

MODELADO DE CANAL INALÁMBRICO OFDM, HACIA LAS COMUNICACIONES 4G.

OFDM WIRELESS CHANNEL MODELING, TOWARDS TO 4G COMMUNICATIONS.

Miguel Angel Del Valle Diego.¹, Rogério Enríquez Caldera.¹, Juan Manuel Ramírez Cortés.¹, Jorge Martínez Carballido.¹

delvalle@inaoep.mx / rogerio@inaoep.mx / jmram@inaoep.mx / jmc@inaoep.mx

Recibido: marzo 19, 2009 / Aceptado: mayo 01, 2009/ Publicado: noviembre 23, 2009

RESUMEN. La creciente aplicación de las comunicaciones inalámbrica, requiere del constante desarrollo de técnicas de transmisión, protocolos y tecnología que permitan mayor capacidad de servicios de comunicación en medios de transmisión hostil y de asignación de espectro limitadas, tal como lo es el canal por donde se envían las señales de comunicación inalámbrica. El conocimiento de las características de propagación en el canal es clave para el diseño y desarrollo de los sistemas de transmisión, por lo que las mediciones del canal y su caracterización son fundamentales para desarrollar modelos que lo describan adecuadamente y que permitan, tanto simulación, como para establecer varios escenarios de aplicación y evaluar los desarrollos antes mencionados. En este artículo, se enfatiza el modelado de canal inalámbrico a una propagación sin línea de vista (en inglés NLOS) en un entorno externo con multitrajecto, encaminado a las comunicaciones 4G y en donde, para mitigar la distorsión y degradación de la señal recibida, se utilizan diversas técnicas que atacan primero la distorsión y luego el desvanecimiento. Lo primero se puede combatir, por ejemplo, con equalización, espectro ensanchado, OFDM, transmisión de señal piloto, modulaciones robustas, codificación y entrelazado, etc. Lo segundo, con codificación de canal y diversidad de envío de señales (espacial, frecuencial, temporal, de polarización, etc.)

PALABRAS CLAVE: Modelado de canal, OFDM, Comunicaciones 4G.

ABSTRACT. The increasing application of digital wireless communications needs constant development of techniques, protocols and, transmission technologies that allow greater capacity of services of communication in a hostile conduit with limited spectrum allocation, as it happens in a wireless channel. The knowledge of the wireless channel's characteristics is key for the design and development of transmission systems therefore; measurements and characterization of the channel are fundamental to develop proper models and thus establish adequately different application scenarios and allow evaluation of such developments. This article emphasizes wireless channel modeling under Non Line Of Sight (NLOS) propagation with multipath condition directed to 4G communications. In such outdoor environment, to mitigate distortion and degradation that suffers the received signal there several techniques that attack first distortion and then fading. Distortion can be attacked in a variety of forms: equalization, expanded spectrum, OFDM, transmission of pilot signals, robust modulations, codification and interlaced, etc. whilst degradation can be attacked using channel codification and signal diversity (spatial, frequencial, temporary, polarization, etc.).

KEYWORDS: Channel modeling, OFDM, 4G communications.

Introducción

En un entorno exterior, las señales de radio rebotan en los edificios, árboles y otros objetos en el viaje entre los extremos del sistema de comunicación inalámbrico y que, como en este caso, usan un canal al aire libre. Este efecto rebote produce múltiples ecos de la señal. Como resultado, la señal original y cada eco llegan al extremo receptor con una pequeña diferencia de tiempo, lo cual degrada la calidad de señal.

¹INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA (INAOE), Av. Luis Enrique Erro # 1, Santa María Tonantzintla, Puebla, 72840, México

- www.inaoep.mx

ISSN: 1665-5745



Una técnica que ha probado ser benéfica en la transmisión en un canal inalámbrico con multitrayectoria es el uso de portadoras múltiples conocidas como OFDM, cuya modulación forma parte del grupo de modulaciones multiportadoras. Un ejemplo de transmisor que usa esa modulación se muestra en la figura 1 [1].

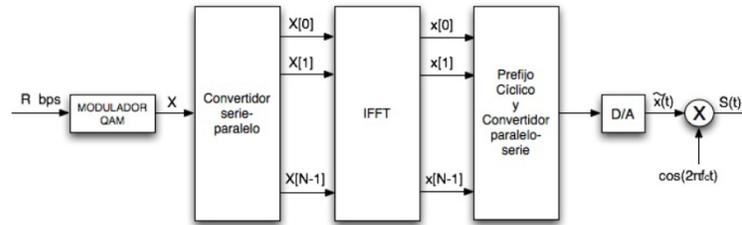


Figura 1. Transmisor OFDM.

En la figura 2(a) observamos la densidad espectral de potencia de una señal OFDM, mientras que en la figura 2(b) tenemos la representación de la señal OFDM en el dominio del tiempo.

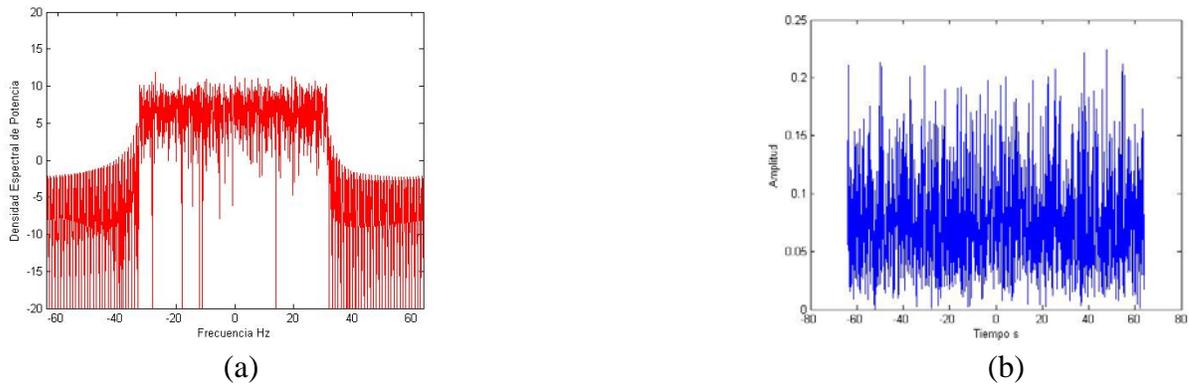


Figura 2. Densidad espectral de potencia de una señal OFDM (a) y señal OFDM en el tiempo (b)

El uso de diversas frecuencias, también trae consigo el concepto de múltiples antenas para transmitir datos simultáneamente, en donde para procesar el flujo de datos y poderlos reconstruir se puede dividir la información en pedazos hacia el receptor. A esto se le conoce como multiplexación espacial, específicamente MIMO-OFDM, la cual aprovecha las propiedades del entorno multitrayecto y la existencia de múltiples antenas receptoras bajo condición de NLOS, convirtiéndolas en ventajas. Así, esta técnica incrementa proporcionalmente la velocidad de transmisión por un factor igual al número mínimo existente de antenas, tanto de transmisión como de recepción.

Para evaluar el comportamiento de una señal OFDM bajo el régimen de un sistema MIMO por el uso de múltiples antenas, debemos tener en cuenta que en canales móviles la función de densidad de probabilidad (PDF) Rayleigh es la que modela un canal inalámbrico con multitrayectoria para casos donde no existe línea de vista entre el usuario móvil y el transmisor (NLOS); esto es, la distribución Rayleigh (Figura 3) describe la naturaleza estadística de la variación temporal de la envolvente recibida de una señal en desvanecimiento plano, así como también la envolvente de una componente individual con multitrayectoria [2].

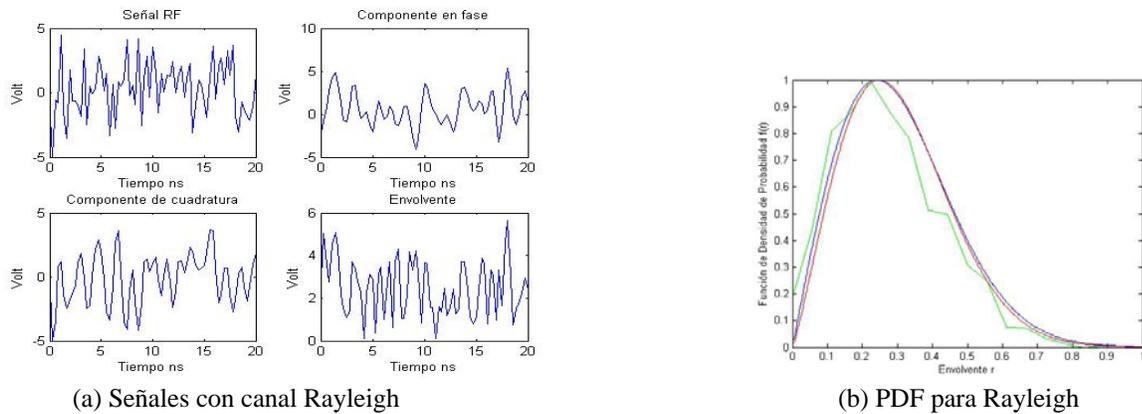


Figura 3. Señales generadas considerando un canal Rayleigh.

Como también existe la posibilidad de haya una componente de señal estacionaria dominante (rayo directo), como en el caso de una trayectoria por línea de vista (LOS), otra distribución que utilizaremos será la PDF de Rice, la cuál describe el desvanecimiento de la envolvente bajo esas condiciones. En la **Figura 4** se muestra una distribución Rice [3]. Aquí las componentes aleatorias de multitrayectoria que llegan en diferentes ángulos son superpuestas a una señal dominante.

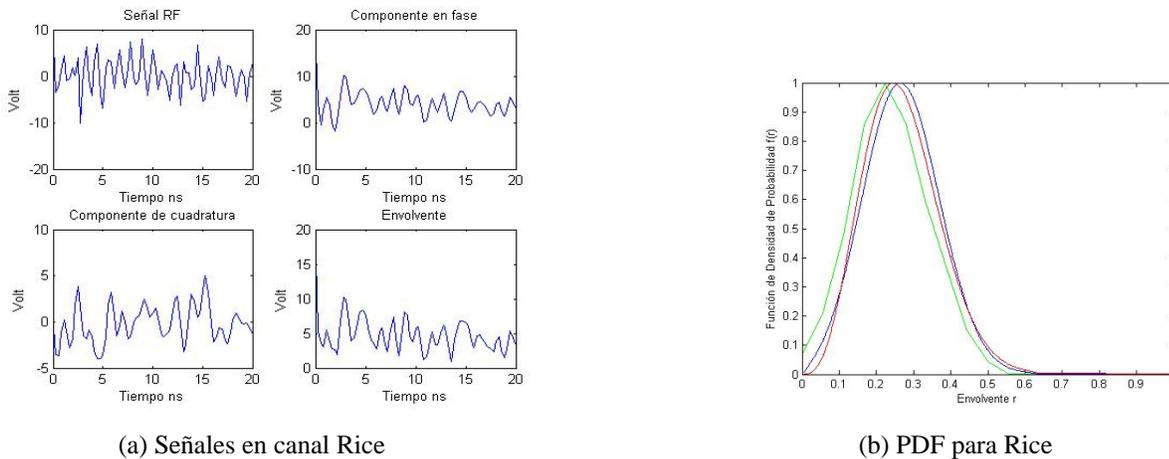
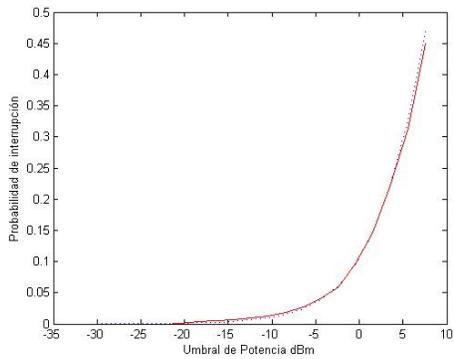


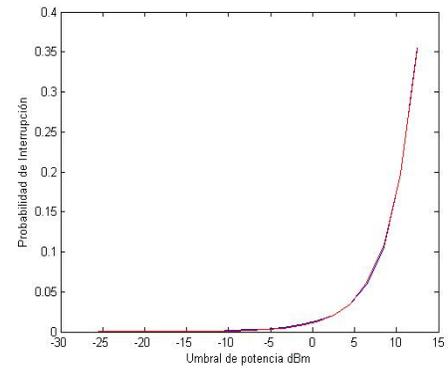
Figura 4. Señales para canal Rice

Para los dos casos anteriores, el uso de OFDM implica el conocimiento del canal en el receptor. Sin embargo, cuando esto no es posible, se introducen símbolos pilotos a partir de los cuales se estima el resto del canal. Como el número de pilotos que se introducen afectan la tasa de transmisión, entonces el número de pilotos es un parámetro que debe también ser tratado para minimizar su efecto [4].

Finalmente, en una transmisión tipo MIMO se puede utilizar una transmisión tipo STBC (Space Time Block Code) bajo el esquema de Alamouti. En el caso, por ejemplo, de dos antenas transmisoras y una receptora, cada símbolo binario es transmitido por ambas antenas en distintos periodos, de forma que un símbolo ocupa dos slots. Esta diversidad permite reducir la potencia necesaria para alcanzar una determinada probabilidad de error. Por tanto, es importante ver el efecto de modificar la ganancia del amplificador en la transmisión considerando además los umbrales de potencia que tienen los canales Rayleigh y Rice, como se muestra en la **Figura 5**.



(a) Umbral de Potencia para Rayleigh.



(b) Umbral de potencia para Rice.

Figura 5. Umbrales de Potencia

Desarrollo

Para probar todas las técnicas de transmisión previamente descritas, en este artículo se investiga una señal OFDM en dos modelos de canal LOS y NLOS. En esta tarea, hemos desarrollado programas en Matlab (se ha considerado a éste debido a su uso común en la investigación del sector de las telecomunicaciones.) en donde se han simulado las características de un canal inalámbrico con multitrayectoria tanto Rayleigh como Rice. Esta simulación se realizó en el Laboratorio de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad Carlos III de Madrid, como parte de una estancia de investigación. En la [figura 6](#) se muestra la gráfica de la probabilidad de error de bit en función de la SNR (gráfica BER) de una señal BPSK en un canal con ruido AWGN que utiliza la distribución Rayleigh.

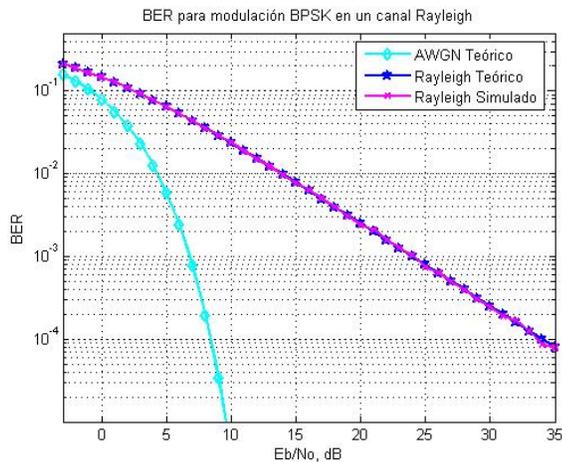


Figura 6. Señal BPSK en canal Rayleigh con AWGN

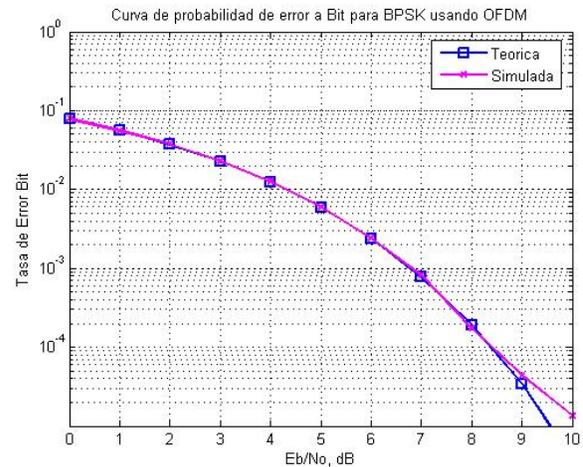


Figura 7. Transmisión BPSK bajo OFDM

En la [figura 7](#) se puede observar la curva de probabilidad de error a bit con modulación BPSK usando OFDM y en un modelo de canal NLOS. En la [figura 8](#) se presenta el BER para una transmisión MIMO OFDM, buscando proveer servicios de acceso inalámbrico de banda ancha que tienen funcionalidad sin línea de vista. [5]

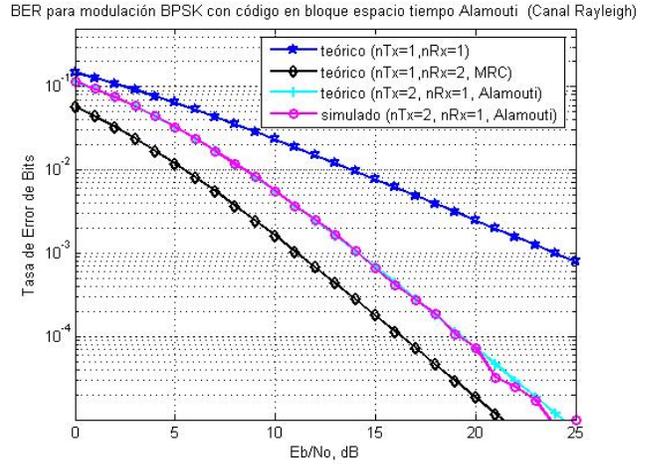
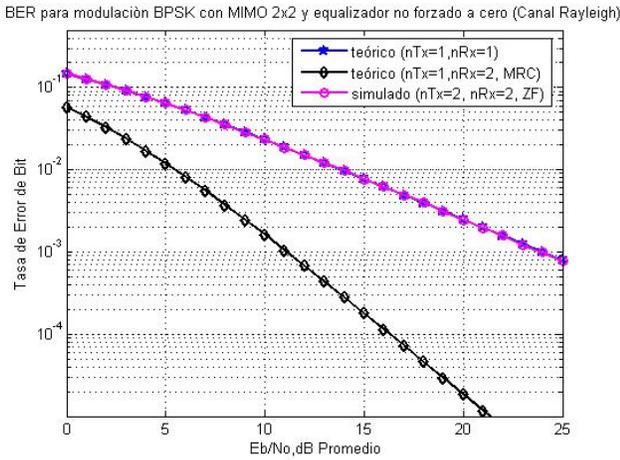


Figura 8. Transmisión BPSK bajo MIMO-OFDM

Figura 9. Transmisión BPSK bajo esquema Alamouti

La figura 9 muestra los resultados de las simulaciones cuando se tiene un transmisor y un receptor, un transmisor y dos receptores, dos transmisores y dos receptores, en un esquema de máxima razón de combinación (MRC por sus siglas en inglés). Teniendo en cuenta que la probabilidad de error de bit es función del tipo de modulación utilizada, así como de la razón señal a ruido (SNR), podemos notar que las modulaciones que utilizan más bits en un símbolo tienen mayor probabilidad de error. De esta forma, hay que llegar a un compromiso entre la probabilidad de error que se espera, la velocidad de información deseada (que es función del número de bits utilizados por la modulación en un tiempo de símbolo) y de la SNR; por lo que el experimento de la figura 10 muestra el resultado de cambiar la SNR a través de amplificar la señal de transmisión por un factor de 100. Para esta simulación se presentan dos casos: un receptor y dos receptores (en ambos casos sin adicionar ruido y adicionando ruido gaussiano).

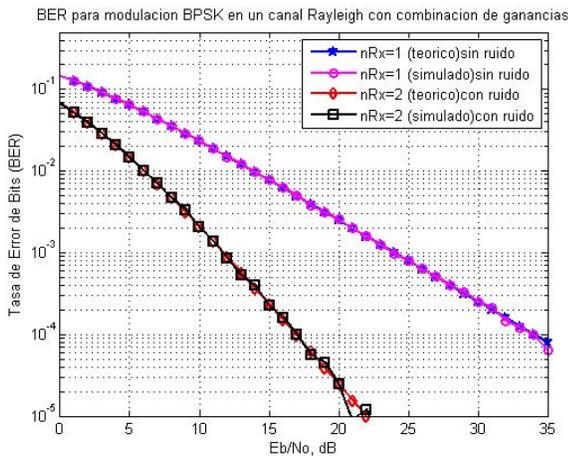


Figura 10. BPSK a diferentes amplificaciones

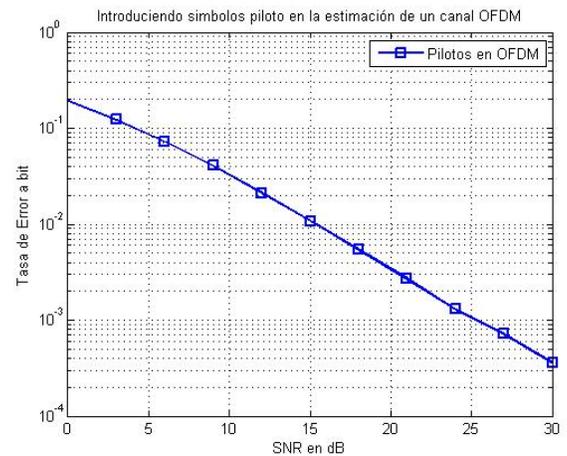


Figura 11. Transmisión de símbolos Pilotos OFDM.

En otro escenario completamente diferente se presenta cuando no es posible conocer el canal de transmisión y para estimar sus características se introducen símbolos pilotos. En la figura 11 se presenta la misma curva que hemos estudiado pero ahora cuando se han introducido señales piloto.



Conclusiones

El resultado más importante de los experimentos mostrados es que, al agregar un amplificador de potencia en el modelo de OFDM, se aprecia una disminución de la velocidad de envío de la información debido al aumento de la probabilidad de error. Así, en la **figura 12** se muestran los efectos negativos que puede tener al implementar un amplificador de potencia sobre señales OFDM, donde el amplificador destruye la amplitud de la señal transmitida debido a la saturación y no tiene efecto en la fase de señal. Esto se cumple con el modelo utilizado en esta simulación en el cual se estima el canal directamente en frecuencia.

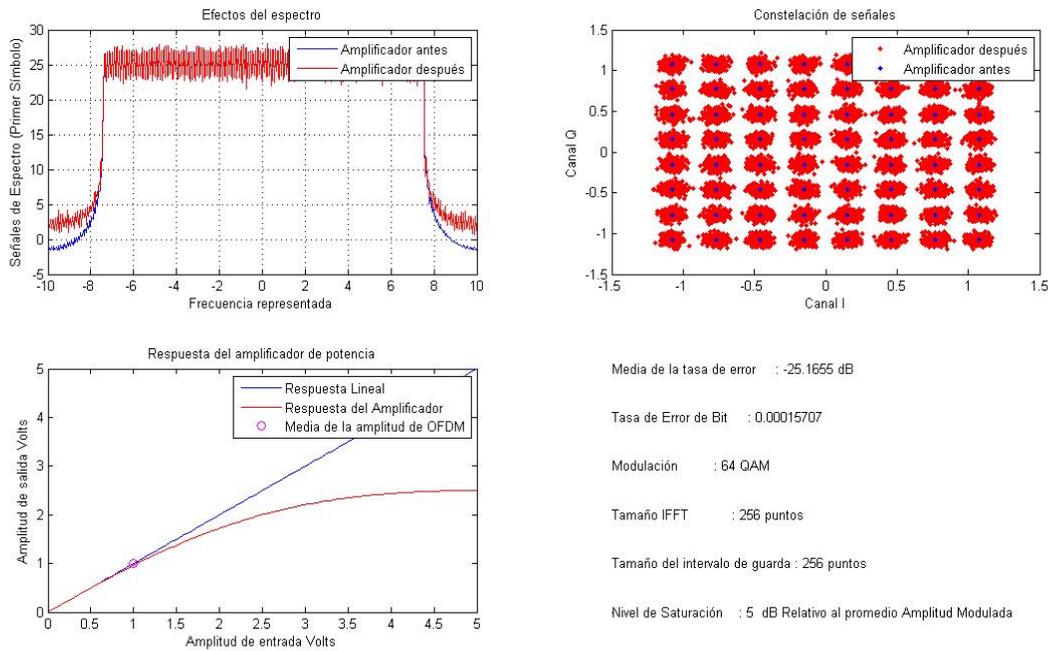


Figura 12. Efectos negativos que puede tener un amplificador de potencia sobre OFDM

Referencias

1. Rappaport, T. (1996), *Wireless Communications: Principles and Practice*, Second Edition, 177-246, Prentice Hall, USA.
2. Gil, V. (2005), Tesis Doctoral *Algoritmos en transmisión y recepción para OFDM en entornos multiusuario*, Univ. Carlos III de Madrid, España.
3. García, S. (2004), Proyecto fin de carrera, *Diseño de los algoritmos de recepción para WLAN basada en OFDM*, Univ. Carlos III de Madrid, España.
4. Del Valle, M.A; Enríquez, R. (2008), *Análisis de multimedio inalámbrico con multitrayectoria y desplazamiento Doppler*, CIINDET, Cuernavaca, México.
5. Liu, H., Guoqing Li. (2005), *OFDM based broadband wireless networks, Design and Optimization*, 138-162, John Wiley and Sons, USA.

