

# La aplicación de las redes sin cable a la docencia. Un caso de estudio.

Salvador Gómez Pedráz<sup>1</sup>, Manuel Pérez Santander<sup>2</sup>, Juan Antonio Rodrigo Yanes<sup>3</sup>, and José Antonio Gutiérrez de Mesa<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Escuela Politécnica Superior, Univ. de Alcalá  
28805 Alcalá de Henares, Madrid, España  
[salvador.gomez@adisic.com](mailto:salvador.gomez@adisic.com)

<sup>2</sup> Servicios Informáticos, Univ. de Alcalá  
28805 Alcalá de Henares, Madrid, España  
[manuel.perez@uah.es](mailto:manuel.perez@uah.es)

<sup>3</sup> Escuela Politécnica Superior, Univ. de Alcalá  
28805 Alcalá de Henares, Madrid, España  
[jrodrigo@aut.uah.es](mailto:jrodrigo@aut.uah.es)

<sup>4</sup> Escuela Politécnica Superior, Univ. de Alcalá  
28805 Alcalá de Henares, Madrid, España  
[joseantonio.gutierrez@uah.es](mailto:joseantonio.gutierrez@uah.es)

**Abstract.** En este trabajo se presenta la tecnología "sin cable" que se está imponiendo en nuestros centros y universidades para dar soporte a la interconexión de los ordenadores, y, con ellos, a las aplicaciones para la enseñanza asistida por ordenador. Se presenta un caso concreto de aplicación a un aula para mostrar el alcance y los límites de esta tecnología. De esta forma se reduce la terminología técnica al mínimo imprescindible para la comprensión de los usuarios.

## 1 Introducción

En la actualidad la tecnología inalámbrica está teniendo una importante repercusión en los centros de formación, debido sobre todo a la movilidad, flexibilidad y escalabilidad, características principales de este tipo de redes.

La repercusión de esta tecnología abarca desde centros de formación pequeños, en los que la mayor problemática es dar servicio a un número de alumnos reducido para dar acceso a Internet y, de forma excepcional a un servidor de ficheros, hasta grandes universidades, con la problemática particular que ello engloba, tanto en volumen de alumnos como en reparto del ancho de banda. [19] [20]

En este documento se trata de abordar la problemática de las aulas orientadas a la enseñanza asistida por ordenador, es decir, se desea mantener un ancho de banda relativamente alto para un número de alumnos por aula superior a los 30, y en un espacio reducido.

Como consecuencia de todo ello se necesitan varios puntos de acceso en un radio inferior a la zona de cobertura de cada uno de ellos. A continuación se describen las

repercusiones que ello tiene y las alternativas posibles para solucionar los problemas que se puedan causar..

## 2 Descripción del problema

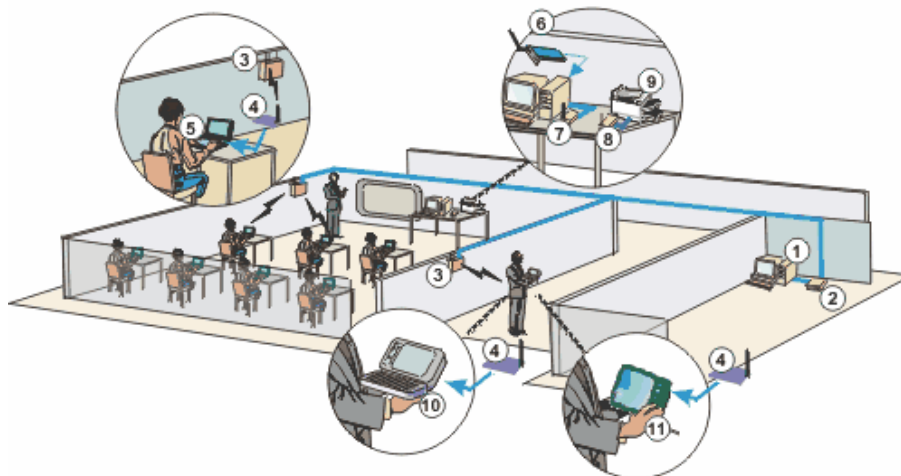
Se va a suponer una Universidad que tiene dos edificios próximos destinados a formación de postgrado, se pretende solucionar el problema de la conectividad de los estudiantes mediante la implantación de una red de datos basada en tecnología inalámbrica.

Esta red debería dar servicio a varias aulas de los dos edificios, y a un grupo de alumnos amplio de forma simultánea. El problema que se plantea es que, dada la limitación del ancho de banda que tiene cada uno de los puntos de acceso (11 Mbps) para las comunicaciones, debería haber un número alto de puntos de acceso para no limitar en gran medida la capacidad de acceso de cada cliente, debido a la coincidencia de muchos clientes en un solo punto de acceso.

Por otro lado, la tecnología basada en el estándar 802.11b tiene un limitación asociada a las técnicas de transmisión de la señal que es la imposibilidad de disponer de un número elevado de canales independientes, lo que, unido a lo anterior, puede producir interferencias que bajen el rendimiento de la red.

### 2.1 Escenario concreto

Dos edificios proximos, distancia pequeña entre edificios, con posible visión directa entre algunos espacios físicos concretos.



**Fig. 1.** Disposición de las aulas en los edificios.

Los edificios son de construcción moderna que no produce una pérdida alta en la longitud de onda de la señal utilizada para la transmisión de la información en el protocolo 802.11b. Paredes de bajo grosor construidas con ladrillo, pladur o madera laminada; espacios con gran altura y grandes espacios abiertos.

Las aulas son para más de 40 alumnos, con tamaños variables, y se supone que los alumnos se distribuyen uniformemente en las aulas.

## **2.2 Resultados de las mediciones iniciales**

Una vez realizado un estudio preliminar sobre el escenario de actuación se procede a realizar las mediciones de cobertura real en el edificio. Una vez realizadas las mismas se obtienen los siguientes resultados:

Potencia de transmisión de 100 mw con las antenas que trae el punto de acceso por defecto (Omnidireccionales - 1dBi). Con esta configuración se obtienen unos resultados que permiten afirmar que ubicando correctamente el punto de acceso se podría dar cobertura a toda la planta del edificio, manteniendo velocidades de 11 Mbps en todos los lugares donde se realizó la medición.

Potencia de transmisión de 100 mw y con las antenas que trae el punto de acceso por defecto (direccionales de panel-6dBi). En este caso se consigue reducir las distancias de cobertura en los espacios asociados a los lóbulos secundarios del diagrama de radiación de la antena, pero se da cobertura a todo el aula. En el espacio asociado a los mencionados lóbulos secundarios se obtiene señal hasta 5/6m detrás de la antena.

Potencia de transmisión de 1 mw sin la utilización de antenas, dejando los emisores al aire. En este caso se consigue reducir en gran medida las distancias de cobertura, no dando señal más allá de la mitad del aula. Este tipo de transmisión da un diagrama de radiación omnidireccional, pero al tener elementos de atenuación en las propias paredes, se consigue prácticamente que no exista señal fuera del aula más allá de 1 o 2 m de la localización del punto de acceso.

## **3 Base tecnológica**

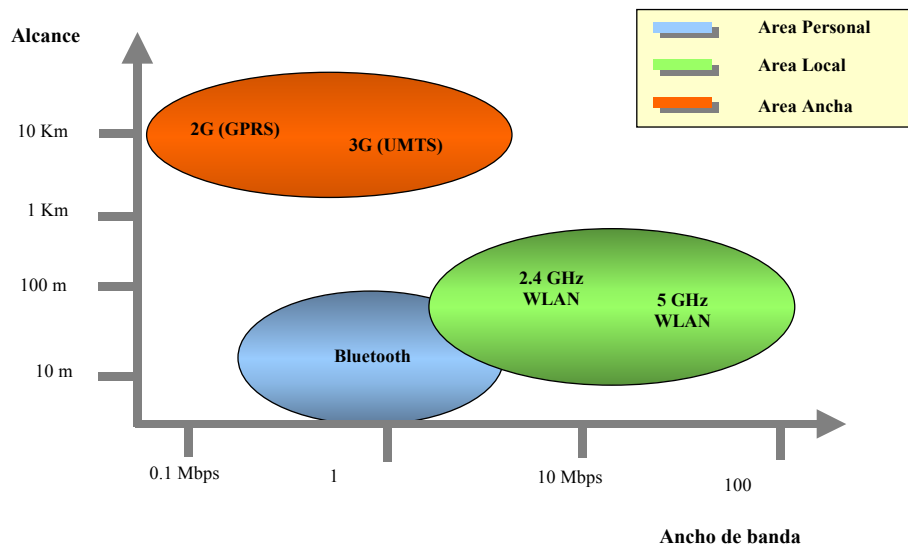
Para poder establecer unas conclusiones contrastadas en el problema planteado, se deben establecer dos parámetros de estudio, uno en el que se establezca un fundamento teórico basado en la tecnología y en las consideraciones establecidas por los propios estándares, y, por otro lado, se deben contrastar los extremos para establecer los rendimientos reales una vez que se utilizan las diferentes configuraciones propuestas.

### **3.1 Estándar 802.11b**

En este apartado se concretan las características de la tecnología WLAN basada en el estándar 802.11b, que influyen en la problemática que nos ocupa. Por ello no se tratan temas como operatividad, seguridad, configuraciones, etc. En cualquier caso se

presentarán los fundamentos que permiten establecer las conclusiones que se presentan en los apartados posteriores. [2] [3]

**Rango de frecuencias.** En el gráfico que se presenta a continuación se muestra la localización del espectro de frecuencias utilizado por la tecnología basada en 802.11b frente a otras tecnologías inalámbricas: móviles GPRS y UMTS, Bluetooth (Personal Area Network) y 802.11<sup>a</sup> (velocidades máximas de 108 Mbps). [1] [5] [6]



**Fig. 2.** Espacios de aplicación de las tecnologías en función del ancho de banda y la distancia de comunicación.

Una vez localizado el espectro utilizado, se establece el rango de frecuencias en el que se sitúa el estándar 802.11b. Este rango de frecuencias se encuentra situado entre los 2,412 GHz y los 2,484 GHz, bien entendido que dependiendo de los países donde se utilice este rango se encuentra limitado y, por ello, el número de canales asociados. En España este rango se sitúa entre 2,412 GHz y los 2,462 GHz, utilizando por lo tanto 11 canales. [7]

En lo relativo a la utilización de topologías de redes de múltiples puntos de acceso (celdas), ya sean solapadas o adyacentes, se puede operar con canales cuyas distancias en el espectro de su frecuencia central sea superior a 25 MHz, sin que se produzcan interferencias apreciables. Esto significa que con los 83.5 MHz de ancho de banda total disponible podemos obtener un total de 3 canales independientes, que pueden operar simultáneamente en una determinada zona geográfica sin que aparezcan interferencias en un canal procedentes de los otros dos canales. [7] [10]

Este rango de frecuencias tiene la particularidad de situarse dentro de lo que se denomina espectro de frecuencias de libre disposición, por lo que para su utilización no se deben solicitar permisos especiales, únicamente cumplir con las regulaciones vigentes en cada país en lo relativo a las potencias de transmisión. Esto tiene como

contrapartida que cualquier aplicación puede utilizar estas frecuencias, por lo que uno de los objetivos prioritarios a la hora de determinar los tipos de sistemas de transmisión / recepción a utilizar es hacer el sistema lo más inmune posible a las interferencias producidas por otros sistemas de transmisión que utilizan estas frecuencias. [9]

**Espectro extendido de frecuencias.** La gran mayoría de los sistemas inalámbricos emplean la tecnología de Espectro Extendido (Spread Spectrum), una tecnología de banda ancha que dota de mayor seguridad y fiabilidad a las comunicaciones a cambio del ancho de banda utilizado. Esta técnica se utiliza para reducir las posibles interferencias ocasionadas por la utilización de estas frecuencias por otros dispositivos. Si el receptor no está sintonizado a la frecuencia correcta, una señal de espectro extendido se percibiría como ruido en el fondo. Otra característica del espectro disperso es la *reducción de interferencias* entre la señal procesada y otras señales no esenciales o ajenas al sistema de comunicación.

La tecnología de espectro extendido consiste en difundir la señal de información a lo largo del ancho de banda disponible, es decir, en vez de concentrar la energía de las señales alrededor de una portadora concreta lo que se hace es repartirla por toda la banda disponible. Este ancho de banda total se comparte con el resto de usuarios que trabajan en la misma banda de frecuencia. [11] [12] [15]

### 3.2 Resultados prácticos

Estas mediciones pretenden establecer, con datos reales en la mano, una orientación de las implicaciones que tiene o puede tener el echo de utilizar los canales denominados “solapados” para establecer una red multicelda.

Este caso es el que se presentaría si existieran más de tres puntos de acceso compartiendo canales, o con canales solapados, en el mismo espacio físico.

#### **Descripción de los escenarios de pruebas.**

A continuación se presentan los escenarios de pruebas que nos permitirán contrastar las consideraciones teóricas realizadas anteriormente. Aunque se han realizado medidas de referencia con otros escenarios, solo se presentan a continuación los que tienen relevancia para este estudio.

Las pruebas se realizan en todos los casos mediante transferencia de ficheros entre servidor y cliente utilizando el protocolo ftp. El sistema operativo utilizado es Windows 2000 Professional, en el caso del servidor con el software servidor de ftp Serv-U y en caso del cliente con el ftp cliente CUTE-ftp.

Los tamaños de los ficheros seleccionados son: 40 MB, 77MB, 101MB y 163 MB.

Las pruebas se han realizado con 10 mediciones para cada caso, presentándose para cada uno de ellos el valor medio obtenido.

#### **Escenario 3.**

- 2 Servidores cableados directamente al punto de acceso.
- 2 Clientes con interfaz de red WireLess.

2 Puntos de accesos configurados en los canales 1 y 1.

**Escenario 4.**

- 2 Servidores cableados directamente al punto de acceso.
- 2 Clientes con interfaz de red WireLess.
- 2 Puntos de accesos configurados en los canales 1 y 3.

**Escenario 5.**

- 2 Servidores cableados directamente al punto de acceso.
- 2 Clientes con interfaz de red WireLess.
- 2 Puntos de accesos configurados en los canales 1 y 4.

**Escenario 6.**

- 2 Servidores cableados directamente al punto de acceso.
- 2 Clientes con interfaz de red WireLess.
- 2 Puntos de accesos configurados en los canales 1 y 5.

**Escenario 7.**

- 2 Servidores cableados directamente al punto de acceso.
- 2 Clientes con interfaz de red WireLess.
- 2 Puntos de accesos configurados en los canales 1 y 6.

**Escenario 8.**

- 2 Servidores cableados directamente al punto de acceso.
- 2 Clientes con interfaz de red WireLess.
- 2 Puntos de accesos configurados en los canales 1 y 11.

**Escenario 9.**

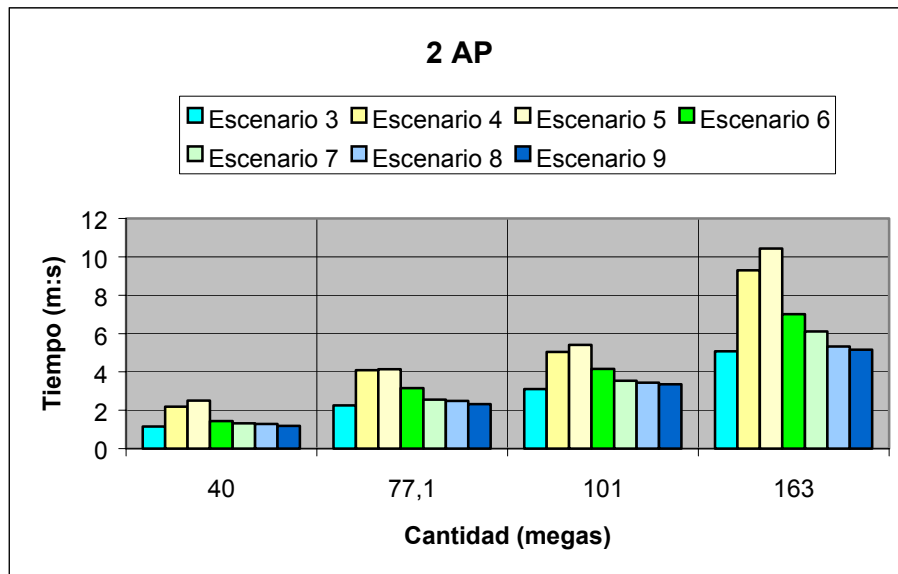
- 2 Servidores cableados directamente al punto de acceso.
- 2 Clientes con interfaz de red WireLess.
- 2 Puntos de accesos configurados en los canales 1 y 1. Configuración de potencia: 1mw. Distancia que permita indicar la no detección de señal por parte del interfaz inalámbrico. Similar a aulas de tamaño medio separadas por un tabique.

**3.2 Presentación de resultados**

Como se puede observar en las siguientes tablas existe prácticamente una correlación lineal entre la utilización de un cliente wireless y 2, teniendo dos servidores ftp.

En las siguientes mediciones se observa una relación directa entre la utilización de canales coincidente o adyacentes y la disminución de la tasa de transferencia, o lo que es lo mismo el incremento del tiempo para realizar la misma transferencia.

Finalmente, se puede observar también que cuando se utiliza una potencia de transmisión menor y antenas de baja ganancia, se consiguen coberturas muy pequeñas, lo que independiza los puntos de acceso en lo que se refiere a la utilización de canales coincidentes en espacios relativamente pequeños.



**Fig. 3.** Tiempos de trasferencia de los ficheros de prueba en los escenarios presentados.

## 4 Conclusiones

Una vez estudiados los fundamentos teóricos y comprobados los mismos con las mediciones realizadas en un sistema aislado y controlado, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

Existen tres canales independientes sin solapamiento de los 11 canales que contempla el estándar.

Si se utilizan canales coincidentes, adyacentes o con un solapamiento de  $\frac{1}{2}$  del canal, los rendimientos de transferencia de datos se pueden aproximar al rendimiento de 1 solo punto de acceso con el número de clientes totales.

Si utilizamos canales separados más de  $\frac{1}{2}$  entre si, Ej. Canal 1 y canal 4 o canal 5, el rendimiento mejora considerablemente, aunque no se consigan los rendimientos de transferencia del escenario con canales no solapados.

Si se utilizan canales no solapados, se obtienen rendimientos similares a puntos de acceso trabajando de forma independiente.

Finalmente, si se utilizan canales coincidente o adyacentes, pero con una separación tal que no se detecte el nivel de señal suficiente para que el cliente vea dos puntos de acceso, el rendimiento que se obtiene es como en el caso de tener puntos de acceso en entornos independientes o con canales no solapados.

Tras lo expuesto en los puntos anteriores se puede concluir que: No se podrían instalar puntos de acceso que respondan al protocolo 802.11b con la configuración de fábrica en un mismo aula o, incluso en aulas cercanas, sin que se produzca una reducción del ancho de banda real, lo que implicaría un decremento en la tasa de transferencia en la red. Esto influiría realmente y de forma muy negativa en las aplicaciones de acceso crítico a red, en mayor medida cuanto mayor sea el número de usuarios conectados en cada aula o en el espacio de cobertura de cada uno de los puntos de acceso.

## **5 Escenarios técnicos alternativos**

Para poder resolver el problema planteado se pueden estudiar varias alternativas:

### **5.1 Utilización del estándar wireless 802.11g**

Esta tecnología ha sido aprobada recientemente, y se han revisado algunos aspectos relativos al funcionamiento, sobre todo en lo relativo a la velocidad de transferencia. Hay algunos extremos, sobre todo de compatibilidad con la 802.11b que aún no están suficientemente desarrollados por aquellos fabricantes que se han aventurado a lanzar productos a 54 Mbps. [3] [4]

En principio asume lo mejor de ambas tecnologías, utilizando los mecanismos de modulación la 802.11a para conseguir mayores velocidades y de la 802.11b para conseguir menores consumos y un menor ancho de banda. Esta norma sigue trabajando en la banda de los 2,4 GHz. La velocidad máxima considerada es de 54 Mbps.

Diversos estudios, tanto propios como de consultoras de reconocido prestigio [18] consideran que la tecnología no está lo suficientemente madura.

### **5.2 Utilización de canales solapados 1-4-7-11**

Tras el análisis realizado en los diferentes escenarios considerados cabe la posibilidad de, sacrificando una mínima parte del ancho de banda, obtener un cuarto canal con la configuración de los canales: 1, 4, 7 y 11, lo que permite ampliar el radio de acción y evitar de esa forma el solapamiento de canales.

Esta solución permitiría la instalación de puntos de acceso en aulas más cercanas geográficamente entre sí que con la utilización de tres canales no solapados, siempre considerando la posibilidad de instalar dos puntos de acceso por aula.

Este último extremo se debe ajustar al ancho de banda real necesario para cada uno de los alumnos que accedan a la red desde el aula.



En cualquier caso hay que tener en cuenta que si existe cercanía entre aulas que utilicen los mismos canales, repercutiría en el ancho de banda total, que sería compartido por todos los clientes que accedan a este canal. [21] [23]

### **5.3 Utilización de canales solapados con baja radiación**

Como última posibilidad, y pudiendo ser complementaria con la anterior, se puede utilizar la característica que dan algunos puntos de acceso de poder configurar la potencia de salida del emisor, configurando indirectamente el radio de acción para cada uno de los puntos de acceso. Este sería el último escenario contemplado en las mediciones realizadas.

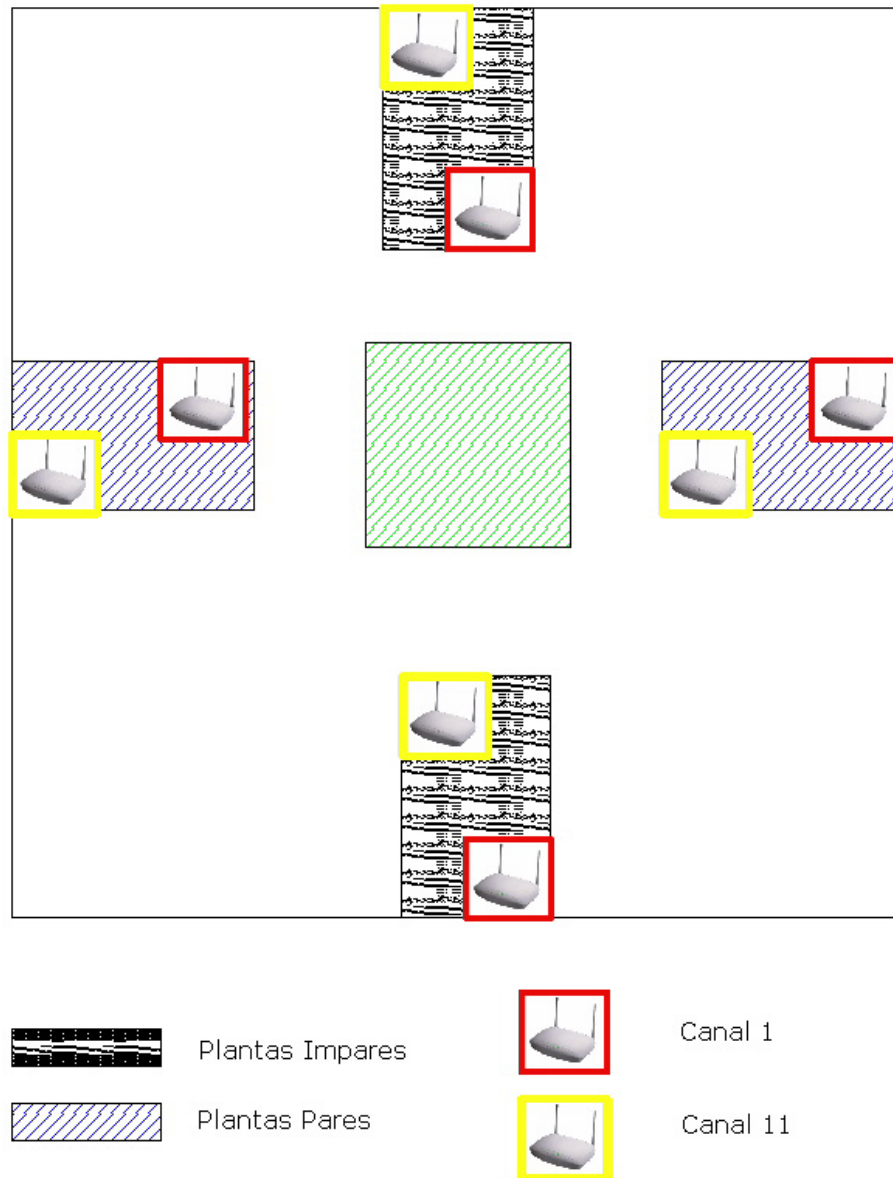
Para poder realizar estas configuraciones se deben escoger puntos de acceso con escalabilidad de potencias de transmisión de 1mw a 100mw, de tal forma que podamos elegir la cobertura que se desea.

Aparte de la potencia se deben utilizar antenas direccionales con ganancia total del sistema de 0dBi o incluso ganancia negativa, introduciendo un atenuador de señal si se considera que el sistema final excede el radio de acción contemplado. [22] [24]

## **6 Solución que se propone**

Finalmente, y como consecuencia de todo lo expuesto en apartados anteriores, se puede determinar que la mejor opción para la problemática planteada es implantar un diseño conservador de red inalámbrica. La red debe permitir establecer anchos de banda reales ajustados a las necesidades para el correcto funcionamiento de las aplicaciones utilizadas en los diferentes cursos impartidos en el edificio.

Esta configuración permite establecer un punto de acceso por cada 20 alumnos (máximo 30), por lo que estaríamos hablando de dos puntos de acceso por aula con un máximo de tres.



**Fig. 4.** Asignación de los canales a las aulas en función de su situación en planta y altura.

Atendiendo a lo explicado anteriormente estaríamos trabajando con canales independiente, sin solapamiento de frecuencias siempre y cuando se encuentren las aulas lo suficientemente distantes, no sólo en el plano horizontal, sino también, y debido a la tecnología utilizada y los mecanismos de propagación de las ondas electromagnéti-

cas, en el plano vertical. Esto significa que las aulas no pueden estar contiguas en la misma planta, ni una encima de otra en diferentes plantas.

Si se utilizan puntos de acceso con capacidad de escalado de potencia hasta 1mw–5mw y con las antenas estándar, se propone la siguiente instalación:

- ~ Dos aulas por planta, situadas en los extremos opuestos del edificio, dejando el patio del edificio en el medio.
- ~ Las aulas de cada planta contigua verticalmente estarían en los lados del edificio no utilizados en las plantas superior e inferior.
- ~ La disposición de los canales de los puntos de acceso sería la misma geográficamente (no en relación a la simetría del aula), lo que garantiza máxima distancia entre puntos de acceso configurados en el mismo canal.
- ~ Cada aula tendría dos puntos de acceso, con posibilidad de ampliarlo a tres si se considerase necesario por número de alumnos o por necesidades de ancho de banda utilizado por las aplicaciones necesarias para el correcto desarrollo de los cursos.
- ~ Los canales utilizados serían el 1 y el 11. Como tercer canal opcional se utilizaría el 6, garantizando en todo momento la ausencia de interferencias entre puntos de acceso.

En la siguiente página se presenta un posible escenario de configuración:

## 7 Conclusiones y futuro trabajo

Se han presentado en este trabajo las características de los redes inalámbricas que deben tenerse en cuenta cuando se pretenden utilizar como soporte a la docencia asistida por ordenador.

Se presenta el diseño de una red para un aulario típico de las universidades españolas.

Se deja para el futuro, el estudio de la aplicación de los nuevos estándares. En este campo la velocidad de adaptación de la tecnología a las necesidades de los usuarios es tan grande que el ritmo de salida de los estándares supera el de uno por año.

## Bibliografía

1. <http://www.wcai.com/>
2. <http://www.ieee.org/>
3. <http://ieee802.org/>
4. <http://standards.ieee.org/wireless/>
5. <http://www.computer.org/>
6. <http://www.wi-fi.org/faqs.asp>
7. <http://www.wi-fi.org/whitepapers.asp>
8. <http://www.wi-fi.org/benefitsfaq.asp#01>
9. <http://www.wi-fi.org/interoperability>
10. <http://cwc.ucsd.edu/~rgholmie/WirelessPaper/WirelessPaper.html>
11. [http://www.iec.org/online/tutorials/home\\_net/topic03.html](http://www.iec.org/online/tutorials/home_net/topic03.html)

12. <http://www.ing.ula.ve/~albornoz/wlan.html>
13. <http://www2.ncr.es/ncr/produ/prod/prored.html>
14. [http://www.baja.gob.mx/organizacion/dgi/biblioteca/ci/ci6/art\\_1](http://www.baja.gob.mx/organizacion/dgi/biblioteca/ci/ci6/art_1)
15. [http://www.um.es/~eutsum/escuela/Apuntes\\_Informatica/Divulgac](http://www.um.es/~eutsum/escuela/Apuntes_Informatica/Divulgac)
16. <http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No4/Tuissant.html>
17. [http://www.nortelnetworks.com/corporate/global/cala/index\\_sp.html](http://www.nortelnetworks.com/corporate/global/cala/index_sp.html)
18. Goltermann, N&M.: Wireless. Wandel (1996).
19. Nourry, G.: Wireless LAN General Information (1997).
20. Redes de Telecomunicaciones. Revista de Sistemas de Comunicaciones, nº 43. VNU Business Publications, Diciembre (1997).
21. Fuller, R., Blankenship, T.: Building a Cisco Wireless Lan. Paperback. Febrero (2002).
22. Vacca, J.R.: Wireless Broadband Networks Handbook. Paperback. Marzo 2001.
23. Geier, J.: Wireless Lans. Paperback. Julio (2001).
24. Santamaría, A., López-Hernández, F.: Wireless Lan Standards and Applications. Hardcover. Mayo (2001).