99	t_15022006_c_esc_60	0,71201
100	t_15022006_c_esc_3600	0,44875
101	t_15032006_c_esc_1	0,82059
102	t_15032006_c_esc_10	0,78959
103	t_15032006_c_esc_60	0,6983
104	t_15032006_c_esc_3600	No estimado
105	t_16022006_c_esc_1	0,74195
106	t_16022006_c_esc_10	0,70224
107	t_16022006_c_esc_60	0,65336
108	t_16022006_c_esc_3600	0,42829
109	t_16032006_c_esc_1	0,80068
110	t_16032006_c_esc_10	0,77581
111	t_16032006_c_esc_60	0,75059
112	t_16032006_c_esc_3600	0,57551
113	t_17022006_c_esc_1	0,86176
114	t_17022006_c_esc_10	0,83606
115	t_17022006_c_esc_60	0,80246
116	t_17022006_c_esc_3600	0,54422
117	t_17032006_c_esc_1	0,79924
118	t_17032006_c_esc_10	0,79475
119	t_17032006_c_esc_60	0,80801
120	t_17032006_c_esc_3600	0,58657
121	t_17042006_c_esc_1	0,7439
122	t_17042006_c_esc_10	0,70616
123	t_17042006_c_esc_60	0,68716
124	t_17042006_c_esc_3600	0,52814
125	t_18032006_c_esc_1	No estimado
126	t_18032006_c_esc_10	No estimado
127	t_18032006_c_esc_60	No estimado
128	t_18032006_c_esc_3600	No estimado
129	t_18042006_c_esc_1	0,7752
130	t_18042006_c_esc_10	0,75712
131	t_18042006_c_esc_60	0,75433
132	t_18042006_c_esc_3600	0,54751
133	t_19042006_c_esc_1	0,79528
134	t_19042006_c_esc_10	0,76602
135	t_19042006_c_esc_60	0,72881
136	t_19042006_c_esc_3600	0,51883
137	t_20022006_c_esc_1	0,79398
138	t_20022006_c_esc_10	0,77075
139	t_20022006_c_esc_60	0,72828
140	t_20022006_c_esc_3600	0,38491
141	t_20042006_c_esc_1	0,75856

142	t_20042006_c_esc_10	0,7161
143	t_20042006_c_esc_60	0,65464
144	t_20042006_c_esc_3600	-0,5
145	t_21022006_c_esc_1	0,83245
146	t_21022006_c_esc_10	0,80628
147	t_21022006_c_esc_60	0,7754
148	t_21022006_c_esc_3600	0,51991
149	t_21032006_c_esc_1	0,74418
150	t_21032006_c_esc_10	0,73186
151	t_21032006_c_esc_60	0,7346
152	t_21032006_c_esc_3600	0,53961
153	t_21042006_c_esc_1	0,77787
154	t_21042006_c_esc_10	0,75696
155	t_21042006_c_esc_60	0,72517
156	t_21042006_c_esc_3600	0,55656
157	t_22032006_c_esc_1	0,74328
158	t_22032006_c_esc_10	0,72136
159	t_22032006_c_esc_60	0,70503
160	t_22032006_c_esc_3600	0,50385
161	t_23032006_c_esc_1	0,7945
162	t_23032006_c_esc_10	0,78659
163	t_23032006_c_esc_60	0,77562
164	t_23032006_c_esc_3600	0,53181
165	t_24032006_c_esc_1	0,77736
166	t_24032006_c_esc_10	0,74883
167	t_24032006_c_esc_60	0,72321
168	t_24032006_c_esc_3600	0,50476
169	t_24042006_c_esc_1	0,76217
170	t_24042006_c_esc_10	0,73674
171	t_24042006_c_esc_60	0,71244
172	t_24042006_c_esc_3600	0,49528
173	t_25042006_c_esc_1	0,90351
174	t_25042006_c_esc_10	0,88541
175	t_25042006_c_esc_60	0,8529
176	t_25042006_c_esc_3600	0,25469
177	t_26042006_c_esc_1	0,73189
178	t_26042006_c_esc_10	0,69551
179	t_26042006_c_esc_60	0,66156
180	t_26042006_c_esc_3600	0,40304
181	t_27032006_c_esc_1	0,75523
182	t_27032006_c_esc_10	0,73086
183	t_27032006_c_esc_60	0,69738
184	t_27032006_c_esc_3600	0,52417
185	t_27042006_c_esc_1	0,71228
186	t_27042006_c_esc_10	0,68359
187	t_27042006_c_esc_60	0,65536
188	t_27042006_c_esc_3600	0,4045
189	t_28032006_c_esc_1	0,73039
190	t_28032006_c_esc_10	0,69295
191	t_28032006_c_esc_60	0,65553
192	t_28032006_c_esc_3600	0,36498

193	t_28042006_c_esc_1	0,78919
194	t_28042006_c_esc_10	0,77132
195	t_28042006_c_esc_60	0,75906
196	t_28042006_c_esc_3600	0,56501
197	t_29032006_c_esc_1	0,77104
198	t_29032006_c_esc_10	0,75209
199	t_29032006_c_esc_60	0,72339
200	t_29032006_c_esc_3600	0,39161
201	t_30012006_c_esc_1	0,72948
202	t_30012006_c_esc_10	0,69083
203	t_30012006_c_esc_60	0,67818
204	t_30012006_c_esc_3600	0,27712
205	t_30022006_c_esc_1	No estimado
206	t_30022006_c_esc_10	No estimado
207	t_30022006_c_esc_60	No estimado
208	t_30022006_c_esc_3600	No estimado
209	t_30032006_c_esc_1	0,73567
210	t_30032006_c_esc_10	0,69284
211	t_30032006_c_esc_60	0,65007
212	t_30032006_c_esc_3600	0,37801
213	t_31012006_c_esc_1	0,73709
214	t_31012006_c_esc_10	0,68636
215	t_31012006_c_esc_60	0,62488
216	t_31012006_c_esc_3600	0,33118
217	t_31032006_c_esc_1	0,75831
218	t_31032006_c_esc_10	0,72477
219	t_31032006_c_esc_60	0,68741
220	t_31032006_c_esc_3600	0,31333

Tabla 10. Parámetro de Hurst para el Ambiente Experimental Comercial

4.3.3 Dimensión Fractal

Se utilizó un método de Box Counting para estimar la dimensión fractal de cada serie de tiempo, esto se logra creando una columna adicional de la serie de tiempo original y desfasándola una posición del vector, de esta manera queda como una matriz o imagen en dos dimensiones con n-1 filas. Se eligió este método, ya que es el mas usado debido a su facilidad y bajo costo computacional [Nakagawa,1999]. La Implementación se hizo en Fraclab pues este paquete contiene herramientas de análisis ya desarrolladas que permiten calcular de forma eficiente la dimensión para series de tiempo como las ya descritas.

Ambiente Experimental Académico

	Captura Original	Cabeceras	nombre del archivo	dimensión fractal
1	logtcpdump	6725120	Delta.log.es1000	0,854
2			Delta.log.es100	0,898
3			Delta.log.es10	1,01
4			Delta.log.es1	1,03
5			Delta.log.es01	0,954
6			Delta.log.es001	0,885
7			Delta.log.es0001	0,893
8	logtcpdump.0	2970190	Delta.log0.es1000	0,919
9			Delta.log0.es100	0,898
10			Delta.log0.es10	1,01
11			Delta.log0.es1	1,03
12			Delta.log0.es01	0,967
13			Delta.log0.es001	0,885
14			Delta.log0.es0001	0,893
15	logtcpdump.1	218227	Delta.log1.es1000	0,56
16			Delta.log1.es100	0,928
17			Delta.log1.es10	1,09
18			Delta.log1.es1	1,04
19			Delta.log1.es01	1
20			Delta.log1.es001	0,895
21			Delta.log1.es0001	0,859
22	logtcpdump.2	586705	Delta.log2.es1000	0,738
23			Delta.log2.es100	1,01
24			Delta.log2.es10	1,09
25			Delta.log2.es1	1,08
26			Delta.log2.es01	0,93
27			Delta.log2.es001	0,906
28			Delta.log2.es0001	0,91
29	logtcpdump.3	3808549	Delta.log3.es1000	0,855
30			Delta.log3.es100	0,928
31			Delta.log3.es10	1,09
32			Delta.log3.es1	1,04
33			Delta.log3.es01	1
34			Delta.log3.es001	0,895

35			Delta.log3.es0001	0,859
36	logtcpdump.4	110143	Delta.log4.es1000	0,368
37			Delta.log4.es100	0,933
38			Delta.log4.es10	1,01
39			Delta.log4.es1	1,07
40			Delta.log4.es01	1,01
41			Delta.log4.es001	0,886
42			Delta.log4.es0001	0,838
43			logtcpdump.5	556272
44	Delta.log5.es100	0,933		
45	Delta.log5.es10	1,01		
46	Delta.log5.es1	1,07		
47	Delta.log5.es01	1,01		
48	Delta.log5.es001	0,886		
49	Delta.log5.es0001	0,838		
50	logtcpdump.6	8173679		
51			Delta.log6.es100	0,912
52			Delta.log6.es10	
53			Delta.log6.es1	1,02
54			Delta.log6.es01	0,996
55			Delta.log6.es001	0,93
56			Delta.log6.es0001	0,908
57			logtcpdump.7	1301044
58	Delta.log7.es100	0,912		
59	Delta.log7.es10	1,02		
60	Delta.log7.es1	1,02		
61	Delta.log7.es01	0,996		
62	Delta.log7.es001	0,93		
63	Delta.log7.es0001	0,885		

Tabla 11. Dimensión Fractal del Ambiente Experimental Académico

Las dimensiones fractales estimadas dan valores fraccionales que se encuentran en un intervalo de (0.7, 1.1) para la mayor cantidad de muestras, indicando que la figura generada se asemeja a una línea recta, es decir que los valores tienden a acumularse dentro de un intervalo, haciendo que la figura se repliegue sobre si misma, Figura 8. El comportamiento que muestran los datos es el esperado pues el tráfico de paquetes de datos oscila dentro de un intervalo determinado. Esto define el atractor (la figura fractal que define o caracteriza la serie temporal con características fractales) de la serie temporal haciendo que tienda hacia una línea

recta cuando la escala se acerca a un segundo. La dimensión fractal nos provee información relevante e importante para figuras fractales (es decir perfectamente auto-similares), el tráfico de paquetes no es un fractal perfectamente auto-similar, por tanto los valores obtenidos son consecuentes con el hecho que la serie temporal posee características auto-similares, y no son consecuentes con la relación esperada del exponente de Hurst (0.5- 1.0) ($2-D=H$) y que muestran dependencia de largo plazo.

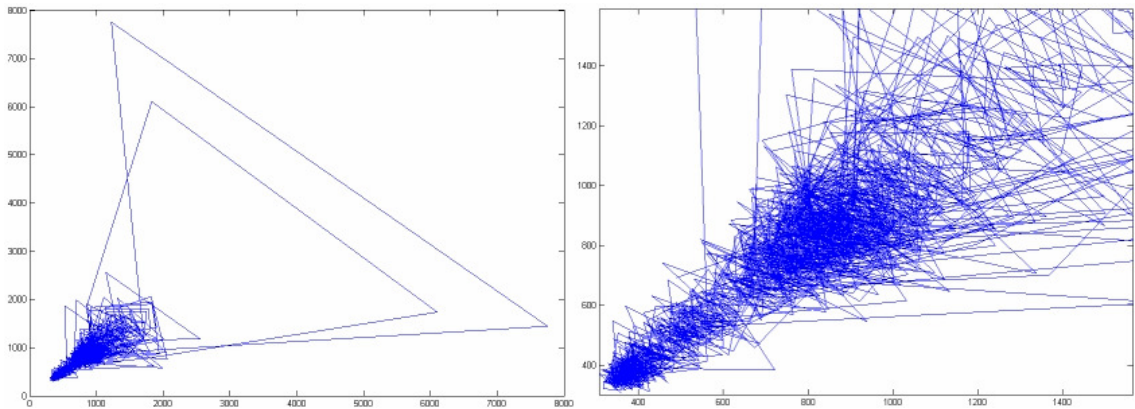


Figura 8. Atractor Fractal de la muestra delatlog7 escala 100seg vs. Zoom 60%

Ambiente Experimental Comercial

BOX COUNTING	Coefficiente de Correlacion	Nombre del Archivo
1.07000	0.97000	t_01032006_c_esc_1
0.95900	0.97000	t_01032006_c_esc_10
0.89500	0.97000	t_01032006_c_esc_60
		t_01032006_c_esc_3600
0.92100	0.95000	t_02022006_c_esc_1
0.88300	0.95000	t_02022006_c_esc_10
0.88500	0.96000	t_02020006_c_esc_60
		t_02022006_c_esc_3600
1.06000	0.97000	t_02032006_c_esc_1
0.95200	0.97000	t_02032006_c_esc_10
0.89400	0.09800	t_02032006_c_esc_60
		t_02032006_c_esc_3600
1.07000	0.96000	t_03022006_c_esc_1
0.91700	0.95000	t_03022006_c_esc_10

0.91800	0.96000	t_03022006_c_esc_60
		t_03022006_c_esc_3600
0.92200	0.94000	t_04042006_c_esc_1
0.96700	0.96000	t_04042006_c_esc_10
0.95900	0.97000	t_04042006_c_esc_60
		t_04042006_c_esc_3600
0.93100	0.95000	t_05042006_c_esc_1
0.93800	0.95000	t_05042006_c_esc_10
0.88200	0.96000	t_05042006_c_esc_60
		t_05042006_c_esc_3600
1.02000	0.09600	t_06022006_c_esc_1
0.96700	0.97000	t_06022006_c_esc_10
0.86900	0.97000	t_06022006_c_esc_60
		t_06022006_c_esc_3600
0.96200	0.09500	t_06042006_c_esc_1
1.01000	0.98000	t_06042006_c_esc_10
0.91900	0.98000	t_06042006_c_esc_60
		t_06042006_c_esc_3600
0.93500	0.09300	t_07022006_c_esc_1
0.99300	0.96000	t_07022006_c_esc_10
0.86400	0.96000	t_07022006_c_esc_60
		t_07022006_c_esc_3600
0.96100	0.95000	t_07032006_c_esc_1
1.00000	0.97000	t_07032006_c_esc_10
0.90600	0.97000	t_07032006_c_esc_60
		t_07032006_c_esc_3600
0.92900	0.94000	t_07042006_c_esc_1
1.01000	0.97000	t_07042006_c_esc_10
0.93900	0.98000	t_07042006_c_esc_60
		t_07042006_c_esc_3600
1.06000	0.97000	t_08022006_c_esc_1
0.95800	0.96000	t_08022006_c_esc_10
0.83800	0.95000	t_08022006_c_esc_60
		t_08022006_c_esc_3600
0.94900	0.95000	t_08032006_c_esc_1
1.00000	0.98000	t_08032006_c_esc_10
0.87700	0.98000	t_08032006_c_esc_60
		t_08032006_c_esc_3600
0.99100	0.96000	t_09022006_c_esc_1
0.95000	0.97000	t_09022006_c_esc_10
0.85300	0.97000	t_09022006_c_esc_60
		t_09022006_c_esc_3600
0.80300	0.98000	t_09032006_c_esc_1
0.50000	0.98000	t_09032006_c_esc_10
0.00000	No estimado	t_09032006_c_esc_60
		t_09032006_c_esc_3600
0.92800	0.93000	t_10022006_c_esc_1
0.96300	0.96000	t_10022006_c_esc_10
0.84500	0.96000	t_10022006_c_esc_60
		t_10022006_c_esc_3600

0.95000	0.96000	t_10032006_c_esc_1
1.02000	0.98000	t_10032006_c_esc_10
0.90900	0.99000	t_10032006_c_esc_60
		t_10032006_c_esc_3600
0.89700	0.94000	t_10042006_c_esc_1
0.95700	0.95000	t_10042006_c_esc_10
0.78600	0.93000	t_10042006_c_esc_60
		t_10042006_c_esc_3600
1.01000	0.97000	t_11042006_c_esc_1
0.97100	0.98000	t_11042006_c_esc_10
0.92800	1.00000	t_11042006_c_esc_60
		t_11042006_c_esc_3600
0.97200	0.95000	t_12042006_c_esc_1
0.94100	0.97000	t_12042006_c_esc_10
0.95800	0.99000	t_12042006_c_esc_60
		t_12042006_c_esc_3600
1.06000	0.96000	t_13022006_c_esc_1
0.95100	0.95000	t_13022006_c_esc_10
0.83100	0.94000	t_13022006_c_esc_60
		t_13022006_c_esc_3600
1.07000	0.96000	t_13032006_c_esc_1
0.96400	0.96000	t_13032006_c_esc_10
0.91900	0.97000	t_13032006_c_esc_60
		t_13032006_c_esc_3600
0.91300	0.94000	t_14022006_c_esc_1
0.95100	0.96000	t_14022006_c_esc_10
0.83400	0.97000	t_14022006_c_esc_60
		t_14022006_c_esc_3600
1.09000	0.97000	t_14032006_c_esc_1
0.99000	0.97000	t_14032006_c_esc_10
0.90200	0.98000	t_14032006_c_esc_60
		t_14032006_c_esc_3600
0.93800	0.95000	t_15022006_c_esc_1
1.02000	0.97000	t_15022006_c_esc_10
0.91800	0.99000	t_15022006_c_esc_60
		t_15022006_c_esc_3600
0.84900	0.95000	t_15032006_c_esc_1
0.86100	0.97000	t_15032006_c_esc_10
0.61300	1.00000	t_15032006_c_esc_60
		t_15032006_c_esc_3600
0.99500	0.96000	t_16022006_c_esc_1
0.92700	0.96000	t_16022006_c_esc_10
0.98800	0.98000	t_16022006_c_esc_60
		t_16022006_c_esc_3600
0.92600	0.95000	t_16032006_c_esc_1
0.99100	0.98000	t_16032006_c_esc_10
0.90700	0.97000	t_16032006_c_esc_60
		t_16032006_c_esc_3600
0.92700	0.95000	t_17022006_c_esc_1
0.97900	0.98000	t_17022006_c_esc_10

0.84700	0.97000	t_17022006_c_esc_60
		t_17022006_c_esc_3600
0.95400	0.96000	t_17032006_c_esc_1
1.01000	0.96000	t_17032006_c_esc_10
0.86700	0.96000	t_17032006_c_esc_60
		t_17032006_c_esc_3600
0.98700	0.95000	t_17042006_c_esc_1
0.94600	0.96000	t_17042006_c_esc_10
0.87700	0.96000	t_17042006_c_esc_60
		t_17042006_c_esc_3600
No estimado	No estimado	t_18032006_c_esc_1
No estimado	No estimado	t_18032006_c_esc_10
No estimado	No estimado	t_18032006_c_esc_60
No estimado	No estimado	t_18032006_c_esc_3600
0.92000	0.95000	t_18042006_c_esc_1
0.96200	0.96000	t_18042006_c_esc_10
0.87300	0.95000	t_18042006_c_esc_60
		t_18042006_c_esc_3600
1.08000	0.97000	t_19042006_c_esc_1
0.96100	0.97000	t_19042006_c_esc_10
0.87300	0.97000	t_19042006_c_esc_60
		t_19042006_c_esc_3600
0.90100	0.94000	t_20022006_c_esc_1
0.95000	0.96000	t_20022006_c_esc_10
0.85200	0.95000	t_20022006_c_esc_60
		t_20022006_c_esc_3600
0.94700	0.95000	t_20042006_c_esc_1
0.86000	0.93000	t_20042006_c_esc_10
0.83000	0.96000	t_20042006_c_esc_60
		t_20042006_c_esc_3600
0.95200	0.95000	t_21022006_c_esc_1
0.91100	0.96000	t_21022006_c_esc_10
1.00000	0.98000	t_21022006_c_esc_60
		t_21022006_c_esc_3600
0.92800	0.95000	t_21032006_c_esc_1
0.91600	0.96000	t_21032006_c_esc_10
0.85600	0.95000	t_21032006_c_esc_60
		t_21032006_c_esc_3600
0.98900	0.97000	t_21042006_c_esc_1
0.95500	0.96000	t_21042006_c_esc_10
0.97300	0.98000	t_21042006_c_esc_60
		t_21042006_c_esc_3600
0.89900	0.94000	t_22032006_c_esc_1
0.93700	0.95000	t_22032006_c_esc_10
0.88000	0.95000	t_22032006_c_esc_60
		t_22032006_c_esc_3600
0.89900	0.94000	t_23032006_c_esc_1
0.95500	0.96000	t_23032006_c_esc_10
0.85100	0.95000	t_23032006_c_esc_60
		t_23032006_c_esc_3600

1.06000	0.96000	t_24032006_c_esc_1
0.94600	0.96000	t_24032006_c_esc_10
0.85800	0.96000	t_24032006_c_esc_60
		t_24032006_c_esc_3600
0.92100	0.95000	t_24042006_c_esc_1
0.97300	0.95000	t_24042006_c_esc_10
0.85100	0.95000	t_24042006_c_esc_60
		t_24042006_c_esc_3600
0.97100	0.95000	t_25042006_c_esc_1
0.93800	0.96000	t_25042006_c_esc_10
0.96500	0.98000	t_25042006_c_esc_60
		t_25042006_c_esc_3600
0.95600	0.95000	t_26042006_c_esc_1
0.94400	0.97000	t_26042006_c_esc_10
1.05000	0.98000	t_26042006_c_esc_60
		t_26042006_c_esc_3600
0.91200	0.94000	t_27032006_c_esc_1
0.95500	0.95000	t_27032006_c_esc_10
0.85600	0.95000	t_27032006_c_esc_60
		t_27032006_c_esc_3600
1.06000	0.97000	t_27042006_c_esc_1
0.95600	0.96000	t_27042006_c_esc_10
0.84100	0.96000	t_27042006_c_esc_60
		t_27042006_c_esc_3600
1.06000	0.97000	t_28032006_c_esc_1
0.95500	0.96000	t_28032006_c_esc_10
0.85400	0.95000	t_28032006_c_esc_60
		t_28032006_c_esc_3600
1.07000	0.97000	t_28042006_c_esc_1
0.95100	0.96000	t_28042006_c_esc_10
0.85700	0.95000	t_28042006_c_esc_60
		t_28042006_c_esc_3600
0.90100	0.94000	t_29032006_c_esc_1
0.97100	0.96000	t_29032006_c_esc_10
0.87000	0.96000	t_29032006_c_esc_60
		t_29032006_c_esc_3600
0.97900	0.96000	t_30012006_c_esc_1
0.93400	0.97000	t_30012006_c_esc_10
0.98800	0.97000	t_30012006_c_esc_60
		t_30012006_c_esc_3600
No estimado	No estimado	t_30022006_c_esc_1
No estimado	No estimado	t_30022006_c_esc_10
No estimado	No estimado	t_30022006_c_esc_60
No estimado	No estimado	t_30022006_c_esc_3600
0.90500	0.95000	t_30032006_c_esc_1
0.95300	0.97000	t_30032006_c_esc_10
0.89800	0.97000	t_30032006_c_esc_60
		t_30032006_c_esc_3600
0.99400	0.96000	t_31012006_c_esc_1
0.98200	0.97000	t_31012006_c_esc_10

0.96300	0.99000	t_31012006_c_esc_60
		t_31012006_c_esc_3600
0.90200	0.94000	t_31032006_c_esc_1
0.97000	0.95000	t_31032006_c_esc_10
0.91100	0.96000	t_31032006_c_esc_60
		t_31032006_c_esc_3600

Tabla 12. Dimensión Fractal del Ambiente Experimental Comercial

La tabla nos muestra un comportamiento igual al encontrado el en ambiente académico donde el valor de la dimensión tiende ser representado por una línea recta, presentando una alto grado de correlación con las variables utilizadas con lo cual podemos deducir que ambos casos la dimensión fractal se caracteriza en las muestras de los dos ambiente.

5 Conclusiones

- De acuerdo a los diferentes autores y sus estudios aquí mostrados podemos determinar que el comportamiento del tráfico de datos no obedece a las matemáticas tradicionales como la distribución de Poisson utilizadas para el control de las redes de voz análoga y que equivocadamente se han utilizado para diseñar redes locales basadas en TCP/IP.
- En los dos ambientes arroja características auto similares comprobadas en cada uno de los pasos del modelo propuesto, como fueron la distribución de cola hiperbólica, la memoria de largo plazo y la dimensión fractal.
- Que el origen o fuente de los datos no altera en si el comportamiento del tráfico en una red de área local.
- Que las nuevas redes locales inalámbricas o Wifi también presentan características auto similares o auto semejantes al igual que redes tradicionales de Ethernet ya que la voz, los datos y el video han sido encapsulados en el protocolo TCP/IP.
- Aunque en algunas muestras no arrojan resultados , se debe a que las escalas logradas no tienen un gran volumen de información y por lo tanto no se puede estimar el resultado.

6 Trabajos futuros

- El primer acercamiento es tratar de crear herramientas que permitan mediante la geometría fractal, acercarse a resolver problemas de congestión en redes locales o redes WAN que trabajen sobre tecnología IP y que nos permitan resolver los problemas de congestión y seguridad propios de las redes.
- Existen algunos fenómenos que presentan variaciones que pueden insinuar que no existe auto similitud en un tráfico de datos, este ha sido denominado *multifractalidad*, el cual debe ser más ampliado y estudiado.
 - *Data Networks as Cascades: Investigating the multifractal Nature of Internet WAN Traffic* Anja Feldmann, A.C. Gilbert, y W. Willinger.. Procedures of the ACM SIGCOMM'98, pp. 25-38, Vancouver, B.C., Canadá, 1998.

• REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[Belamy,2000] Belamy, John, Digital telephony, 3^a ed., NY :wiley 2000.

[Jain,1986] Raj Jain, Shawn A. Routhier, "Packet trains - measurements and a new model for computer network traffic", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. SAC-4, pp. 986-995, Sep. 1986.

[Paxon,1994] V. Paxson, "Growth trends in wide-area tcp connections" tech. rep., Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, May 1994.

[Claffy,1994] K. Claffy, "Internet traffic characterization" PhD dissertation, University of California, San Diego, Department of Computer Science, 1994.

[Leland,1994] W. Leland, "On the self-similar nature of ethernet traffic (extended version)", IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 2, pp. 1-15, Feb. 1994.

[Yamakawa,1998] Yamakawa P. Lent R. Naturaleza Fractal del Tráfico de Internet. 1998.

[Paxon,1994] V. Paxson, "Empirically derived analytic models of wide-area tcp connections" IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 2, pp. 316-336, Aug. 1994.

[Bestavros-Crovella,1996] Bestavros A. Crovella M. Self Similarity in World Wide Web Traffic: Evidence and Possible Causes. 1996.

[Trang-Balázs-Sándor,2004] Trang Dinh Dang, Balázs Sonkoly, Sándor Molnár "Fractal Analysis and Modeling of VoIP Traffic", Budapest Univ. of Technology & Economics, Budapest, Hungary 2004

[Vecchio, 2003] Ricardo Vecchio "Modelación de Tráfico autosimilar y evaluación de sus efectos en el tamaño de las colas, Instituto >Tecnológico de Buenos Aires, Argentina, 2003

[Kettani,2002] Houssain Kettani y John A. Gubner. A Novel Approach to the Estimation of the Hurst Parameter in Self-similar Traffic. Electrical and Computer Engineering Department, University of Wisconsin. 2002.

[Alarcón-Aquino,2003] V. Alarcón-Aquino, Luis G. Guerrero-Ojeda, Y. L. Takahashi, "Análisis Multiescala del Tráfico Ethernet e Internet Usando Daubechies Wavelets" Universidad de las Américas, MEXICO 2003

[Boudec,2004] Le Boudec J. Performance Evaluation: Lecture Notes. Methods, Practice and Theory for the Performance Evaluation of Computer and Communication Systems. Jean-Yves Le Boudec, EPFL, 2004

[López-Velayo,2001] Alberto López, Héctor Velayos, Tomás Robles, Nuria Villaseñor, “Provisión de Calidad de Servicio Basada en Reservas para Entornos Móviles”, Departamento de Ingeniería de la Información y las Comunicaciones, Universidad de Murcia, 2001.

[López y Otros,2002] David López P, Jorge E. López-de-Vergara, Luis Bellido, David Fernández “Monitorización de una red académica mediante Netflow”, Departamento de Ingeniería de Sistemas Telemáticos, Universidad Politécnica de Madrid

[ITU/T,2003] ITU-T. Teletraffic Engineering Handbook. International Union of Telecommunications, 2003.

[Paxson,1995] Paxson,V, y Floy, S, wide area traffic: The failure of Poisson Modeling”, Procc SIGCOMM’94 Conf.,1995

[Abry-Veitch,1998] Abry and D. Veitch. Wavelet Analysis of Long-Range Dependent Traffic. IEEE Transactions on Information Theory, 44(1):2–15. (1998)

[Schroeder,1991] Manfred Schroeder, M. Fractals, Chaos, Powes Laws: Minutes from and Infinite Paradise. NY, Freeman, 1991.

[Taqqu y Corovella,1999] Taquq M. y Crovella M. Estimating the Heavy Tail Index from Scaling Properties. ACM, 1999.

[Nakagawa,1999] Nakagawa Masahiro, Chaos and Fractals in Engineering. Editorial: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore. ISBN: 981-02-3833-9 .1999

Fraclab www.irccyn.ec-nantes.fr/hebergement/FracLab/index.html

[Beran, 1994] Beran J. Statistics for long memory processes. New York, Chapman and Hall, 1994.

[Ramirez, 2004] German Andrés Ramírez Gómez., Estudio del Tráfico de Redes de Datos de área local empleando análisis Fractal. Trabajo dirigido de grado, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales. 2004

[Barnsley ,1993] Michael F. Barnsley. Fractals Everywhere. Second edition, Iterated Sistemas, Inc. Atlanta Georgia. 1993.