



# DESPLIEGUE Y ANÁLISIS DE LA COBERTURA DE UNA RED WiMAX BASADA EN IEEE 802.16-2004

**Autor: Albert Anglès Vázquez**

**Directores de proyecto:**

**José López Vicario**

**Gonzalo Seco Granados**



## 1. OBJETIVOS

2. INTRODUCCIÓN A WiMAX (*World Interoperability for MicroWave Access*)

3. ARQUITECTURA DE LA RED WiMAX

4. CAMPAÑA DE MEDIDAS (*indoor y outdoor*)

5. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO NACIONAL INTERURAL DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO.

6. CONCLUSIONES

# 1. OBJETIVOS

---



@Evaluar la cobertura de una red WiMAX en diferentes escenarios *outdoor* (semi-urbano, semi-rural) y *indoor* a partir de modelos empíricos de propagación encontrados.

@Evaluar el comportamiento de aplicaciones *triple play* (voz+datos+vídeo) a través de una solución económica basada en una red híbrida de tecnologías de banda ancha WiMAX y WiFi integradas por satélite.



## 1. OBJETIVOS

## ➔ 2. INTRODUCCIÓN A WiMAX (World Interoperability for MicroWave Access)

## 3. ARQUITECTURA DE LA RED WiMAX

## 4. CAMPAÑA DE MEDIDAS (*indoor y outdoor*)

## 5. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO NACIONAL INTERURAL DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO.

## 6. CONCLUSIONES

## 2. INTRODUCCIÓN A WIMAX (I)

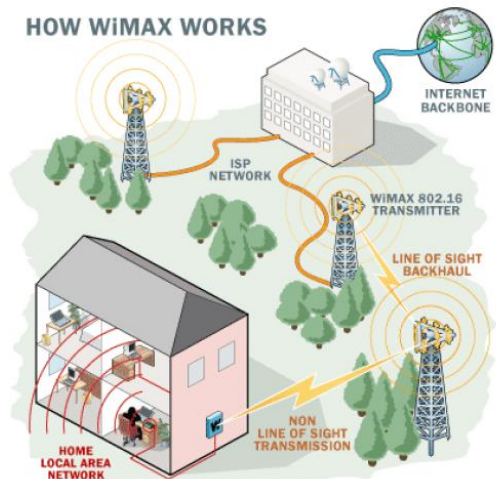


@ Problema: áreas remotas cuyo acceso por parte de los proveedores de servicios es difícil y caro con las infraestructuras tradicionales de cableado.

@ Solución: emplear tecnologías *wireless* de banda ancha (BWA, *Broadband Wireless Access*) para el acceso en la última-milla (bucle local de abonado).



Casa rural con escasa conectividad a servicios *triple play* (voz, vídeo, datos)



Arquitectura de una red WiMAX como BWA

## 2. INTRODUCCIÓN A WIMAX (II)

---



Algunas alternativas para el acceso por banda ancha en la última milla:

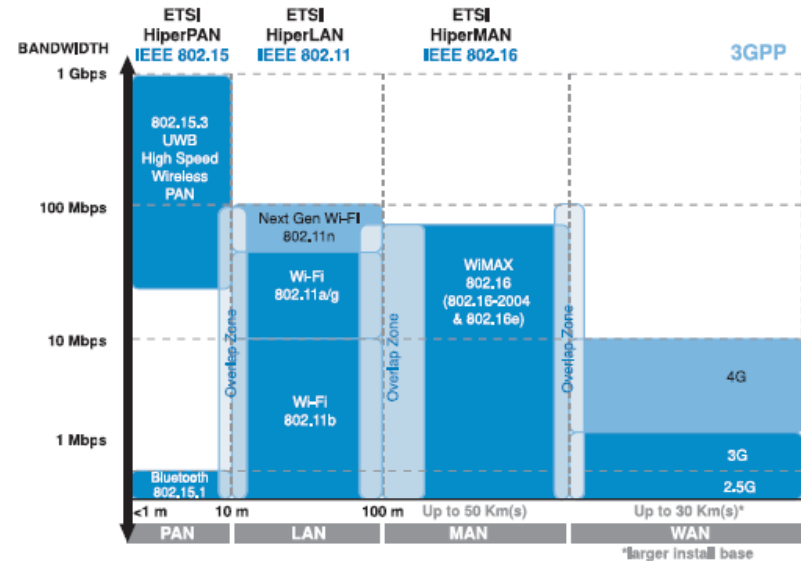
1. **IEEE 802.11a con antenas altamente directivas**: Estándar de Wi-Fi abierto de alta velocidad (máx.54 Mbps) a la banda de 5 GHz. Requiere LOS (*Line-of-Sight*).
  
2. **IEEE 802.16-2004 (802.16d) ó IEEE 802.16e-2005**: WiMAX fijo ó WiMAX Móvil. Solución óptima que muchos WISPs (*Wireless Internet Service Providers*) buscan. Razones:
  - ✓ WiMAX no requiere LOS.
  - ✓ Cobertura de una sola BS (*Base Station*) de hasta 50 Km en LOS y hasta 5 Km en NLOS (*Non-LOS*).
  - ✓ *Throughput* máximo: 75 Mbps.
  - ✓ QoS (*Quality of Service*)
  - ✓ Diferentes BW

## 2. INTRODUCCIÓN A WIMAX (III)



@WiMAX como tecnología WMAN que proporciona conectividad de banda ancha a usuarios fijos, nómadas y móviles.

@1er estándar: IEEE 802.16-2001: Conectividad fija con una sola portadora en banda 10GHz-66GHz



Comparativa entre tecnologías *wireless* de banda ancha

@En 2003 aparece una solución para NLOS (2GHz-11GHz): IEEE 802.16a. Actualmente:

- ✓ IEEE 802.16-2004: WiMAX de acceso fijo y nómada.
- ✓ IEEE 802.16e-2005: WiMAX de acceso fijo, nómada, móvil.

## 2. INTRODUCCIÓN A WIMAX (IV)

---



### @Características principales en capa física

- ✓ **Basada en OFDM**
- ✓ **Basada en SOFDMA (*Scalable* OFDMA)**
- ✓ ***Throughput* y ancho de banda escalable (1.75MHz-20MHz).**
- ✓ **Modulación y codificación adaptativa (AMC).** Modulaciones disponibles:
  - ❖ BPSK $1/2$ , BPSK $3/4$ , 16QAM $1/2$ , 16QAM $3/4$ , 64QAM $2/3$ , 64QAM $3/4$



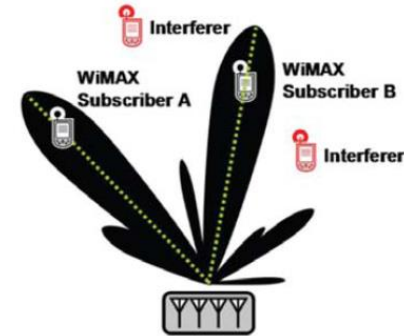
## 2. INTRODUCCIÓN A WIMAX (V)



✓ Soporte para técnicas de sistemas de antenas avanzadas (AAS): Se distingue:

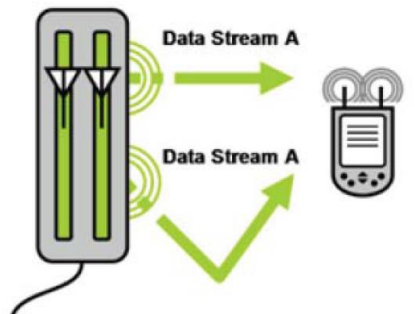
- ❖ Beamforming
- ❖ Codificación espacio-tiempo (STBC):
- ❖ Multiplexación espacial

### Beamforming



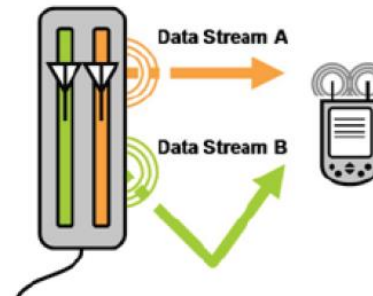
Combinación de 4 antenas en Tx para generar un diagrama de radiación deseado

### Space Time Block Coding (STBC)



Codificación espacio-tiempo

### MIMO Matrix B Spatial Multiplexing (MIMO-SM)



Multiplexado espacial

## 2. INTRODUCCIÓN A WIMAX (VI)

---



### ⌚ Características principales en capa de enlace de datos (MAC)

- ✓ **Soporte para ARQ** (*Automatic Request*)
- ✓ **Soporte para TDD y FDD**
- ✓ **Asignación/usuario de recursos dinámicos y flexibles**
- ✓ **Calidad de servicio (QoS)**
- ✓ **Soporte para la movilidad**



1. *OBJETIVOS*

2. *INTRODUCCIÓN A WiMAX (World Interoperability for MicroWave Access)*



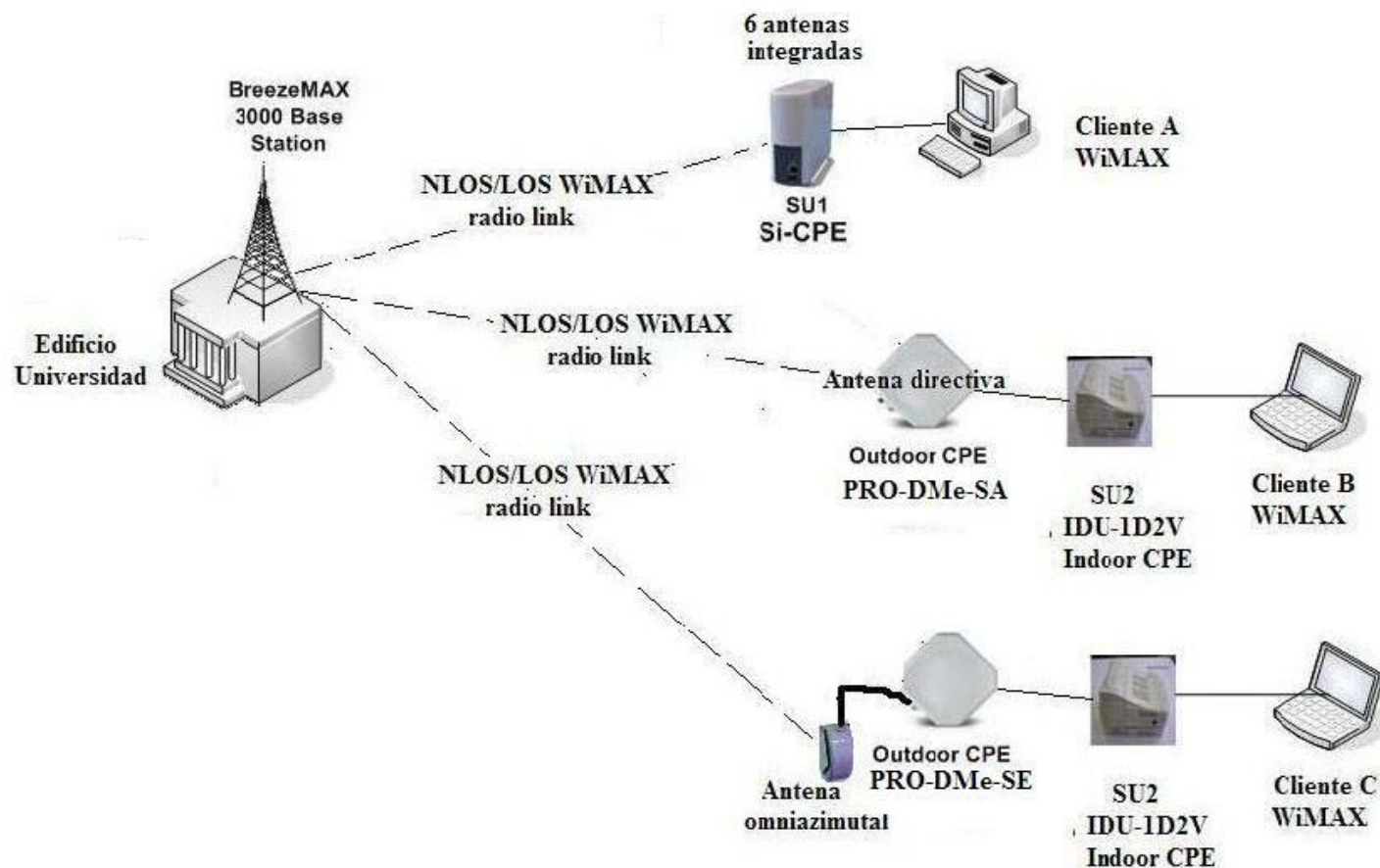
**3. ARQUITECTURA DE LA RED WiMAX**

4. *CAMPAÑA DE MEDIDAS (indoor y outdoor)*

5. **PRESENTACIÓN DEL PROYECTO NACIONAL INTERURAL DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO.**

6. **CONCLUSIONES**

### 3. ARQUITECTURA DE LA RED WiMAX (I)



Arquitectura de red WiMAX IEEE 802.16-2004 desarrollada.  
Los equipos comerciales empleados son de Alvarion

### 3. ARQUITECTURA DE LA RED WiMAX (II)



#### © BS BreezeMAX (unidades *indoor* y *outdoor*)



Unidad *indoor*



AU-ODU (*Antena Unit- Outdoor Unit*)

- ✓ Unidades *indoor* y *outdoor* conectadas mediante un cable de FI de 50 ohms que transporta señales de datos, de control, y alimentación (48 VDC).
- ✓ Opera en 3.3 GHz, 3.5GHz y 3.6GHz con BW 3.5MHz y 1.75 MHz. **En el proyecto: banda 3.5b (3450-3500 MHz de subida, 3550-3600MHz de bajada)**
- ✓ *Throughput bruto (Mbps)* máximo/mínimo: 12/1.25
- ✓ Esquema de multiplexado: TDMA.
- ✓ Máximo número de usuarios soportados ~ 1000

### 3. ARQUITECTURA DE LA RED WiMAX (III)



#### ✓ AU-ODU:

- ❖ Interfaz entre la unidad *indoor* y la antena
- ❖ Incorpora todo el cabezal de RF con una elevada ganancia
- ❖ Robustez a interferencias con una alta potencia de transmisión y baja figura de ruido.
- ❖ Dos versiones:
  - AU-ODU (estándar): Potencia máxima/mínima: 28/13 dBm. -> **Usada en el proyecto.**
  - AU-ODU-HP (*High Power*): Potencia máxima: 34 dBm



Antena omnidireccional de 10 dBi, 360° AZx9°EL



Antena sectorial de 14.5 dBi.

### 3. ARQUITECTURA DE LA WiMAX (IV)



#### Equipos de abonado WiMAX (CPE, Customer Premise equipment)

##### @ Terminal Self Install CPE

- ✓ Terminal WiMAX portable ➡ pensado para servicios en interiores y nómadas.
- ✓ Incorpora un *array* de 6 antenas con  $\Delta\phi = 60^\circ$ , 9 dBi de ganancia. **Se selecciona la antena manualmente**
- ✓ Modo de operación: FDD, *Half duplex*
- ✓ Max. Potencia de entrada: -20 dBm
- ✓ Rango de potencia de Tx: [-24 dBm-22 dBm]
- ✓ *Throughput bruto (Mbps)* máximo/mínimo: 12/1.25
- ✓ Máximo número de usuarios suportados ~ 512
- ✓ Configurable vía http, vía telnet, o a través del software de gestión de la BS: BreezeLITE



*Self-Install CPE WiMAX*

### 3. ARQUITECTURA DE LA RED WiMAX (V)



#### © Terminal WiMAX IDU-CPE-1D2V SIP-RJ

- ✓ **Telefonía IP + servicios de datos de banda ancha.**
- ✓ Configurable/ administrable localmente vía servidor *web* integrado y/o remotamente.
- ✓ **Necesita una unidad *outdoor* para la conectividad con la BS** ➡ **emplazamiento fijo**
- ✓ Las unidades *outdoor* PRO-S-CPE incluyen cabezal RF, procesamiento de datos. Además:
  - ❖ Rango de potencia: [-26 dBm, 20 dBm]
  - ❖ Max. potencia de entrada : -20 dBm
  - ❖ 2 modelos:
    - SA: Integra antena direccional de 17 dBi
    - SE: Necesita el soporte de una antena externa



Terminal *indoor* IDU-1D2V



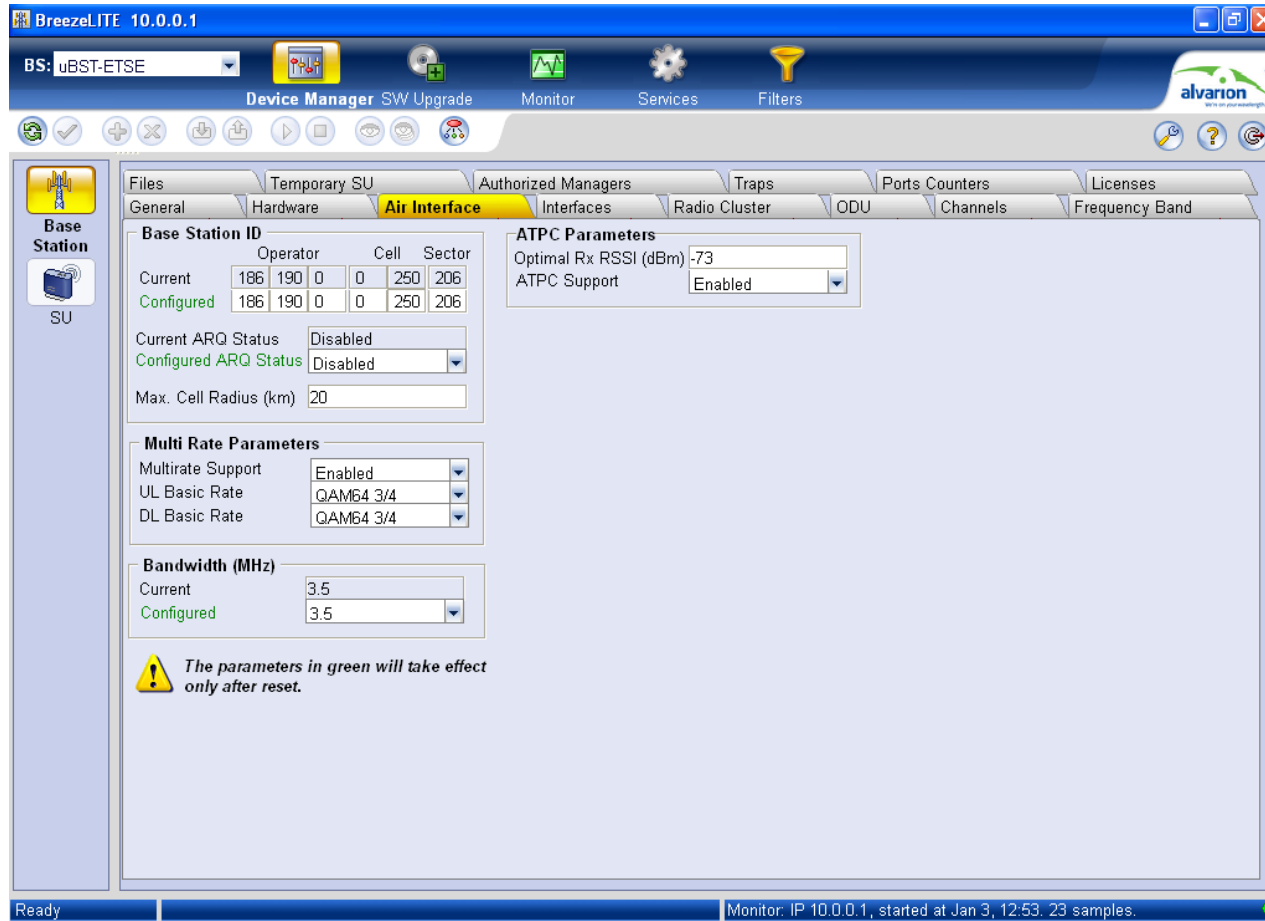
Terminales *outdoor* PRO-S-CPE. Modelos SA, SE



### 3. ARQUITECTURA DE LA RED WiMAX (VI)



#### Ⓢ Programa de gestión de la red WiMAX: BreezeLite



Gestión de la *air interface* con BreezeLITE



## 1. OBJETIVOS

## 2. INTRODUCCIÓN A WiMAX (*World Interoperability for MicroWave Access*)

## 3. ARQUITECTURA DE LA RED WiMAX

## ➔ 4. CAMPAÑA DE MEDIDAS (indoor y outdoor)

## 5. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO NACIONAL INTERURBAL DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO.

## 6. CONCLUSIONES

## 4. CAMPAÑA DE MEDIDAS (I)



### Modelización de la propagación

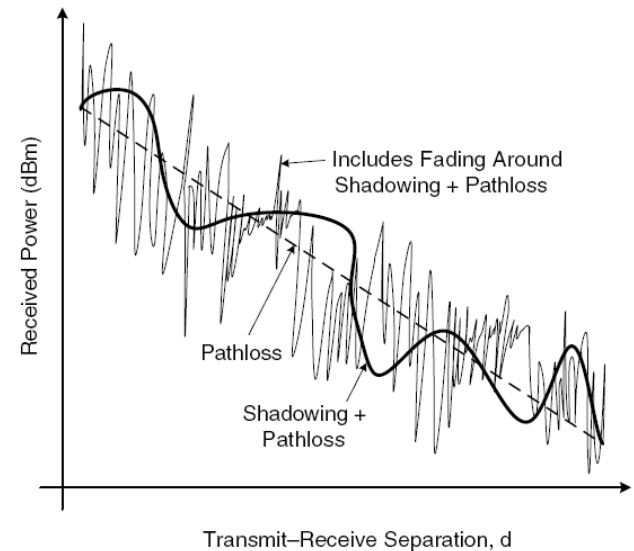
✓ Modelos de propagación empíricos (*Path loss models*) útiles para evaluar las pérdidas de potencia en entornos complejos.

✓ La señal recibida sufre fluctuaciones aleatorias debido a:

➤ *Shadowing* (debido a obstrucciones): para distancias  $\gg \lambda$ .

➤ *Fast fading* (desvanecimiento por multitrayecto): cambios rápidos de la señal a distancias  $\sim \lambda$ .

✓ Los modelos de propagación a gran escala predicen el comportamiento para distancias  $\gg \lambda$  y son útiles para modelar el alcance de un sistema radio y para la planificación.



## 4. CAMPAÑA DE MEDIDAS (II)

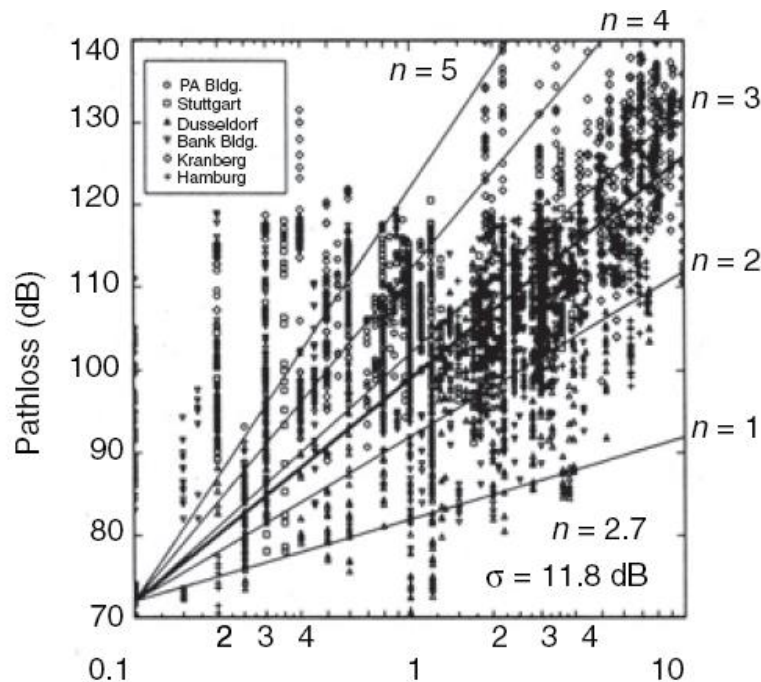


✓ Modelo conocido como *Erceg* model

Componente de desvanecimiento  
Log-normal [dB]

$$PL(d)[dB] = PL(d_0) + 10\gamma \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + 6\log\left(\frac{f_{GHz}}{2}\right) + X_\sigma$$

Variable aleatoria Gaussiana  $(0, \sigma_{PL}^2)$  [dB]



*Shadowing* causa fluctuaciones grandes sobre el modelo de Path loss

- $d_0 = 1m$  para interiores [pág.41, Gol05].
- $\gamma$ : exponente de *Path loss* (slope)
  - $2 < \gamma < 3$ : zonas rurales
  - $3 < \gamma < 5$ : zonas urbanas/semi-urbanas
  - $\gamma > 5$ : en interiores
- El método usado para la estimación de parámetros es el de *Least Squares*.
- Para exteriores se requiere de un modelo lineal con los datos a estimar ( $A, \gamma$ ):

$$\overline{PL}(d)[dB] = A + 10\gamma \log(d)$$

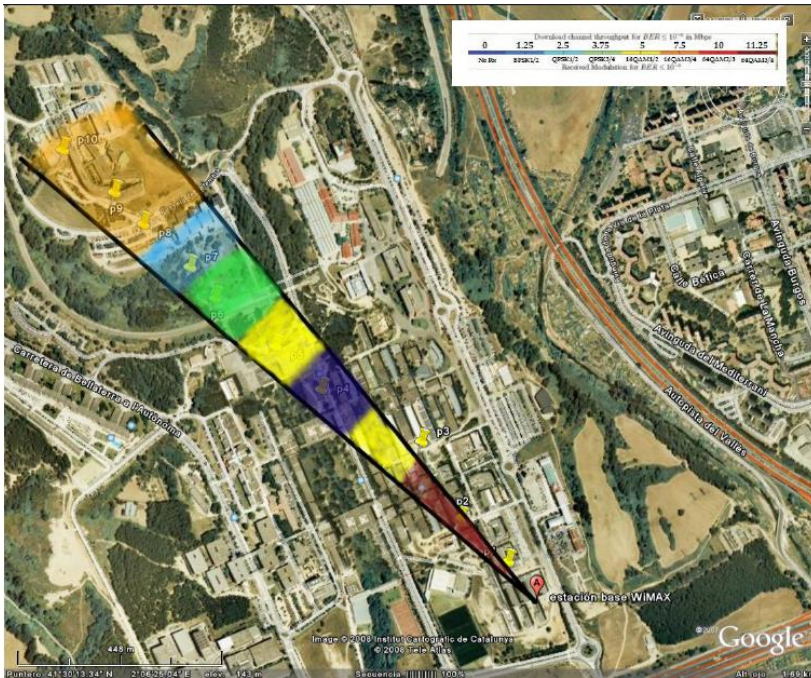
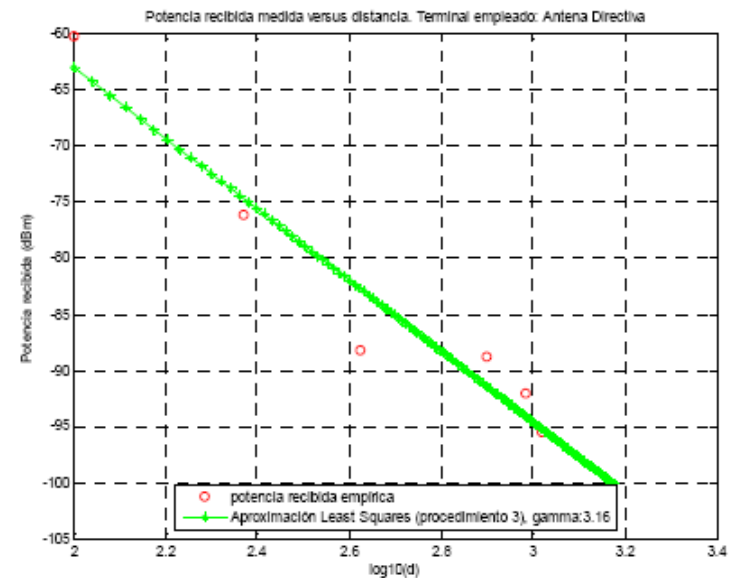
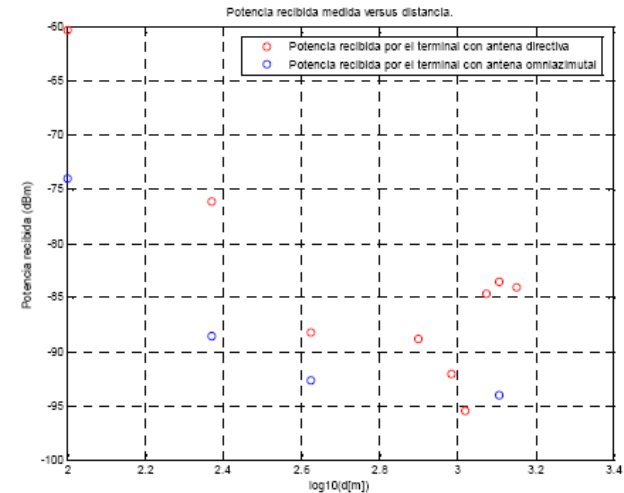
## 4. CAMPAÑA DE MEDIDAS (III)



### Modelo para el escenario semi-urbano

$$L(\text{dB}; d)_{AD} = 54.82 + 31.57 \cdot \log(d)$$

$$\gamma_{AD} = 3.157$$



Cobertura WiMAX en entorno semi-urbano



## 4. CAMPAÑA DE MEDIDAS (IV)

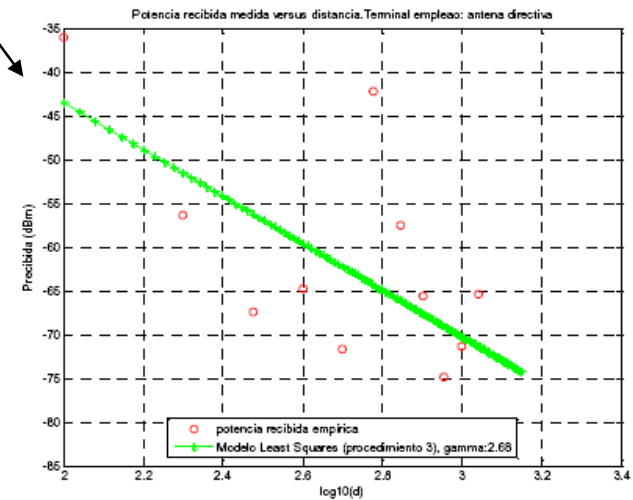
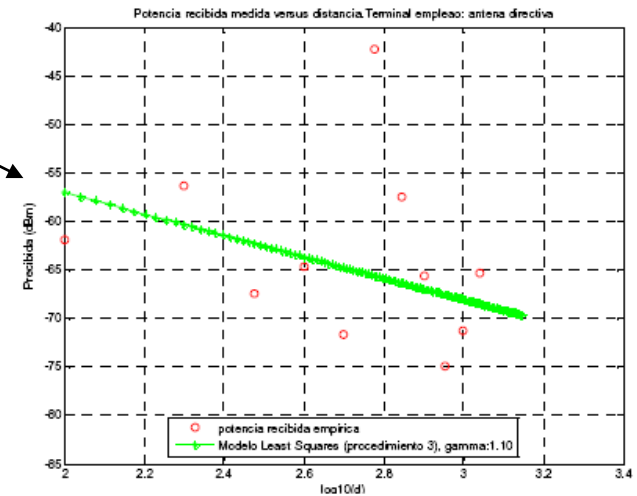
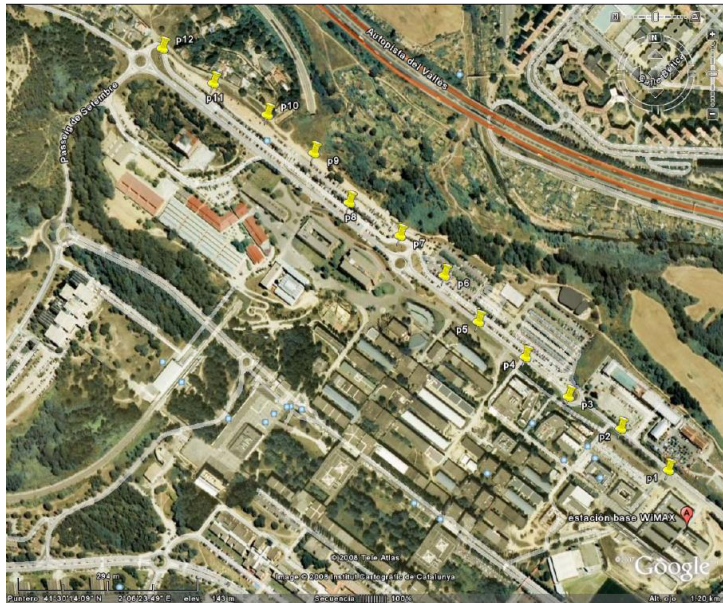


### Modelo para el escenario semi-rural (abrupto)

$$L(\text{dB}; d)_{AD} = 89.97 + 11.03 \cdot \log(d) \rightarrow \gamma = 1.103$$

$$L(\text{dB}; d)_{AD} = 89.97 + 26.8 \cdot \log(d)$$

$$\gamma = 2.68$$



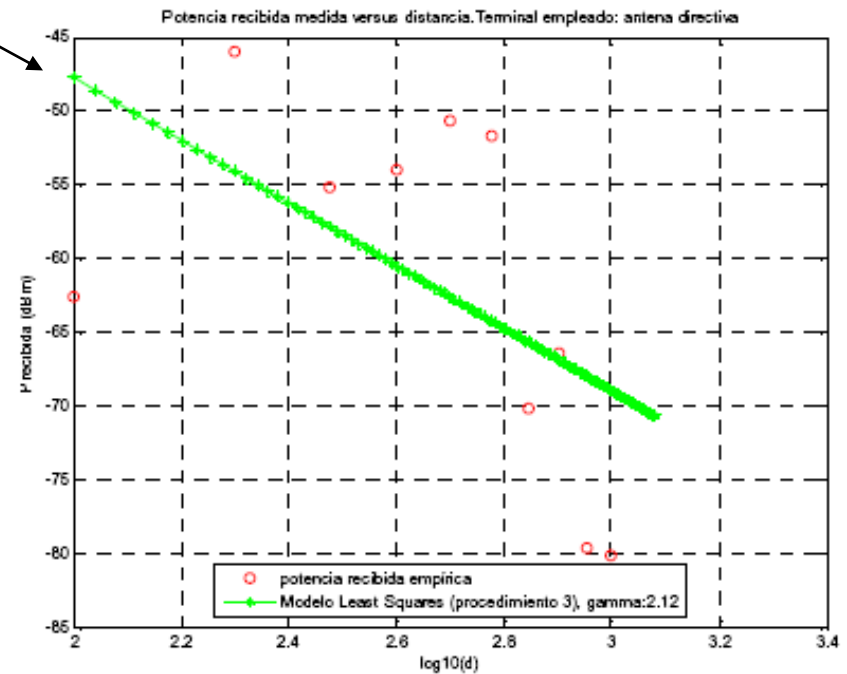
## 4. CAMPAÑA DE MEDIDAS (V)



### Modelo para el escenario semi-rural (suave)

$$L(dB;d)_{AD} = 58.85 + 21.21 \cdot \log(d)$$

$$\gamma = 2.121$$



## 4. CAMPAÑA DE MEDIDAS (VI)



### @ Modelo para el escenario indoor

- ✓ En el escenario *indoor* se pueden emplear dos métodos para obtener un modelo:
  1. Usando el *Erceg model*, fijando  $d_0 = 1\text{m}$  y hallar  $\gamma$  mediante LS.
  2. Empleando un modelo que tiene en cuenta las pérdidas de propagación en visión directa y la atenuación provocada por las particiones del edificio:

$$P_r(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) + G_{BS} + G_{SS} - P_L(d) - \sum_{i=1}^{N_f} FAF_i - \sum_{i=1}^{N_p} PAF_i$$

- ✓ El método 2 es más exacto que el método 1 porque cuantifica el total de obstáculos y su atenuación añadida.
- ✓  $P_L(d)$  hallado con el método 1 pero en escenario LOS (a lo largo de un pasillo de 150m de largo)

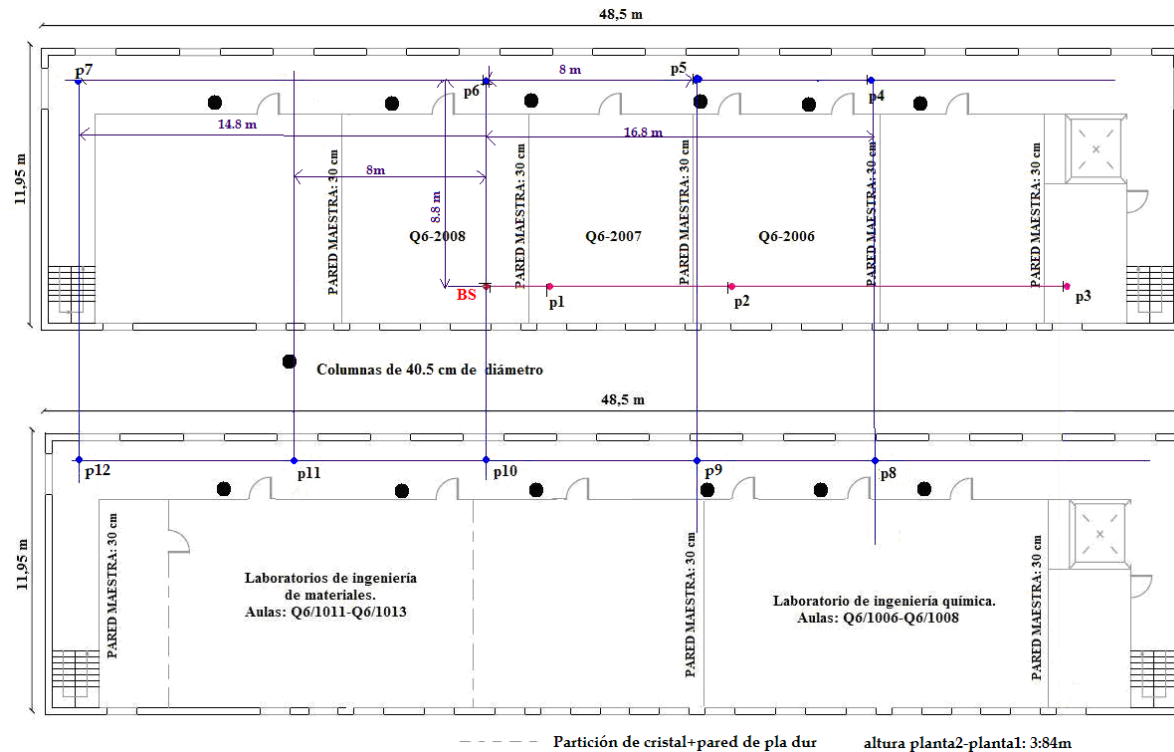
$$P_L(d) = 44.781 + 18.3 \log(d) - - > \gamma = 1.83$$



## 4. CAMPAÑA DE MEDIDAS (VII)



### @ Definición del escenario *indoor* (I)



- ✓ Paredes de 30 cm de grosor
- ✓ Atenuación/pared: 13 dB aprox
- ✓ Atenuación entresuelo: 47 dB
- ✓ Atenuación otros obstáculos: puertas : 2.5 dB, armarios: 11 dB.



## 1. OBJETIVOS

## 2. INTRODUCCIÓN A WiMAX (*World Interoperability for MicroWave Access*)

## 3. ARQUITECTURA DE LA RED WiMAX

## 4. CAMPAÑA DE MEDIDAS (*indoor y outdoor*)

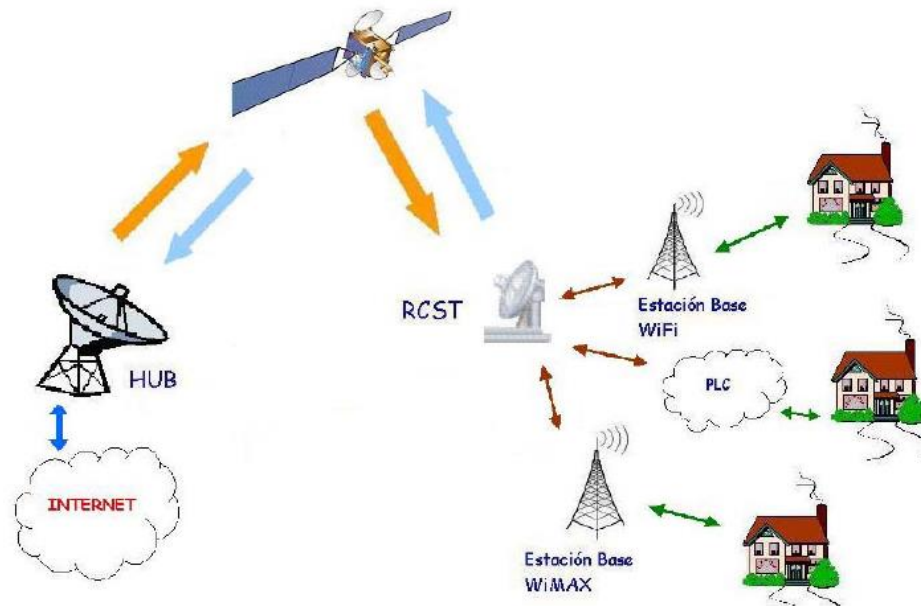
## ➔ 5. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO NACIONAL INTERURBAL DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO.

## 6. CONCLUSIONES

## 5. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO INTERRURAL (I)



- ✓ Proyecto PROFIT financiado por el MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO.
- ✓ Consta de 2 fases: 1. Comparar dos alternativas para el acceso a las zonas rurales integradas con sistema satélite: WiMAX y WiFi 802.11a (Octubre 07-Marzo 08) en escenarios distintos.  
2. Integrar PLC (prevista para el año 2009) y desplegar el demostrador completo en un pueblo de Huesca

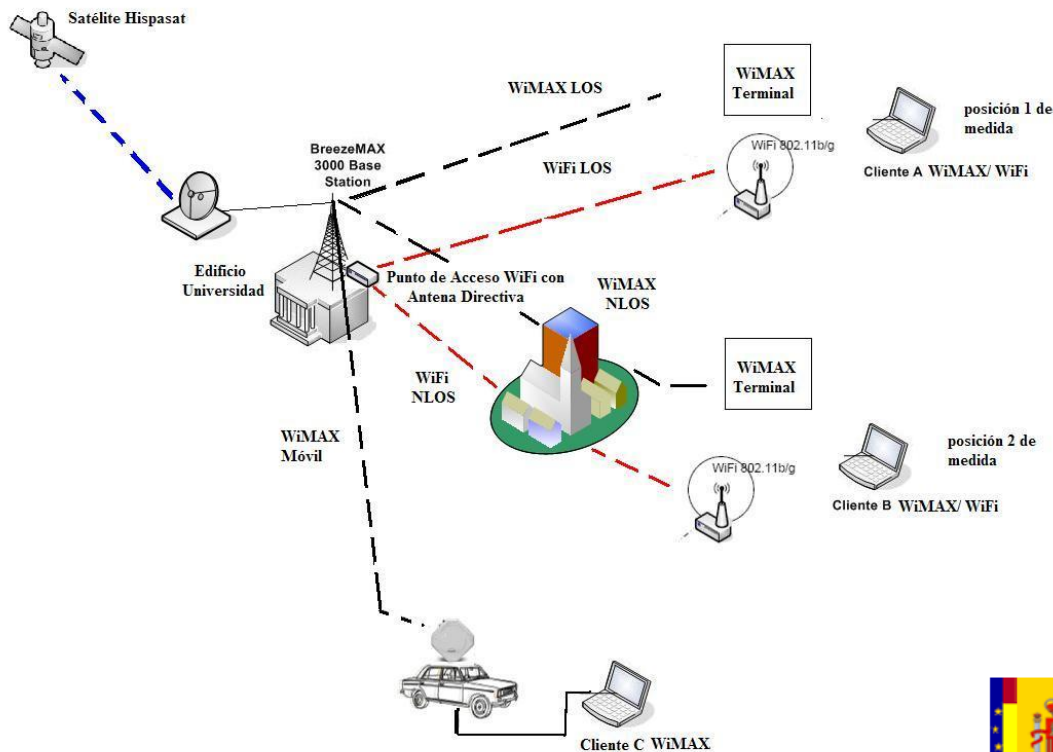


## 5. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO INTERRURAL (II)



### Esquema completo del demostrador de la primera fase del proyecto InterRural

- ✓ Arquitectura de acceso a Internet basado en red híbrida integrando satélite con tecnologías WiMAX y WIFI.



Servicios desplegados:

- Videoconferencia a 3 con ooVoo
- VoIP sobre WiMAX con teléfono analógico.



## 5. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO INTERRURAL (III)



@Posiciones en las que se obtuvieron resultados el día de la demostración



A: BS WiMAX. 140 m respecto el mar.

B: LOS, 1.14 Km, 161 m.

C NLOS, 1.6 Km ,166 m.



## 5. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO INTERRURAL (IV)



### Ⓢ Resultados del demostrador

- ✓ SNR WiMAX recibida (B:34 dB,C:28 dB) > SNR WiFi (B:18 dB)
  - ✓ *Throughput* WiFi (48 Mbps) > *Throughput* WiMAX (12 Mbps) .
  - ✓ *Throughput* TCP WiFi (17 Mbps) > *Throughput* TCP WiMAX (4.26 Mbps)
  - ✓ Ptx equipo WiFi (17 dBm) < Ptx equipo WiMAX (20 dBm)
  - ✓ Videoconferencia/telefonía IP: retardo a través de satélite despreciable (0.5 sg) y calidad buena. ➡ Solución económica para las zonas aisladas.
- 
- ✓ Ventajas WiMAX frente WiFi:
    1. Mayor número de subportadoras OFDM. WiMAX 802.16-2004->256, WiFi 802.11a ->64
    2. Eficiencia espectral: WiMAX 3.8 bps/Hz, WiFi 2.7 bps/Hz.
    3. Las BS WiMAX son capaces de transmitir a potencias mayores que las de WiFi.
    4. *Delay spread* de 10 us frente a WiFi (900 ns) ➡ 10 veces mayor cobertura que WiFi (300m).

## 5. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO INTERRURAL (V)



### @ Divulgación del proyecto InteRural en diversos medios de comunicación

✓ Televisión Local de Barcelona

✓ Radio 4

✓ Prensa:

➤ [http://www.elperiodico.com/default.asp?idpublicacio\\_PK=46&idioma=CAS&idnoticia\\_PK=487282&idseccio\\_PK=1012](http://www.elperiodico.com/default.asp?idpublicacio_PK=46&idioma=CAS&idnoticia_PK=487282&idseccio_PK=1012)

➤ <http://www.lamalla.net/digitals/article?id=190823>

➤ <http://www.noticiesdot.com/2008/02/28/investigadors-de-la-uab-posen-a-punt-un-sistema-d%E2%80%99acces-a-internet-de-qualitat-optima-per-a-zones-rurals/>



*Se anuncia que se han aceptado en la URSI (Union Radio-Scientifique Internationale) dos artículos valorados con notas de 4 y 5 (5 excelente) con título “InterRural: Internet Rural mediante Redes Heterogéneas e Itinerantes” cuyos principales autores son Albert Anglès, Gonzalo Seco y José López Vicario*



1. OBJETIVOS
2. INTRODUCCIÓN A WiMAX (*World Interoperability for MicroWave Access*)
3. ARQUITECTURA DE LA RED WiMAX
4. CAMPAÑA DE MEDIDAS (*indoor y outdoor*)
5. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO NACIONAL INTERURAL DEL MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO.

➡ 6. CONCLUSIONES



## 6. CONCLUSIONES

---



- ✓ Se han presentado los equipos WiMAX empleados en el proyecto.
- ✓ Se ha demostrado empíricamente que en un entorno de elevadas pérdidas, se obtienen  $\gamma > 3$  y que en entornos tipo rurales  $2 < \gamma < 3$ .
- ✓ El procedimiento seguido y el modelo utilizado en *outdoor* es válido para cualquier tipo de escenario u conjunto de escenarios: zona rural+zona urbana. En este caso en un principio se tendrían dos  $\gamma$  para cada escenario.
- ✓ Se han discutido dos modelos de interiores. En el caso de muchos obstáculos mejor buscar la  $\gamma$  asociada.
- ✓ Se ha presentado la primera fase del proyecto InterRural demostrando que un radioenlace WiFi 802.11a ofrece mayor *throughput* que un radioenlace WiMAX (con 3.5 MHz de ancho de banda) solo en escenarios LOS. En general WiMAX es mejor que WiFi.



**Gracias por su atención**

**Autor: Albert Anglès Vázquez**