CAPÍTULO 2: MODELOS DE TRÁFICO

2.1. INTRODUCCIÓN

Existe una tarea íntimamente relacionada con las redes de comunicaciones y su estudio, el modelado del tráfico que las recorre. Independientemente del tipo de red del que se trate, se hace necesario realizar un estudio exhaustivo sobre ellas con el objeto de tener un profundo conocimiento que permita su crecimiento en las mejores condiciones. Con las redes telefónicas se estudió teóricamente y se comprobó empíricamente que las llamadas que llegan a una red son independientes entre sí y se pudo modelar el comportamiento estadístico de varios de sus parámetros, como por ejemplo el tiempo que transcurre entre dos consecutivas, que se puede modelar según una distribución exponencial. Con el paso del tiempo han ido apareciendo nuevas redes con nuevos contenidos y nuevos elementos conectados a ellas, siendo sus más claros exponentes las redes de ordenadores. Esto trajo consigo la necesidad de un nuevo estudio y la creación de nuevos modelos que fueran capaces de representar el modo en el que se iba a generar el tráfico que por ellas circulara.

Se entiende por modelo de tráfico una abstracción matemática más o menos compleja que trata de imitar alguna o varias características estadísticas de un tipo de tráfico real o de un flujo concreto. Existen diversas formas de clasificar los modelos de tráfico. De este modo, podemos decir que no es lo mismo estudiar tráfico generado en un intervalo de minutos que hacerlo a lo largo de varios días, o efectuarlo en un segmento de red *Ethernet* que a largo de una red WAN (*wide area network*).

Otra forma de distinguir los modelos estaría en su autocorrelación. Existe tráfico totalmente incorrelado consigo mismo (conocido como ruido blanco), en el que la generación de paquetes en un instante de tiempo es absolutamente independiente de los instantes anteriores. En segundo lugar, tráfico dependiente a corto plazo, como pueden ser los modelos markovianos, en los que el tráfico en un instante depende exclusivamente del instante anterior, o modelos ARMA (*Auto Regresive Moving Average*), en los que el tráfico en un instante depende de un número finito de instantes anteriores y de muestras de ruido blanco. Por último, está el tráfico dependiente a largo plazo, que presenta

características auto-semejantes en una escala de tiempo mayor y que los modelos anteriores no son capaces de representar. En este último tipo entran nuevas influencias como los usuarios humanos de las redes y sus preferencias. Su estudio ha cobrado una vital importancia en los últimos tiempos, ya que la presencia de este tipo de tráfico puede entrañar graves riesgos para determinadas redes dimensionadas a partir de modelos que no lo contemplaban.

Los valores de los parámetros que caracterizan los modelos que nos ocupan son cambiantes con el tiempo. Valga como ejemplo el incremento en el número de bytes enviados en cada conexión realizada al conectarse a una página *web*. Este aumento se ha debido principalmente a la inclusión de imágenes, sonidos y hasta vídeo en las páginas. Es por tanto muy importante que los modelos se puedan adaptar a este tipo de cambios, con lo que, en lugar de necesitar un modelo nuevo, bastaría con aumentar el tamaño de cada conexión para asumir esta variación. Es muy importante que los parámetros del modelo tengan un significado físico para que puedan responder fielmente a estas variaciones mencionadas.

Si además de lo apuntado, a cada parámetro se le ofrece la posibilidad de ser caracterizado por una determinada distribución de probabilidad, los modelos obtenidos tendrán una gran potencia, robustez y flexibilidad. En los modelos que se describen a continuación, aunque para cada parámetro existan distribuciones que respondan más fielmente a la realidad, se brinda la posibilidad de escoger entre todas las funciones de distribución implementadas.

2.2. MODELO SEMI-MARKOVIANO DE DOS ESTADOS

El modelo de tráfico genérico semi-markoviano de dos estados representa una pareja cliente-servidor con las siguientes características: el cliente se limita a recibir los paquetes que le envía el servidor. Este último, encargado de generar la totalidad del tráfico, lo hará en base a dos posibles estados. En el primero, siempre habrá envío de paquetes durante un tiempo determinado, con un tamaño particular y separados entre sí un tiempo establecido. Este estado, por generar siempre tráfico, es denominado de tipo ON. Por su parte, el segundo estado es de similares características, con la peculiaridad de que se deja en manos del usuario la posibilidad de que se emita o no durante el tiempo de permanencia en él. Así, si se emite tráfico, el estado será de tipo ON y si no se emite, será de tipo OFF.

Este modelo, que puede funcionar tanto sobre protocolo TCP como UDP, es capaz de simular la generación de tráfico de distintas fuentes particulares. Por sus características, engloba a modelos como el *On-Off*, el proceso interrumpido de Poisson, el proceso de Poisson modulado de Markov y hasta algunos que pueden dar origen a tráfico fractal.

El modelo de tráfico genérico semi-markoviano de dos estados queda completamente definido con los siguientes parámetros:

- **Tiempo en estado 1**: Se refiere al tiempo durante el cual se permanece en el primero de los estados. Corresponde siempre a un periodo ON.
- **Tiempo en estado 2**: Se refiere al tiempo durante el cual se permanece en el segundo de los estados. Según el criterio del usuario, corresponderá a un periodo ON o bien a un periodo OFF.
- **Tamaño de paquetes en estado 1**: Indica el tamaño en bytes que tendrán los paquetes a nivel de aplicación que se emitan durante los periodos correspondientes al estado 1.
- **Tamaño de paquetes en estado 2**: Indica el tamaño en bytes que tendrán los paquetes a nivel de aplicación que se emitan durante los periodos correspondientes al estado 2, siempre que se trate de un estado ON.

- **Tiempo entre paquetes en estado 1**: Señala el intervalo temporal que ha de transcurrir entre el envío de dos paquetes consecutivos en los periodos correspondientes al estado 1.
- **Tiempo entre paquetes en estado 2**: Señala el intervalo temporal que ha de transcurrir entre el envío de dos paquetes consecutivos en los periodos correspondientes al estado 2, siempre que se trate de un estado ON.

En todos estos parámetros están disponibles todas las funciones de distribución de probabilidad implementadas.

2.3. MODELO DE CORREO ELECTRÓNICO

El modelo de correo electrónico es conceptualmente más sencillo que el anterior modelo comentado, al intervenir menos factores en su desarrollo. Se trata de un servidor que atiende a todas las peticiones que le vayan llegando por parte de los clientes. De este modo, cada vez que un cliente envía un mensaje de correo, se crea una conexión TCP/IP nueva, que se cerrará nada más finalizar el envío.

Para caracterizar el modelo se ha de indicar la frecuencia con la que se enviarán mensajes y el tamaño de éstos. Hoy en día, los correos electrónicos tienen un tamaño medio mayor que el que tenían en sus orígenes. Esto es así gracias a la extensión MIME (*Multipurpose Internet Mail Extension*), que permite introducir en los mensajes contenidos diferentes al texto (sonido, imagen...) codificados mediante el estándar ASCII; anteriormente, sólo se podía enviar texto en los correos electrónicos. Este cambio es fácilmente absorbido por las características de estos modelos ya mencionadas.

Gracias a la posibilidad de la inclusión de *attach* o archivos adjuntos, se puede modelar la enorme diferencia de tamaño entre los mensajes que porten estos ficheros y aquellos que no los porten, debido a que, por lo general, el tamaño del texto que contiene un correo es mucho menor al de los archivos que a él se adjuntan. Mediante una figura de probabilidad de envío de *attach*, se termina de modelar esta característica. De este modo, cuando se

adjunta un fichero, el tamaño del envío total viene dado por la suma de los tamaños del texto y del archivo que le acompaña.

El modelo de tráfico genérico semi-markoviano de dos estados queda completamente definido con los siguientes parámetros:

- **Tiempo entre correos**: Indica el tiempo que transcurre entre el envío de dos mensajes consecutivos.
- **Tamaño del texto**: Representa la dimensión de la porción del mensaje que corresponderá al texto.
- **Tamaño del *attach***: Representa la dimensión de la porción del mensaje que corresponderá al fichero que acompaña al texto cuando se da esta circunstancia.
- **Probabilidad de *attach***: Define con un número de valor entre 0 y 1 la cantidad de veces con respecto al total que los mensajes contendrán archivos adjuntos.

Si bien el actual modelo representa a una pareja de cliente y servidor, también permite modelar a un grupo de usuarios (tráfico agregado). Para ello, basta con hacer que el parámetro 'tiempo entre correos' represente al grupo en lugar de a uno sólo mediante la elección de la correspondiente distribución de probabilidad y de los valores adecuados.

2.4. MODELO DE TRÁFICO FTP

El modelo de tráfico FTP pretende simular el comportamiento de un servidor y un cliente de la aplicación de transferencia de ficheros (*File Transfer Protocol*). Esta aplicación se emplea cuando únicamente se desea transferir archivos entre un *host* local (cliente) y uno remoto (servidor). En el momento en que el cliente se conecta al servidor se dice que inicia una sesión FTP, que durará hasta el momento en que el cliente se desconecte del servidor (*host* remoto). En el modelo que nos ocupa se supone que cada usuario establece una única conexión con el servidor durante toda la sesión. A lo largo de la sesión FTP el cliente realiza un número determinado de transferencias de ficheros. Estas transferencias pueden circular en ambos sentidos, es decir, pueden ser efectuadas tanto desde el cliente hacia el servidor, como desde el servidor hacia el cliente.

Durante toda la sesión, permanece abierta entre el servidor y el cliente la denominada 'conexión de control', que será una conexión TCP/IP utilizada para intercambiar los comandos del protocolo de transferencia de ficheros necesarios para que las transferencias se lleven a cabo correctamente. Para el envío y la recepción de cada fichero se creará una nueva conexión TCP/IP que durará exactamente el tiempo que tarde en enviarse el archivo en cuestión y se denominará 'conexión de datos'.

En el caso real existen conexiones de datos que transfieren, por ejemplo, el contenido del directorio actual en el que se encuentre la aplicación, aunque esto no sea realmente un fichero. En el modelo implementado no existe distinción entre los contenidos de las conexiones, puesto que esta diferencia no supone variación funcional alguna en términos de circulación de tráfico por la red.

Existen dos niveles estructurales en lo que se refiere al modelo implementado:

- **NIVEL DE SESIÓN**: Abarca todo el tiempo que el cliente permanece conectado al servidor FTP. Se establece entre un único cliente y un único servidor y comprende el conjunto de transferencias que se realiza entre ambos mientras permanecen conectados.
- **NIVEL DE TRANSFERENCIA**: Se refiere al envío de cada uno de los archivos, ya sea el contenido del directorio remoto o un fichero en particular. Las transferencias pueden realizarse tanto en uno como en otro sentido.

A continuación se describen los parámetros de los que consta el modelo separados en los dos niveles contemplados:

NIVEL DE SESIÓN:

- **Tiempo entre inicio de sesiones**: Corresponde al tiempo que transcurre entre la creación de dos sesiones consecutivas. Es posible que existan dos sesiones simultáneamente.
- **Transferencias por sesión**: Indica el número de archivos que se enviarán a lo largo de una sesión FTP entre el cliente y el servidor, independientemente de cuál sea su sentido.

NIVEL DE TRANSFERENCIA:

- **Tiempo entre inicio de transferencias**: Señala la separación temporal que existirá entre el inicio de dos intercambios de archivos consecutivos dentro de una sesión. Pueden solaparse en el tiempo varias transferencias de datos pertenecientes a una sesión.
- **Dimensión de las transferencias**: Corresponde al tamaño que tendrán los archivos que se envíen a través de las conexiones de datos que se produzcan a lo largo de cada sesión.
- **Probabilidad de envío del cliente**: Marca la cantidad en tantos por uno de transferencias de datos que se realizarán desde el cliente hacia el servidor con respecto al total.

Si se desea simular el tráfico correspondiente a un grupo de usuarios en lugar de uno sólo, es decir, generar tráfico agregado, bastaría con considerar que el parámetro 'tiempo entre inicio de sesiones' se refiere al tiempo entre el inicio de dos sesiones FTP consecutivas por parte del grupo de usuarios en general, en lugar de un cliente único en particular.

2.5. MODELO DE TRÁFICO DE VÍDEO

Este modelo se refiere a la transmisión de información de vídeo en tiempo real. Por este motivo, su envío es diferente de cualquiera otro que se haga mediante otros medios que no son inmediatos en el tiempo, ya sea FTP, a través de una página *web*, adjuntado a un mensaje de correo electrónico o de cualquier otro modo.

La señal de vídeo es, en esencia, una serie de fotogramas que se transmiten de forma periódica. Según el tamaño de los fotogramas, se puede hablar de vídeo CBR (*Constant Bit Rate*), en el que todos ocupan lo mismo, o de vídeo VBR (*Variable Bit Rate*), en el que unos fotogramas son mayores que otros. Gracias a la compresión de vídeo en tiempo real [Casilari '00 (b)], es posible el envío de esta señal digital en un ancho de banda mucho

menor que en el vídeo sin comprimir. Este método aprovecha la redundancia que posee este tipo de señales, tanto espacial (*intraframe*) como temporal (*interframe*).

Esta compresión acarrea una cierta pérdida de calidad, lo cual supone el precio que hay que pagar por esta reducción de ancho de banda necesario. De este modo, para el modo CBR, el régimen binario del flujo de vídeo generado será constante y la calidad variable, mientras que en modo VBR, será la calidad la que sea constante mientras el régimen binario variará en función de la necesidad que imponga esa calidad.

Nos encontramos ante uno de los casos más claros que inspiraron el diseño de un protocolo de transporte como UDP (*User Datagram Protocol*). Es preferible que se produzcan ciertas pérdidas en momentos determinados a que lleguen imágenes con retraso. La información que ha de ser enviada es encapsulada en datagramas UDP, que serán posteriormente transformados para su transmisión mediante el protocolo IP (*Internet Protocol*). Al comienzo de la simulación, el cliente y el servidor que la componen, acuerdan el tamaño fijo de los paquetes que se emitirán mientras dure la transmisión.

A partir de la tasa de fotogramas por segundo, se obtiene la duración del denominado *slot* (ranura) temporal, que es el tiempo que transcurre entre el comienzo de la emisión de un fotograma y el comienzo del siguiente. Durante este *slot* deben enviarse todos los paquetes que sean necesarios para completar el fotograma en curso. Existen dos formas de realizar estos envíos. La primera, homogénea, distribuye de forma equidistante en el tiempo todos los paquetes correspondientes al fotograma, mientras que la segunda, denominada 'modo ráfaga', envía todos los paquetes al principio del *slot* y espera sin enviar nada hasta el comienzo del siguiente periodo de tiempo.

A continuación se indican los parámetros que van a caracterizar este modelo de tráfico de vídeo en tiempo real:

- **Tamaño de los fotogramas**: Representa la dimensión de los fotogramas que compondrán el flujo de vídeo que se ha de transmitir.
- **Fotogramas por segundo**: Régimen binario que tendrá la señal a enviar. A partir de este dato se puede obtener la duración del *slot*.

- **Tamaño del paquete**: Corresponde a la dimensión que tendrán los paquetes en que se dividirá cada fotograma antes de proceder a su envío. En el caso en que el tamaño del fotograma no fuera múltiplo de este parámetro, el último de los paquetes sería menor que los demás. Si el tamaño del fotograma fuera menor que el del paquete, se enviaría un único paquete del tamaño del fotograma en todo el *slot*.
- **Modo ráfaga**: Indica la forma en que se distribuirán los paquetes a lo largo del *slot*. Si se hace el envío en modo ráfaga, todos los paquetes se enviarán tan pronto como sea posible al principio del fotograma. Si no se hace en modo ráfaga, los paquetes se distribuirán de forma homogénea a lo largo del intervalo correspondiente.

La mayor complejidad del modelo reside en la generación de los valores del tamaño de los fotogramas. En el modelo implementado, habrá tres formas diferentes de obtener estos valores. La primera es a partir de una distribución de probabilidad (cuando el régimen binario ha de ser constante), la segunda es a partir de un modelo autorregresivo de orden n -AR(n)- y la tercera es a partir de la segmentación del GOP o grupo de imágenes (*Group of Pictures)*, según se describe en la norma MPEG *(Moving Pictures Experts Group)*.

Tal y como se comentó en el comienzo de este capítulo, el modelo autorregresivo (AR), caracteriza las dependencias a corto plazo que aparecen en el vídeo VBR. En este modelo, un ruido blanco gaussiano (AWGN o *Additive White Gaussian Noise*) excita un filtro en el que la salida que se obtiene depende de sus propios valores anteriores. El orden del modelo viene dado por el número de muestras anteriores de la propia señal que se utilizan para obtener la salida en el instante actual. A continuación se presenta la expresión que define un proceso autorregresivo de orden n AR(n):

$$X_{AR}[n] = A_0 + \sum_{i=1}^{n} A_i \cdot X_{AR}[n-i] + B \cdot w[n] \tag{2.1}$$

donde $w[n]$ es un ruido blanco gaussiano aditivo de media nula y varianza unidad. Por su parte, A_i y B son los coeficientes que definen el proceso autorregresivo. Aunque existe la posibilidad de que algunos de los valores generados de este modo sean negativos, hablar de tamaños menores que cero sería absurdo, con lo cual estos valores son truncados a cero.

El algoritmo de compresión de vídeo anteriormente mencionado, MPEG, es empleado por una gran cantidad de personas en la actualidad, por lo que merece la pena ser analizado.

Este estándar define cuatro tipos de fotogramas:

- Tipo I *(intraframe)*: Son los de mayor tamaño. En ellos se tiene en cuenta únicamente la redundancia espacial. Ningún otro fotograma es empleado para su codificación.
- Tipo P (predictivos): Emplean la redundancia temporal para ser codificados mediante el empleo de otros fotogramas I o P.
- Tipo B (bidireccionales): Son los de menor tamaño y se generan a partir de los fotogramas I o P anterior y posterior.
- Tipo D : Similares a los I. No se tienen en cuenta por no ser muy frecuentes.

Estos fotogramas [Casilari '98] quedan agrupados en una estructura denominada GOP, mencionada anteriormente. Esta estructura abarca todos los fotogramas existentes entre dos de tipo I (incluyendo sólo el primero, ya que el segundo pertenece al siguiente GOP). A partir del número de fotogramas tipo P y B se define por completo la estructura de un grupo. Siempre aparece primero uno de tipo I, seguido de un número fijo de tipo B y después secuencias de fotogramas tipo P seguidos del mismo número de tipo B hasta que se alcance el final del GOP. Por ejemplo, una estructura muy utilizada es la compuesta por 12 fotogramas, de los cuales 3 son de tipo P y 8 de tipo B. La secuencia obtenida sería la siguiente: IBBPBBPBBPBB.

Unido al número de fotogramas de cada tipo está el peso que van a tener éstos dentro del grupo. No sirve cualquier combinación de valores, con lo que se definen tres valores que harán de peso de los fotogramas para determinar su tamaño. Estos pesos, h_I, h_P y h_B, deben cumplir una condición que se expone seguidamente:

$$h_I + N_P \cdot h_P + N_B \cdot h_B = 1 \tag{2.2}$$

donde N_P representa el número de fotogramas tipo P y N_B el número de fotogramas tipo B.

Basándose en estas restricciones, el tamaño de cada fotograma se obtiene, en función de su tipo, multiplicando el tamaño del GOP por su peso. De este modo, todos los fotogramas del mismo tipo dentro del mismo GOP serán del mismo tamaño.

2.6. MODELO DE TRÁFICO DE VOZ

El modelo de voz pretende representar el tráfico que se genera cuando dos interlocutores mantienen una conversación y los paquetes correspondientes se envían en tiempo real. En la gran mayoría de las conversaciones, los dos interlocutores no hablan a la misma vez, sino que mientras uno de ellos habla, el otro escucha y viceversa. Es por esto que el modelo que se ha implementado simula una comunicación semi-dúplex, esto es, se transmite información en ambos sentidos de forma alterna, en lugar de simultáneamente.

Dadas las características de tiempo real de la información a transmitir, es necesario el uso del protocolo UDP, ya que, al igual que en el caso del vídeo, se prefiere la pérdida de algunos paquetes, más frecuente en UDP, que la existencia de retrasos, más característica de TCP *(Transmission Control Protocol)*. Los datagramas UDP generados se encapsularán en datagramas IP, que serán enrutados con este protocolo hasta tu destino.

El proceso transcurre de la siguiente forma: durante el tiempo en que uno de los extremos está hablando, va generando paquetes de un determinado tamaño separados un cierto tiempo que irán siendo enviados a través de la red de turno hacia su destino. Este interlocutor dejará de hablar una vez haya transcurrido un tiempo estipulado, llamado tiempo de emisión, momento en el cual comenzará a escuchar al interlocutor situado en el otro extremo, que habrá adoptado el papel que el primero acaba de abandonar. Esto se repite hasta que finaliza el tiempo de simulación.

En este sentido, se puede hablar de un modelo que representa una comunicación prácticamente simétrica, ya que, prescindiendo de la condición de cliente y servidor de uno y otro, ambos realizan idénticas funciones con los mismos comportamientos.

A continuación se describen los parámetros que representan a cada uno de los extremos de la conversación:

- **Tiempo de emisión**: Periodo durante el cual el extremo al que se refiere este parámetro genera y emite paquetes de voz. Se refiere al tiempo durante el cual este extremo habla y el opuesto escucha.
- **Tamaño de los paquetes**: Corresponde a la dimensión de los paquetes a nivel de aplicación que genera el extremo que habla.
- **Tiempo entre paquetes**: Representa la separación temporal que hay entre dos paquetes de voz consecutivos para un extremo de la comunicación.

Al ser simétrica la comunicación entre ambos extremos, éstos están caracterizados por los mismos parámetros. Esto no es óbice para que cada parámetro pueda tener su propio valor en cada uno de los interlocutores, pudiendo estar definidos incluso por distintas distribuciones de probabilidad. La transición entre el estado de habla y el de escucha se hace al vencimiento del tiempo de emisión de cada uno de los extremos. El que deja de hablar para comenzar a escuchar debe notificar al otro que ha de comenzar su periodo de habla y generar sus paquetes de voz. Esto se hace mediante el envío de un paquete de 0 bytes a nivel de aplicación que marcará el cambio de turno. Para indicar el fin de la conversación se enviará en cada sentido un paquete de 1 byte a nivel de aplicación, tras el cual no se enviará ningún paquete más.

2.7. MODELO DE TRÁFICO WWW

El modelo WWW (*World Wide Web*) busca simular el tráfico que genera una pareja cliente-servidor *web*. Para ello es preciso el estudio de la forma en que esta información es producida al navegar un usuario por Internet [Reyes ’99]. Un usuario crea una sesión cuando abre un navegador o *browser*, que se prolongará a lo largo del tiempo hasta que

éste sea cerrado. Durante una sesión, el usuario visita un conjunto de páginas *web*, que son proporcionadas por servidores que se encuentran dispuestos a lo ancho de Internet. Es posible que varias de estas páginas sean visitadas de forma simultánea.

Una página *web* está compuesta por un conjunto de ficheros, que pueden ser de tipo HTML, sonido, imagen, vídeo, etc. Según el protocolo HTTP 1.1 (*HyperText Transfer Protocol*) y alguna implementación mejorada del HTTP 1.0, varios de estos ficheros pueden ser transferidos a través de la misma conexión TCP/IP, lo cual constituye una ventaja respecto al caso en que sólo se podía enviar un fichero por conexión, al ser necesario establecer, mantener y liberar muchas menos conexiones.

Al igual que las páginas, estas conexiones pueden solaparse a lo largo del tiempo y tendrán un determinado tamaño. La información que a través de ellas se transporta es encapsulada en segmentos TCP, que serán divididos en datagramas IP para su posterior envío hacia el destino final, es decir, desde el servidor hacia el cliente.

Este modelo de tráfico WWW está dividido en cuatro niveles de abstracción:

- **Nivel de sesión**: Abarca el tiempo que transcurre desde que el cliente arranca su navegador hasta que lo cierra. Contiene varias páginas que podrán coexistir en el tiempo.
- **Nivel de página**: Representa cada una de las páginas *web* que visita el cliente a lo largo de una sesión. Están constituidas por diversos ficheros, que serán enviados a través de varias conexiones TCP/IP.
- **Nivel de conexión**: Cada una de las conexiones TCP/IP que se utilizarán para transferir varios o todos los archivos que componen una página *web*.
- **Nivel de paquete**: Partes en las que se dividirá la información a transmitir en cada conexión. Queda definido cuando se especifica el tiempo entre paquetes y el tamaño de éstos.

A continuación se describen los parámetros que definen el presente modelo incluidos en sus niveles correspondientes:

NIVEL DE SESIÓN:

- **Tiempo entre inicio de sesiones**: Intervalo temporal que transcurre entre dos aperturas consecutivas del navegador por parte del cliente. Es posible que exista más de una sesión al mismo tiempo.
- **Páginas por sesión**: Representa el número de páginas *web* que visita el usuario a lo largo de una sesión.
- **Tiempo entre inicio de páginas**: Representa el tiempo que transcurre entre la petición de dos páginas consecutivas por parte del cliente. Pueden ser visitadas varias páginas de forma simultánea.
- **Número de conexiones por página**: Representa la cantidad de conexiones TCP/IP que se abrirán para transferir cada una de las páginas.

NIVEL DE CONEXIÓN:

- **Tiempo entre inicio de conexiones**: Intervalo temporal transcurrido entre la creación de dos conexiones TCP/IP consecutivas dentro de la misma página. Estas conexiones pueden solaparse en el tiempo.
- **Tamaño de conexión**: Cantidad de información que contendrá cada conexión que se establezca para transferir una página *web*.

NIVEL DE PAQUETE:

- **Tamaño de los paquetes**: Cantidad de información que contendrá cada uno de los segmentos TCP en que se dividirá el contenido de cada conexión TCP/IP.
- **Tiempo entre paquetes**: Intervalo transcurrido entre el envío de dos paquetes consecutivos pertenecientes a un mismo fragmento de página *web* dentro de una conexión TCP/IP.

Con respecto al nivel de paquete, hay que reseñar que se da la posibilidad al usuario de elegir si desea simularlo o no. En caso afirmativo, se generará el tamaño de los paquetes a enviar y se dividirá el contenido de dicha conexión según ese criterio. En caso negativo, se hará el envío del total de la información de la conexión y serán las capas inferiores de la

red las encargadas de efectuar las divisiones y transmisiones necesarias. Este nivel de paquete tiene como objetivo la simulación de la MTU (*Maximum Transfer Unit*), que es el tamaño máximo de las unidades que se transmiten por determinadas redes en Internet.

Estas redes, que pueden estar en el camino entre el servidor y el cliente, dividirán los paquetes que reciban cuyo tamaño sea mayor que la MTU, que es el mayor tamaño que es capaz de manejar. Es por esto que aparece una gran cantidad de paquetes de determinados tamaños al hacer análisis de muestras de este tipo de tráfico.

En el caso del modelo WWW, además del generado por un único cliente, también es posible simular el tráfico que origina un grupo de clientes o tráfico agregado. A tal efecto, basta con considerar que el parámetro 'tiempo entre sesiones' corresponde al grupo de usuarios en general, refiriéndose al tiempo que transcurre entre dos conexiones consecutivas creadas por cualquiera de los usuarios pertenecientes al grupo. Por este motivo, podría darse el caso en que se crearan dos sesiones de forma prácticamente simultánea.