

# Modelado de tráfico WAP en redes IP

F.J. González Cañete, E. Casilari, F. Sandoval  
Departamento de Tecnología Electrónica. Universidad de Málaga  
Campus Universitario de Teatinos. Complejo Tecnológico. E.T.S.I. de Telecomunicación  
29071 Málaga  
Teléfono: 952 13 13 52 Fax: 952 13 14 47  
E-mail: [equinoxe@dte.uma.es](mailto:equinoxe@dte.uma.es), [ecasilari@uma.es](mailto:ecasilari@uma.es), [sandoval@dte.uma.es](mailto:sandoval@dte.uma.es)

**Abstract.** *In this work the WAP protocol architecture has been studied because the WAP 2.0 architecture is going to be used in the next third generation wireless networks, and it will allow these mobile terminals to access the Internet content, so new models for this kind of traffic are needed. A statistical model study of the TCP connection level and the deck level is done using the traces obtained with a HTTP WAP browser simulator, and these WAP traffic models are compared with the equivalent models of the Web traffic.*

## 1 Introducción

Sin duda alguna, el desarrollo de Internet en los últimos años ha superado con creces las expectativas más optimistas, y este mismo éxito puede ser extrapolable al mundo de las comunicaciones móviles. No hace tanto tiempo en el que prácticamente los únicos usuarios de los teléfonos móviles eran los altos ejecutivos de las empresas que necesitaban estar localizados en cualquier momento y, sin embargo, en el año 2002 se han superado ampliamente los 900 millones de usuarios de teléfonos móviles en todo el mundo, y 29 millones en España [1]. El siguiente paso en la evolución de ambos mundos, Internet y telefonía inalámbrica, es la posibilidad de acceso desde los teléfonos móviles a la Web, hecho que fue consumado con la creación del WAP (*Wireless Application Protocol*).

Si bien es cierto que WAP no ha resultado tener, hasta ahora, todo el auge que esperaban las compañías que pretendían prestar los servicios de acceso, bien es cierto que la tecnología ha ido mejorando de manera que se resolvieran los principales problemas que hacían que los usuarios no se decantaran por usar estos servicios: la velocidad y el elevado coste. Cuando aparecieron los primeros terminales con navegadores WAP, el servicio portador era GSM (el nombre deriva del comité *Groupe Speciale Mobile*) o Sistema Global para Comunicaciones Móviles, que es un servicio orientado a conexión, por lo que la tarificación es por tiempo, y de muy baja velocidad de transferencia, ya que sólo alcanza los 9200 bps. En los últimos años, y a la espera de la tercera generación de móviles que usen UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*), ha aparecido una extensión de GSM para comunicaciones de datos en modo paquete, el GPRS (*General Packet Radio Service*), cuya tarificación es por cantidad de datos transmitidos y cuya tasa de transmisión es mucho más alta que con GSM (hasta 171,2 kb/s).

En definitiva, WAP consiste en una serie de protocolos y arquitecturas que permiten el acceso desde un teléfono inalámbrico a contenidos situados en servidores *Web* de forma independiente al servicio portador.

### 1.1 Arquitectura WAP 1.x

WAP está basado en una arquitectura cliente-servidor [2] en la que se amplía la arquitectura típica de la Web para que se tenga acceso desde una red inalámbrica. En la arquitectura Web, el cliente es un ordenador con un navegador que realiza peticiones HTTP al servidor, que es el encargado de devolver las páginas solicitadas (Fig 1).

La arquitectura WAP 1.x extiende la estructura Web introduciendo un elemento intermedio, el *Proxy WAP*, cuyas funciones más importantes incluyen la de traducción (*Gateway*) entre los protocolos usados en Internet y el medio radio, además de poder ser utilizado como caché de páginas visitadas para que el rendimiento del sistema sea óptimo (Fig. 2).

En este esquema, el cliente es un terminal móvil con capacidad de navegación WAP que hace las peticiones de las páginas a un *Proxy WAP*, que es el encargado de traducirlas a peticiones HTTP, las cuales son enviadas al servidor Web que contiene la página solicitada. El servidor devuelve la página al Proxy y éste la recodifica para ser enviada al cliente de una manera eficiente a través del medio radio.

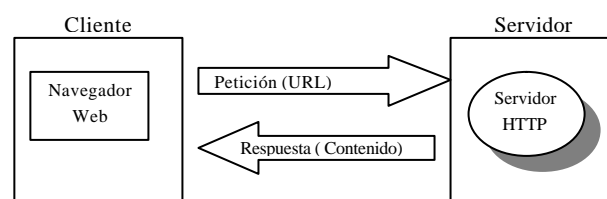


Fig. 1. Arquitectura Web

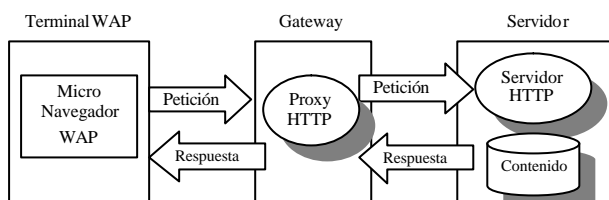


Fig. 2. Arquitectura WAP

La razón de que se hayan desarrollado diferentes protocolos para el medio radio, y por tanto, que sea necesaria la utilización de un *Proxy WAP*, es debido a que es un medio en el que la cantidad de datos a enviar debe ser lo menor posible, ya que el ancho de banda es reducido, y la probabilidad de pérdidas es elevada. La torre de protocolos para la versión WAP 1.x, puede verse en la Fig. 3. En la parte *Web* se distinguen los protocolos clásicos del mismo, como son HTTP, SSL, TCP e IP, aunque se añade una capa más, el WAE (*Wireless Application Environment* – Entorno de aplicación inalámbrica), ya que las páginas WAP que vayan a ubicarse en un servidor tienen que tener un formato específico basado en un lenguaje especialmente desarrollado para WAP, el WML (*Wireless Markup Language*) que es un lenguaje de marcas similar al HTML, y su lenguaje de *script* asociado, el WMLScript. En la parte radio de la arquitectura, y en la zona más alta de la torre de protocolos, nos encontramos también el WAE, ya que el terminal WAP debe incorporar un micronavegador que sea capaz de interpretar los comandos recibidos en WML y WMLScript. Seguidamente nos encontramos el protocolo WSP (*Wireless Session Protocol* – Protocolo Inalámbrico de Sesión) que posee las funcionalidades del HTTP, pero mediante una codificación más compacta. WSP es el encargado del mantenimiento de las sesiones. WTP (*Wireless Transaction Protocol* – Protocolo Inalámbrico de Transacciones) proporciona varias clases de servicio de transacciones, así como seguridad usuario-usuario. Existe una capa orientada a la seguridad, WTLS (*Wireless Transport Layer Security* – Capa de Seguridad de Transporte Inalámbrico) que proporciona integridad y privacidad de los datos, así como servicios de autenticación. En un nivel inferior nos encontramos WDP (*Wireless Datagram Protocol* – Protocolo Inalámbrico de Datagramas), que sirve de capa de transporte y como intermediario entre los protocolos portadores y los de las capas superiores. En la parte más baja de la torre de protocolos nos encontramos los posibles portadores, entre los que se encuentran, además de los mencionados GSM y GPRS, otros como DAMPS, CDMA, PHS, etc., hecho que demuestra que WAP es independiente de la tecnología usada como portadora del servicio.

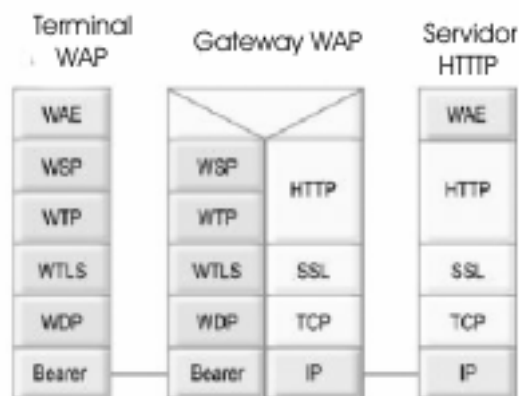


Fig. 3. Torre de protocolos WAP 1.x

Como puede advertirse en la Fig. 3, prácticamente existe una relación uno a uno entre los protocolos de Internet y los del medio radio, de forma que sea relativamente sencillo realizar la traducción entre ambas zonas.

## 1.2 Arquitectura WAP 2.0

En la versión del protocolo WAP 2.0 se extiende la arquitectura de protocolos de forma que se asemeje a la arquitectura *Web* (Fig. 4), pero con ciertas mejoras, como es el hecho de que sea el propio servidor el que pueda iniciar el envío de información sin que el cliente haya realizado ninguna petición (tecnología *Push*). Una posible utilidad de este servicio es que el servidor avise al cliente cuando se den una serie de condiciones, como puede ser una noticia importante o que le ha llegado un correo electrónico.

La arquitectura del WAP 1.x está pensada para optimizar los escasos recursos radio debido al escaso ancho de banda que éste ofrece. Esto sucede con GSM y también con GPRS, aunque la evolución de las tecnologías está consiguiendo que el ancho de banda se esté incrementando notablemente, hasta el punto que con UMTS se puede obtener un ancho de banda de hasta 2 Mbps. UMTS es precisamente el escenario idóneo para aplicar la arquitectura WAP 2.0 y, por lo tanto, conseguir la confluencia hacia IP.

Cuando la tercera generación de móviles sea una realidad, estos terminales tendrán la capacidad de acceder a Internet usando IP directamente, con lo que

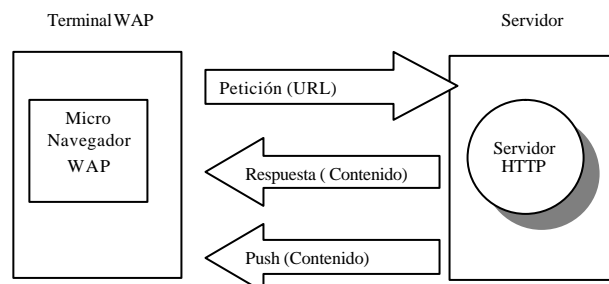


Fig. 4. Arquitectura WAP 2.0

la versión 2.0 del WAP es la ideal para este tipo de escenarios. Se hace necesario por tanto el estudio del tráfico WAP en las redes IP. El presente trabajo pretende estudiar el tráfico WAP sobre esta arquitectura, en la que el terminal móvil es capaz de acceder a los contenidos usando directamente IP.

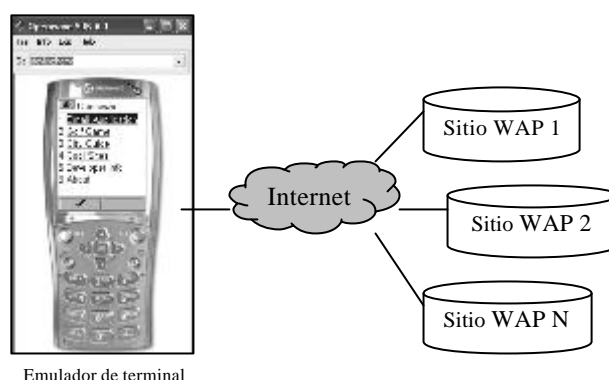
## 2 Banco de pruebas y toma de muestras de tráfico

La arquitectura que se ha implementado para obtener las muestras de tráfico que se han analizado en el presente artículo se muestra en la Fig. 5. Se ha utilizado como emulador de cliente de terminal el OpenWave SDK 6.1 en su versión de HTTP [2]. Este software es capaz de realizar peticiones a servidores WAP y mostrar los contenidos en el emulador de terminal. El ordenador donde fue instalado el emulador se encuentra en una red local Ethernet a 100 Mbps conectada a RedIris a través de la red de la Universidad de Málaga. Para obtener las muestras, primero se hizo una lista con un total de 547 sitios WAP que fueron obtenidos de la página Web [4]. Una vez obtenida la lista de direcciones, se desarrolló un programa que iba obligando al emulador a visitar cada uno de estos sitios de manera consecutiva y automática, a razón de una visita por minuto. Las capturas de tráfico han sido realizadas con Ethereal 0.9.8 [5], y procesadas con una versión del software *tcptrace* [6] modificada en el Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad de Málaga. Este programa permite analizar y extraer estadísticos de las muestras a nivel de conexión.

El punto de captura de las muestras se situó directamente en el ordenador en el que estaba instalado el emulador de terminal WAP. Este punto de captura se asemeja mucho al usado en [7], que realiza las capturas HTTP entre el servidor Web y el Gateway. En el caso particular que nos afecta, se puede considerar que el emulador funcionaría como Gateway y como cliente a la vez, por lo que se está eliminando el medio radio. No se ha modelado el comportamiento del usuario del servicio, por lo que no se ha hecho una navegación dentro de cada sitio visitado, sino que simplemente se ha consultado la página principal del sitio. De este modo se pretende estudiar las características inherentes de los contenidos de las páginas WAP.

## 3 Resultados

Del análisis de las muestras de tráfico, se han obtenido los datos de las 1601 conexiones que han sido realizadas para visitar los 547 sitios WAP. De ellas, el 98.2 % fueron conexiones completas (finalizadas mediante paquetes de FIN), mientras que la traza a partir de la que se han obtenido los datos es



Emulador de terminal

Fig. 5. Arquitectura de las pruebas

correcta para dicho fin. Al mismo tiempo, la baja proporción de las conexiones reseteadas prueba que los servidores WAP no emplean conexiones persistentes.

### 3.1. Estudio a nivel de conexión

El primer estudio que puede realizarse es con respecto a las conexiones TCP establecidas con los servidores WAP. La media del tiempo de conexión obtenida es de 8.7 segundos, con una desviación típica de 15.7 segundos, lo que nos demuestra que la toma de datos es correcta, ya que tanto la media como la desviación típica son bastante inferiores a los sesenta segundos que se han tomado como intervalo entre la visita de un sitio WAP y el siguiente, por lo que se tiene tiempo suficiente para completar las peticiones y éstas no se solapan en el tiempo.

En la Tabla 1 pueden observarse los datos estadísticos obtenidos de los bytes por conexión tanto para el sentido ascendente (*uplink*) de la conexión, es decir, del terminal hacia el servidor, como en el sentido descendente (*downlink*), del servidor hacia el terminal. En la Tabla 2 se muestran los datos de los paquetes por conexión. Si comparamos estos valores con los equivalentes para el tráfico Web, nos encontramos que la cantidad de datos (bytes) a transmitir es menor para el caso de WAP, debido fundamentalmente a que el tamaño de los contenidos es mucho más pequeño, es decir, menos texto e imágenes de menor tamaño [8]. Este hecho puede apreciarse claramente si comparamos los resultados obtenidos en trabajos como [9] en el que se propone, para modelar el tamaño de las conexiones Web, una composición de la distribución de Pareto y Logaritmo-Normal con medias 7.2 y 14.8 KBytes, o en [10] con una distribución *heavy-tailed* de media entre 8 y 10 KBytes, o en [11] en el que se propone una distribución Logaritmo-Normal con media entre 7.7 y 10.7 KBytes. En [12] se hace el mismo estudio pero a nivel de paquete, proponiéndose un modelo log-normal con media 8.3 paquetes. En todos los casos, la media es mayor para el caso Web que para el WAP, cuyas conexiones poseen un tamaño medio de 2 KBytes.

Tabla 1. Bytes por conexión

	Uplink	Downlink	DI/UI
Bytes totales	$\mu = 1584$ $s = 317$ Med = 1539	$\mu = 2159$ $s = 5251$ Med = 811	1.36
Bytes útiles	$\mu = 1534$ $s = 142$ Med = 1539	$\mu = 2154$ $s = 5243$ Med = 811	1.4

( $\mu$ : Media,  $s$ :Desviación típica, Med: Mediana)

Tabla 2. Paquetes por conexión

	Uplink	Downlink	DI/UI
Paquetes totales	$\mu = 7.6$ $s = 4$ Med = 7	$\mu = 6.5$ $s = 5$ Med = 6	0.85
Paquetes de datos	$\mu = 2$ $s = 0.3$ Med = 2	$\mu = 2.2$ $s = 5$ Med = 1	1.1

Estos datos también ponen de manifiesto que el tráfico descendente es mayor al ascendente, así como su variabilidad. Esto es debido a que en el sentido ascendente solo se realizan peticiones de objetos, mientras que en el descendente lo que se manda son los objetos propiamente dichos, cuyos tamaños varían

notablemente, aunque no tanto como en el mundo *Web*. El hecho de que el cociente entre la desviación típica y la media de la cantidad de datos en bytes por conexión sea superior a uno, nos hace pensar un posible comportamiento *heavy-tailed* en el sentido descendente de la comunicación.

Si representamos la función de distribución complementaria del número de bytes no retransmitidos por conexión enviados por el servidor (sentido descendente), se observa que puede aproximarse mediante una función hiperbólica (Fig. 6).

En esta figura se ha representado la distribución de probabilidad complementaria (CDF):

$$G(x) = 1 - F(x) = \text{Prob}(X > x)$$

donde la cola de  $G(x)$  se ha aproximado por una expresión hiperbólica:

$$f_{x \geq 10^3}(x) \approx A \frac{1}{x^a}$$

siendo los parámetros  $A = 3617$  bytes y  $a = 1.28$ , los cuales fueron obtenidos mediante una regresión de mínimos cuadrados en escala logarítmica.

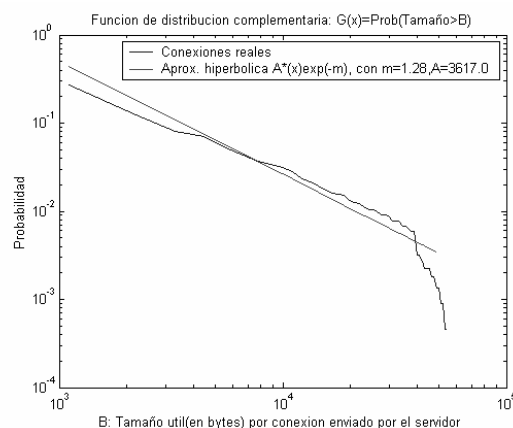


Fig. 6. Distribución del tamaño útil por conexiones enviado por el servidor

Esta figura nos demuestra claramente el comportamiento *heavy-tailed* entre los  $10^3$  bytes y los  $4 \cdot 10^4$  bytes del tráfico que genera un servidor con contenidos WAP, con lo que se sigue el mismo comportamiento que el tráfico *Web* [13] y demuestra que la principal diferencia entre ambos tipos de tráfico es a nivel de escala, esto es, con respecto al tamaño absoluto de los objetos que se transfieren.

Analizando el tráfico ascendente, se observa estudiando su histograma normalizado (Fig. 7) que existe un rango de tamaños característicos en las conexiones que el cliente envía hacia el servidor. Este rango se encuentra entre los 1514 bytes y los 1700 aproximadamente, y se corresponden a los paquetes de petición GET de HTTP que el cliente envía al servidor para solicitar cada uno de los objetos. Sin embargo, en trabajos como [14] donde se hacen las peticiones GET hacia el servidor a través de un *Proxy* WAP, la media de los tamaños de las peticiones GET tienen valores entre los 82.1 bytes y los 112 bytes en función del tipo de modelo de tráfico usado. Este tamaño reducido se debe a que las peticiones deben ser optimizadas para el medio radio. La gráfica muestra claramente que la mayoría del tráfico que se genera en el terminal es debida a las peticiones de objetos hacia el servidor. Cabría esperar, sin embargo, que estas peticiones fueran mucho más pequeñas en tamaño de lo que son realmente. Sin embargo, en la petición GET no solo se envía la URL de la página que se está solicitando, sino que también se mandan otros datos como la lista de tipos MIME (*Multipurpose Internet Mail Extension*) que acepta el cliente, las cabeceras de sesión o la identificación del cliente, lo que hace que el tamaño aumente considerablemente.

### 3.2. Estudio a nivel de *deck*

En la terminología WAP, un *deck* se corresponde con un fichero escrito en el lenguaje de marcas WML y que puede o no contener código WMLScript. Cada *deck* está dividido en uno o más *cards*, que se

corresponden con cada una de las pantallas por las que puede ir navegando el cliente sin tener que realizar la petición de otro *deck* al servidor. Si se busca la analogía con el mundo de Internet, se encuentra que un *deck* se correspondería con un conjunto de páginas *Web* que son cargadas a la vez en la misma petición. Sin embargo, y dado que el elemento máximo que provoca una petición a un servidor WAP es el *deck*, se va a realizar el estudio comparándolo con la máxima cantidad de información que se trata en Internet, que es la página *Web*.

El número total de *decks* WAP visitados en el experimento ha sido de 686, que es ligeramente superior al número de sitios visitados, ya que puede darse el caso de que el *deck* principal del sitio llame a otra URL, con lo que se visitan dos o más *decks* de un mismo sitio. Para identificar los *decks* en las muestras se observaron las conexiones consecutivas a un mismo servidor (caracterizado por su dirección IP), de forma que cada grupo de conexiones consecutivas iniciadas en un intervalo menor de 60 segundos a una misma dirección IP fueron identificadas como un *deck*.

En la tabla 3 se observan los datos estadísticos obtenidos al estimar el tamaño en bytes de los *decks*, el número de conexiones TCP con el servidor que realiza cada *deck* y el tiempo entre conexiones consecutivas dentro de un mismo *deck*. Debido a que los terminales WAP poseen un escaso espacio de representación de la información y, además, el ancho de banda del medio radio para el que fue inicialmente diseñado es escaso, el protocolo WAP fue desarrollado de forma que se envíen pequeñas cantidades de información hacia el terminal.

Como se puede observar, el tamaño medio de un *deck* es bastante más pequeño que el equivalente estudiado para tamaños de páginas *Web*, que oscila entre los 9 KBytes obtenidos en trabajos como [15] y los 54 KBytes de [16]. En la tabla 4 se ha representado la distribución porcentual del tamaño de los *decks* pudiéndose observar que el 75 % de los *decks* son de menos de 3000 bytes. Este hecho también afecta al número de conexiones que se realizan dentro de un *deck*, ya que la cantidad de objetos que es necesario obtener del servidor es pequeño debido a que poseen pocas o ninguna imagen y además, la cantidad de texto es escaso. Por el contrario, en la literatura se han obtenido medias de conexiones por página *Web* que oscilan entre los 1.9 modelados con una distribución Gamma de [12] y las obtenidas en [17] modeladas también con una distribución Gamma de media 5.5, con lo que se observa un mayor número de

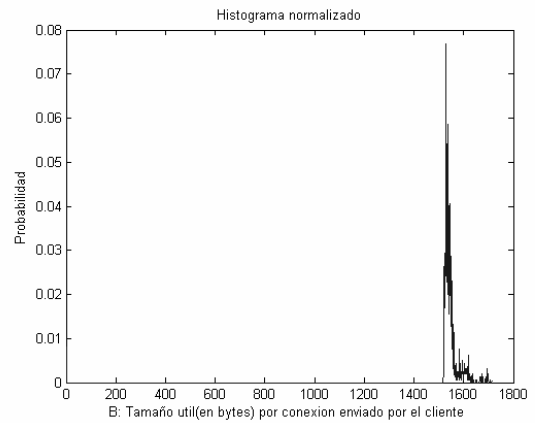


Fig. 7. Histograma del tamaño útil por conexión enviado por el cliente

conexiones por página en la *Web* que en el WAP. También la variabilidad del tamaño de las conexiones es mayor en la *Web*, donde se observan desviaciones típicas que oscilan entre los 6.6 y los 12.74 obtenidos en [18], bastante mayores que los 2.8 del número de conexiones por *deck* del WAP.

De las muestras obtenidas se ha intentado aproximar la distribución de probabilidad del número de conexiones por página con una distribución de Poisson ( $\lambda=1.33$ ), una distribución geométrica ( $p=0.571$ ) y una distribución binomial negativa ( $R=0.2578$ ,  $P=0.1619$ ), que pueden verse en la Fig. 6. La mejor aproximación se ha obtenido con la distribución geométrica.

En la Tabla 5 puede verse que los *decks* que realizan entre una y tres conexiones al servidor WAP constituyen el 88 % del total con lo que queda evidenciada la pequeña cantidad de conexiones que realiza WAP en comparación con la *Web* a nivel de página.

El tiempo entre conexiones dentro de un *deck* se espera que sea del mismo orden que entre páginas *Web*, hecho que se constata si comparamos los datos obtenidos en el presente experimento y los de [18], donde se analizaron siete muestras diferentes con unas medias de tiempo entre conexiones de la misma página que oscilan entre los 2.29 y 2.99 segundos, según la muestra analizada, y con desviaciones típicas de entre los 4.48 y los 5.63 segundos, pero con medianas de entre 0.3 y 0.66 segundos.

Tabla 3. Estadísticas de los *deck* (downlink)

	$\mu$	s	Mediana
Tamaño <i>deck</i> (bytes)	5028	13686	1772
Conexiones/ <i>deck</i>	2.3	2.8	2
Tiempo entre conexiones de un mismo <i>deck</i> (seg)	1.82	3.4	0.96

Tabla 4. Distribución del tamaño (bytes) de los *decks*

	Porcentaje
< 1000 bytes	24.19 %
1000 – 2000 bytes	31.63 %
2000 – 3000 bytes	21.42 %
3000 – 4000 bytes	8.45 %
4000 – 5000 bytes	2.76 %
5000 – 6000 bytes	0.43 %
> 6000 bytes	11 %

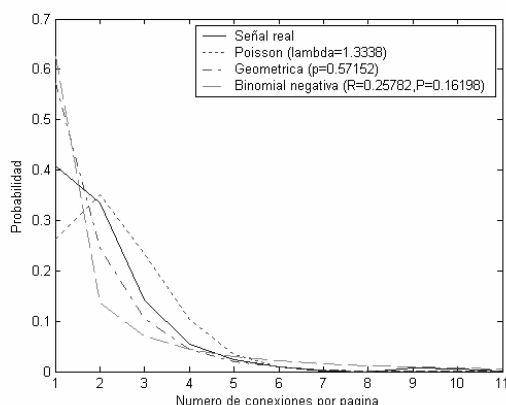


Fig. 6. Aproximación distribución del número de conexiones por página

Tabla 5. Distribución del número de conexiones por *deck*

	Porcentaje
1 conexión	40.8 %
2 conexiones	33.3 %
3 conexiones	14.2 %
4 conexiones	5.4 %
Más de 4 conexiones	6.1 %

## 4 Conclusiones

En el presente artículo se ha comentado la arquitectura del protocolo WAP en sus versiones 1.x y 2.0. Con la versión 2.0 del protocolo y, previendo su aplicabilidad en redes inalámbricas de tercera generación, se ha realizado un experimento enfocado a obtener datos estadísticos y modelos del tráfico generado entre el terminal con capacidades WAP y el servidor de contenidos.

Del estudio de las muestras a nivel de conexión TCP se concluye que la cantidad de datos que se envían en el sentido descendente de la comunicación es mayor que en el sentido ascendente, ya que en el sentido ascendente únicamente se hacen peticiones de objetos

y la respuesta del servidor es devolver el objeto solicitado. No obstante, esta asimetría es mucho menor que en la *Web* por la simplicidad de los contenidos WAP. Por esta misma razón, la variabilidad del tráfico en el sentido descendente también es mayor, en tanto que los objetos a devolver son de un tamaño muy variable. También se han comparado estos resultados con los obtenidos en la *Web*, con lo que se ha demostrado que el tráfico WAP es menor y de menor variabilidad que el *Web*.

Se ha modelado el tamaño útil de las conexiones enviadas por el servidor y se ha comprobado que posee un comportamiento *heavy-tailed* entre los  $10^3$  bytes y los  $4 \cdot 10^4$  bytes, con lo que se sigue el mismo comportamiento ya registrado en el tráfico *Web*. También se ha constatado que el tamaño útil por conexión enviado por el cliente está en un rango de valores entre 1514 y 1700 bytes, correspondientes fundamentalmente a las peticiones GET de HTTP que realiza el cliente.

De los datos estadísticos de los *decks* WAP, se concluye que los tamaños de los mismos son más pequeños que el tamaño de las páginas *Web* debido al menor número de objetos que tiene un *deck* y a la reducida cantidad de información que posee. Es más, el 75 % de los *decks* estudiados tenían un tamaño inferior a 3 Kbytes. También se demuestra que, debido al menor número de objetos que posee un *deck*, la cantidad de conexiones que se tienen que realizar para obtenerlos es también mucho más pequeña que en el *Web*. La distribución del número de conexiones por *deck* ha intentado ser aproximada mediante varias distribuciones de probabilidad, obteniéndose el mejor ajuste con una distribución Geométrica. Por último, se ha demostrado que los tiempos entre conexiones de un mismo *deck* sigue el mismo comportamiento que en el *Web*.

Como líneas futuras a este trabajo se podrían sugerir el modelado del comportamiento de cliente, así como realizar una navegación dentro de cada sitio WAP, de esta forma se obtendrían estadísticas más reales del tráfico WAP. Otra posible línea de investigación a seguir sería modelar el medio radio para la arquitectura WAP 1.x.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado en parte por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCYT), Proyecto N° TEL 99-0755.

## Referencias

- [1] J. M. Huidobro Moya, Comunicaciones Móviles, Thomson Paraninfo 2002.
- [2] OpenWave Systems Inc:  
<http://www.openwave.com/>
- [3] Open Mobile Alliance:  
<http://www.wapforum.com>
- [4] Directorio WAP:  
<http://www.pyweb.com/es/sites>
- [5] Tcptrace, analisis software available at:  
<http://irg.cs.ohiou.edu/software/tcptrace/tcptrace.html>
- [6] The Ethereal Network Analyzer:  
<http://www.ethereal.com>
- [7] Irene C. Y. Ma, James Irvine. "Characteristics of WAP traffic". Proceedings on the European Wireless 2002: next generation wireless networks. Florencia (Italia) , Febrero 2002.
- [8] S. Buchholz, S. Jaensch, S. Alexander. "Flexible Web traffic modeling for new application domains". Proceedings of the IASTED International Conference on Applied Modeling and Simulation (AMS 2002). Cambridge (USA), Noviembre 2002.
- [9] P. Barford, M. Covella. "Generating representative web workloads for network and server performance evaluation". Technical report BU-CS-97-006, Computer Science Department, Boston University, 1997.
- [10] B.A. Math. "En empirical model of HTTP network traffic". Proceedings of the IEEE INFOCOM'97, vol 2, Kobe (Japón), pp. 592-600, Abril 1997.
- [11] A. Reyes Lecuona, E. González, E. Casilari, J.C. Casasola, A. Díaz-Estrella. "A page oriented WWW traffic model for wireless systems simulations". Proceedings of International Teletraffic Congress (ITC-16), Vol 3.b, pp. 817-826, Edimburgo (UK), Junio 1999.
- [12] S. Khaunte, J.O. Limb. "Statistical characterization of a WWW browsing session". Technical report GIT-CC-97-17, Georgia Tech. College of Computing, Junio 1997.
- [13] M. E. Crovella, A. Bestavros. "Self-Similarity in World Wide Web. Evidence and possible causes", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 5, N°. 6, pp. 835-846, Diciembre 1997.
- [14] P. Stuckmann, H. Finck, T. Bahls. "A WAP traffic model and its appliance for the performance analysis of WAP over GPRS", Proceedings of the IEEE International Conference on the Third Generation Wireless and Beyond (3GWireless'01), San Francisco (USA), Junio 2001.
- [15] B. A. Math. "An empirical model of HTTP network traffic", IEEE INFOCOM'97, Kobe (Japón), pp. 592-600, Abril 1997.
- [16] N. Vicari. "Measurement and modeling of WWW-sessions", Tech. Rep. 184, Institute of Computer Science. University of Würzburg, 1997.
- [17] H. Choi, J. Limb, "A behavioral model of web traffic", International Conference of Networking Protocol'99 (ICNP 99), Septiembre 1999.
- [18] A. Reyes Lecuona, Modelado de Tráfico de Clientes WWW, Tesis doctoral, Universidad de Málaga, Julio 2001.