

# Comportamiento de los usuarios WLAN en el campus UPC de Barcelona

Enrica Zola, Francisco Barcelo-Arroyo, María López-Ramírez

Departamento ENTEL,

Universitat Politècnica de Catalunya

C. Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona

[enrica@entel.upc.edu](mailto:enrica@entel.upc.edu), [barcelo@entel.upc.edu](mailto:barcelo@entel.upc.edu), [maria.lopez@entel.upc.edu](mailto:maria.lopez@entel.upc.edu)

**Resumen-** A través del proyecto Education Roaming (eduroam), muchas universidades europeas permiten que sus usuarios puedan desplazarse entre ellas, disponiendo en todo momento de los servicios móviles igual que estuviesen en su propia universidad. La Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) participa en este proyecto. Analizando los syslog de los puntos de acceso de la biblioteca principal del Campus Nord, se ha estudiado la actividad de los usuarios en la red WLAN de la UPC durante una semana y se ha extraído información sobre el comportamiento de los usuarios. A pesar de la difusión de dispositivos portátiles ligeros que facilitan su uso entre la gente joven mientras se va desplazando, en general los usuarios no se mueven mucho. No obstante la buena cobertura proporcionada por la infraestructura de red, los usuarios sufren muchos problemas de conectividad. Los resultados de nuestro trabajo pueden resultar útiles para mejorar la calidad de la red inalámbrica y para diseñar nuevas aplicaciones que se adapten a los hábitos de los usuarios.

**Palabras Clave-** IEEE802.11, handover, medidas, tiempo de permanencia, WLAN.

## I. INTRODUCCIÓN

Desde finales de la década pasada, las comunicaciones inalámbricas se han difundido en muchos campos de la vida cotidiana y se han convertido en una tecnología de la que se dispone comúnmente en muchos entornos, tanto que la gente está acostumbrada a poderse mover mientras continúa comunicándose. A partir del año 2000, los usuarios se han mostrado cada vez más atraídos por la flexibilidad de esta tecnología, así que se ha registrado un incremento en el despliegue de redes inalámbricas en diferentes entornos. Las universidades han sido pioneras en ofrecer servicios WLAN en sus campus; un ejemplo es la Wireless Andrew en el campus universitario Carnegie Mellon [1], una red WLAN de banda ancha desarrollada en 1993. Actualmente, casi todas las universidades ofrecen conexión inalámbrica a sus estudiantes y trabajadores. Para estimular la movilidad de los investigadores y estudiantes europeos, en el 2003 se ha impulsado el proyecto eduroam (Education Roaming) [2] a través del cual se pretende ofrecer conexión inalámbrica en diferentes instituciones europeas; de esta manera, los trabajadores de empresas que participan en el proyecto pueden acceder a Internet a través de la WLAN de otra institución como si estuvieran en su propia empresa.

La popularidad creciente de las redes inalámbricas incentiva los investigadores a estudiar estos nuevos escenarios. Muchos trabajos han profundizado en el comportamiento de los usuarios y, especialmente, en las características del tráfico en entornos WLAN reales, como

por ejemplo en los campus universitarios [4, 5, 6, 7, 8], en las empresas [9], durante una conferencia [10], o en entornos industriales [11]. En uno de las primeras publicaciones sobre este tema [6], Tang y Baker monitorizaron durante 12 semanas la red del departamento de Computer Science de la universidad de Stanford. Pese a que el estudio se base principalmente en el análisis del tráfico de la red, los autores presentan también unos primeros resultados sobre traspasos entre celdas (*handover*, HO): el número máximo de traspasos observados en un periodo de 5 minutos en un punto de acceso (AP) varía entre 2 y 10, según el AP; el AP de la biblioteca, por ejemplo, registra un máximo de 5 HO en un periodo de 5 minutos, y de 8 en 15 minutos.

Henderson, Kotz y Abyzov realizaron un análisis exhaustivo durante 17 semanas del cuatrimestre de otoño de 2003 en el Dartmouth College [5]. Entre los resultados de movilidad descubrieron que, con respecto al mismo análisis realizado en 2001 [4], los usuarios siguen sin moverse demasiado y tienden a quedarse en su *home location* por la mayoría del tiempo. Por *home location* ellos entienden el AP al que un usuario está asociado durante más de la mitad del tiempo total de permanencia en la red.

Un estudio parecido [9] se realizó en la WLAN de una empresa compuesta por tres edificios, monitorizando el tráfico entre el 20 de julio y el 17 de agosto de 2002. También aquí resultó que un gran porcentaje de usuarios no se movían mucho de su *home location*. Aquí el *home location* es el edificio con el AP más frecuentado, así que la movilidad se entiende entre edificios y no entre AP. Además, ya que usan el protocolo SNMP para obtener los datos, los resultados de movilidad pueden estar afectados por el tiempo de interrogación (*poll time* de 5 minutos). En nuestro trabajo no hemos utilizado el protocolo SNMP así que no tenemos el inconveniente de perder los movimientos entre periodos de *poll*.

Un estudio interesante sobre el traspaso entre celdas en un entorno real [7] se basa en los datos recogidos en 1997 de la Wireless Andrew del Carnegie Mellon. El estudio está basado en 9105 muestras de tiempos de permanencia, de los cuales el 54% es inferior a 3 segundos y el 93% es inferior a 5 minutos. Sin embargo, el valor medio es de 50 minutos. En nuestro estudio se han encontrado resultados parecidos, pero se intentará tomar un punto de vista distinto para dar una interpretación del porqué el valor medio y la mediana del tiempo de permanencia son tan diferentes. Además, en el análisis del tiempo entre nuevas llegadas [7] (es decir,

nuevos usuarios) no se entiende bien si los autores han tenido en consideración los ciclos diarios.

En este artículo se presentan los resultados obtenidos a partir de la información de asociación recogida durante una semana en la biblioteca del campus Nord de la UPC en Barcelona. A diferencia de otros trabajos previos, nos concentramos en los resultados de movilidad de los usuarios de la biblioteca. El objetivo es caracterizar mejor el tiempo de permanencia en una celda (el tiempo entre HO) e identificar comportamientos diferentes entre usuarios. Ya que se usa la herramienta syslog para obtener la información desde los AP, no perdemos información como en otros trabajos [9].

El resto del documento se organiza de la siguiente manera. En la Sección II se describe cómo se han recogido los datos. La Sección III da mayores detalles sobre el comportamiento de los usuarios. Los resultados del tiempo de permanencia en una celda se recogen en la Sección IV. La Sección V concluye el trabajo.

## II. RECOGIDA DE DATOS

El estudio se ha realizado en la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC): ésta se compone de numerosos campus en Barcelona y en sus alrededores. Para facilitar la movilidad de investigadores y estudiantes europeos, la UPC participa en el proyecto eduroam [2] que proporciona conectividad inalámbrica tanto a sus usuarios como a los de otras instituciones que participan en el proyecto. Con esta iniciativa, algunas organizaciones permiten que sus usuarios puedan desplazarse entre ellas, disponiendo en todo momento de los servicios móviles que pudieran necesitar. El objetivo es garantizar a los usuarios que lleguen a otra organización de disponer, de la manera más transparente posible, de un entorno de trabajo virtual con conexión a Internet, acceso a servicios y recursos de su organización origen, así como acceso a servicios y recursos de la organización que en ese momento les acoge. Los únicos requerimientos son usar un dispositivo con acceso Wi-Fi compatible con la tecnología IEEE 802.11b o 802.11g, y disponer de las credenciales de acceso otorgadas por la universidad de origen.

En este trabajo se ha analizado el tráfico WLAN IEEE802.11 de la biblioteca ubicada en el Campus Nord de Barcelona. El edificio de la biblioteca tiene 4 plantas y, en cada planta, hay dos puntos de acceso (AP). Esta infraestructura proporciona una buena cobertura a todo el edificio: como ejemplo, véase la Figura 1 en la que se muestra el mapa de cobertura del primer piso de la biblioteca y la ubicación de los dos AP (AP 101 y AP 102). La entrada a la biblioteca está ubicada en la planta baja, donde hay un servicio de préstamo de libros y ordenadores portátiles. El primer y segundo piso albergan la colección de la biblioteca, repartida por temas; los estudiantes pueden quedarse en estos dos pisos para estudiar, consultar los libros y navegar por Internet. En el tercer piso se puede encontrar bibliografía más específica para estudiantes de doctorado e investigadores.

Los usuarios de la biblioteca no han sido avisados del estudio que se iba a realizar. La única información sensible con la que hemos tratado fueron la dirección MAC y la dirección IP de los equipos, así como los nombres asignados

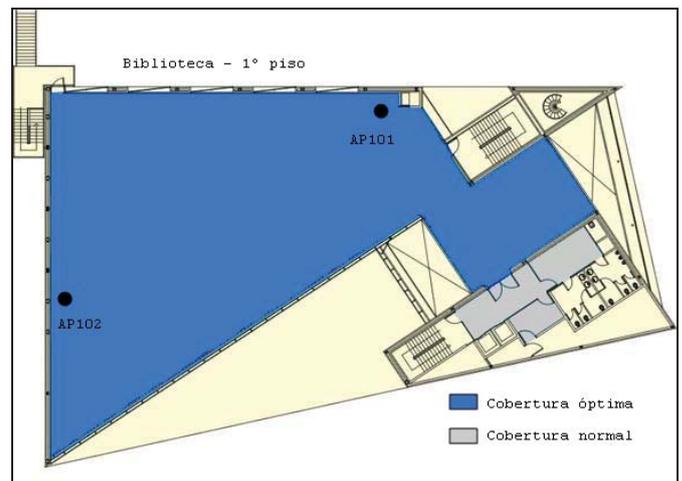


Fig. 1. Plano de cobertura del primer piso de la biblioteca y posición de los dos AP.

a los AP. Para mantener la privacidad, las trazas fueron anonimizadas antes de trabajar con ellas.

### A. Syslog

La información de asociación necesaria para este análisis se ha obtenido con syslog, un estándar que permite reenviar los mensajes en una red IP. Syslog es un protocolo cliente/servidor en donde el cliente envía pequeños mensajes de texto al servidor a través de UDP o de una conexión TCP. Se han configurado los AP de la WLAN de la UPC para que envíen mensajes syslog a un servidor central cada vez que un dispositivo WLAN se autentica o deautentica, se asocia o desasocia, o hace un traspaso. Cada uno de estos mensajes contiene el nombre del AP, la dirección MAC del dispositivo, el instante en el que el AP ha recibido el mensaje (con una precisión de un segundo), y el tipo de mensaje. Una vez que se han anonimizado los mensajes, se pueden procesar los mensajes de asociación y desasociación.

Un usuario WLAN que quiera conectarse a la infraestructura, escanea el medio en búsqueda de un AP al que asociarse y escoge el mejor en términos de potencia de señal recibida: antes de asociarse, el usuario debe autenticarse con dicho AP. Una vez asociado, puede intercambiar información dentro de la red a través del AP hasta que se desasocie de él. La desasociación puede ser debida a un traspaso a otra celda cubierta por otro AP, a problemas de autenticación (en este caso, el mensaje de desasociación tiene como motivo *Previous Authentication no longer valid*) o porque el usuario ha abandonado la red.

### B. Configuración

El objetivo de este estudio es analizar el tiempo de permanencia en una celda en un entorno real: para eso, se han considerado las tramas de asociación y desasociación. Con la fórmula siguiente se puede calcular el tiempo de permanencia en una celda para cada usuario (es decir, el tiempo que un usuario está asociado a un AP):

$$cell\ residence\ time = TS_{des} - TS_{as}, \quad (1)$$

donde  $TS_{as}$  es el *timestamp* de la asociación de un usuario a un determinado AP (es decir, el instante en el que el AP recibe la petición de asociación del usuario) y  $TS_{dis}$  es el *timestamp* de la desasociación del mismo usuario de aquel

AP (es decir, el instante en el que el AP recibe la trama de desasociación enviada por el usuario). Si un AP recibe dos o más peticiones de asociación del mismo usuario, se ha tenido en cuenta la última ya que puede darse que el mensaje de confirmación de asociación enviado por el AP se haya perdido y el usuario haya enviado otra vez su petición de asociación a dicho AP.

Este estudio se basa en la información de asociación recibida por los AP de la biblioteca durante una semana, desde el lunes 2 de junio hasta el viernes 6 de junio de 2008. Esta semana precedió los exámenes finales, con lo que la actividad registrada es suficientemente alta como para obtener resultados estadísticos consistentes.

### III. COMPORTAMIENTO DE USUARIOS

Un total de 1085 direcciones MAC diferentes se han asociado a algún AP de la biblioteca durante el periodo analizado. El número de usuarios podría ser incluso mayor, ya que la biblioteca ofrece en préstamo ordenadores portátiles a los estudiantes, con lo que usuarios diferentes pueden haber usado el mismo portátil (es decir, la misma dirección MAC). Por simplicidad, en el resto del documento nos referimos a usuario en lugar de hablar de dirección MAC.

La Fig. 2 representa la distribución por hora del número de primeras asociaciones de cada día a cualquier AP de la biblioteca (es decir, el primer instante de cada día en el que un nuevo usuario entra en la biblioteca y se conecta a la WLAN). La biblioteca está abierta de 8.30 de la mañana hasta las 2.30 de la noche; efectivamente no hay asociaciones fuera de este período. Cuando la biblioteca abre, hay un primer pico en el histograma; durante el resto del día, nuevos usuarios continuamente acceden a la biblioteca, aunque el número vaya disminuyendo. Hay nuevos usuarios también después de las 8 de la noche y hasta la medianoche, así que podemos decir que hay actividad en la biblioteca también fuera del horario laboral: sin embargo el patrón nocturno varía durante la semana, así que se ha preferido limitar el análisis al patrón de jornada laboral (es decir, de 10 a.m. hasta 5 p.m.) para trabajar con datos homogéneos. Lunes es el día con más usuarios nuevos, mientras que el miércoles es el que menos.

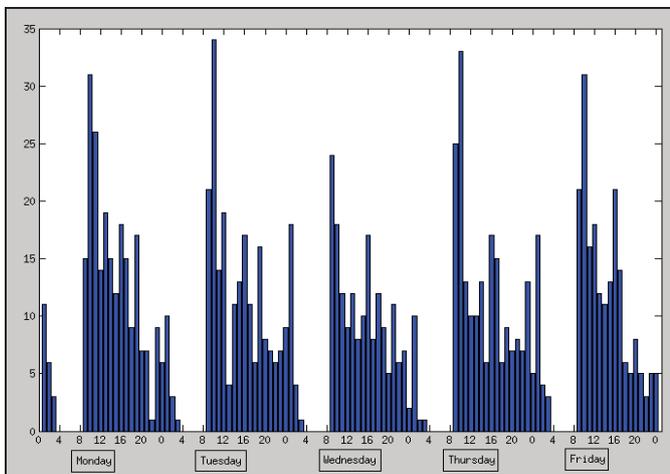


Fig. 2. Número de primeras asociaciones por día y hora.

En la Tabla 1 se muestra el número de nuevos usuarios que se asocian a algún AP entre lunes y viernes: el mismo usuario se puede asociar más de una vez a un AP durante el día, pero aquí se tiene en cuenta sólo la primera vez (es decir, la primera asociación que se registra a aquel AP por día). En la segunda columna se muestra el valor sobre el período entero (de lunes a viernes, de 0 a 24h), mientras que la tercera columna contempla el patrón de día laboral (de lunes a viernes, de 8 a 17h). La última línea de la tabla indica el número de nuevos usuarios que se asocian a cualquier AP de la biblioteca: aquí un usuario que se mueva y se vaya asociando a más de un AP sólo se cuenta una vez, por lo tanto no es la suma de las otras celdas de la tabla. Se puede observar que la proporción de usuarios que aparecen durante el patrón de día laboral con respecto a los que aparecen durante todo el período es siempre alrededor del 50%, excepto por los AP del segundo piso (AP 201 y AP 202) que registran un 33%. El 60% de las primeras asociaciones se registran en los AP del primero y segundo piso (AP 101, 102, 201, 202): esto puede ser debido a que en estas plantas los estudiantes disponen de mesas y del acceso a Internet. Los AP 102 y 202 han sido escogidos para el análisis del tiempo de permanencia ya que son los puntos de acceso más cargados durante la jornada laboral.

Para caracterizar ulteriormente la población de la biblioteca, se ha analizado la frecuencia con la que los usuarios acceden a la WLAN: en la Tabla 2 se presentan los porcentajes de usuarios que acceden uno o más días. Más de la mitad de los usuarios acceden sólo un día en toda la semana, así que nuestra población está compuesta por una gran cantidad de usuarios no-frecuentes. Este porcentaje disminuye a medida que aumentamos el número de días: sólo un 5,34% accede cada día. Si además se tiene en cuenta que la biblioteca presta ordenadores portátiles, posiblemente

| Número de usuarios entre:<br>AP: | 0-24h       | 10-17h     |
|----------------------------------|-------------|------------|
| 001                              | 316         | 160        |
| 002                              | 89          | 57         |
| 101                              | 300         | 151        |
| 102                              | 431         | 230        |
| 201                              | 411         | 136        |
| 202                              | 476         | 164        |
| 301                              | 211         | 108        |
| 302                              | 187         | 111        |
| <b>Toda la biblioteca</b>        | <b>1085</b> | <b>473</b> |

Tabla 1. Número de usuarios por AP de lunes a viernes.

| Número de días | Número de usuarios | %     |
|----------------|--------------------|-------|
| 1              | 355                | 57,44 |
| 2              | 136                | 22,01 |
| 3              | 62                 | 10,03 |
| 4              | 32                 | 5,18  |
| 5              | 33                 | 5,34  |

Tabla 2. Porcentaje de usuarios que acceden uno o más días en la biblioteca.

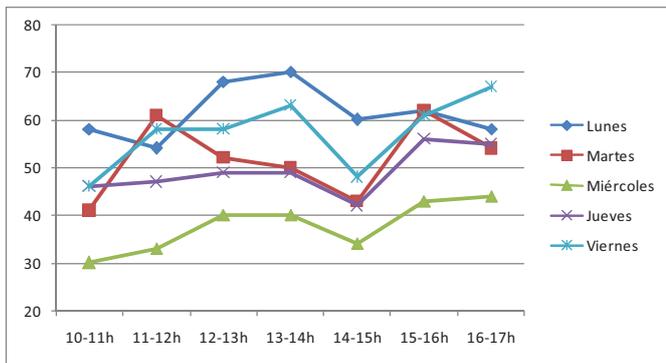


Fig. 3. Número de usuarios conectados en horario laboral a cualquier AP de la biblioteca por día y hora.

estemos contando como usuarios frecuentes los usuarios de algunos portátiles de la biblioteca. Ya que un usuario que aparece más de un día es contado sólo una vez, la suma de los valores de la Tabla 2 no coincide con el número de usuarios totales (es decir, 1085) en la biblioteca presentado en la Tabla 1.

El número de usuarios conectados a cualquier AP de la biblioteca por día y hora está representado en la Fig. 3. Lunes es el día con más usuarios, mientras que el miércoles el que menos, así que las figuras mostradas en la Fig. 2 para las primeras asociaciones se mantienen con el total de asociaciones. Cada día, excepto el martes, el número de usuarios conectados crece entre 11 y 13 horas y disminuye a la hora de comer (entre 14 y 15 horas). Todos los días menos el lunes, el número de usuarios asociados crece por la tarde. El número elevado de usuarios poco frecuentes no influye en el patrón de jornada laboral de las nuevas llegadas presentadas en la Fig. 2, tal como se observa también en [9]. Por otro lado, el comportamiento de los usuarios en términos de permanencia en la biblioteca cambia durante la semana y tiene un impacto sobre los resultados de la Fig. 3.

#### IV. TIEMPO DE PERMANENCIA EN UNA CELDA

Para usar datos homogéneos, se han analizado las trazas de cada AP durante la jornada laboral (de lunes a viernes entre 10 a.m. y 5 p.m.). Las tramas MAC IEEE802.11 de asociación y desasociación de cada AP han sido analizadas y los AP 102 y 202 han sido elegidos como más representativos (alta y constante carga durante la jornada laboral). A partir de cada conjunto de datos, hemos obtenido un total de 1036 y 929 tiempos de permanencia, respectivamente.

La Tabla 3 muestra las estadísticas del tiempo de permanencia total en una celda: el valor medio para el AP 102 es de 416 segundos (cerca de 7 minutos) y la desviación estándar es de 1246 segundos (cerca de 21 minutos), con un coeficiente de variación elevado (CV próximo a 3). Para el AP 202 la media es más baja (295 segundos, cerca de 5 minutos) y el CV es superior (3,38). A pesar de que el valor medio sea alto, el percentil 50 es muy bajo (alrededor de 1 minuto por cada AP), reflejando un alto porcentaje de tiempos de permanencia en la celda muy cortos.

Debido al solapamiento en cobertura entre celdas vecinas, es frecuente que un usuario se encuentre en la situación representada en la Fig. 4: un dispositivo que se encuentre en el primer piso está asociado, por ejemplo, al

|                           | AP102 |               |       | AP202 |             |       |
|---------------------------|-------|---------------|-------|-------|-------------|-------|
|                           | Total | No HO         | HO    | Total | No HO       | HO    |
| <b>Media</b>              | 416   | 1480          | 273   | 295   | 631         | 259   |
| <b>Mediana</b>            | 86    | 218           | 76    | 66    | 136         | 61    |
| <b>Máximo</b>             | 14339 | 14339         | 10389 | 15558 | 15558       | 11976 |
| <b>Desv. estándar</b>     | 1246  | 2668          | 798   | 995   | 1736        | 875   |
| <b>CV</b>                 | 2,99  | 1,80          | 2,93  | 3,38  | 2,75        | 3,38  |
| <b>Número de muestras</b> | 1036  | 123<br>11,87% | 913   | 929   | 89<br>9,58% | 840   |

Tabla 3. Estadísticas del tiempo de permanencia para el AP 102 y el AP 202.

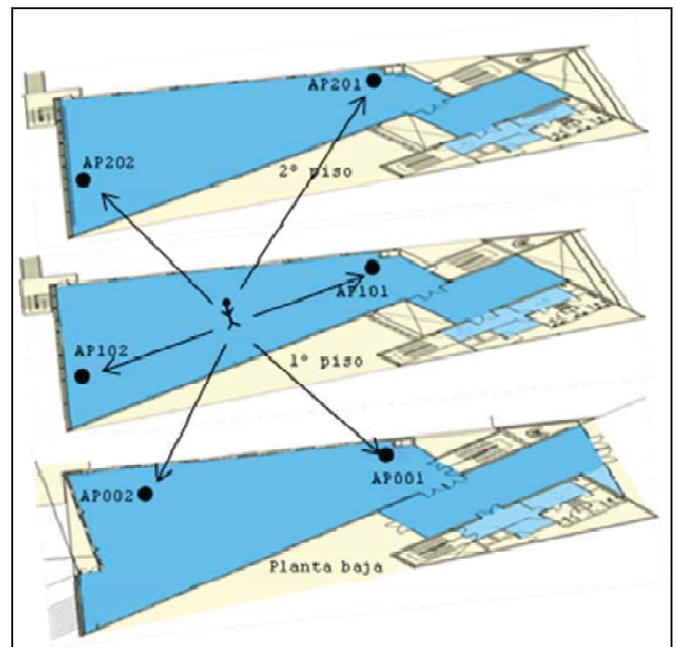


Fig. 4. Ejemplo de usuario bajo el efecto ping-pong.

AP 102; sin embargo, el nivel de la señal recibida por los otros AP (AP 101, 201, 202, 001 y 002) puede ser mejor que el del AP102. El usuario podría sufrir el efecto ping-pong entre AP cercanos, a pesar de no estar moviéndose. Ésta es una situación muy común en una red inalámbrica con una alta concentración de AP (es decir, con mucha sobrecobertura). En la biblioteca muchos usuarios parecen estar sufriendo este fenómeno y, por eso, continuamente se asocian y desasocian con AP diferentes: está claro que la desasociación de un AP para asociarse con otro AP vecino no siempre implica un verdadero movimiento del usuario, como ya se observó en [5].

Debido a la imposibilidad de discernir entre movimientos reales y efecto ping-pong ya que los logs no proporcionan información de la posición de los usuarios, se ha hecho un seguimiento de los usuarios que tan sólo se asocian a un AP en todo el día (es decir, los usuarios que no hacen ningún traspaso entre celdas) y se ha estudiado el tiempo de permanencia en la celda de estos usuarios (No HO) por separado del resto de usuarios. Los resultados se presentan en la Tabla 3 (No HO): como esperable, se han obtenido

valores medios más altos (por ej. alrededor de 24 y 10 minutos para el AP 102 y 202, respectivamente) y resultados más estables para ambos AP (los valores CV son inferiores). El percentil 50 es todavía muy bajo (3,5 y 2 minutos, respectivamente), reflejando que todavía hay muchos tiempos de permanencia muy cortos a pesar de que estos usuarios no sufran el efecto ping-pong entre celdas vecinas. La Tabla 3 muestra también los resultados para los usuarios que sí hacen algún traspaso a otra celda (HO): el valor medio es alrededor de 4,5 minutos para ambos AP y los CV siguen siendo elevados. Es interesante observar que los usuarios HO representan el 90% de la muestra total: esto implica que en la red hay mucha señalización relacionada con las peticiones de traspaso de celda.

El número medio de HO por AP y hora es fácilmente deducible de la Tabla 3: en el caso de la muestra total, eso varía entre 9 y 12 según el AP, mientras que para el caso de usuarios HO es estable alrededor de 13.

Las Fig. 5 y 6 muestran la distribución del tiempo de permanencia en la celda para el AP 102 y para los dos casos de usuarios No Ho y HO, respectivamente: se ha usado la escala logarítmica para poder observar mejor la alta concentración de conexiones cortas (inferiores a 10 minutos) sin perder la cola (los valores máximos se pueden ver en la Tabla 3). Los resultados obtenidos son muy diferentes de los presentados en [7], donde el 54% de los tiempos de permanencia eran inferiores a 3 segundos; sin embargo, nuestros resultados demuestran que todavía hay problemas de conectividad que no son imputables a una mala planificación de cobertura o a la movilidad de los usuarios. Es necesario profundizar sobre las causas que hacen que un usuario no disponga de un servicio continuo a pesar de que no se mueva.

## V. CONCLUSIONES

El comportamiento de los usuarios de la WLAN del Campus Nord de la UPC de Barcelona ha sido estudiado a través de los logs recogidos en los AP de la biblioteca durante la semana entre el 2 y el 6 de junio de 2008. Los usuarios se reparten bastante ecuamente en toda la biblioteca,

pero el 60% de las primeras asociaciones se registran en los AP de la primera y segunda planta. Además, el 60% de los usuarios se conectan a la WLAN sólo un día en toda la semana; a pesar de tener usuarios poco frecuentes, sin embargo el patrón de jornada laboral se mantiene durante todo el período analizado.

A partir del tiempo de permanencia en una celda, se ha deducido que los usuarios no se mueven mucho: el 12% de toda la población sólo se conecta a un AP por día (usuarios No HO). No ha sido posible extraer información sobre la posición de los usuarios o sobre su movilidad, pero se ha estudiado el tiempo medio de conexión a un AP (tiempo de permanencia en una celda) y se ha visto que es muy variable. Si por un lado hay un alto porcentaje de conexiones inferiores a 1 minuto, por otro lado hay usuarios que permanecen asociados a un AP durante casi 4 horas. Se ha decidido analizar separadamente la población de usuarios No HO y la de usuarios HO para poder deducir las diferentes tendencias. El tiempo medio de permanencia en una celda es de 4 minutos para los usuarios HO y de entre 10 y 25 minutos, dependiendo del AP, para los usuarios No HO. Sin embargo, también para los usuarios No HO, que por definición no cambian de AP durante todo el tiempo que están en la biblioteca, hay muchos tiempos de permanencia muy cortos. Esto nos hace concluir que hay algún problema de conectividad que no está relacionado con la movilidad ni con una mala cobertura y nuestro objetivo futuro es investigar las causas de estos tiempos cortos de conexión a un AP.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos al equipo de UPCnet que nos ha proporcionado las trazas de la WLAN de la UPC; los autores quieren agradecer en especial manera a Sergi Sales Llop quien se ha encargado de gestionar la colaboración, y a Josep-Lluís Cortés y Margarita Garrido Lorenzo por su ayuda y soporte técnico.

Este trabajo ha sido apoyado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología del Gobierno de España y el FEDER a través del proyecto CICYT TEC2006-09466/TCM.

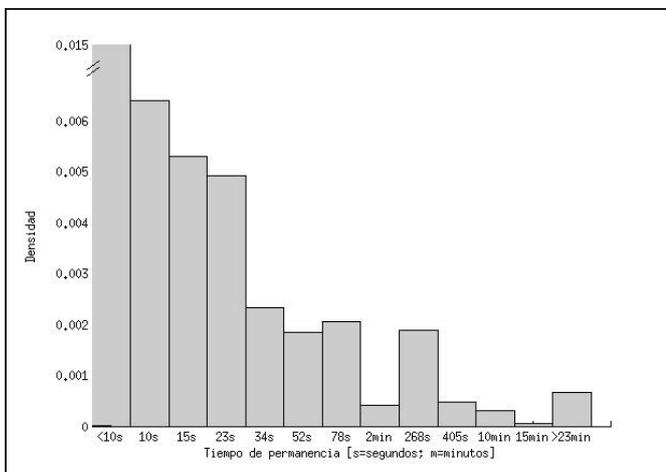


Fig. 5. Distribución del tiempo de permanencia en una celda para los usuarios No HO en el AP 102.

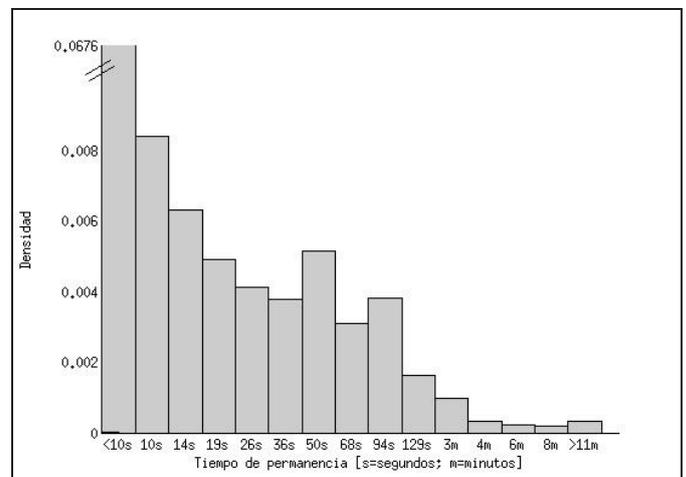


Fig. 6. Distribución del tiempo de permanencia en una celda para los usuarios HO en el AP 102.

## REFERENCIAS

- [1] A. Hills, "Wireless Andrew [Mobile Computing for University Campus]," *IEEE Spectrum*, vol. 6, pp. 49-53. DOI= 10.1109/6.769269 (1999)
- [2] Eduroam project at UPC, <https://upcnet.upc.edu/serveis/servidors-i-xarxes/gestio-de-xarxes/xarxes-sense-fils-upc-eduroam/xsf-upc-eduroam-upc-wireless>
- [3] K. Wierenga and L. Florio, "Eduroam: past, present and future," *Computational Methods in Science and Technology*, vol. 11 (2), pp. 169-173 (2005)
- [4] D. Kotz, T. Henderson and I. Abyzov, "Analysis of a Campus-wide Wireless Network," *Wireless Networks*, vol. 11, pp. 115-133 (2005)
- [5] T. Henderson, D. Kotz and I. Abyzov, "The Changing Usage of a Mature Campus-wide Wireless Network," *Computer Networks*, vol. 52, pp. 2690-2712 (2008)
- [6] D. Tang and M. Baker, "Analysis of a Local-Area Wireless Network," Proc. 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 1-10, ACM Press, Boston (2000)
- [7] S. Thajchayapong and J.M. Peha, "Mobility Patterns in Microcellular Wireless Networks," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 5 no. 1, pp. 52-63 (2006)
- [8] R. Hutchins and E.W. Zegura, "Measurements from a Campus Wireless Network," Proc. IEEE International Conference on Communications, ICC 2002, vol. 5, pp. 3161-3167 (2002)
- [9] M. Balazinska and P. Castro, "Characterizing Mobility and Network Usage in a Corporate Wireless Local-Area Network," Proc. 1st International Conference on Mobile Systems, Applications and Services, pp. 303-316 (2003)
- [10] A. Balachandran, G.M. Voelker, P. Bahl and P.V. Rangan, "Characterizing User Behavior and Network Performance in a Public Wireless LAN," Proc. 2002 ACM SIGMETRICS Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems, pp. 195-205, ACM Press (2002)
- [11] A. Willig, M. Kubisch, C. Hoene and A. Wolisz, "Measurements of a Wireless Link in an Industrial Environment Using an IEEE 802.11-Compliant Physical Layer," *IEEE Transactions of Industrial Electronics*, vol. 49, no. 6, pp. 1265-1282 (2004)