
ANEXOS

Anexo I: MODELOS DE PROPAGACIÓN EMPÍRICOS

En el proyecto utilizamos una serie de modelos de propagación empíricos como uno de los puntos de referencia para comparar los resultados obtenidos. La mayoría de ellos no están pensados para trabajar con frecuencias superiores a 2 GHz, por lo que todavía se está considerando su eficacia para el rango de frecuencias bajo estudio. Aún así casi todos los estudios analizados comparan sus resultados con ellos. En este anexo se va a profundizar en sus expresiones y características.

I.1 Stanford University Interim (SUI) Model

Los modelos SUI, [5], [6] fueron desarrollados en la Universidad de Stanford por el grupo IEEE 802.16 Broadband Wireless Access. Son una extensión del modelo Okumura-Hata, y se han adaptado, mediante parámetros correctores, para permitir su uso en frecuencias superiores a 1900 MHz.

Pueden ser usados en sistemas con las siguientes características: altura para las estaciones base entre 10 m y 80 m, altura para las antenas receptoras entre 2 m y 10 m y para radios celulares entre 0.1 y 8 km.

Este modelo incorpora en sus cálculos dos nuevos parámetros, el exponente de pérdidas de propagación, γ , y la desviación estándar del desvanecimiento lento, s . Son variables aleatorias obtenidas mediante procedimientos estadísticos. Distingue 3 tipos diferentes de terrenos, denominados como A, B y C. El terreno de tipo A representa las zonas con las pérdidas de propagación más altas, usados para áreas accidentadas con moderada y gran densidad de vegetación. El tipo B es usado para terrenos llanos con moderada o densa vegetación o terrenos accidentados con escasa vegetación. El tipo C es adecuado para terrenos llanos con escasa vegetación, donde las pérdidas son más bajas.

La expresión del modelo SUI para las pérdidas de propagación viene dada por (12):

$$PL = A + 10 \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_f + X_h + s \quad \text{para } d > d_0 \quad (12)$$

donde d (metros) es la distancia de separación entre la estación base y la antena receptora, $d_0 = 100 \text{ m}$, X_f es una corrección para frecuencias por encima de 2 GHz, X_h es una corrección para la altura de la antena receptora y s es una corrección para el efecto de sombra causado por árboles y otros tipos de clutter en las pérdidas de propagación con valores entre 8.2 dB y 10.6 dB, [5]. El parámetro A se define como:

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_0}{\lambda} \right) \quad [\text{dB}] \quad (13)$$

con λ la longitud de onda en metros. El exponente de pérdidas de propagación viene dado por:

$$\gamma = a - b h_b + \frac{c}{h_b} \quad (14)$$

donde h_b es la altura de la estación base en metros, y a , b y c son constantes que dependen del tipo de terreno, definidas en la tabla 09. Para las pérdidas de propagación en el espacio libre en zonas urbanas el exponente de pérdidas es $\gamma = 2$, en terrenos NLOS urbanos $3 < \gamma < 5$, y para zonas de propagación indoor $\gamma > 5$.

Parámetro	Terreno A	Terreno B	Terreno C
a	4.6	4.0	3.6
b (m⁻¹)	0.0075	0.0065	0.005
c (m)	12.6	17.1	20

Tabla 09. Valor de los parámetros del terreno para el modelo SUI.

Los parámetros correctores para la frecuencia de trabajo y la altura de la antena receptora son:

$$X_f = 6.0 \log_{10} \left(\frac{f}{2000} \right) \quad (15)$$

$$X_h = -10.8 \log_{10} \left(\frac{h_r}{2000} \right), \quad \text{para terrenos tipo A y B} \quad (16)$$

$$X_h = -20.0 \log_{10} \left(\frac{h_r}{2000} \right), \quad \text{para terrenos tipo C} \quad (17)$$

donde f es la frecuencia en MHz y h_r la altura de la antena receptora en metros. Los modelos SUI son usados para estimar pérdidas de propagación en entornos urbanos, suburbanos y rurales, [6].

I.2 COST 231 Hata Model

El modelo COST 231 Hata, [6], [7], es una extensión del conocido modelo Okumura – Hata para predecir pérdidas de propagación en el rango de frecuencias entre 1500 MHz $< f < 2000$ MHz. La principal ventaja que aporta es la incorporación de correcciones para entornos llanos, tanto urbanos, suburbanos y rurales. La ecuación básica para las pérdidas viene dada por la ecuación (18):

$$PL = 46.3 + 33.9 \log_{10} f - 13.82 \log_{10}(h_b) - ah_m + (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10} d + c_m \quad [\text{dB}] \quad (18)$$

donde d es la distancia entre el transmisor y el receptor en km, f es la frecuencia en MHz y h_b es la altura de la antena transmisora en metros.

El parámetro c_m tiene diferentes valores los cuales varían en función del entorno, 0 dB para entornos suburbanos y 3 dB para suburbanos, al igual que ah_b , que está definido para entornos urbanos como:

$$ah_m = 3.20 (\log_{10}(11.75h_r))^2 - 4.79, \quad \text{para } f > 400 \text{ MHz} \quad (19)$$

y para suburbanos o rurales (llanos) como sigue:

$$ah_m = (1.11 \log_{10} f - 0.7) h_r - (1.5 \log_{10} f - 0.8) \quad (20)$$

con h_r la altura de la antena receptora en metros, [5].

I.3 ECC 33 Model

Uno de los modelos empíricos más extendidos para estimar pérdidas de propagación es el modelo Okumura – Hata, basado en el original Okumura. Los autores de dicho modelo subdividieron las áreas urbanas en ‘ciudades grandes’ y ‘ciudades medianas’, y además propusieron factores correctores para zonas suburbanas y ‘abiertas’. Las medidas experimentales fueron desarrolladas en Tokyo, ciudad que difiere bastante de las típicas en Europa, por lo que para ellas se propone usar el modelo para ‘ciudades medianas’.

El modelo Okumura – Hata está ampliamente utilizado para la banda de frecuencias UHF, pero su uso es cuestionable para altas frecuencias. El modelo COST 231 extiende su uso para frecuencias superiores a 2 GHz, pero fue propuesto principalmente para sistemas omnidireccionales con antenas receptoras situadas a menos de 3 m del suelo. El modelo ECC 33 representa una aproximación diferente extrapolada de las medidas originales del Okumura que se acercan más a las características de un sistema FWA. En este modelo las pérdidas de propagación se definen como:

$$PL = A_{fs} + A_{bm} + G_b + G_r \quad (23)$$

donde A_{fs} , es la atenuación en el espacio libre, A_{bm} , el parámetro básico de pérdidas de propagación medias, G_b , el factor de ganancia en altura de la estación base y G_r , el correspondiente para la altura del receptor. Estos factores se definen como:

$$A_{fs} = 92.4 + 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad (24)$$

$$A_{bm} = 20.41 + 9.83 \log_{10}(d) + 7.894 \log_{10}(f) + 9.56 [\log_{10}(f)]^2 \quad (25)$$

$$G_b = \log_{10}\left(\frac{h_B}{200}\right) \{13.958 + 5.8 \log_{10}(d)^2\} \quad (26)$$

el parámetro anterior se modifica para ciudades medianas de la siguiente manera:

$$G_b = [42.57 + 13.7 \log_{10}(f)][\log_{10}(h_r) - 0.585] \quad (27)$$

donde f es la frecuencia en GHz, d es la distancia entre el transmisor y el receptor en km, h_b es la altura en metros de la estación base y h_r es la altura en metros de la antena receptora. El modelo para ciudad mediana es más apropiado para ciudades europeas, mientras que el de grandes ciudades debería ser usado en ciudades con una gran altura de edificios, [5].

I.4 COST Walfisch – Ikegami Model

Este modelo resulta de la combinación propuesta por Walfisch e Ikegami sobre el COST 231. Este modelo ofrece una mejor predicción para las pérdidas de propagación sobre todo en entornos urbanos con una altura más o menos uniforme en los edificios y para zonas suburbanas planas. Su aportación son unos parámetros diferentes para modelar el terreno. La ecuación característica para las pérdidas está definida para entornos NLOS como:

$$PL_{NLOS} = L_{FS} + L_{rts} + L_{MSD} \quad (28)$$

donde L_{FS} son las pérdidas en el espacio libre, L_{rts} , las pérdidas que relacionan la altura de los edificios y L_{MSD} , las pérdidas de difracción, y están definidas como:

$$L_{FS} = 32.45 + 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) \quad (29)$$

para entornos urbanos:

$$L_{rts} = -16.9 + 10 \log_{10}(f_c) + 20 \log_{10}(\Delta h_m) - 10 \log_{10}(\omega) + L_{ori} \quad (30)$$

y para entornos suburbanos:

$$L_{rts} = -8.8 + 10 \log_{10}(f_c) + 20 \log_{10}(\Delta h_m) - 10 \log_{10}(\omega) + L_{ori} \quad (31)$$

donde L_{ori} es la orientación en la calle en función de φ , que representa el ángulo de calle respecto a la dirección de máxima radiación, el usado en nuestro caso:

$$L_{ori} = 4.0 - 0.114(\varphi - 55) \text{ since } 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \quad (32)$$

$$L_{MSD} = L_{bsh} + k_a + k_d \log_{10}(d) + k_f \log_{10}(f) - 9 \log_{10}(b) \quad (33)$$

en la ecuación (33) se define L_{bsh} en (34), k_a es 54, k_d es 18 y k_f viene expresado en (35), [7]:

$$L_{bsh} = -18 * \log_{10}(1 + \Delta h_t) \quad (34)$$

$$K_f = -4 + 0.7((f_c/925) - 1) \quad (35)$$

I.5 Ericsson 9999 Model

El modelo 9999 es la implementación por parte de Ericsson del modelo Okumura – Hata. Hace posible el cambio de algunos de sus parámetros en función del entorno de propagación. La ecuación que permite obtener las pérdidas responde a:

$$PL = a_0 + a_1 \log_{10}(d) + a_2 \log_{10}(h_B) + a_3 \log_{10}(h_B) \cdot \log_{10}(d) - 3.20 (\log_{10}(11.75h_r))^2 + g(f) \quad (21)$$

donde $g(f)$ está definido como:

$$g(f) = 44.49 \log_{10}(f) - 4.78 (\log_{10}(f))^2 \quad (22)$$

Los parámetros a_0 , a_1 , a_2 y a_3 son constantes que se pueden modificar según ajusten mejor a las condiciones de propagación. Los valores por defecto son: $a_0 = 36.2$, $a_1 = 30.2$, $a_2 = -12$ y $a_3 = 0.1$, [6].

En las secciones anteriores se han descrito las ecuaciones fundamentales de los modelos empíricos usados en el proyecto, con sus respectivas alternativas para entornos urbanos y suburbanos. A continuación se muestran sus representaciones lineales:

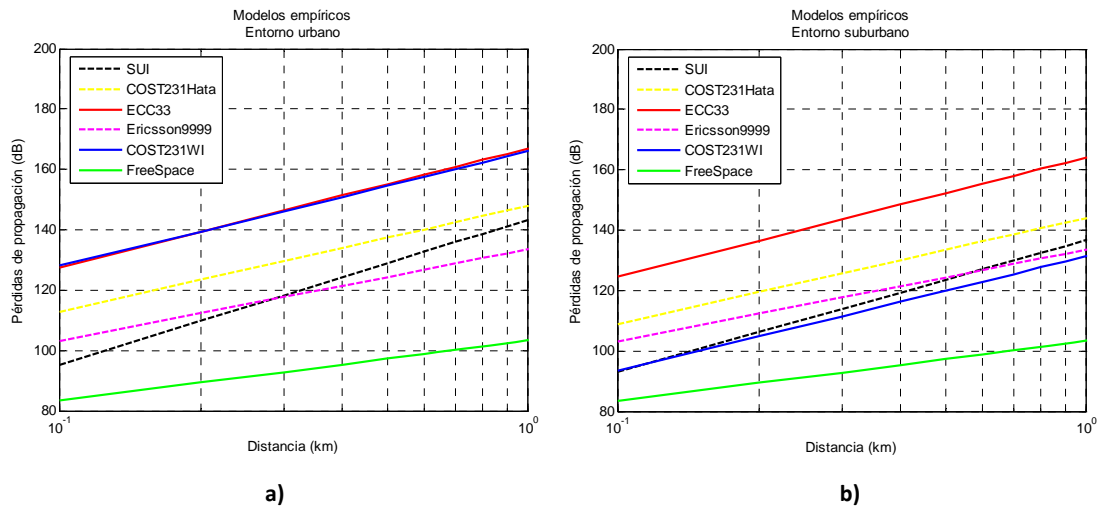


Figura 20. Pérdidas de propagación correspondientes a modelos empíricos estándar para entornos: a) urbanos, b) suburbanos

Anexo II: OBTENCIÓN DE RESULTADOS

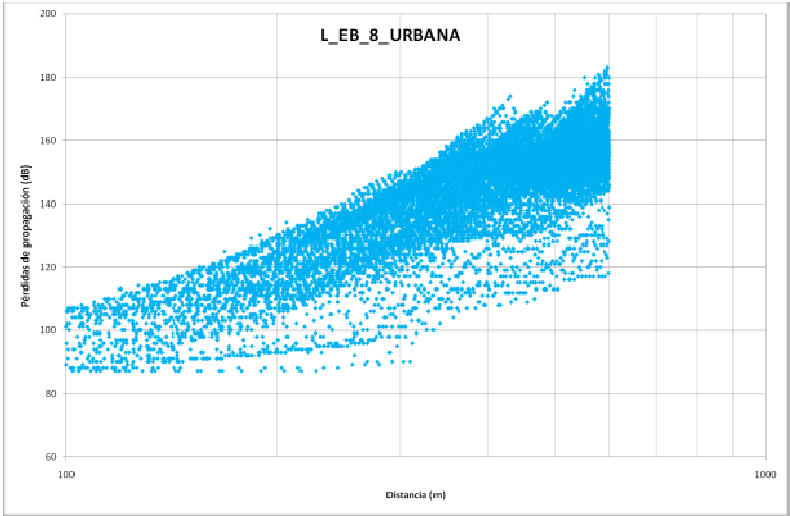
Como se comenta en el capítulo 4, los valores obtenidos en las simulaciones sufren un procesamiento posterior hasta llegar a los resultados finales. En este anexo se describen con más precisión este proceso y los resultados intermedios.

II.1 Tratamiento de las pérdidas

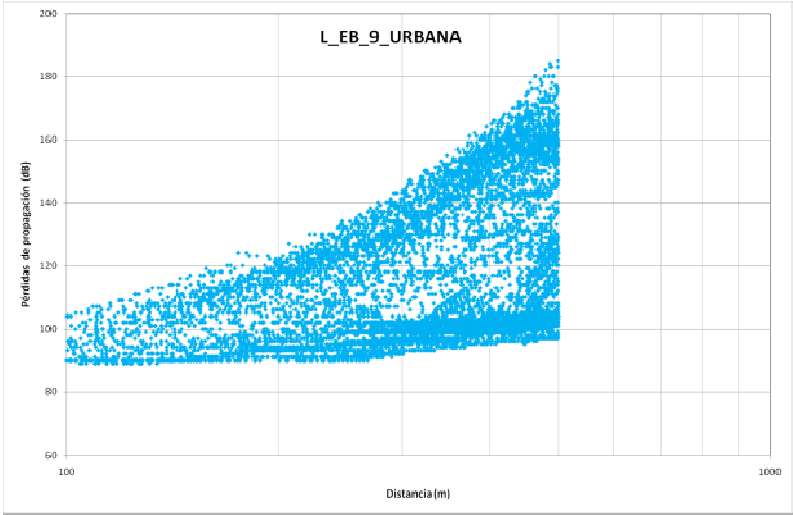
El esquema de la figura 32 resume los pasos seguidos hasta obtener los parámetros que caracterizan el modelo de pérdidas. Además contiene unas pequeñas gráficas como ejemplo de lo obtenido en cada caso, el cual se procede a explicar a continuación:

El punto de partida son las simulaciones de los niveles de radiación de las antenas realizadas con el programa ICS Telecom y para cada estación base (mapa de cobertura resultante figura 32.a). El propio programa exporta estos valores en ficheros de tipo texto, que contienen, además de la información de los niveles de señal recibidos en cada punto del mapa, unas coordenadas de referencia y el número de puntos totales calculados. Esta información se utiliza en el procesamiento para determinar la distancia a la que se encuentran de la estación base. Además, en este algoritmo se aprovecha para obtener directamente las pérdidas de propagación a partir de la ecuación (2) del capítulo 2, (figura 32.b). Este cálculo es posible gracias a que se conocen de antemano las características de transmisión de las antenas.

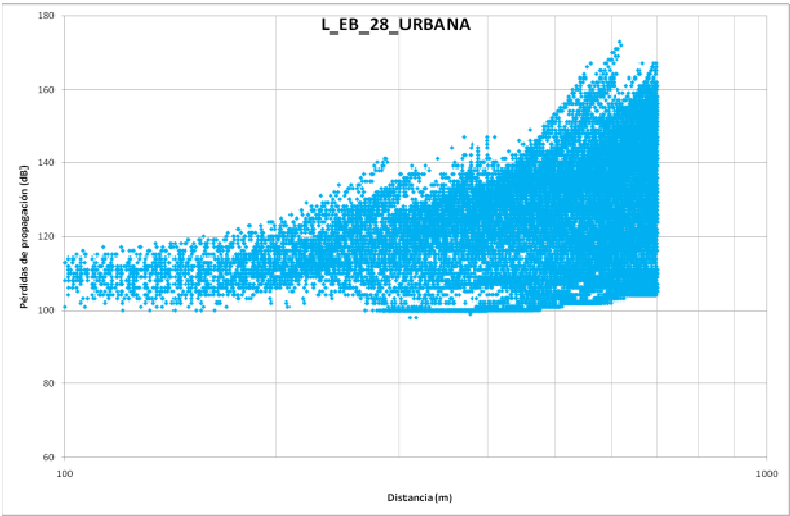
El resultado de este algoritmo son las atenuaciones sufridas por la señal en función de la distancia de separación con la antena transmisora (figura 32.c). La representación gráfica de estos valores permite analizar de forma individual el comportamiento particular para cada zona la ciudad, como se muestra en las gráficas de la parte inferior. Este hecho resulta interesante ya que, como se ha comentado, los niveles de recepción se ven alterados por las características concretas de cada entorno. Las figuras corresponden a las atenuaciones sufridas por la señal en diferentes zonas, consideradas urbanas, de la ciudad. Se observa como los comportamientos son diferentes para cada una de ellas.



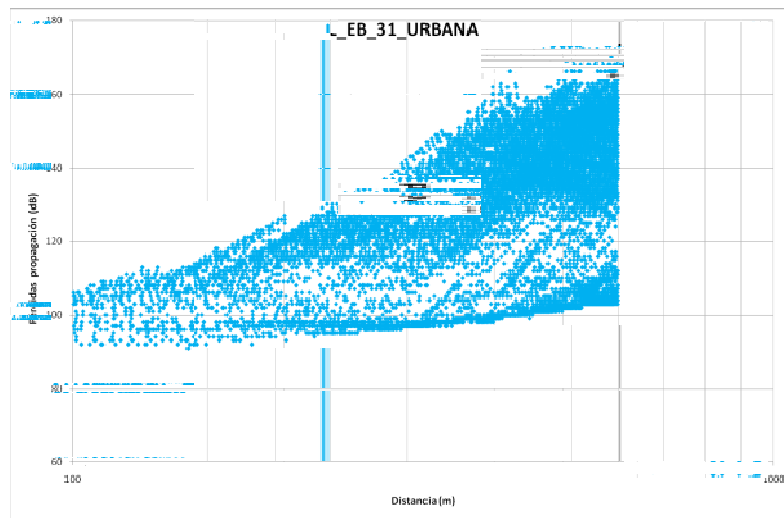
a)



b)



c)

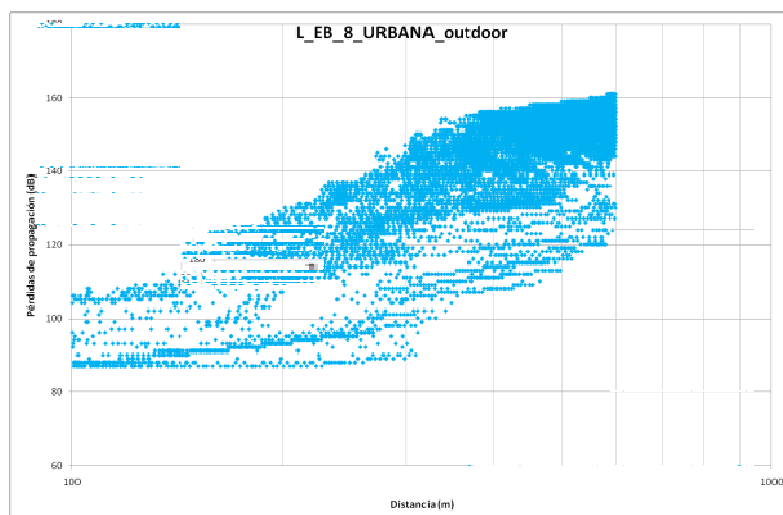


d)

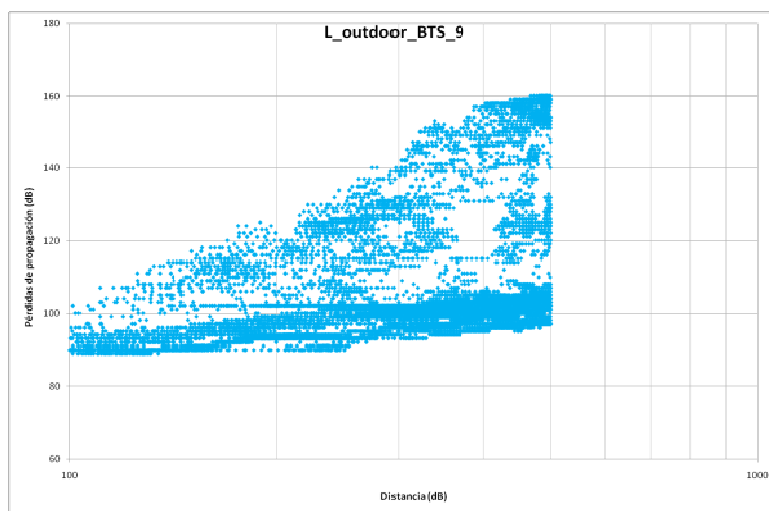
Figura 21. Representación de las pérdidas en función de la distancia para diferentes estaciones base urbanas.
Estaciones base: a) EB 8, b) EB 9, c) EB 28 y d) EB 31.

Los valores aquí representados corresponden a medidas realizadas en todos los tipos de suelo de la zona de análisis, es decir, son los resultados de los puntos tanto interiores como exteriores. Las siguientes gráficas muestran los mismos resultados filtrados, únicamente con los valores del exterior.

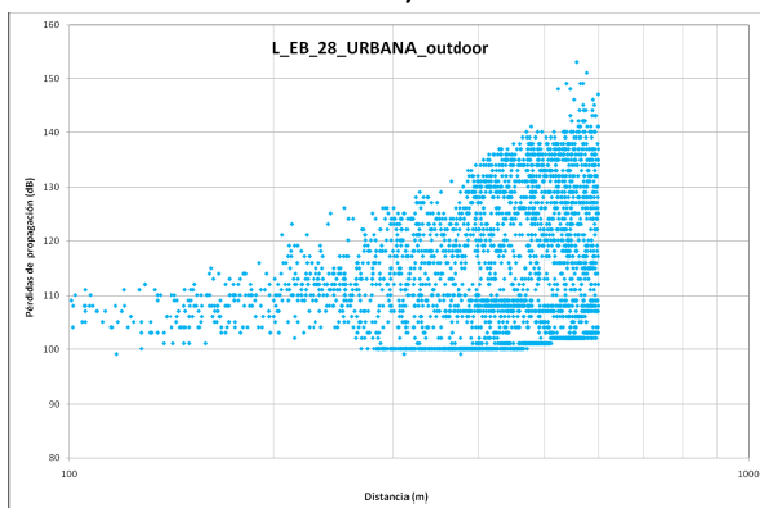
Evidentemente el número de puntos para procesar en esta situación es menor. En algunas de ellas se observa como el alcance supera al de la situación común, debido a que al ser valores de atenuación inferiores se saturan a más larga distancias.



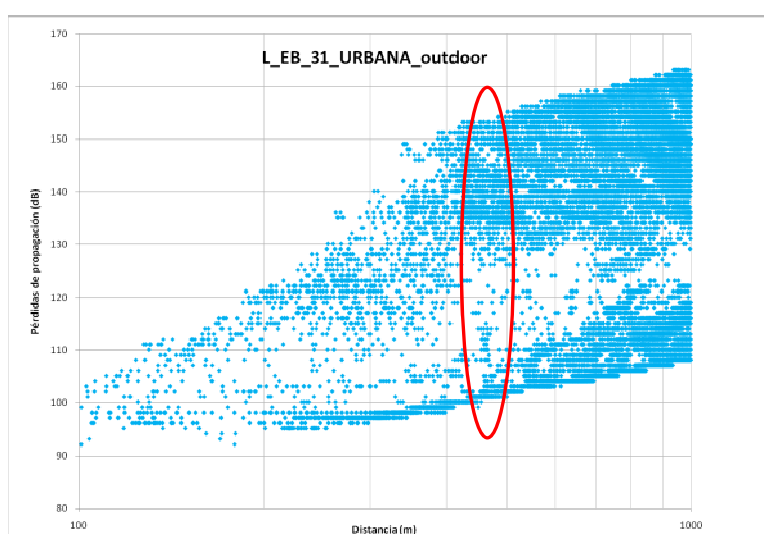
a)



b)



c)

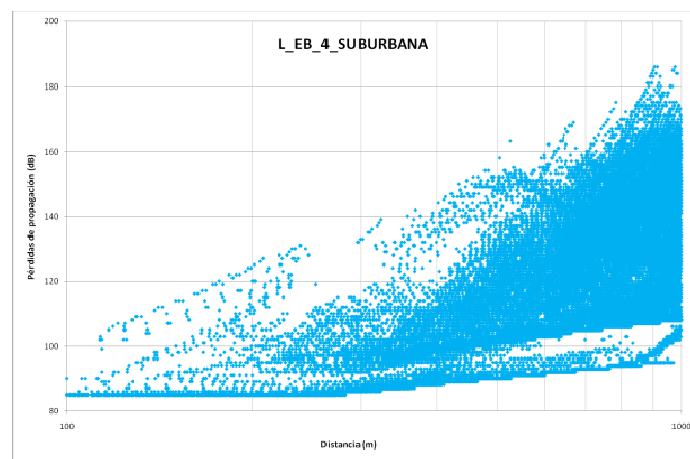


d)

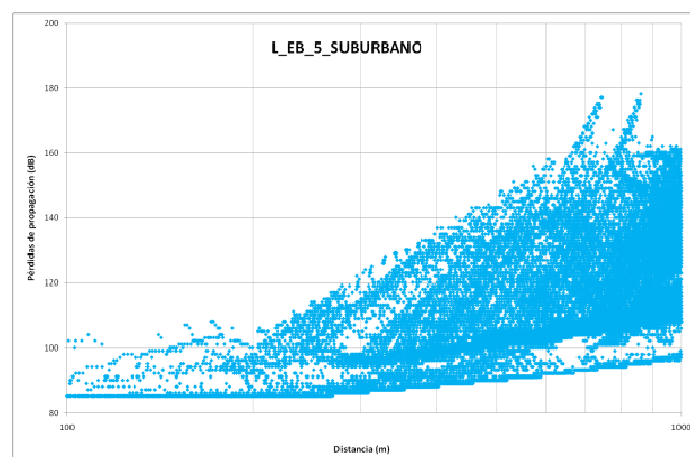
Figura 22. Representación de las pérdidas en función de la distancia para diferentes estaciones base urbanas, outdoor. Estaciones base: a) EB 8, b) EB 9, c) EB 28 y d) EB 31.

En general, para cualquiera de las situaciones, se observa como la dispersión de los valores para una determinada distancia es elevada, y además se incrementa con la distancia. Este hecho se visualiza de forma clara en la figura anterior (figura 22.d), incrementándose en la zona señalada. La causa son las alteraciones que provoca el propio entorno en la señal, en algunos casos debido a las diferencias provocadas por la convivencia tanto de puntos interiores como exteriores, en otros por la mayor presencia de edificios que generan efectos de sombra o por el efecto cañón.

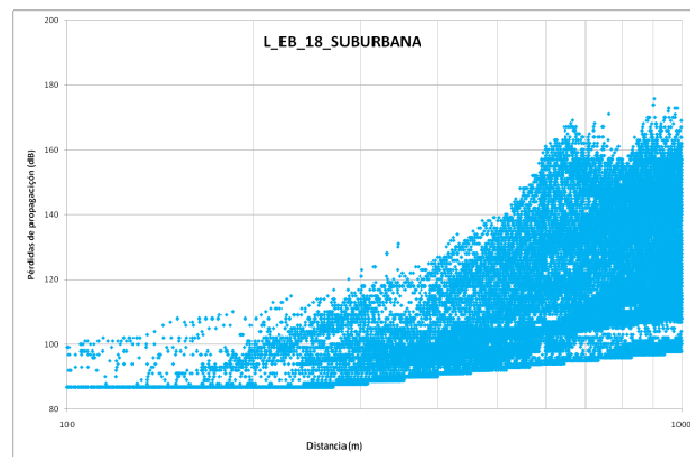
Recordamos que la caracterización se realiza para entornos urbanos y suburbanos. La forma de proceder para ambas situaciones es la misma, por lo que únicamente se muestran algunos resultados en el siguiente conjunto de gráficas como ejemplo de sus comportamientos:



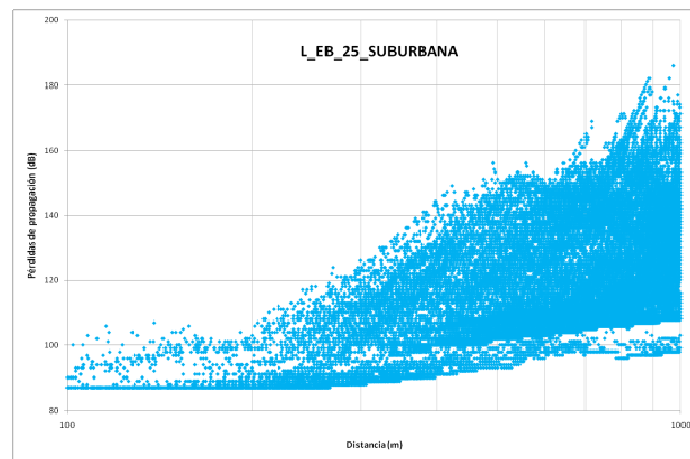
a)



b)



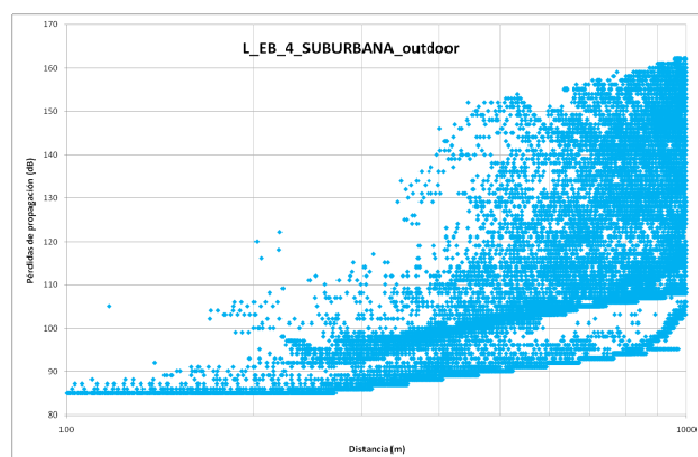
c)



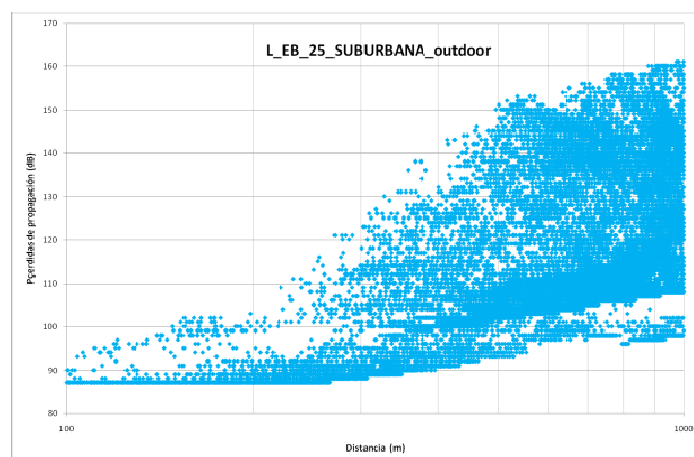
d)

Figura 23. Representación de las pérdidas en función de la distancia para diferentes estaciones base suburbanas. Estaciones base: a) EB 4, b) EB 5, c) EB 18 y d) EB 25.

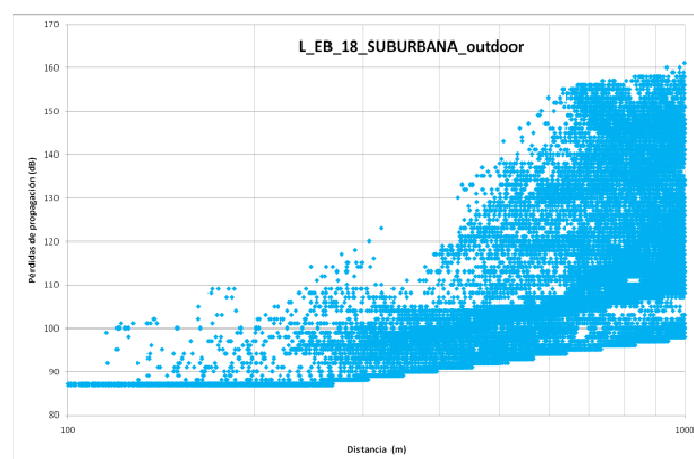
Como se comenta en la memoria el alcance en las zonas suburbanas es mayor debido a las características del entorno, menor densidad y altura de edificios y mayor anchura de calles, entre otras, que favorecen la propagación. En la figura 24 se muestran las atenuaciones en exteriores:



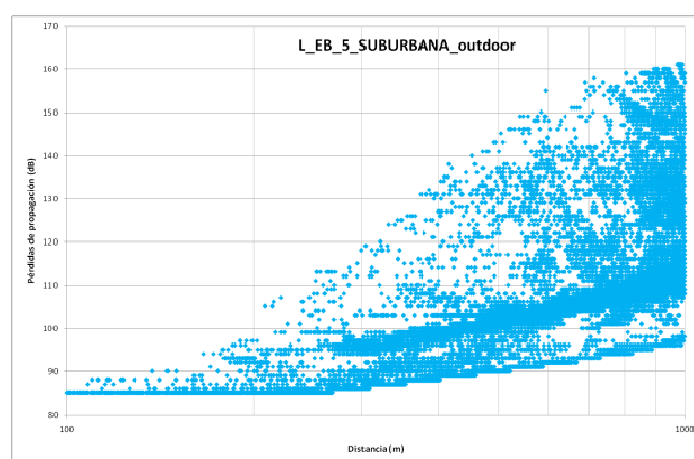
a)



b)



c)



d)

Figura 24. Representación de las pérdidas en función de la distancia para diferentes estaciones base suburbanas outdoor. Estaciones base: a) EB 4, b) EB 5, c) EB 18 y d) EB 25.

Volviendo de nuevo al esquema principal de trabajo, una vez que tenemos identificadas las atenuaciones de cada estación base, se realiza un promediado de los datos para cada una de ellas y cada 100 m (figura 32.d). El motivo de este promediado surge por la necesidad de reducir el volumen de datos a manejar. Se recuerda que la resolución en el terreno es a 1 metro, lo que implica que para cada pixel del mapa se calcula un valor de las pérdidas de propagación. Esto supone problemas adicionales en cuanto al manejo, cálculo y representación de los datos. Por esta misma razón en las figuras referentes a las pérdidas de propagación aquí mostradas tampoco se incluyen todos los valores disponibles, aunque sí un porcentaje elevado de ellos, suficiente para conocer el comportamiento.

El valor concreto de 100 m se elige por considerarlo una distancia adecuada de cara al cálculo de atenuaciones, no supone distancias demasiado largas, en las que ya puede haber variaciones de la atenuación, ni demasiado cortas. Además, resulta un valor útil a la hora de hacer comparaciones.

En la figura 32.e, del esquema principal, se muestra el resultado de este promediado para un único emplazamiento, el cual aparece superpuesto a la nube de puntos inicial en la imagen mostrada a continuación (figura 25):

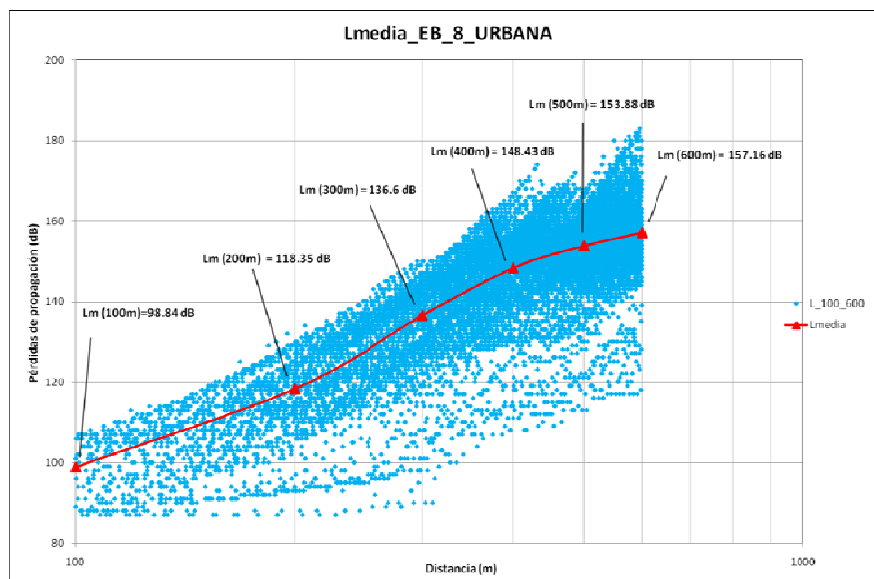


Figura 25. Superposición de los promedios de atenuación cada 100 m con las pérdidas de propagación, (EB 8 urbana).

La siguiente gráfica contiene el mismo tipo de información que la anterior pero con las medidas correspondientes sólo a puntos exteriores. Los valores medios de atenuación disminuyen entre 2 y 8 dB respecto al caso conjunto. Además, se observa como en ambos casos la mayoría de valores se concentran en las atenuaciones más altas a largas distancias, sin embargo existen puntos con una baja atenuación en torno al límite de la célula, 500 – 600m, los cuales corresponden principalmente al efecto cañón comentado.

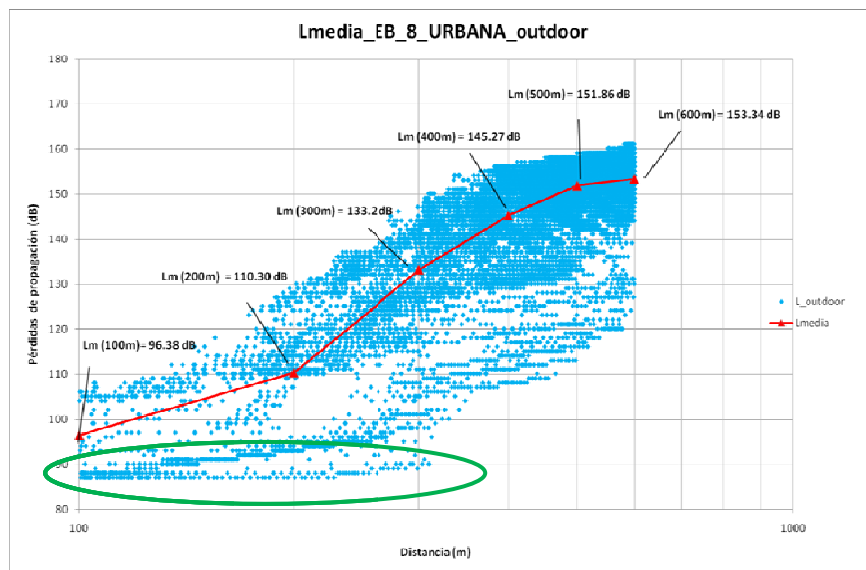
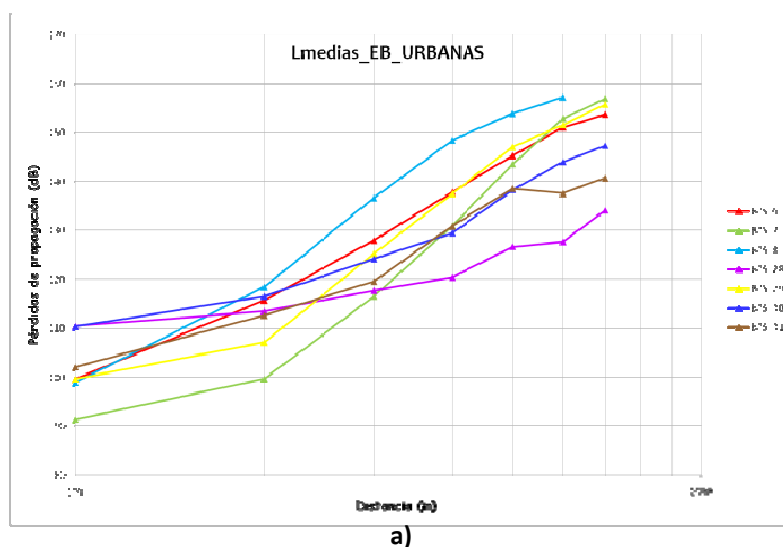
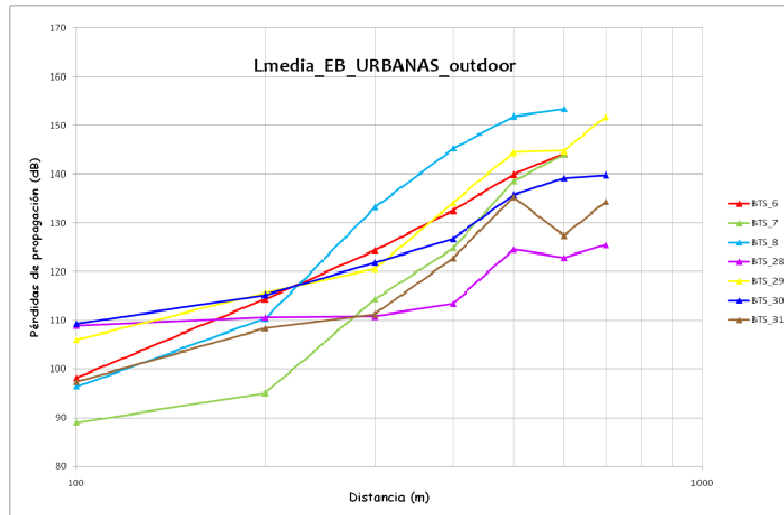


Figura 26. Superposición de los promedios de atenuación cada 100 m con las pérdidas de propagación, (EB 8 urbana outdoor).

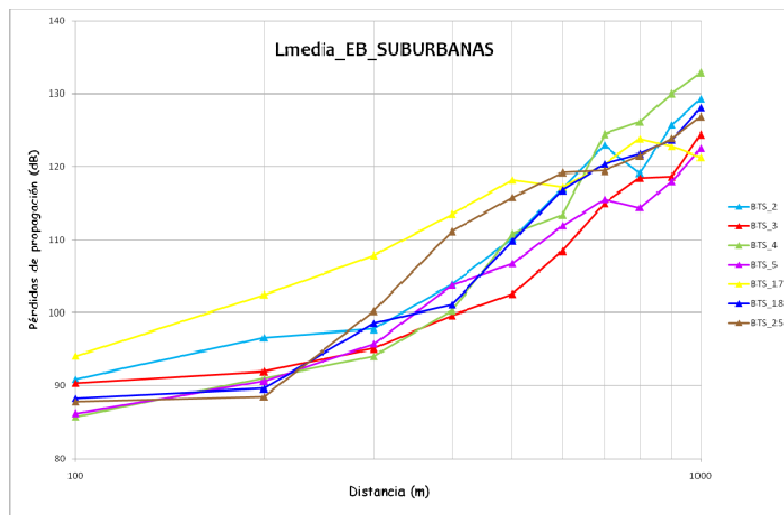
Aprovechando la imagen anterior, destacamos la zona perteneciente a los niveles de pérdidas más bajos, o lo que es lo mismo, de mayores potencias recibidas, (zona señala con el círculo verde). Previsiblemente estos puntos se corresponderán con la zona de propagación LOS o de visión directa, los cuales, evidentemente están situados a distancias cercanas a la antena.

Los resultados del promediado individual se agrupan según el tipo de terreno al que pertenecen, o zona urbana o zona suburbana, con sus correspondientes filtrados outdoor. A continuación se muestran estos resultados conjuntos ampliando el detalle mostrado en el ejemplo de la figura 32.f del esquema:

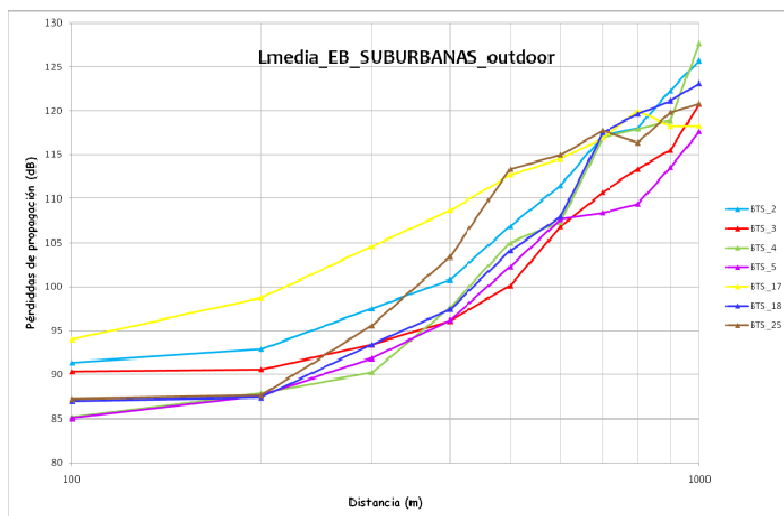




b)



c)



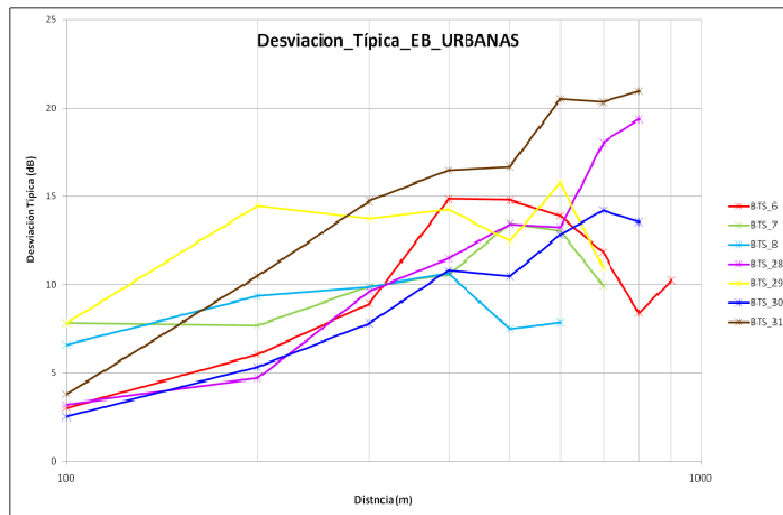
d)

Figura 27. Valores medios de atenuación cada 100 m para cada estación base: a) EB urbanas, b) EB urbanas outdoor, c) EB suburbanas y d) EB suburbanas outdoor.

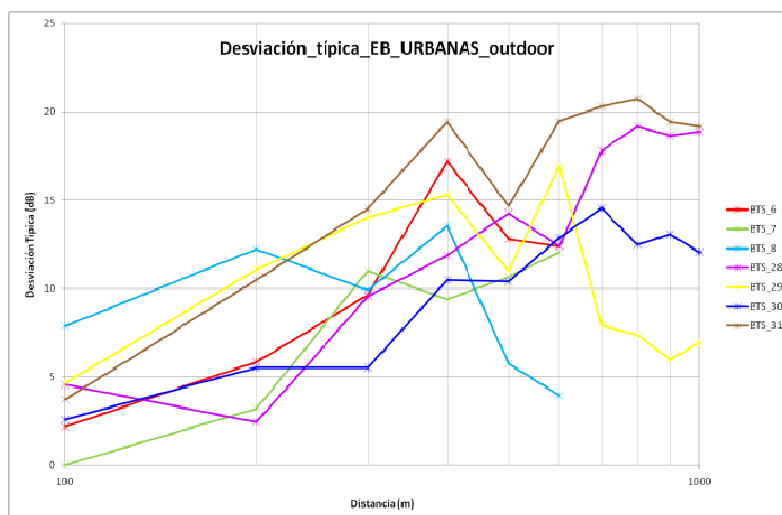
La característica más llamativa es la mayor dispersión de los valores en zonas urbanas frente a las suburbanas, sobre todo a grandes distancias respecto de la estación base, como se puede comprobar en la gráficas de la figura 28. En torno a 100m, las consideradas urbanas tienen valores de atenuación en torno a 100 – 110dB, mientras que las suburbanas están en valores en torno a los 90 – 100dB. Situándonos en torno a los 600 m, un poco más allá del límite de la celda, los valores varían de 130 – 155 dB aproximadamente para las zonas de mayor densidad de población, frente a los 110 – 120 dB de las zonas donde es más reducida. Así que se puede deducir, que además de un alcance superior para los espacios con mayor abertura, los niveles de atenuación disminuyen unos 20 dB de media.

Si comparamos la situación de pérdidas sólo en exteriores con la situación conjunta, vemos que el comportamiento es bastante similar en cuanto a la dispersión, el crecimiento y el alcance, sin embargo los niveles de atenuación también disminuyen de una situación frente a otra. Aunque en las gráficas no se aprecian de forma exacta los valores, sí se han analizado y en zonas urbanas hay un descenso aproximado de unos 2 dB, y en zonas suburbanas se encuentran en torno a los 2 – 3dB.

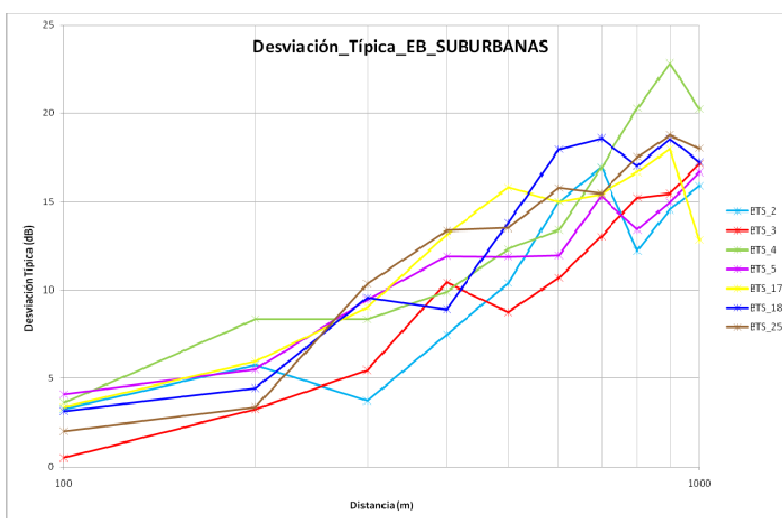
Al aproximar las pérdidas a un valor medio se pierde parte de la información particular, sobre todo en los extremos. Se ha visto en las representaciones gráficas de la figura 27 como el rango de valores para cada distancia es muy amplio, puesto que varía mucho en función de la zona donde se haya medido. Para recuperar esta información, además de las atenuaciones medias se han calculado las desviaciones típicas cada 100 m. A continuación se representan dichos valores correspondientes a las situaciones anteriores:



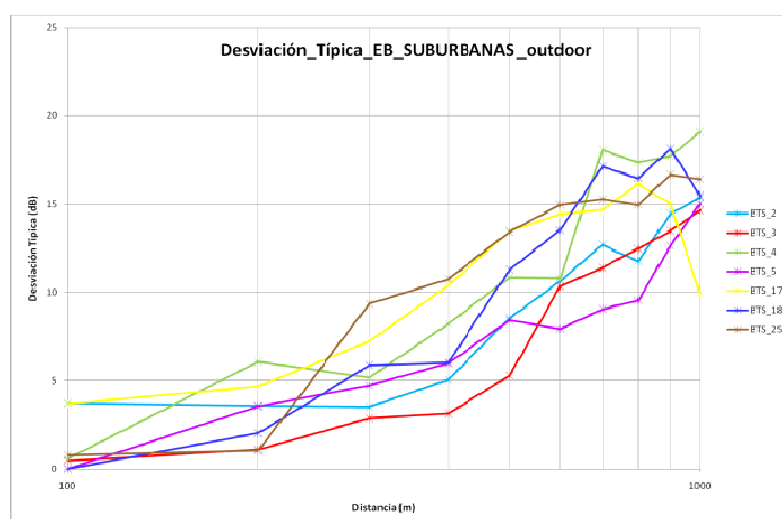
a)



b)



c)



d)

Figura 28. Valores de desviación típica cada 100 m para cada estación base: a) EB urbanas, b) EB urbanas outdoor, c) EB suburbanas y d) EB suburbanas outdoor.

Con estos puntos, las atenuaciones medias para cada estación base en función de la distancia, se obtiene la ecuación de la recta que representa su comportamiento a través de un algoritmo de regresión lineal que minimiza el error cuadrático medio, (figura 32.g), cuyas expresiones se muestran en la parte inferior. Este algoritmo da como resultado los parámetros característicos del modelo de pérdidas de propagación, γ y L_o , y a partir de los cuales se obtienen las rectas que reflejan el comportamiento estimado de las atenuaciones, cuyas representaciones ya se han comentado en el apartado correspondiente del capítulo 4, (figura 32.h).

Expresiones matemáticas:

$$PL = L_o + 10\gamma \log_{10}(d/d_o) \quad [dB] \quad (10)$$

La forma general de expresar la ecuación anterior corresponde a la ecuación:

$$y = f(x) = a_0 + a_1 * x \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} m & \sum x_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum f \\ \sum x * f \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$|m * \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2| \quad (14)$$

El resultado del cálculo anterior son los parámetros:

$$a_0 = \frac{\sum f \sum x^2 - \sum x f \sum x}{m \sum x^2 - (\sum x)^2} = L_o \quad (15)$$

$$a_1 = \frac{m \sum x f - \sum x \sum f}{m \sum x^2 - (\sum x)^2} = \gamma \quad (16)$$

II.2 Tratamiento del multicamino

El paso previo a las simulaciones del multicamino es generar bases de datos formadas por un número de suscriptores suficientemente alto. En nuestro caso se consideran unos 500 asociadas a cada estación base, (figura 33.a), y se ha observado que considerando más los resultados no varían. Los usuarios se generan de forma que todos estén situados en la calle fuera de edificios, por lo que todos los resultados coincidirán con situaciones outdoor. El programa calcula, para cada usuario, el número de rayos recibidos, el nivel de potencia con que se reciben y el instante temporal de llegada de cada uno de ellos y lo exporta a un fichero de tipo excell, (figura 33.b y c). Al igual que en el caso de las pérdidas en la figura 33 se esquematiza todo este proceso.

A diferencia del caso anterior, en este apartado únicamente se utiliza un algoritmo para obtener los resultados. En el esquema principal aparece separado en 3 bloques distintos por simplicidad de la explicación. El fichero excell comentado contiene los datos de entrada para este algoritmo.

En realidad los datos correspondientes a cada usuario responden a un comportamiento del canal, lo cual se podría modelar como una respuesta impulsional del mismo.

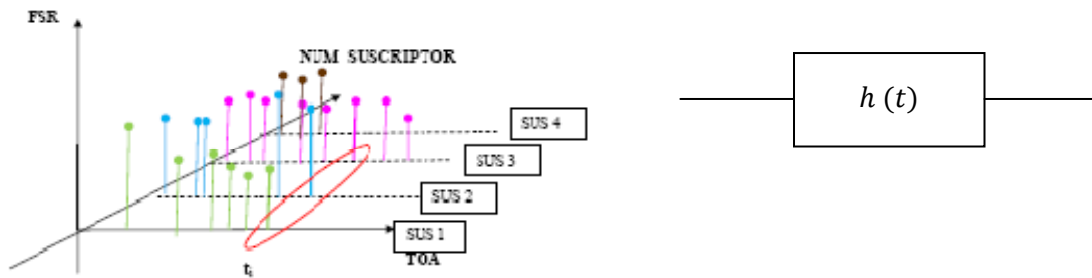
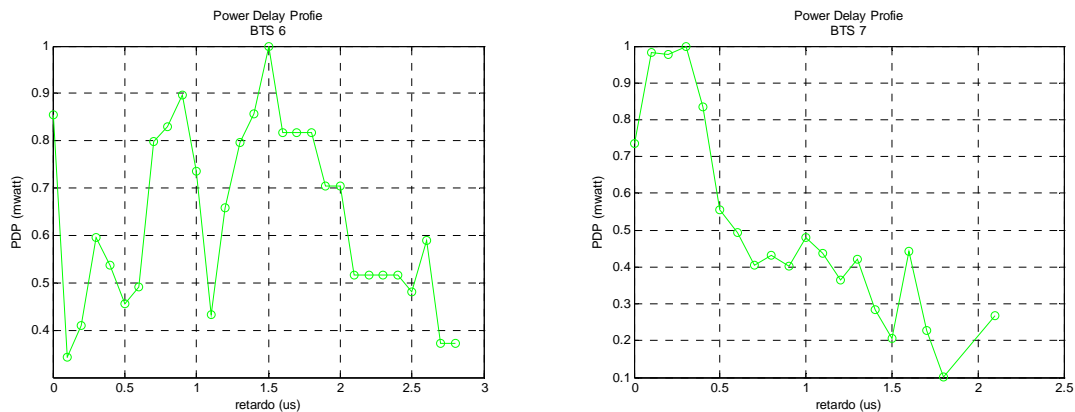


Figura 29. Respuesta impulsional del canal asociada a cada usuario.

Según muestra la figura anterior se asocian los niveles de señal recibidos para cada retardo de forma que se obtiene el perfil potencia retardo buscado, el PDP, (figura 33.d), según la fórmula propuesta en el capítulo 2 de la memoria (7). En las siguientes gráficas se muestran estos perfiles calculados para algunas estaciones base (figura 33.e):



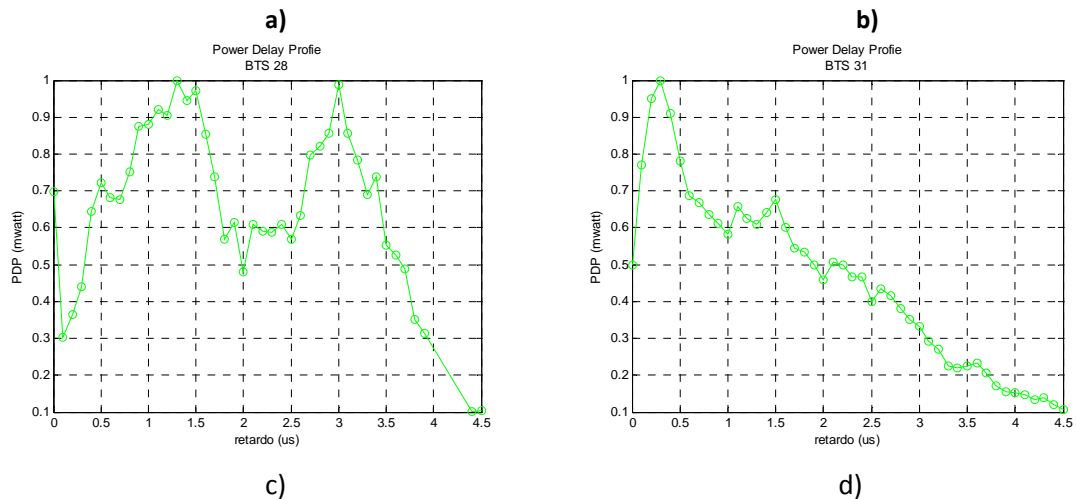


Figura 30. Perfiles retardo potencia de estaciones base urbanas: a) EB 6, b) EB 7, c) EB 28 y d) EB 31.

En los ejemplos anteriores se aprecia la variabilidad que existe en los perfiles correspondientes a zona urbana. Este comportamiento es habitual puesto que los elementos en esta zona son muy cambiantes y provocan comportamientos muy diferentes para cada rayo. En las gráficas a) y b) el retardo se extiende únicamente hasta 2 – 2.5 μ s, mientras que en las inferiores la información útil supera los 4 μ s, lo que indica una mayor concentración de elementos reflectantes y atenuantes en las primeras zonas.

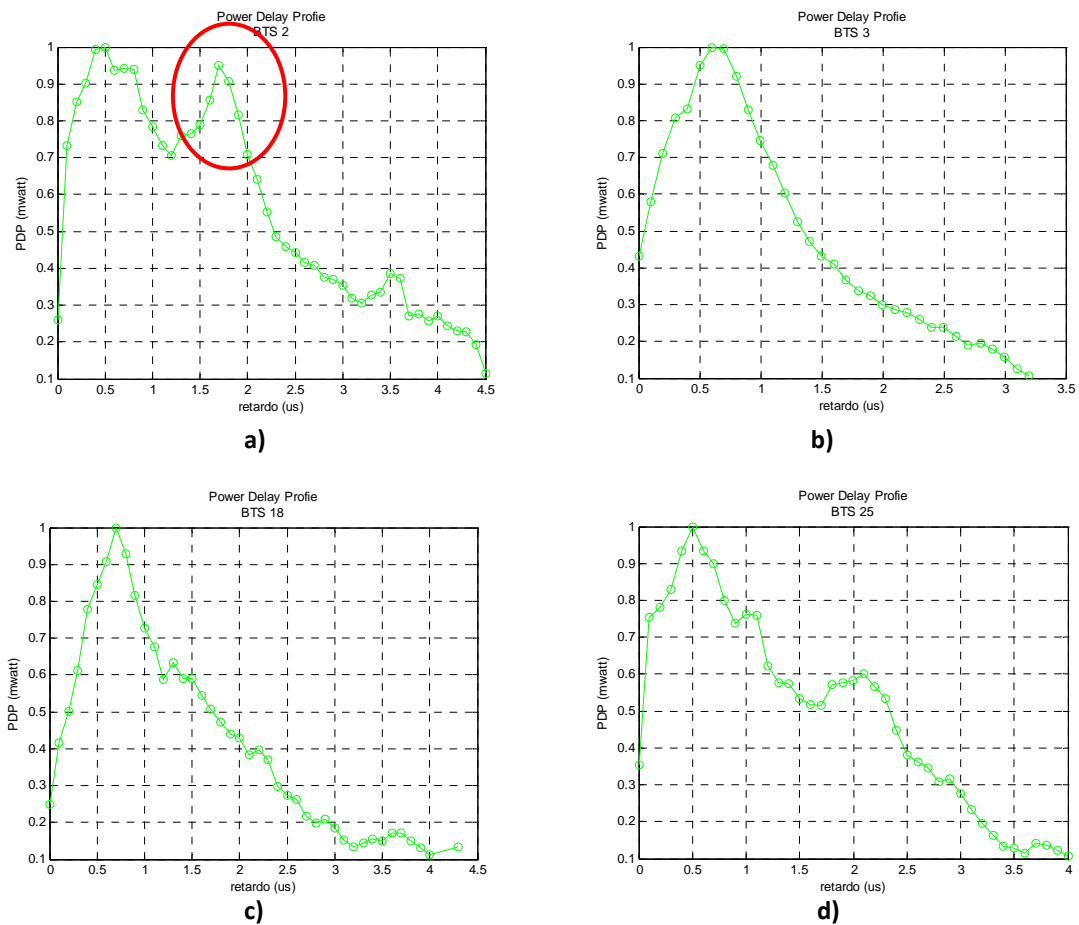


Figura 31. Perfiles retardo potencia de estaciones base suburbanas: a) EB 2, b) EB 3, c) EB 18 y d) EB 25.

En la figura anterior, la gráfica correspondiente a la estación base 2, presenta dos picos de potencia en lugar de uno, como el resto. Este comportamiento se asemeja más al estudiado para los emplazamientos urbanos que, como vemos, para los suburbanos. Puede deberse a una concentración de elementos reflectantes en su entorno particular en lugar de espacios más abiertos como podría suceder a otras estaciones base de la misma zona. De este modo, al recibir un mayor número de rayos procedentes de estos obstáculos el proceso de recepción de potencia se alarga en el tiempo, y provoca el ensanchamiento temporal de la función.

Además, se puede comentar, que los perfiles PDP en entornos suburbanos tienen comportamientos más parecidos entre sí. En prácticamente todas, la duración se extiende hasta los 4 μ s, aunque el pico donde se concentra la potencia recibida es más estrecho que en el caso urbano.

Una vez identificados los perfiles individuales de las EB, se unen los datos pertenecientes a cada zona, es decir, los urbanos por un lado y los suburbanos por otro, obteniendo un volumen de datos considerado para cada caso, como se comenta en el capítulo 4 de la memoria. Con estos datos se calcula el ensanchamiento del espectro o delay spread (figura 33.f) en el correspondiente algoritmo a través de la fórmula (8). Obteniendo el valor de ensanchamiento de cada zona, los cuales ya se han mostrado en el capítulo de resultados (figura 33.g). A continuación se muestra una tabla con los resultados de Ds individuales para los perfiles PDP mostrados en la parte superior.

URBANA		SUBURBANA	
Estación Base	Ds	Estación Base	Ds
6	0.7843	2	1.1699
7	0.5754	3	0.8884
28	1.1614	18	1.066
31	1.1638	25	1.074

Tabla 10. Comparación del parámetro delay spread para los distintos entorno.

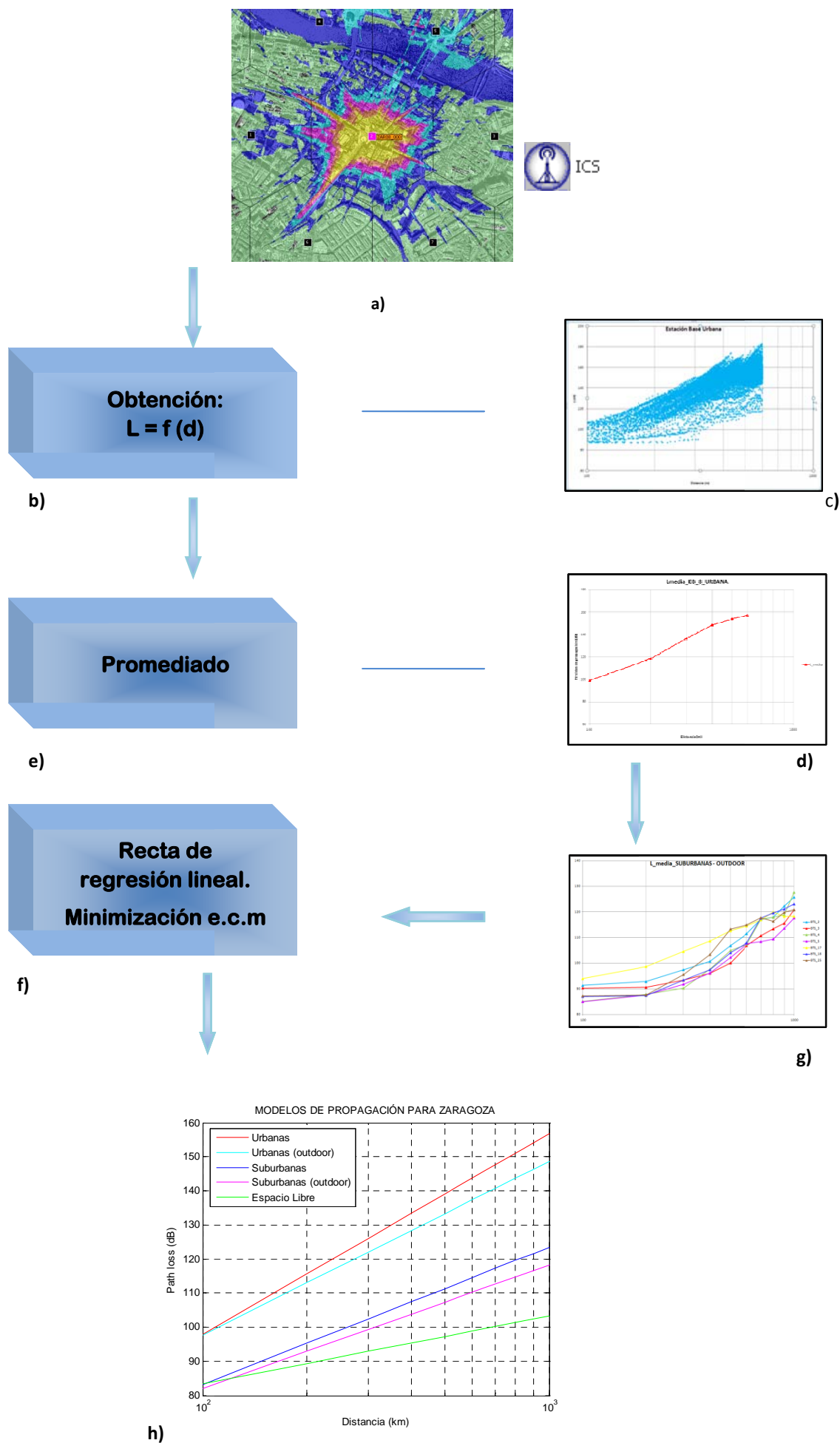


Figura 32. Tratamiento de las pérdidas de propagación en el proyecto. Esquema.

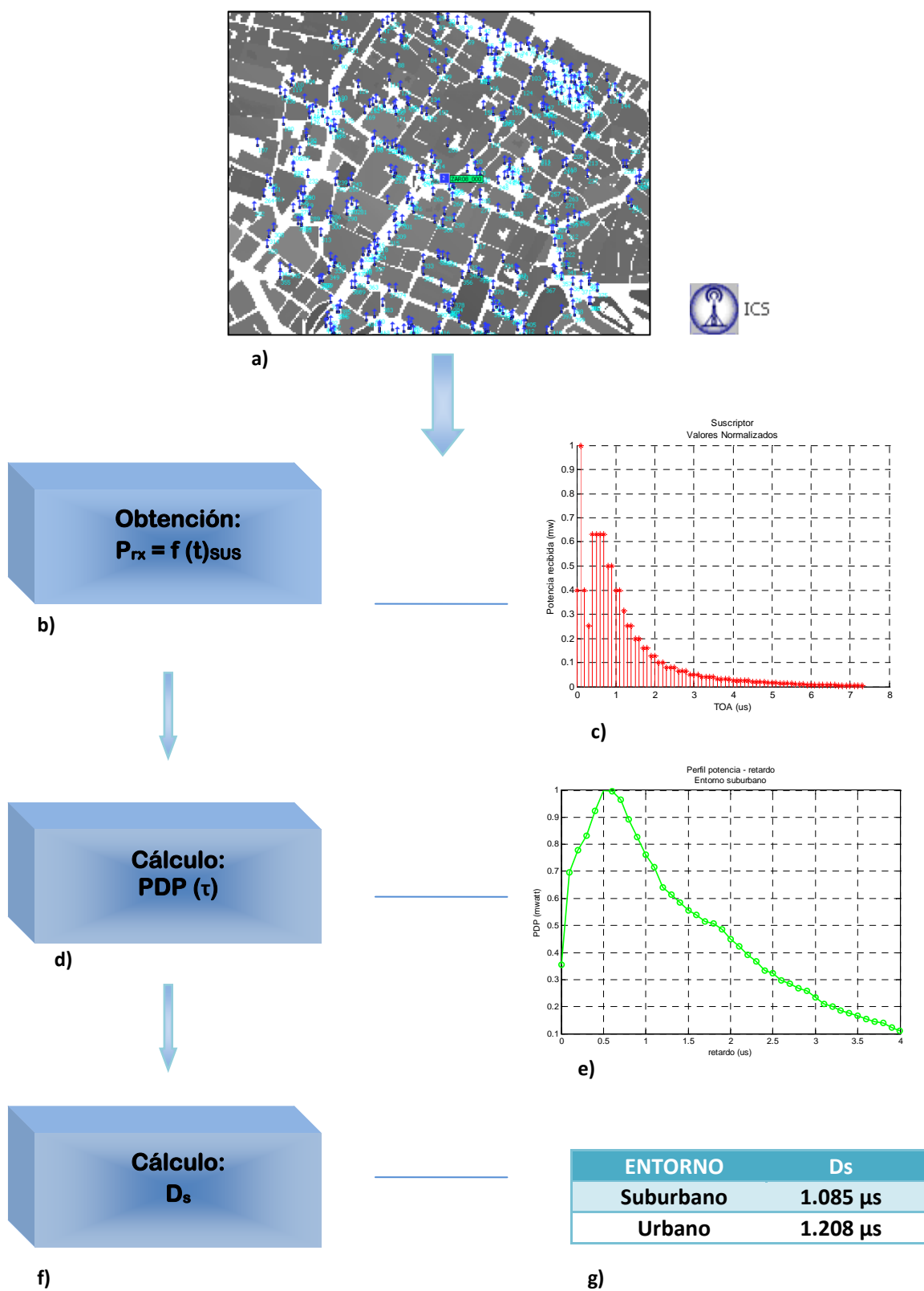


Figura 33. Tratamiento del multicamino. Esquema.

