



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN
ESPECIALIDAD SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE REDES
WLAN 802.11p APLICADO A LA COMUNICACIÓN DE
FLOTAS DE TAXIS.**

Uxue Garate Fernández

Dr. Francisco Javier Falcone Lanas

Pamplona, 26 de abril de 2013



UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA
E.T.S.I.I. y de Telecomunicación
Campus de Arrosadía s/n
31006-Pamplona Navarra-Spain
Tfno: 34-48-169000
Fax: 34-48-169169

upna
Universidad
Pública de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

Acta de Proyecto Final de Carrera

Título:

“Análisis del comportamiento de redes WLAN 802.11p aplicado a la comunicación de flotas de taxi.”

Alumno: Uxue Garate Fernández

Tutor del Proyecto: Dr. Francisco Javier Falcone Lanas

Reunido el tribunal, compuesto por los siguientes miembros,

Presidente,

Secretario,

Vocal 1º,

Fdo:.....

Fdo:.....

Fdo:.....

acuerda otorgar la calificación de

Pamplona,de.....de 20.....

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE REDES WLAN 802.11p APLICADO A LA COMUNICACIÓN DE FLOTAS DE TAXIS.

Uxue Garate Fernández

Universidad Pública de Navarra
Radio Propagación de Ondas Electromagnéticas
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Tutor: Francisco Javier Falcone Lanas

AGRADECIMIENTOS

Si no puedo caminar, tengo a mis padres. Si no puedo sonreír tengo a mi hermano. Si no puedo abrazar, tengo a Alberto. Ellos siempre me han ayudado a convertir el *no poder* en *conseguir*.

Si me falla un pilar en mi vida, tengo la música. Gracias a mi violín que tantos buenos momentos me ha dado. Gracias a la educación que he recibido. Gracias a Francisco Falcone por transmitir tan bien sus conocimientos. Gracias a mis compañeros (Leire, Peio, Erik, Carmen...) y amigos por ayudarme.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. OBJETIVOS.....	9
3. ESTADO DEL ARTE.....	10
3.1. REDES INALÁMBRICAS.....	10
3.1.1 Introducción.....	10
3.1.2 Clasificación y estándares.....	10
3.1.3 WPAN y 802.15.x.....	11
3.1.3.1 Bluetooth y 802.15.1.....	11
3.1.3.1.1 Tipos de dispositivos y topología de red.....	12
3.1.3.2 ZigBee y 802.15.4.....	13
3.1.3.2.1 Tipos de dispositivos.....	15
3.1.3.2.2 Tipos de dispositivos según funcionalidad.....	16
3.1.3.2.3 Topologías de red.....	16
3.1.4 WLAN y 802.11x.....	17
3.1.4.1 Características.....	18
3.1.4.2 Topología de red.....	19
3.1.4.2.1 Modo infraestructura.....	19
3.1.4.2.2 Modo ad-hoc.....	20
3.1.4.3 Estándares.....	21
3.1.5 WMAN y 802.16x.....	22
3.1.5.1 Características.....	23
3.1.5.2 Seguridad.....	24
3.2. PROPAGACIÓN RADIELÉCTRICA.....	25
3.2.1 Pérdidas de propagación.....	25
3.2.2 Fenómenos de propagación.....	26
3.2.2.1 Absorción.....	26
3.2.2.2 Difracción.....	26
3.2.2.3 Dispersión.....	27
3.2.2.4 Reflexión.....	27
3.2.2.5 Refracción.....	28
3.2.3 Propagación multitrayecto.....	28
3.2.3.1 Desvanecimiento.....	30
3.3. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN VEHICULAR.....	31
3.3.1 Componentes de un sistema WAVE.....	31
3.3.2 Protocolos de comunicación.....	32
3.3.3 Capas Física y MAC. 802.11p.....	33
3.3.3.1 Capa Física (PHY).....	33
3.3.3.2 Capa Control de Acceso al Medio (MAC).....	34
3.3.4 Actividades de estandarización.....	34
3.3.4.1 IEEE.....	35

3.3.4.2	C2C-CC	35
3.3.4.3	ETSI.....	35
3.3.4.4	ISO.....	35
3.3.5	Proyectos desarrollados o en desarrollo.....	35
4.	<u>METODOLOGÍA.....</u>	38
4.1.	TRAZADO DE RAYOS EN TRES DIMENSIONES.....	39
4.2.	MODELOS DE OBJETOS.....	40
5.	<u>RESULTADOS.....</u>	45
5.1.	ESCENARIOS CON ANTENA TX FUERA DEL COCHE.....	46
5.1.1	Un coche.....	46
5.1.2	Dos coches.....	50
5.1.3	Tres coches.....	54
5.1.4	Introducción de un edificio sencillo.....	58
5.1.8.1	Comparación con mismo escenario sin edificio.....	60
5.1.8.2	Cambio de posición de coche.....	62
5.1.5	Escenario con múltiples edificios.....	64
5.1.6	Escenario con dos edificios.....	66
5.1.7	Cruce con un coche.....	68
5.1.8	Cruce con dos coches.....	71
5.1.9.	Medidas reales en un cruce.....	75
5.1.9.1	Descripción escenario.....	75
5.1.9.2	Análisis resultados.....	75
5.1.9.2.1	Medidas con sensores ZigBee.....	75
5.1.9.2.2	Medidas de RF.....	77
5.2.	ESCENARIOS CON ANTENA TX DENTRO DEL COCHE.....	82
5.2.1	Coche vacío.....	82
5.2.2	Coche con personas.....	87
5.2.2.1	Una persona (piloto).....	89
5.2.2.2	Dos personas (piloto y copiloto).....	90
5.2.2.3	Tres personas (piloto, copiloto y un pasajero).....	91
5.2.2.4	Cuatro personas (piloto, copiloto y dos pasajeros).....	92
5.2.2.5	Cinco personas (piloto, copiloto y tres pasajeros).....	93
5.2.3	Comparación vacío – personas.....	94
5.2.4	Simulación según medidas.....	96
5.2.5	Medidas reales.....	101
5.2.5.1	Descripción escenario.....	101
5.2.5.2	Análisis resultados.....	105
5.2.6	Comparación.....	106
5.3	ESCENARIOS CON ANTENA TX COLOCADA EN FAROLAS.....	110
6.	<u>CONCLUSIONES.....</u>	116
7.	<u>LÍNEAS FUTURAS.....</u>	117
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA.....</u>	118

9. ANEXOS	119
ANEXO A. RESULTADOS ADICIONALES	120
ANEXO B. CÓDIGOS	154
ANEXO C. INSTRUMENTACIÓN Y HERRAMIENTAS	162
ANEXO D. PUBLICACIONES	170

Capítulo

1

1. Introducción

Ante el avance imparable de las nuevas tecnologías inalámbricas, nacen nuevos problemas. Queremos rapidez y eficacia pero perdemos en seguridad.

Algunas de las aplicaciones más necesarias de las redes inalámbricas están en pleno desarrollo. Es el caso de las redes inalámbricas vehiculares basadas en WLAN que actualmente se encuentran estandarizando varios comités como IEEE o ETSI.

Estas redes nacen con la necesidad de intercomunicar vehículos entre sí o con una infraestructura para transmitir mensajes de la forma más eficiente y rápida. Mensajes que pueden ser tales como un aviso de accidente, un coche estorbando la vía, ...

Por ello, dotar a un vehículo de unos determinados dispositivos resulta muy complejo puesto que se tiene que estudiar previamente dónde colocar las antenas y de qué forma influirá la propagación multitrayecto y los fenómenos de propagación radioeléctrica.

Capítulo

2

2. Objetivos

El objetivo de este Proyecto Final de Carrera es estudiar la conexión intervehicular y dentro del propio vehículo en entornos abiertos y la influencia que tiene éste en la que la energía radioeléctrica se distribuye en el entorno.

Dada la complejidad del entorno exterior se ha realizado un estudio de estimaciones de potencia recibida mediante simulación que puede dar pie a estudios más exhaustivos demostrando la validez del método propuesto de lanzamiento de rayos.

Capítulo

3

3. Estado del arte

3.1. Redes inalámbricas.

3.1.1 Introducción.

Lo que son hoy las redes inalámbricas, hace siglos fueron señales de humo o luz creada con antorchas. La luz se ha usado como medio de comunicación por su facilidad de producirse y porque recorre largas distancias a gran velocidad. La ventaja de las ondas infrarrojas, microondas y hertzianas es que no son visibles para el ojo humano, a pesar de que pueden servir para la comunicación de información.

En los últimos años, el mercado de las comunicaciones inalámbricas se he popularizado debido a las ventajas de las redes sin cables: flexibilidad, movilidad, facilidad de instalación, dinamismo en los cambios de topología, escalabilidad, y la posibilidad de llegar donde no llega el cable. Como inconvenientes (que siempre los hay), podemos destacar su elevado coste inicial y su falta, en muchos casos, de seguridad.

3.1.2 Clasificación y estándares.

Las diferentes tecnologías sin hilos (Wireless) se suelen agrupar basándose en el radio de acción (alcance) de cada una de ellas (figura 3.1):

- Redes personales inalámbricas (WPAN, *wireless personal area network*). Este concepto se aplica cuando la distancia que se quiere cubrir es del orden de unos cuantos metros. La familia de estándares más representativos son el 802.15.1 (Bluetooth), el 802.15.3 (UWB) y el 802.15.4 (ZigBee)
- Redes locales inalámbricas (WLAN, *wireless local area network*) Permiten dar servicios a distancias del orden de un centenar de metros (un piso, una planta de un edificio, una nave industrial, unas cuantas calles, etc.) El estándar más destacado en este campo es el 802.11 (WiFi)
- Redes metropolitanas inalámbricas (WMAN, *wireless metropolitan area network*) Permiten dar servicios a distancias del orden de unos

cuantos kilómetros (un barrio, un pueblo, una urbanización,...) El estándar más destacado en este campo es el 802.16 (WiMax)

- Redes de gran alcance inalámbricas (WWAN, wireless wide area network) Tiene una cobertura más amplia. La familia de estándares más representativos es la de GSM, GPRS y UMTS.

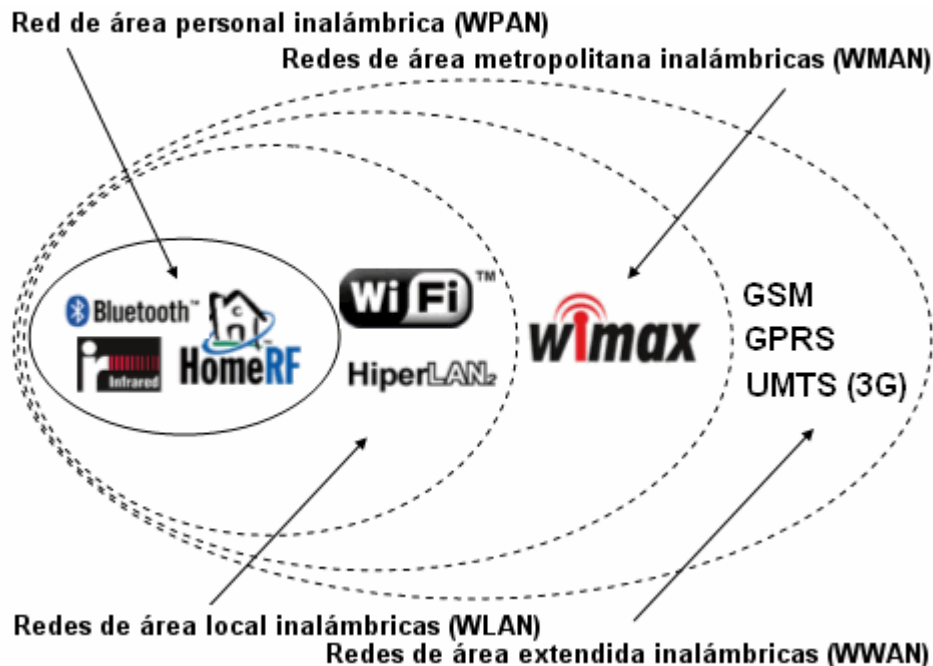


Figura 3. 1 Clasificación según alcance de redes inalámbricas. [1]

3.1.3 WPAN y 802.15.x.



3.1.3.1 Bluetooth y 802.15.1.

Bluetooth [2] es una tecnología de corta distancia, simple, segura y móvil. Se puede encontrar en miles de dispositivos desde teléfonos móviles y ordenadores hasta dispositivos médicos. Su finalidad es sustituir los dispositivos con cables manteniendo altos niveles de seguridad.

Bluetooth opera en la banda libre ISM de los 2.4 GHz. En la mayoría de los países alrededor del mundo, el rango de dichas frecuencias va de los 2400 MHz a los 2483.5 MHz. Sin embargo, en algunos países, tienen limitaciones nacionales en ese rango de frecuencias. Para cumplir con dichas limitaciones internacionales, se han diseñado algoritmos especiales de *frequency-hopping* para dichos países.

A menudo WPAN es confundido con WLAN. Sin embargo, existen una serie de diferencias. La primera: los dispositivos WPAN utilizan el mínimo de

energía posible. Segundo: el área de cobertura de una red WPAN es mucho más pequeña que en el caso de las WLAN. Tercero: el tiempo de vida de la WPAN se especifica, al contrario que en la WLAN.

La relación entre el modelo de siete capas de ISO y el estándar IEEE 802.15.1 se aprecia en la capa de Enlace de datos que está directamente relacionada con la capa LLC y la capa MAC (figura 3.2)

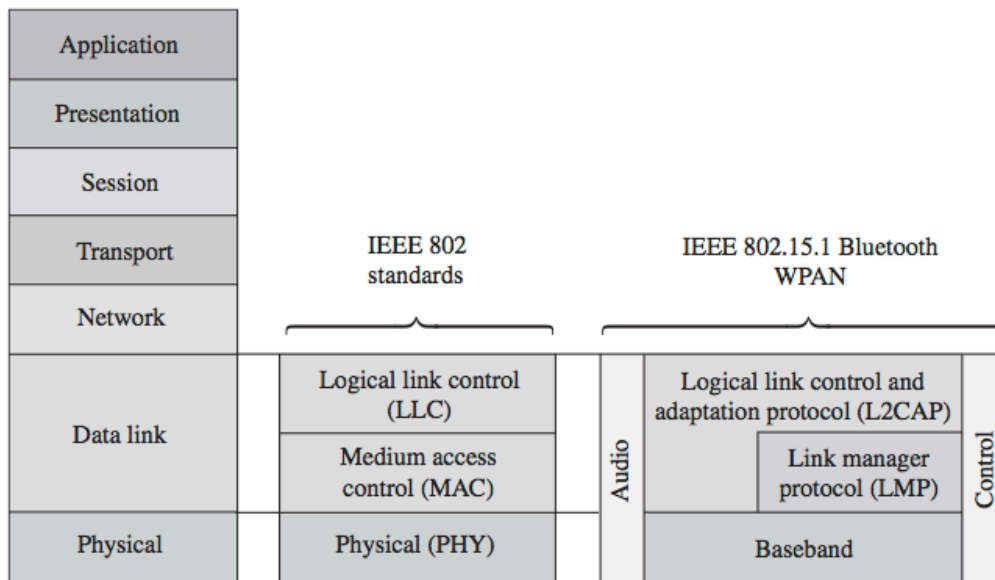


Figura 3.2 Relación entre OSI y estándar IEEE 802 y IEEE 802.15.1

El sistema tiene un transmisor de saltos de frecuencia, que consiste en una técnica de modulación en la que la señal se emite sobre una serie de frecuencias aparentemente aleatorias. De esta manera, los receptores no autorizados sólo ven una señal ininteligible.

3.1.3.1.1 Tipos de dispositivos y topología de red.

Bluetooth ha sido diseñado para ambientes multiusuarios. Los dispositivos pueden habilitarse para comunicarse entre ellos e intercambiar de forma transparente, datos necesarios al usuario. Una picored o piconet es una WPAN formada por dispositivos Bluetooth que sirven como maestros en la picored y uno o más dispositivos Bluetooth que sirven de esclavos (figura 3.3). Además, los picoreds se puede conectar por medio de picoreds adyacentes y formar lo que se llama una red dispersa (*scatternet*) (figura 3.4)

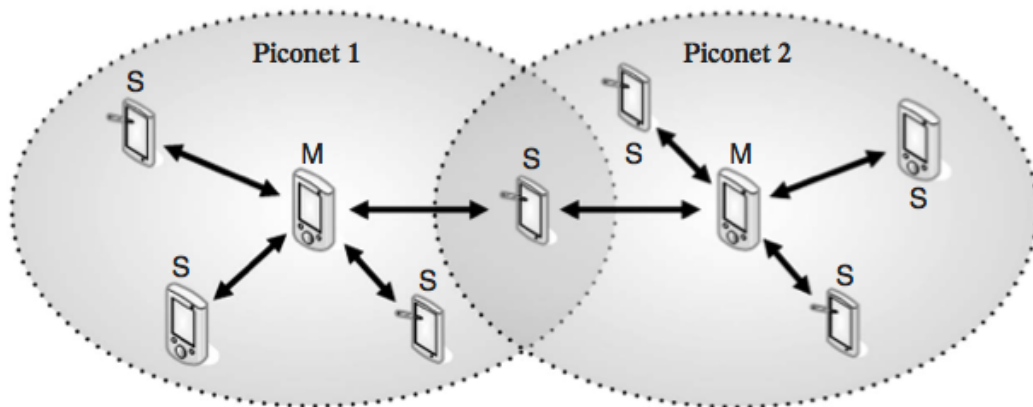


Figura 3.3 Interconexión entre piconets. Una picored consiste en un Maestro (M) y al menos un Esclavo (S).

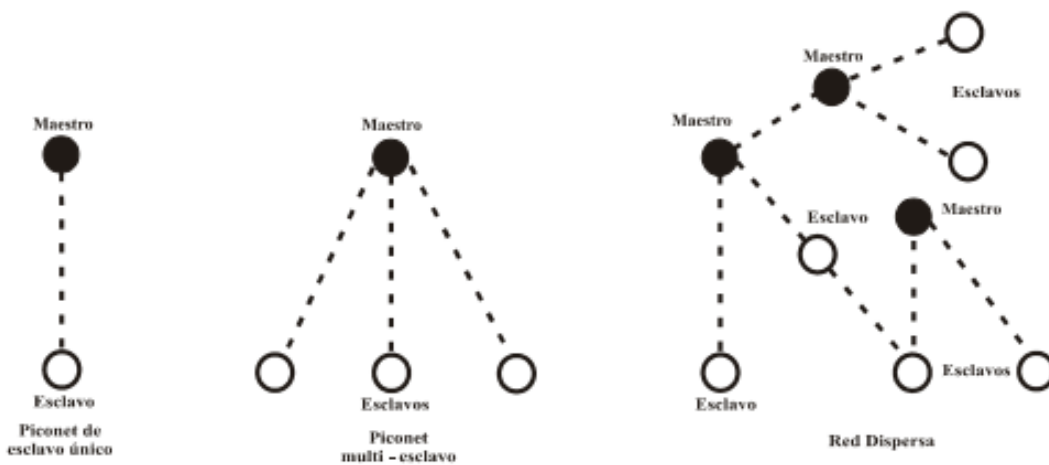


Figura 3.4 Posibles topologías en redes Bluetooth.

3.1.3.2 ZigBee y 802.15.4.



ZigBee [3] es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización en radio digital de bajo consumo, basado en el estándar WPAN IEEE 802.15.4. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de las baterías.

La tecnología ZigBee se diferencia por su bajo consumo, su topología de red en malla, y su integración fácil (se pueden fabricar nodos con muy poca electrónica)

ZigBee utiliza la banda de frecuencias ISM para usos industriales, científicos y médicos. En concreto, en Europa utiliza la banda de 868 MHz y en Norte América, la banda de 915 MHz. También muchas empresas optan por la banda de 2.4 GHz disponible en todo el mundo. El desarrollo de esta

tecnología se basa en su sencillez y bajo coste. Un nodo ZigBee más completo requiere menos del 10% del hardware que necesita un nodo Bluetooth (requiere muchos menos circuitos analógicos de lo que es habitual)

Las desventajas son claras: tasa de transferencia muy baja, sólo manipula textos pequeños en comparación con otras tecnologías, trabaja de manera que no es compatible con Bluetooth porque no llega a tener las mismas tasas de transferencia, ni la misma capacidad de soporte para nodos, tiene una menos cobertura porque pertenece a redes sin hilos del tipo WPAN.

La relación entre ZigBee y 802.15.4 se encuentra dentro de las capas de OSI. (figura 3.5)

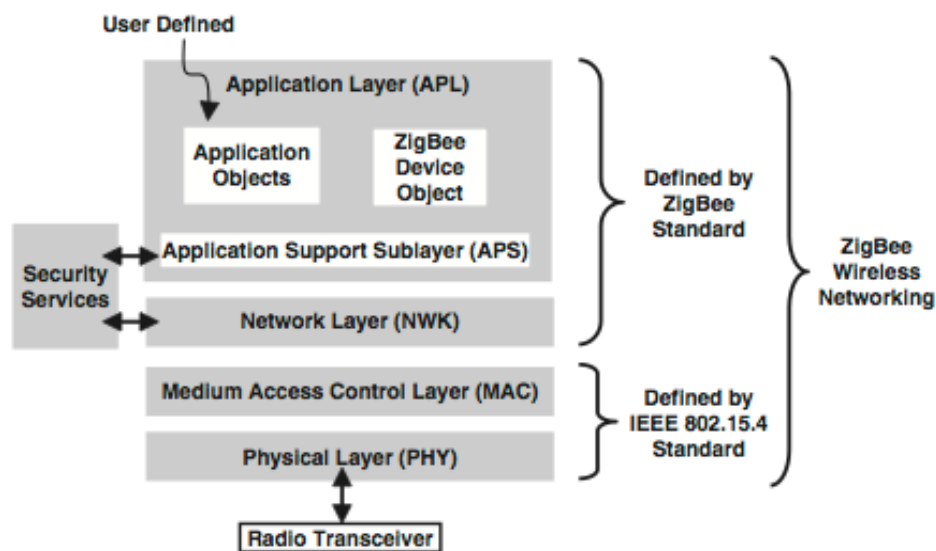


Figura 3.5 Protocolo de capas para redes inalámbricas ZigBee [4]

Por tanto, 802.15.4 define las especificaciones para la capa física y la capa MAC pero no especifica nada para niveles superiores.

ZigBee define la capa de red, aplicación y seguridad y adopta IEEE 802.15.4 para la capa física y MAC.

De esta manera, las características del nivel físico de la red están determinadas por la capa física. Por lo tanto, algunos parámetros como la frecuencia de operación, tasa de datos, sensibilidad de receptores y tipos de dispositivos están especificados en la norma IEEE 802.15.4.

	Frequency (MHz)	Number of Channels	Modulation	Chip Rate (Kchip/s)	Bit Rate (Kb/s)	Symbol Rate (Ksymbol/s)	Spreading Method
	868-868.6	1	BPSK	300	20	20	Binary DSSS
	902-928	10	BPSK	600	40	40	Binary DSSS
Optional	868-868.6	1	ASK	400	250	12.5	20-bit PSSS
	902-928	10	ASK	1600	250	50	5-bit PSSS
Optional	868-868.6	1	O-QPSK	400	100	25	16-array orthogonal
	902-928	10	O-QPSK	1000	250	62.5	16-array orthogonal
	2400-2483.5	16	O-QPSK	2000	250	62.5	16-array orthogonal

Figura 3.6 Velocidad de transmisión y frecuencia de operación en 802.15.4. [4]

La banda ISM 868 Mhz (868/868.6 MHz) utiliza una canal con una velocidad de transmisión de 20 kbps, la de 915 MHz (902/928MHz) utiliza 10 canales con una velocidad de transmisión de 40 kbps y finalmente, la banda ISM 2.4 GHz (2400/2483.5 GHz), en su caso, soporta 16 canales, con una ancho de banda de 5 MHz por canal, por lo que pueden estar perfectamente distribuidos sin necesidad de interferirse entre ellos. Por otro lado, en comparación con la tecnología Bluetooth (basado en el estándar 802.15.1), utiliza 79 canales de 1 MHz de ancho de banda cada uno por lo que coexiste solapamiento entre sus canales y la señal que modulan en cada uno de ellos. La tasa de transmisión para este caso es de 250 kbps.

Se utilizan tres tipos de modulación: BPSK, ASK y QPSK. En BPSK y O-QPSK los datos viajan en la fase de la señal y en ASK los datos lo hacen en la amplitud de la señal.

3.1.3.2.1 Tipos de dispositivos.

En una red ZigBee existen tres tipos de dispositivos:

- 1) Coordinador ZigBee (*Coordinator*, ZC). El tipo de dispositivo más completo. Tiene que existir uno por cada red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que tienen que seguir los dispositivos para conectarse entre ellos. Requiere de memoria y capacidad de computación.
- 2) Router ZigBee (ZR). Interconecta dispositivos separados en una topología de la red. Ofrece un nivel de aplicación para ejecutar un código de usuario.

- 3) Dispositivo final (*End Device*, ZED). Tiene la funcionalidad necesaria de comunicarse al nodo padre pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta manera, este tipo de nodo puede estar dormido la gran mayoría de tiempo, lo que aumenta la vida media de sus baterías. Un ZED tiene unos requerimientos mínimos de memoria y por eso es significativamente muy económico.

3.1.3.2.2 Tipos de dispositivos según funcionalidad.

Basándose en la funcionalidad, se pueden clasificar:

- 1) Dispositivo de funcionalidad completa (FFD): también conocido como nodo activo. Puede recibir mensajes en formato 802.15.4. Puede funcionar como router o como coordinador, o se puede utilizar en dispositivos de red que actúen de interfeaz con los usuarios.
- 2) Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD): también conocido como nodo pasivo. Tiene capacidades y funcionalidades limitadas con el objetivo de conseguir un bajo coste y una gran simplicidad. Básicamente son los sensores y actuadores de la red.

3.1.3.2.3 Topologías de red.

ZigBee permite tres topologías de red (figura 3.7):

- 1) Topología en estrella: el coordinador se sitúa en el centro.
- 2) Topología en árbol: el coordinador será la raíz del árbol.
- 3) Topología en malla: al menos uno de los nodos tendrá más de dos conexiones.

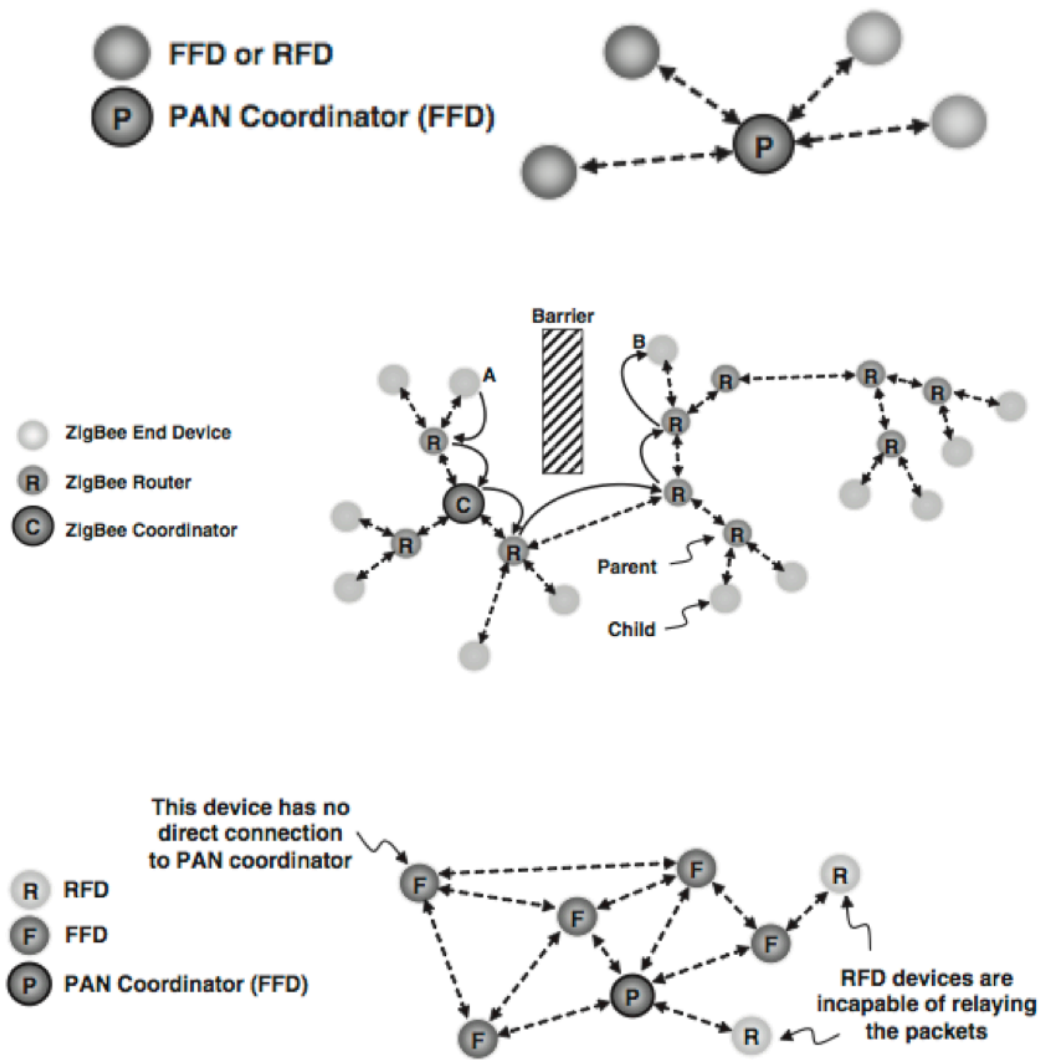


Figura 3.7 Topologías de red. Arriba: en estrella. Centro: árbol. Abajo: malla. [4]

La topología más interesante es la de malla ya que permite que, si en un momento determinado un nodo del camino falla y se cae, se pueda realizar la comunicación entre todos los otros nodos debido a que se rehacen todos los caminos. La gestión de los caminos la realiza el coordinador.

3.1.4 WLAN y 802.11x.

En los últimos años las WLAN han ocupado un importante lugar en el mercado de las redes de área local [5]. Cada vez más, las organizaciones se han dado cuenta de que las LAN inalámbricas son un complemento indispensable a las redes cableadas a fin de satisfacer las necesidades de movilidad, traslados, trabajo en red *ad hoc* y cobertura de lugares difíciles de cablear.

3.1.4.1 Características.

Entre las más importantes de las características se encuentran las siguientes:

- Rendimiento: el protocolo de control de acceso al medio debería hacer un uso tan eficiente como fuera posible del medio inalámbrico para maximizar la capacidad.
- Número de nodos: las WLAN pueden necesitar dar soporte a cientos de nodos mediante el uso de varias celdas.
- Conexión a la LAN troncal: en la mayoría de los casos es necesaria la interconexión con estaciones situadas en una LAN troncal cableada.
- Área de servicio: una zona de cobertura para una red WLAN tiene un diámetro típico entre 100 y 300 metros.
- Consumo de energía: los usuarios móviles utilizan estaciones de trabajo con batería que necesitan tener una larga vida cuando se usan con adaptadores sin cable. Esto sugiere que resulta inapropiado un protocolo MAC que requiera que los nodos móviles supervisen constantemente los puntos de acceso o realicen comunicaciones frecuentes con una estación base.
- Robustez en la transmisión y seguridad: puede ser propensa a sufrir interferencias y escuchas.
- Funcionamiento de redes adyacentes: es posible la interferencia entre varias redes. Estas interferencias pueden repercutir negativamente en el funcionamiento normal del algoritmo MAC.
- Funcionamiento sin licencia: los usuarios prefieren trabajar sobre una red que no precise de una licencia para la banda de frecuencia.
- Traspasos (*Handoff*) / Itinerancia (*Roaming*): el protocolo MAC usado en LAN inalámbricas debería permitir a las estaciones móviles desplazarse de una celda a otra.
- Configuración dinámica: los aspectos de direccionamiento MAC y gestión de la red LAN deberían permitir la inserción, eliminación y traslado dinámicos y automáticos de sistemas finales sin afectar a otros usuarios.

3.1.4.2 Topología de red.

El estándar 802.11 define dos modos operativos:

- El modo de infraestructura en el que los clientes de tecnología inalámbrica se conectan a un punto de acceso (figura 3.8 y figura 3.9)
- El modo *ad-hoc* en el que los clientes se conectan entre sí sin ningún punto de acceso (figura 3.10)

3.1.4.2.1 Modo infraestructura.

En el modo de infraestructura, cada estación informática (abreviado EST) se conecta a un punto de acceso a través de un enlace analámbico. La configuración formada por el punto de acceso y las estaciones ubicadas dentro del área de cobertura se llama conjunto de servicio básico o BSS. Estos forman una célula. Cada BSS se identifica a través de un BSSID (identificador de BSS) que es un identificador de 6 bytes (48 bits). En el modo infraestructura el BSSID corresponde al punto de acceso de la dirección MAC.

Es posible vincular varios puntos de acceso juntos (o con más exactitud, varios BSS) con una conexión llamada sistema de distribución (o SD) para formar un conjunto de servicio extendido o ESS. El sistema de distribución también puede ser una red conectada, un cable entre dos puntos de acceso o incluso una red analámbica.

Un ESS se identifica a través de un ESSID (identificador del conjunto de servicio extendido), que es un identificador de 32 caracteres en formato ASCII que actúa como su nombre en la red. El ESSID, a menudo abreviado SSID, muestra el nombre de la red y de alguna manera representa una medida de seguridad de primer nivel ya que una estación debe saber el SSID para conectarse a la red extendida.

Cuando un usuario itinerante va desde un BSS a otro mientras se mueve dentro del ESS, el adaptador de la red inalámbrica de su equipo puede cambiarse de punto de acceso, según la calidad de la señal que reciba desde distintos puntos de acceso. Los puntos de acceso se comunican entre sí a través de un sistema de distribución con el fin de intercambiar información sobre las estaciones y, si es necesario, para transmitir datos desde estaciones móviles. Esta característica que permite a las estaciones

moverse "de forma transparente" de un punto de acceso al otro se denomina itinerancia.

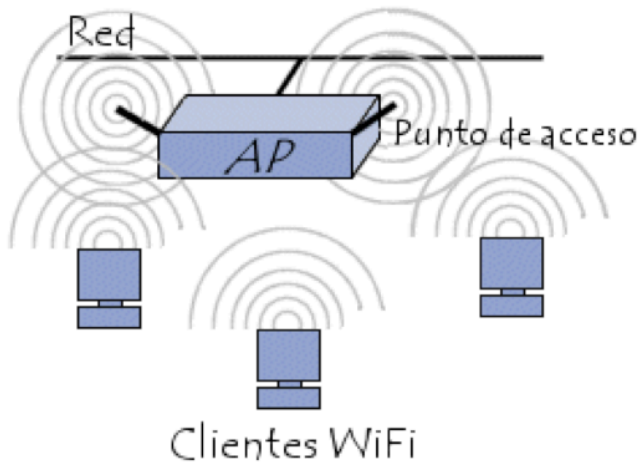


Figura 3.8 Topología de infraestructura.

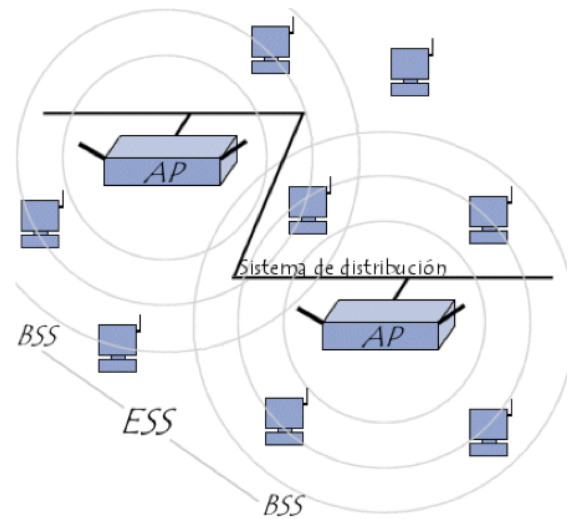


Figura 3.9 Topología de infraestructura extendida.

3.1.4.2.2 Modo ad-hoc.

En el modo *ad hoc* los equipos cliente inalámbrico se conectan entre sí para formar una red punto a punto, es decir, una red en la que cada equipo actúa como cliente y como punto de acceso simultáneamente.

La configuración que forman las estaciones se llama conjunto de servicio básico independiente o IBSS.

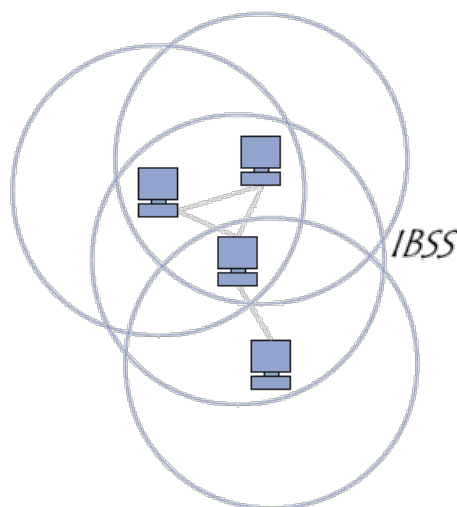


Figura 3.10 Topología ad-hoc.

Un IBSS es una red inalámbrica que tiene al menos dos estaciones y no usa ningún punto de acceso.

Por eso, el IBSS crea una red temporal que le permite a la gente que esté en la misma sala intercambiar datos. Se identifica a través de un SSID de la misma manera en que lo hace un ESS en el modo infraestructura.

En una red *ad hoc*, el rango del BSS independiente está determinado por el rango de cada estación. Esto significa que si dos estaciones de la red están fuera del rango de la otra, no podrán comunicarse, ni siquiera cuando puedan "ver" otras estaciones. A diferencia del modo infraestructura, el modo *ad hoc* no tiene un sistema de distribución que pueda enviar tramas de datos desde una estación a la otra. Entonces, por definición, un IBSS es una red inalámbrica restringida.

3.1.4.3 Estándares.

En 1990 se formó el comité IEEE 802.11 con el propósito de desarrollar un protocolo MAC y una especificación del medio físico para redes WLAN. [6]

Estándar	Descripción
802.11a	54 Mbps standard, 5 GHz signaling.
802.11b	11 Mbps standard, 2.4 GHz signaling.
802.11c	Operation of bridge connections (moved to 802.1D)
802.11d	Worldwide compliance with regulations for use of wireless signal spectrum.
802.11e	Quality of Service (QoS) support (not yet ratified)
802.11f	Inter-Access Point Protocol recommendation for communication between access points to support roaming clients.
802.11g	54 Mbps standard, 2.4 GHz signaling.
802.11h	Enhanced version of 802.11a to support European regulatory requirements.
802.11i	Security improvements for the 802.11 family.
802.11j	Enhancements to 5 GHz signaling to support Japan regulatory requirements.

802.11k	WLAN system Management.
802.11l	Skipped to avoid confusion with 802.11i.
802.11m	Maintenance of 802.11 family documentation.
802.11n	100+ Mbps standard improvements over 802.11g.
802.11o	Skipped.
802.11p	Wireless Access for the Vehicular Environment.
802.11q	Skipped.
802.11r	Fast roaming support via Basic Service Set transitions.
802.11s	ESS mesh networking for access points.
802.11t	Wireless Performance Prediction - recommendation for testing standards and metrics.
802.11u	Internetworking with 3G / cellular and other forms of external Networks.
802.11v	Wireless network management / device configuration.
802.11w	Protected Management Frames security enhancement.
802.11x	Skipped (generic name for the 802.11 family)
802.11y	Contention Based Protocol for interference avoidance.

Tabla 3. 1 Estándares para IEEE 802.11.

3.1.5 WMAN y 802.16x.



Actualmente hay una gran demanda de servicios de acceso de banda ancha en Internet y otras aplicaciones de voz y datos. De manera cableada actualmente se ofrecen servicio con las líneas ADSL, y de manera inalámbrica WiMax es la solución que sirve tanto a los operadores de telecomunicaciones como a los usuarios. Con WiMax se está creando un mercado masivo de soluciones inalámbricas.

Un nuevo estándar WMAN de banda ancha apareció promovido y desarrollado por el grupo WiMax (*wireless interoperability for microwave access*), que tiene dos miembros muy representativos, como Intel y Nokia. La etiqueta WiMax está asociada globalmente al propio nombre del estándar IEEE 802.16. La tecnología WiMax supone una evolución con respecto al

WiFi. Permite la conectividad entre puntos fijos, nómadas y móviles, y eventualmente la conectividad móvil sin necesidad de tener una línea punto a punto con una estación base.

WiMax utiliza bandas de frecuencia con y sin licencia gubernamental. Las conocidas como ISM, especialmente las de 2,4 GHz y 5 GHz. En algunos países todavía no se han asignado las bandas WiMax.

Inicialmente, el rango de frecuencias era entre 10 GHz y 66 GHz con necesidad de visión directa (entre emisor y receptor). A principios de 2003, con la aparición de 802.16 para ratificar el estándar inicial 802.16, se amplió el rango de frecuencias hacia las bandas de 2 a 11 GHz. En el año 2004, aparece el estándar IEEE 802.16d también conocido como WiMax para cubrir las carencias de 802.16. (NLOS)

Además, se creó el estándar IEEE 802.16e para WiMax móvil.

	802.16	802.16a	802.16e
Espectro	10-66 GHz	< 11 GHz	< 6 GHz
Funcionamiento	Sólo con visión directa	Sin visión directa (NLOS)	Sin visión directa (NLOS)
Ancho de banda	32-134 Mbps	Hasta 75 Mbps con canales de 20 MHz	Hasta 15 Mbps con canales de 5 MHz
Modulación	QPSK, 16QAM y 64 QAM	OFDM con 256 subportadoras	Mismo que 802.16a
Movilidad	Sistema fijo	Sistema fijo	Movilidad pedestre
Ancho del espectro	20, 25 y 28 MHz	Selección entre 1,25 y 20 MHz	El mismo que 802.16a con los canales de subida para ahorrar potencia
Distancia	2-5 km aprox.	5-50 km aprox.	2-5 km aprox.

Figura 3.11 Características de IEEE 802.16. [1]

3.1.5.1 Características.

Sus principales características se resumen a continuación:

- Modulación adaptativa: se escogen dinámicamente en función de las condiciones del enlace, si éste tiene un buen comportamiento (pocas pérdidas), se utiliza una modulación que más bits y, por tanto, la velocidad aumenta. En función de la distancia de la estación a la estación base se utiliza un tipo de modulación u otra: 64QAM, 16QAM, QPSK...

- Gran ancho de banda: velocidades de hasta 70 Mbps.
- Banda frecuencial: se puede trabajar en banda libre de 5,4 GHz pero con poca potencia y con visión directa. También hay banda licenciada en 3,5 GHz donde no es imprescindible la visión directa.
- Elementos: hay dos tipos de componentes: la estación base (unidades de acceso, AU) y las unidades de abonado (SU)
- Perfiles: enlaces punto a punto (con visión directa) y punto multipunto (sin necesidad de visión directa (NLOS))
- Permite calidad de servicio (QoS)
- Usuarios: soporta varios centenares de usuarios por canal.

3.1.5.2 Seguridad.

WiMax nace con una solución robusta en materia de seguridad.

- Autenticación de usuario: protocolo EAP (*Extensible Authentication Protocol*)
- Autenticación del terminal: intercambio de certificados digitales que impiden la conexión de terminales no autorizados.
- Cifrado de las comunicaciones: se utilizan algoritmos como el DES (*Data Encryption Standard*) o el AES (*Advanced Encryption Standard*), mucho más robusto que el WEP (*Wireless Equivalent Privacy*), utilizado inicialmente en las WLAN.

3.2. Propagación radieléctrica.

Toda comunicación inalámbrica acarrea consigo poca fiabilidad debido a que el canal por donde se transmiten los mensajes, la atmósfera, carece de las fronteras físicas que aportan las comunicaciones por cable.

Existen varios factores que afectan a las comunicaciones inalámbricas, como el ruido de radiofrecuencia que producen las máquinas, cambios físicos en el entorno, las personas, los metales, cambios en la atmósfera, etc. Además, en la banda de frecuencias ISM de 2.4 GHz, que es la banda en que se centra este trabajo, existe mayor cantidad de interferencias. Todo ello podría causar que el envío de paquetes fallara.

Los sistemas de telecomunicaciones se diseñan para que la señal que llega al receptor cumpla una mínima relación señal a ruido que garantice la correcta recepción del mensaje transmitido. En el caso de las comunicaciones inalámbricas, las ondas electromagnéticas que llevan la información están expuestas a ciertos fenómenos que pueden alterar su propagación, influyendo en la potencia recibida, y por tanto, en la relación señal a ruido.

3.2.1 Pérdidas de propagación.

El modelo de propagación en espacio libre es el modelo más básico de propagación de ondas de radio que podemos emplear. En este modelo, las ondas de radio provienen de una fuente puntual, viajando en todas direcciones en línea recta, llenando todo el volumen espacial esférico de energía de ondas de radio que disminuye en orden de $1/(d)^2$ (o 20 dB por década de aumento de la distancia) [7].

La propagación en el mundo real rara vez sigue este modelo tan simple. Los tres primeros mecanismos básicos de la propagación de radio se atribuyen a la reflexión, absorción, difracción, dispersión y refracción (apartado 3.2.2). Estos fenómenos causan distorsiones en la señal y general pérdidas adicionales en la propagación de la señal. En exteriores, con unidades móviles, cambios en distancias muy pequeñas, pueden dar lugar a fuertes fluctuaciones de la señal, debido a que al estar formada por múltiples componentes provenientes del multitrayecto, todas estas componente pueden verse alteradas y provocar un cambio sustancial en la señal recibida.

3.2.2 Fenómenos de propagación.

3.2.2.1 Absorción.

Cuando la señal transmitida penetra en un objeto, la señal se verá atenuada en mayor o menor medida dependiendo de las características de absorción del objeto, su temperatura y la frecuencia de la señal.

Cada material tiene asociada una constante de atenuación, α (dB/m). Por ejemplo, la constante de atenuación del agua a temperatura ambiente para una señal de 2.4 GHz es aproximadamente 330 dB/m. El cuerpo humano está compuesto por un 70% de agua, por lo que atenuará las señales significativamente.

El efecto de la frecuencia de la señal en la penetración depende del tipo de material. Cuanto mayor es la frecuencia, mayor es la atenuación de la señal. Para la banda de ISM de 2.4 GHz y en relación con este proyecto, la atenuación de una puerta metálica es de 6 dB, una ventana de 3 dB y del cuerpo humano de 3 dB.

3.2.2.2 Difracción.

Este fenómeno ocurre cuando el trayecto entre Tx y Rx se ve obstruido por objetos que tienen esquina y bordes marcados. Al chocar la onda contra dichos objetos, se producen ondas secundarias que se asumen como nuevos frentes de onda propagándose en el espacio. La naturaleza de la difracción a altas frecuencias, depende de la geometría del obstáculo, así como de la amplitud, fase y polarización de la onda. (figura 3.12)

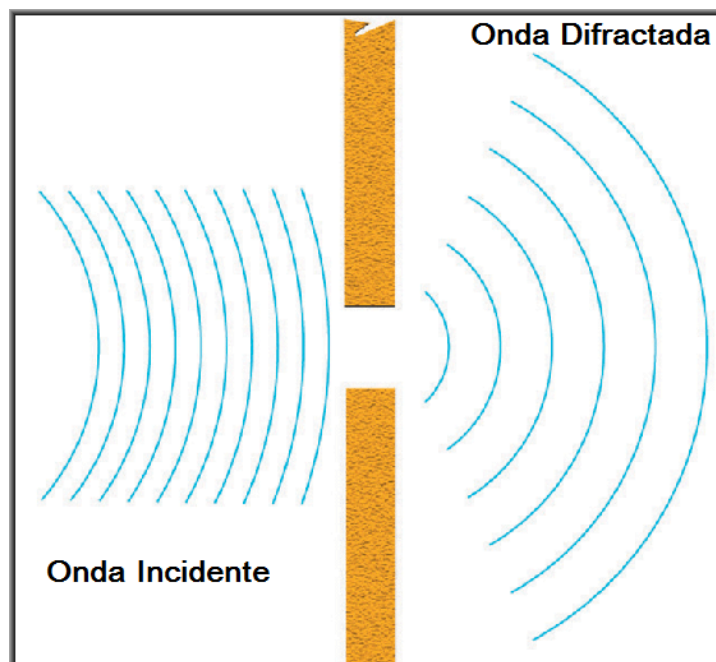


Figura 3.12 Fenómeno de difracción.

3.2.2.3 *Dispersión.*

La dispersión o *scattering*, ocurre cuando las ondas electromagnéticas inciden sobre una superficie rugosa. La rugosidad de la superficie es diferente para cada onda, ya que depende de la longitud de onda de la señal incidente. Generalmente, si la variación en una superficie es mayor que $\lambda/8$, la superficie se considera rugosa y dispersará la señal en varias direcciones. (figura 3.13)

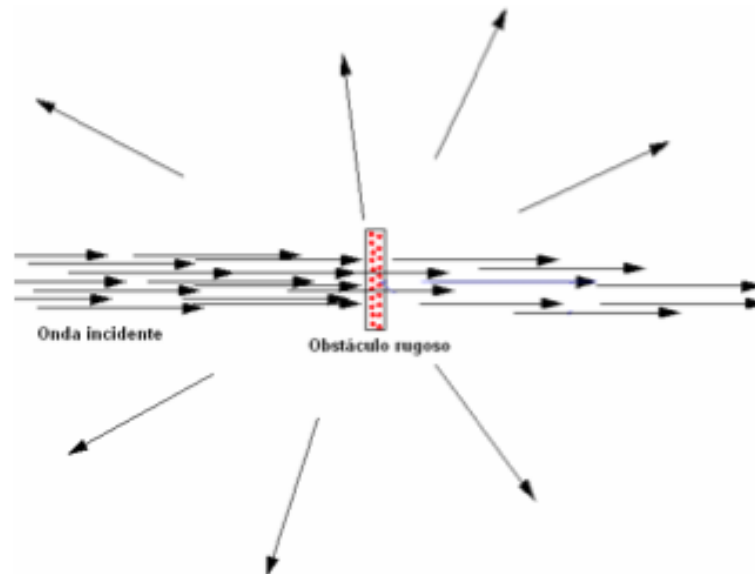
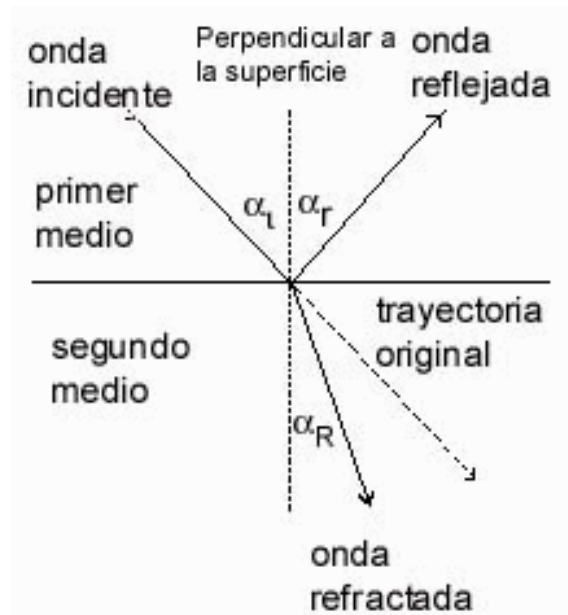


Figura 3.13 Fenómeno de dispersión.

3.2.2.4 *Reflexión.*

Cuando una onda de radio choca con un obstáculo, parte o la totalidad de la onda se refleja y se observa una pérdida de la intensidad. La reflexión es tal que el ángulo de incidencia equivale al ángulo de reflexión (cuando los elementos son conductores perfectos).

Pero ni siquiera los elementos metálicos van a ser conductores perfectos y, al igual que en los elementos dieléctricos, se generará una onda transmitida (refractada) y una onda reflejada. A diferencia de la onda transmitida, el ángulo que forma la onda reflejada con la normal y el ángulo que forman la onda incidente y la normal, son iguales. (figura 3.14)



3.2.2.5 Refracción.

La refracción es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si éstos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad de propagación de la onda. Cuando un rayo se refracta al pasar de un medio a otro, el ángulo de refracción con el que entra es igual al ángulo en que sale al volver a pasar de ese medio al medio inicial.

3.2.3 Propagación multitrayecto.

Las ondas electromagnéticas se propagan de acuerdo con numerosos mecanismos físicos: propagación en espacio libre o propagación LOS³, reflexión, transmisión, difracción,... Ésto da como resultado que la onda transmitida no recorra un solo camino, sino que esta puede viajar por varios caminos distintos simultáneamente produciendo:

- Una desviación, en cuanto a pérdidas, de la trayectoria principal que es la que se parece a las pérdidas en espacio libre.
- Una modificación de la fase de las diferentes señales recibidas (figura 3.15)
 - 1 – Las señales llegan en fase, es decir, diferencia de fase = 0° , por lo que las señales se sumarán constructivamente.
 - 2 – Las señales llegan en contrafase, con una diferencia de fase = 180° , y las señales se sumarán destructivamente.

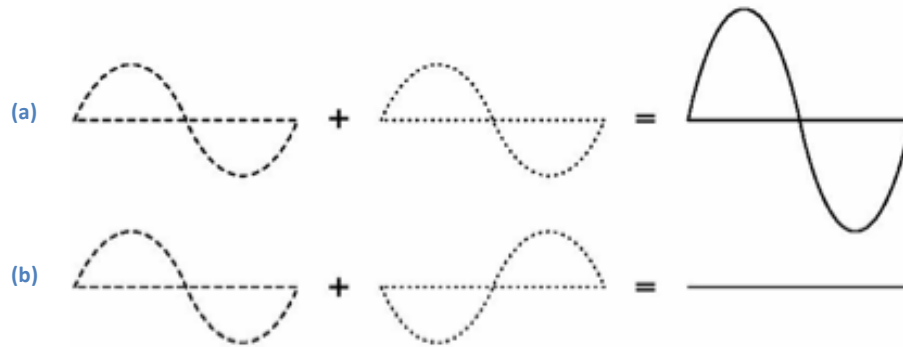


Figura 3.15 Suma de fases (a) en fase, (b) en contrafase.

- Una diferencia temporal en la propagación, llamada retraso de propagación. Este efecto provoca interferencias en la recepción ya que se superponen varios flujos de datos.

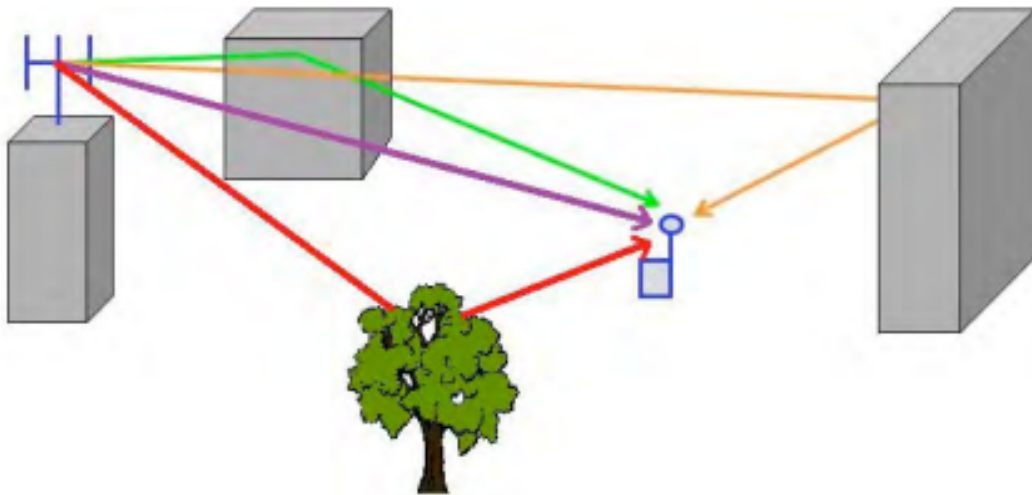


Figura 3.16 Efecto multitrayecto con visión directa (LOS)

En los casos en los que los radioenlaces sean LOS (figura 3.16), las reflexiones con los objetos son los efectos que más van a afectar en las medidas. Sin embargo, en los escenarios que no hay visión directa entre antenas (NLOS⁴), la difracción y la dispersión serán los efectos más importantes (figura 3.17)

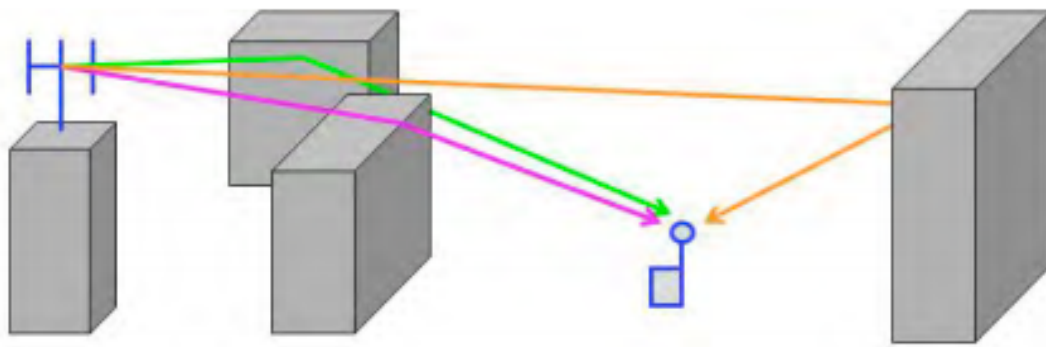


Figura 3.17 Efecto multitrayecto sin visión directa (NLOS)

3.2.3.1 Desvanecimiento.

El término desvanecimiento se refiere a que la señal transmitida es atenuada debido a la pérdida en el espacio, los obstáculos y la resistencia que debe traspasar durante toda su trayectoria y hasta llegar a su destino. También se puede definir como una variación temporal de la amplitud, fase y polarización de la señal recibida con relación a la señal nominal, debido al trayecto de propagación: multitrayecto, reflexión, difracción y dispersión. Refleja la baja o mala potencia recibida en el terminal receptor (figura 3.18)

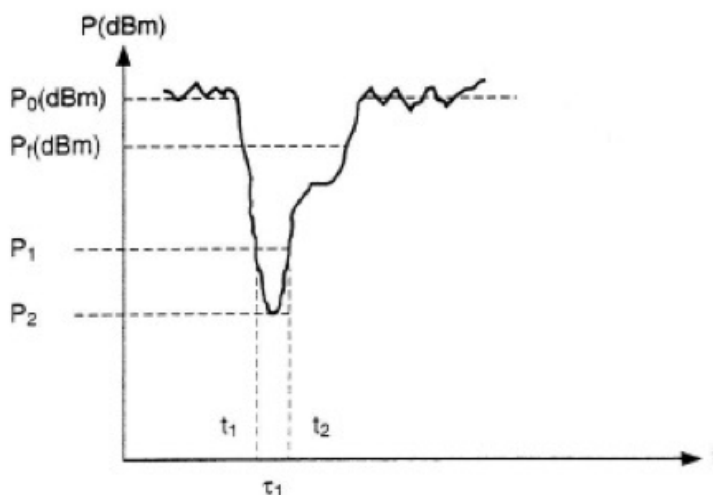


Figura 3.18 Desvanecimiento [8]

donde:

- P_0 es el valor nominal de la señal (en dBm)
- P_2 es el valor mínimo de la señal desvanecida (en dBm)
- τ_1 es el tiempo de desvanecimiento (en s.)

El desvanecimiento multitrayecto es la forma más común de desvanecimiento. Es relativamente rápido y selectivo en frecuencia, causado por la interferencia entre uno o más rayos en la atmósfera.

3.3. Sistemas de comunicación vehicular.

La comunicación intervehicular (IVC, Intervehicle communication) está tomando cada día más interés en el mundo de la industria automovilística, donde cada vez más, se preocupan por servicios como el Servicio de transporte inteligente (ITS, Intelligent Transport System) o la asistencia para conductores y pasajeros. En este contexto, las redes vehiculares ad-hoc (VANET, Vehicular ad hoc network) está emergiendo como una nueva clase de red inalámbrica, formada espontáneamente entre vehículos en movimiento equipados con dispositivos inalámbricos que pueden tener o no similares tecnologías de radiofrecuencia. Un VANET es una forma de red móvil ad hoc, ofreciendo comunicación entre vehículos cercanos entre sí (C2C , Car-to-Car, o V2V, Vehicle-to-vehicle) y entre vehículos y una estación base fija (C2I, Car-to-Infraestructure o V2I, Vehicle-to-Infraestructure)

En este contexto, se creó WAVE (Wireless Access for Vehicular Environments) desarrollada por IEEE. Dentro de WAVE podemos encontrar, hoy en día, dos grupos : IEEE 802.11p y IEEE 1609.x. Por separado, cubren diferentes capas del protocolo.

3.3.1. Componentes de un sistema WAVE.

Un sistema WAVE está formado por unidades. Las unidades *Roadside* (RSUs) normalmente están instaladas en semáforos, señales... Las unidades *Onboard* (OBUs) se encuentran en los vehículos y pueden funcionar mientras éstos están en movimiento.

Por defecto, las unidades WAVE operan independientemente, intercambiando información sobre un canal de radio fijo conocido como el Canal de Control (CCH, *Control Channel*). Sin embargo, también se pueden organizar en pequeñas redes llamadas *WAVE basic services sets* (WBSSs), que son muy parecidas a las redes establecidas para IEEE 802.11. Las WBSSs pueden consistir en OBUs solamente o una mezcla de OBUs y RSUs. Todos los miembros de un WBSS particular pueden intercambiar información por medio de un Canal de Servicios (SCH, *Service Channel*). De la misma forma, un WBSS puede conectarse con una red de área extendida (WAN) (figura 3.19)

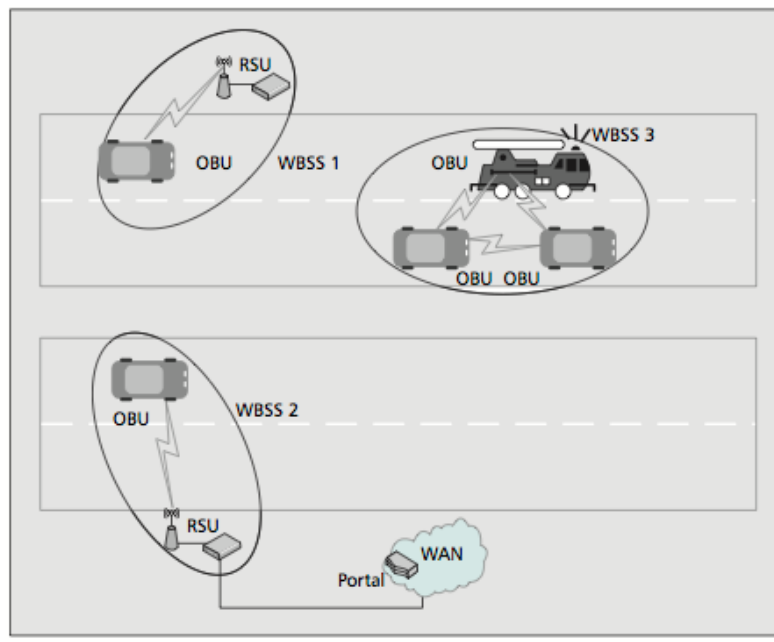


Figura 3.19 Posibles combinaciones de OBUs, RSUs y WBSSs. [9]

3.3.2. Protocolos de comunicación.

La arquitectura WAVE soporta dos pilas de protocolos. En la terminología del modelo OSI, ambas pilas usan las misma capa Física y la misma capa de Enlace de datos, y se diferencian una de otra en las capas de Red y Transporte. El estándar WAVE no especifica nada sobre las capas de Sesión, Presentación y Aplicación. Sin embargo, introduce dos elementos que no encajan fácilmente en el modelo OSI: el bloque de Gestor de recursos (*Resource manager*) y el bloque de Servicios de seguridad (*Security services*) (figura 3.20)

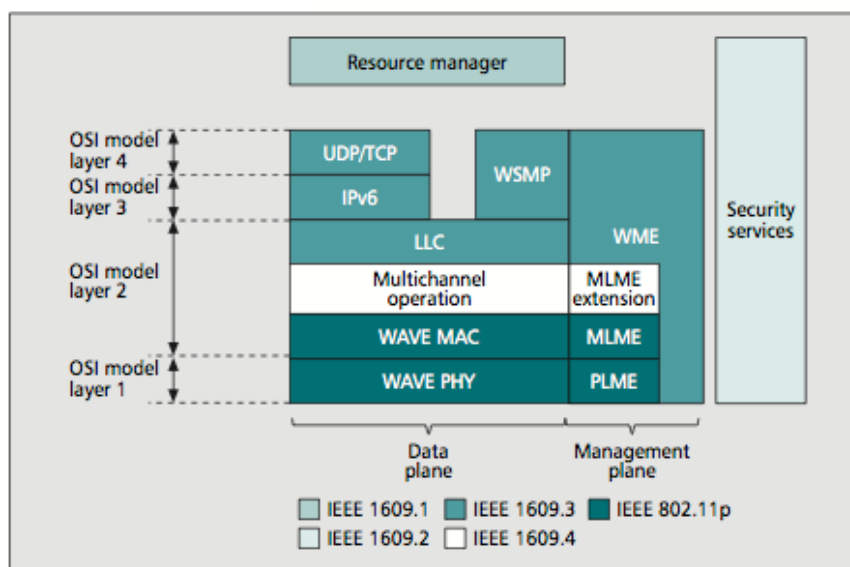


Figura 3.20 Pila WAVE indicando qué estándar cubre cada capa. [9]

WAVE también gestiona IPv6 y WAVE *Short-Message Protocol* (WSMP). La razón para tener dos pilas de protocolos es para asegurar la alta prioridad, la comunicación temporal así como el intercambio de información tal como TCP/UDP (*Transmission Control Protocol / User Datagram Protocol*)

Para cada nivel se ha establecido un estándar.

Protocols	Standard document	Purpose of the standard	OSI model layer numbers
WAVE PHY and MAC	IEEE 802.11p	Specifies the PHY and MAC functions required of an IEEE 802.11 device to work in the rapidly varying vehicular environment	1 and 2
Multichannel operation	IEEE 1601.4	Provides enhancements to the IEEE 802.11p MAC to support multichannel operation	2
WAVE networking services	IEEE 1609.3	Provides addressing and routing services within a WAVE system	2, 3, and 4
WAVE resource manager	IEEE 1609.1	Describes an application that allows the interaction of OBUs with limited computing resources and complex processes running outside the OBUs in order to give the impression that the processes are running in the OBUs	N/A
WAVE security services	IEEE 1609.2	Covers the format of secure messages and their processing	N/A

Figura 3.21 Lista de protocolos que componen WAVE y su relación con los estándares actuales [9]

3.3.3. Capas Física y MAC. 802.11p

Las capas Física y MAC de WAVE están basadas en IEEE 802.11a, y su actual estándar es el IEEE 802.11p.

Sin embargo, se ha implementado una versión diferente de 802.11 debido a que:

- Altos alcances: hasta 1000 metros.
- Alta velocidad de los vehículos.
- Escenarios multitrayecto muy complejos.
- Solapamiento de redes *ad hoc* con alto nivel de QoS.
- La naturaleza de las aplicaciones.

3.3.3.1. Capa Física (PHY)

Se utiliza OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Al igual que el estándar IEEE 802.11a, IEEE 802.11p utiliza 52 subportadoras de las cuales 48 son subportadoras de datos y 4 son subportadoras piloto.

Por lo demás, los cambios respecto a 802.11a son los siguientes:

- La banda de frecuencia de IEEE 802.11p es de 5.9 GHz en América. En Europa se localiza en la banda de 5.9 GHz también.

- Cuatro clases permitidas de Potencia Radiada Isotrópica Efectiva (EIRP) de hasta 44.8 dBm (30 W). Un valor típico para envío de un mensaje es de 33 dBm.
- Para incrementar la tolerancia del efecto multitrayecto, se utiliza el ancho de banda de 10 MHz. Éste valor es doble al utilizado en 802.11a. Por un lado, utilizar 10 MHz reduce el efecto Doppler y, por otro lado, el doble intervalo de guarda reduce la interferencia intersímbolo causada por la propagación multitrayecto.

Parameters	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p half clocked mode	Changes
Bit rate (Mbit/s)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27	Half
Modulation mode	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	No change
Code rate	1/2, 2/3, 3/4	1/2, 2/3, 3/4	No change
Number of subcarriers	52	52	No change
Symbol duration	4 μ s	8 μ s	Double
Guard time	0.8 μ s	1.6 μ s	Double
FFT period	3.2 μ s	6.4 μ s	Double
Preamble duration	16 μ s	32 μ s	Double
Subcarrier spacing	0.3125 MHz	0.15625 MHz	Half

Figura 3.22 Comparación entre 802.11a y 802.11 p [10]

3.3.3.2. Capa Control de Acceso al Medio (MAC)

Esta capa, además de estar definida por IEEE 802.11p también lo está por IEEE 1609.4.

Con una distancia máxima de comunicación de 1 km., el tiempo de conexión entre dos vehículos en movimiento está limitado a unos cuantos segundos antes de que la conexión se pierda. Es por ello, que los dispositivos no tienen apenas tiempo para identificarse antes del intercambio de datos.

Estas “lagunas” de asociación/identificación expone a los dispositivos a una falta de seguridad por ello (para evitar la falta de privacidad) la dirección MAC cambia regularmente aleatoriamente.

3.3.4. Actividades de estandarización.

En 1999, la U.S Comisión Federal de Comunicaciones asignó 75 MHz del espectro de *Dedicated short-range communication* (DSRC) a la frecuencia de 5.9 GHz (5.850 – 5.925 GHz) para uso exclusivo de infraestructuras V2V y V2I. El espectro DSRC está dividido en siete 10 MHz canales.

Por otro lado, en Japón, las bandas de frecuencia asignadas, van de 5.770 a 5.850 GHz.

Por el contrario, la signación de unas frecuencias en Europa fue mucho más compleja y llevó mucho tiempo ya que todos los países debían ponerse en consenso sobre aspectos como la compatibilidad y políticas de uniformación del espectro. Fue en 2008 cuando se acordó, provisionalmente, la utilización de la banda de 5875 – 5905 MHz y 5855 – 5875 MHz.

3.3.4.1. IEEE.

Como ya se ha hablado, IEEE 802.11a fue el precursor del IEEE 802.11p. Por otro lado, para la estandarización de la capa de Enlace y la capa de Aplicación, existe el grupo IEEE 1609 en el cual se encuentran cuatro más : IEEE 1609.1, IEEE 1609.2, IEEE 1609.3 y IEEE 1609.4 (figura 3.20)

3.3.4.2. C2C-CC.

Europa cuenta con el consortium C2C-CC [11] que se basa en la tecnología WLAN. En 2007 publicó un “manifiesto” describiendo los conceptos importantes del sistema, la arquitectura de protocolos, comunicación de protocolos...

3.3.4.3. ETSI.

El ETSI (*The European Telecommunications Standards Institute*) [12] creó hace uno años un comité técnico TC ITS con la finalidad de desarrollar estándares y especificaciones para servicios ITS. El TC ITS está formado por cinco grupos de trabajo: WG1 a WG5.

3.3.4.4. ISO.

ISO TC204/WG16 ha desarrollado una serie de borradores de estándares conocidos como CALM (*Continuous Air-interface, Long and Medium Range*) [13]. EL fin de CALM es el de desarrollar un terminal de red estandarizado que sea capaz de conectar vehículos y sistemas de carretera continuamente y de modo imperceptible.

3.3.5. Proyectos desarrollados o en desarrollo.

A modo de resumen, en estas figuras se presentan los diferentes proyectos desarrollados y en desarrollo.

Project name	Project information		
	Period	External funding	Brief description of objectives
AKTIV	2006-2010	Ministry of Economics and Technology Germany	Design, development, and evaluation of driver assistance systems, knowledge and information technologies, efficient traffic management, and V2V and V2I communication; http://www.aktiv-online.org/index.html
Car to Car Communication Consortium (C2C-CC)	Ongoing	N/A	Development of a European industry standard for VC communication systems, active safety applications prototyping and demonstrations, harmonization of VC standards worldwide, realistic deployment strategies and business models; http://www.car-2-car.org/
CityMobil	2006-2010	European Union	Integration of automated transport systems in the urban environment, based on real-life implementations; http://www.citymobil-project.eu/
COM2REACT	2007-2008	European Union	Distributed traffic application, based on cellular and V2V communication, in-car and V2V communication systems, vehicle-to-center communication; http://www.com2react-project.org/
COOPERS	2006-2010	European Union	Telematic applications for the road infrastructure, cooperative traffic management involving vehicles and roadside infrastructure; http://www.coopers-ip.eu/
CVIS	2007-2011	European Union	Multichannel terminal capable of continuous Internet connection, open communication architecture, enhanced positioning, commercial applications, toolkit (models, guidelines, and recommendations), and deployment roadmaps; http://www.cvisproject.org/
CyberCars2	2006-2008	European Union	Cooperation between vehicles running at close range (platooning) and at intersections (merging, crossing); http://www.cybercars.org
CyberMove	2001-2004	European Union	Investigation toward new transportation systems based on CyberCars (automated vehicles) as a complement to public mass transportation; http://www.cybermove.org
ETSI TC ITS	Ongoing	N/A	Standardization activities to support the development and implementation of intelligent transportation systems; http://portal.etsi.org/Portal_Common/home.asp
EVITA	2008-2011	European Union	Secure and trustworthy intravehicular communication; architecture for automotive onboard networks to thwart tampering and protect sensitive data inside a vehicle; http://evita-project.org/
GeoNet	2008-2009	European Union	Specifying, developing and testing IPv6 geo-networking that can be used within a cooperative architecture (e.g., CVIS); http://www.geonet-project.eu/
HAVE-IT	2008-2011	European Union	Automated merging, queue assistance, temporary auto-pilot, and active green driving mechanisms, integrated in six demonstrator vehicles; http://www.haveit-eu.org
IEEE P1609	Ongoing	N/A	Standard for wireless access in vehicular environments (WAVE) — Resource manager, physical and medium access control, security services, networking services, multichannel operations for V2V and V2I communication; http://www.standards.its.dot.gov/fact_sheet.asp?f=80
ISO TC 204 WG16/CALM	Ongoing	N/A	Standardized set of air interface protocols and parameters for medium- and long-range high-speed ITS communication, across several media, networking, and upper layer protocols; http://www.isotc204wg16.org/
NoW: Network on Wheels	2004-2008	Ministry of Education and Research Germany	Protocols and data security algorithms for V2V/V2I communication, active safety scenario, V2I electronic payment, introduction strategies, and business models; http://www.network-on-wheels.de/
PATH	Ongoing	California Department of Transportation (CalTrans)	Multidisciplinary research program administered by the UC Berkeley Institute of Transportation Studies and CalTrans; activities in four areas: policy and behavioral, transportation safety, and traffic and transit operations research; http://www.path.berkeley.edu/
SAFESPOT	2006-2010	European Union	Ad hoc networking, accurate relative localization, dynamic local traffic maps; scenario-based evaluation of safety applications; sustainable deployment strategy; http://www.safespot-eu.org/
SEVECOM	2006-2009	European Union	Security architecture for vehicular communication systems; identity management, security and privacy-enhancing mechanisms and protocols; in-car protection; data consistency; system performance evaluation; demonstration; http://www.sevecom.com
SmartWay	2006-2010	Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Japan	Driving safety support systems based on vehicle-highway cooperation; http://www.mlit.go.jp/road/ITS/
IntelliDrive Previously known as the VII consortium (VIC)	Ongoing 2005-2008	Department of Transportation USA	Initiative of the ITS Joint Programs Office (JPO) at the DoT's Research and Innovative Technology Administration (RITA) VC technologies and applications, V2V, V2I, mobility, and policy research; http://www.intelldriveusa.org/
VSC	2002-2004	Department of Transportation USA	DSRC demonstration and safety beaconing for V2V and V2I communication
CAMP/VSC-2	2005-2009	Department of Transportation USA	Cooperative Intersection Collision Avoidance System — Violations (CICAS-V); Emergency Electronic Brake Lights (EEBL); Vehicle Safety Communications — Applications (VSC-A)

Figura 3.23 Información resumida de proyectos desarrollados y en desarrollo para sistemas inalámbricos vehiculares. [14]

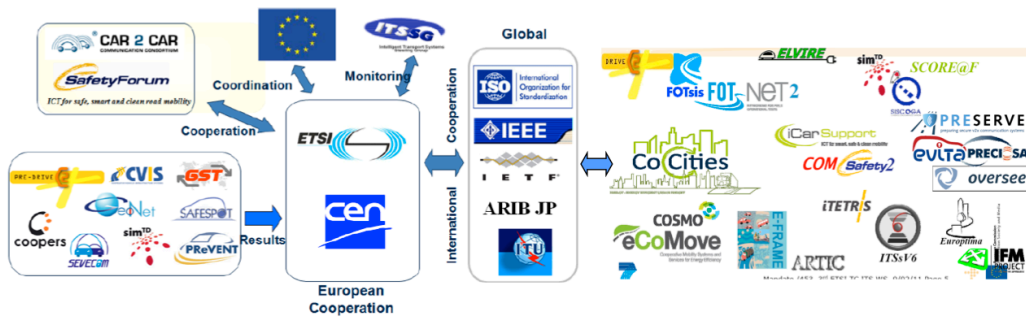


Figura 3.24 Relación entre proyectos.

Cada uno de estos proyectos, utiliza una tecnología diferente para su capa de enlace de datos.

Por ello, no sólo se cuenta con tecnología WAVE sino que también en algunos otros proyectos se desarrolla con celular e Infrarrojos. Cada una cuenta con unas características diferentes:

Indicative wireless data link characteristics	Technology			
	802.11p WAVE	Wi-Fi	Cellular	Infrared
Bit rate	3–27 Mb/s	6–54 Mb/s	< 2 Mb/s	< 1 Mb/s < 2 Mb/s
Communication range*	< 1000 m	< 100 m	< 15 km	< 100 m (CALM IR)
Transmission power for mobile (maximum)	760 mW (US) 2 W EIRP (EU)	100 mW	2000 mW (GSM) 380 mW (UMTS)	12800 W/Sr pulse peak
Channel bandwidth	10 MHz 20 MHz	1–40 MHz	25 MHz (GSM) 60 MHz (UMTS)	N/A (optical carrier)
Allocated spectrum	75 MHz (US) 30 MHz (EU)	50 MHz @ 2.5 GHz 300 MHz @ 5 GHz	(Operator-dependent)	N/A (optical carrier)
Suitability for mobility	High	Low	High	Medium
Frequency band(s)	5.86–5.92 GHz	2.4 GHz, 5.2 GHz	800 MHz, 900 MHz 1800 MHz 1900 MHz	835–1035 nm
Standards	IEEE, ISO, ETSI	IEEE	ETSI, 3GPP	ISO

*The communication range depends on parameters such as data rate, power, bandwidth, and topography; values given in this table are estimates and may vary.

Figura 3.25 Resumen de las tecnologías de comunicación vehicular [14]

Capítulo

4

4. Metodología

Para llevar a cabo estimaciones de potencia en el interior y en el entorno vehicular, se ha realizado múltiples simulaciones mediante un código desarrollado en Matlab por la Universidad Pública de Navarra que aplica técnicas de lanzamiento de rayos tridimensional. Ha sido necesario añadir a este código un modelo de coche simplificado que permite observar la potencia en su interior así como la forma de interacción con su entorno.

Además, se ha realizado en algún caso en concreto, medidas reales que ha permitido comparar y contrastar con las simulaciones.

4.1. Trazado de rayos en tres dimensiones.

El algoritmo posee las siguientes características:

- Recreación de una propagación multitrayecto realista.
- Modelado en tres dimensiones de todo tipo de habitaciones con diferentes formas y tamaños.
- Creación de entornos complejos tan grandes como se desee, múltiples plantas, múltiples edificios.
- Caracterización y modelado de cualquier tipo de objeto (ventanas, paredes, etc.) mediante su forma tridimensional y su constante dieléctrica.
- Modelado de reflexión, refracción y difracción.
- Cálculo de las interacciones entre los rayos y los objetos teniendo en cuenta la polarización de la onda.
- Modelado de cualquier tipo de transceptor.
- Duración de la simulación de un rayo determinado caracterizable mediante número de rebotes y retardo máximo.
- Análisis del escenario extrayendo parámetros tales como campo eléctrico, potencia, señal/interferencia, retardo potencia, dispersión, etc.

Sin embargo, este código presenta algún que otro inconveniente ligado a las características de Matlab que suponen un reto a la hora de implementar objetos. Estos inconvenientes se relacionan con que solo es posible trabajar con cubos y no con superficies curvas ni con ángulos. Si bien esto le otorga una gran simplicidad a la hora de construir los escenarios sin perder mucha exactitud, cuando se implementa elementos complejos implica un problema de inexactitud.

Relacionado con la simulación, es igual de importante determinar el número de rayos que se emiten. La problemática es que a una mayor densidad de rayos aumenta también el tiempo de procesado, pero una emisión muy baja de rayos puede generar vacíos de potencia en el escenario, ya que no ha pasado ningún rayo por algún cuboide concreto.

A lo anterior, se añade el problema de la resolución, ya que es necesario que haya una correspondencia entre el tamaño del escenario y la resolución escogida.

4.2. Modelos de objetos.

4.2.1 Modelo de coche.

El modelo de coche está basado en un vehículo específico, el Skoda Octavia, apto por ley para la labor de taxista.

Diseñado en Matlab, tiene la limitación de que no puede adoptar formas redondeadas por lo que, las medidas se aproximan lo máximo posible al modelo real. Un aspecto bastante determinante es la no inclinación de las lunas delantera y trasera que influirá significativamente en las simulaciones.

Por otro lado, a cada parte del coche se le asigna un material:

- Carrocería, motor, llantas: metal con conductividad $37.8 \cdot 10^6$
- Asientos, salpicadero, bandeja trasera, caucho de ruedas e interior en general: polipropileno con conductividad de 0.11
- Luna delantera, luna trasera, ventanillas, espejos retrovisores: cristal con conductividad de 0.11
- Maletero y puertas con cámara de aire: aire con conductividad cero.

Las dimensiones reales del vehículo son las siguientes:

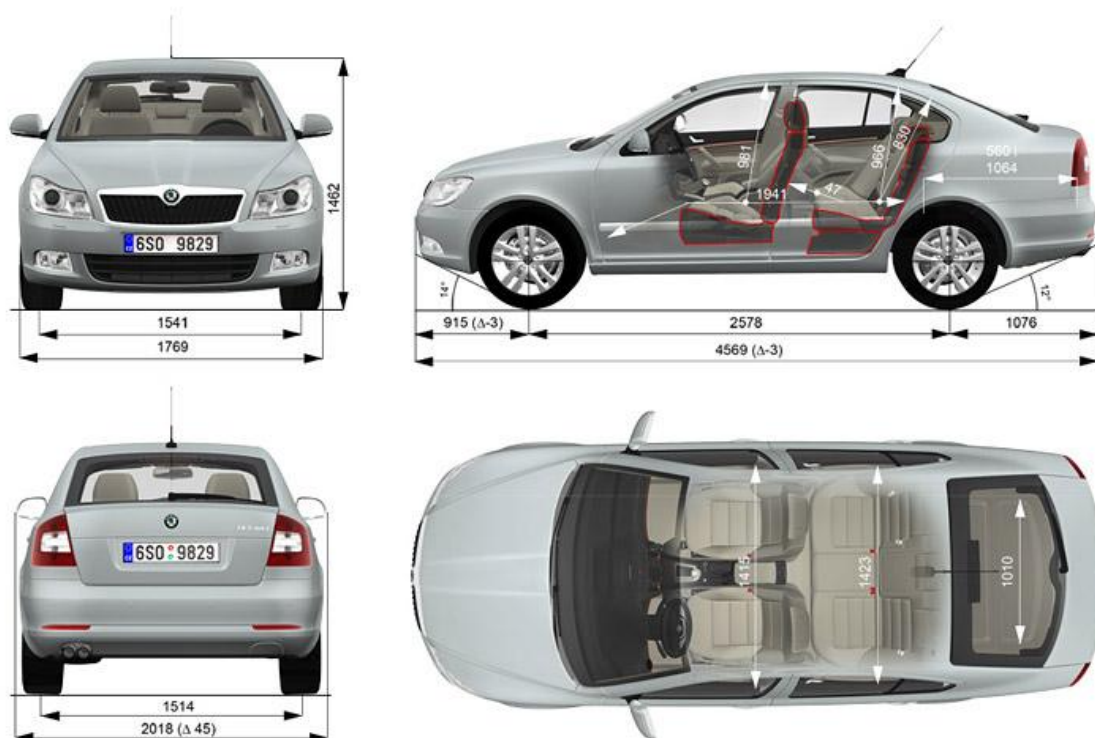


Figura 4.1 Medidas reales del Skoda Octavia.

El modelo de coche en Matlab, presenta la forma siguiente:



Figura 4.2 Vistas del modelo de coche diseñado en Matlab.

La función queda definida de la siguiente manera:

```
function coche = fabricacoche (x0,y0,z0,posicion)
```

donde (x_0, y_0, z_0) es el punto central donde se situa el coche y posición puede variar de 1 a 4 (giros de 90°).

Para conocer el código en Matlab, consultar el Anexo B.

4.2.2 Modelo de edificio.

Se trata de un edificio simple con paredes de hormigón y cuatro ventanas de cristal en dos de sus caras.

Tiene medidas estándar de: 8 m. (ancho) x 15 m. (largo) x 6 m. (alto) con grosor de paredes de 0.4 centímetros.

La función queda definida de la siguiente manera:

```
function planta = fabricaedif (x0,y0,z0,plantas,posicion)
```

donde (x0,y0,z0) es el punto central del edificio, "plantas" puede variar de 1 a infinito según las plantas que se necesite y posición varía de 1 a 4 (giros de 90°)

Para conocer el código escrito en Matlab, consultar el Anexo B.

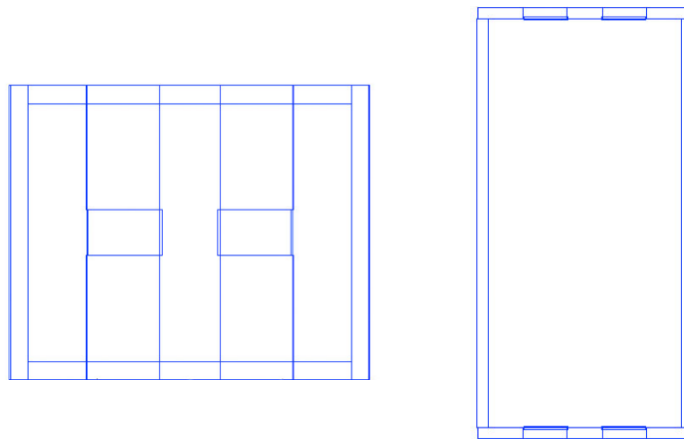


Figura 4.3 Vista frontal y vista alzada del modlo de edificio diseñado en Matlab.

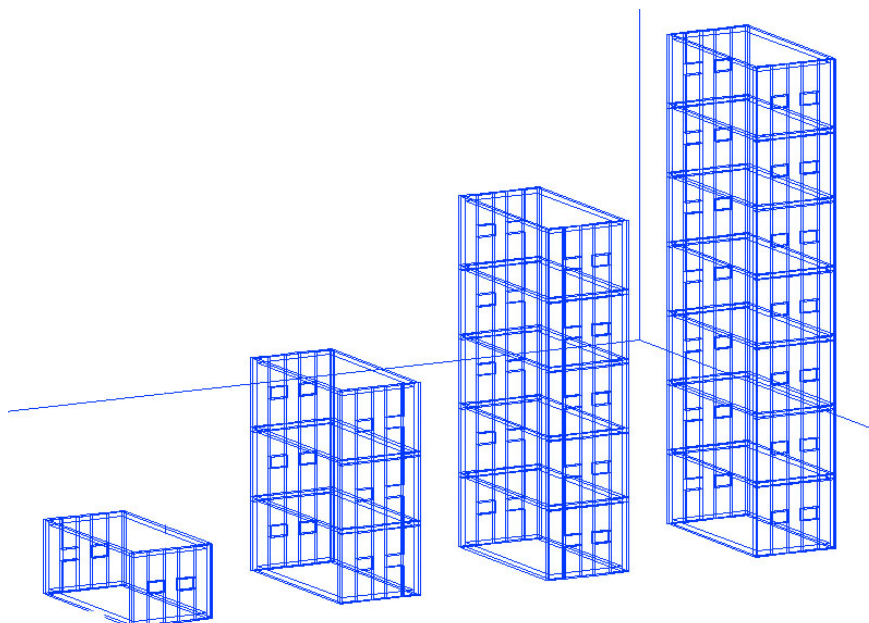
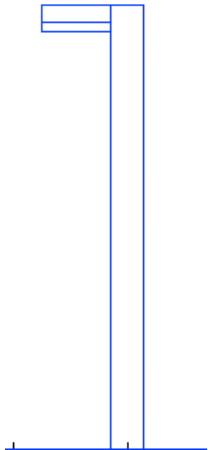
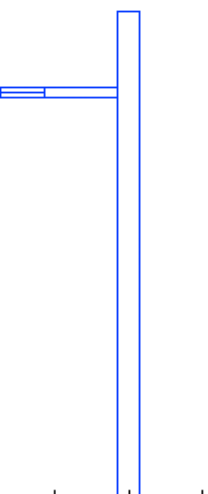
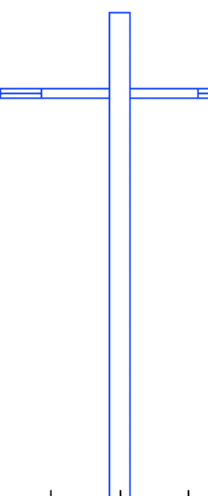


Figura 4.4 Ejemplo de edificio con una y varias plantas.

4.2.3 Modelo de farolas.

Con el fin de poder hacer simulaciones con antenas situadas en farolas, se diseñan dos tipos de farolas:

	<p>Farola Punto Medio:</p> <p>Altura: 5 m. Materiales: metal y polipropileno (luminaria).</p> <pre>function farolapmedio = fabricafarolapmedio(x0,y0,z0,posicion)</pre>
	<p>Farola Punto Alto:</p> <p>Altura: 9 m. Brazo luminaria situado a 8 m. de altura. Materiales: metal y polipropileno (luminaria).</p> <pre>function farolapmedio = fabricafarolapalto(x0,y0,z0,posicion)</pre>
	<p>Farola Punto Alto Doble:</p> <p>Altura: 9 m. Brazos luminarias situados a 8 m. de altura. Materiales: metal y polipropileno (luminaria).</p> <pre>function farolapmedio = fabricafarolapaltodoble(x0,y0,z0,posicion)</pre>

4.2.4 Modelo de persona.

Desarrollado por Erik Aguirre en su TFM, a continuación se hace una leve referencia ya que es utilizado en los escenarios con la antena dentro del coche.

Se trata de un cuerpo humano simplificado que pretende ser lo más realista posible dentro de las limitaciones ya comentadas (apartado 4.1)

Teniendo en cuenta que las personas humanas generalmente mantienen unas proporciones medias respecto a su altura, se ha diseñado de tal manera que a partir de la altura se calculen las medidas de todas las partes del cuerpo.

Algunas de las características de este modelo son:

- Orientación en las cuatro direcciones.
- Posibilidad de sentarlo.
- Dotación de mayor o menor resolución: La resolución se refiere al detalle del modelo, pudiendo generar una persona que cuenta con huesos, órganos, músculos, capa de piel y sangre o simplemente usando un modelo simple mediante una carcasa de piel.

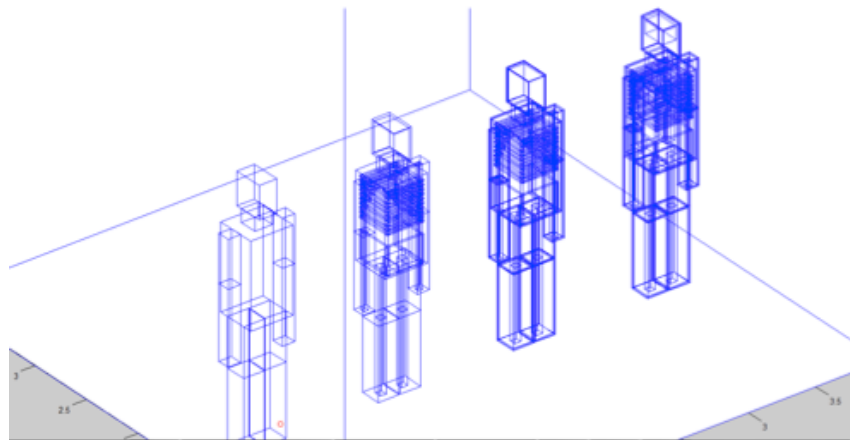


Figura 4.5 Diferentes resoluciones del modelo de persona.

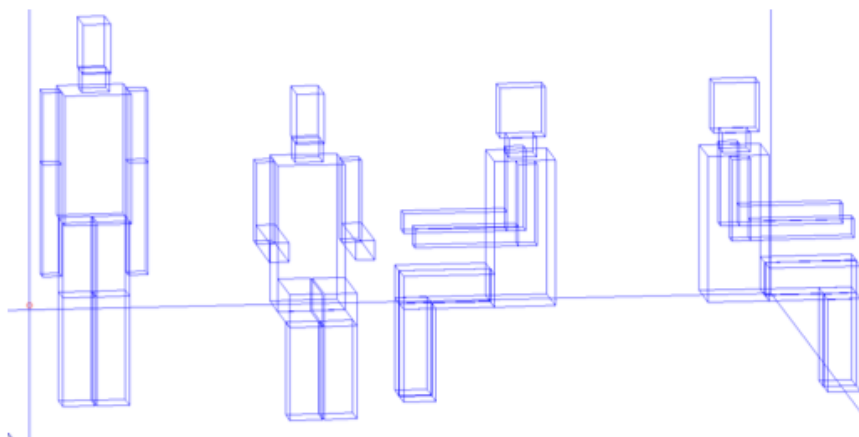


Figura 4.6 Posiciones que adopta el modelo de persona.

Capítulo

5

5. Resultados

Los resultados que se muestran se basan en las simulaciones de Trazado de rayos tridimensional en Matlab y, en algún caso, se comparan con medidas reales.

En cuanto a los resultados de las simulaciones, se clasifican en:

- 5.1 Escenarios con antena Tx fuera del coche.
- 5.2 Escenarios con antena Tx dentro del coche.
- 5.3 Escenarios con antena Tx situada en farolas.

5.1. Escenarios con antena Tx fuera del coche.

5.1.1 Un coche.

Tamaño escenario	10 m. x 10 m. x 3 m.	
Frecuencia	2,4 GHz	
Número de rebotes	6	
Resolución escenario	Cuboides de 1 m.	
Antena	Altura respecto al suelo	1,6 m. (altura del coche 1,4 m.)
	Potencia	10 dBm
	Directividad	Omnidireccional

Tabla 5.1 Parámetros de simulación para un coche.

Se crea un escenario de dimensiones reducidas en el que se incluye un solo coche y se va variando la posición de éste.

Se escoge como alturas a representar en las gráficas de potencia recibida, la de un metro y la de dos metros. La de un metro para conocer cómo recibiría un dispositivo dentro del coche (altura de los asientos) y la de dos metros por ser justo la altura superior por encima de la antena (situada a 1,6 m.)

Se intenta plasmar el posible “movimiento” del coche cada 2,5 metros en un escenario de 10 metros de ancho.

Análisis resultados.

Como se observa, a la altura de dos m. (justo por encima de la antena), la cobertura de potencia recibida en el área próxima al coche es óptima, aunque surgen zonas en las que el nivel de señal desciende bruscamente. Ésto no es debido a las paredes ya que se les ha dotado de material “aire” sino a las sumas en contrafase.

En cuanto a la altura de un metro, la potencia recibida es mucho mejor alrededor del coche que en el propio interior. Ésto es debido a que la antena está justo encima y no cubre la zona justo de abajo.

Se ha realizado más casuística que se puede consultar en Anexo A, apartado A1.

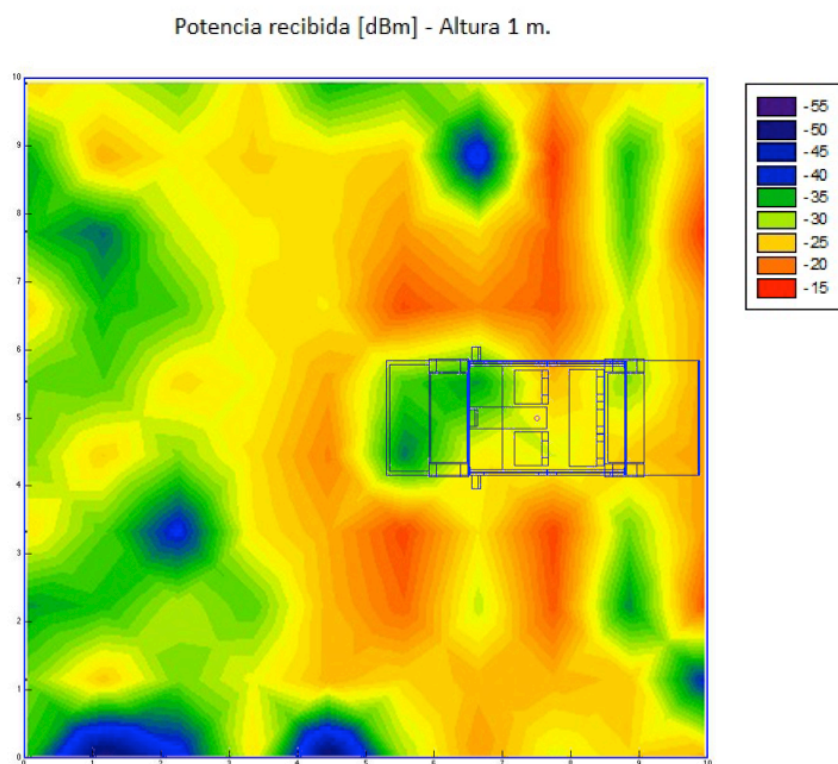
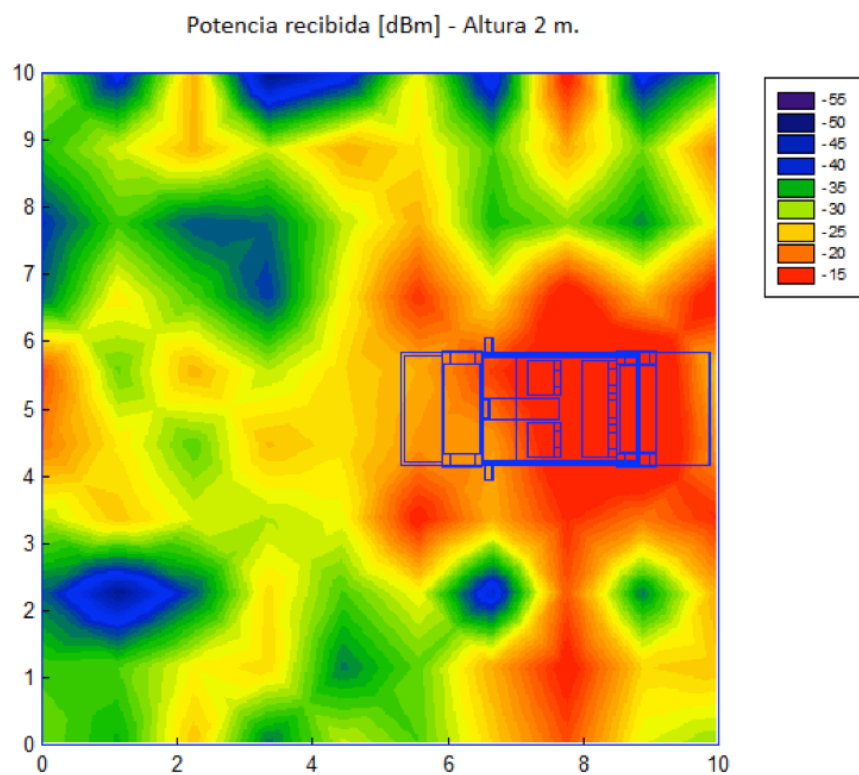


Figura 5.1 Gráficas de potencia recibida para alturas de un metro y dos metros el coche está situado en $x = 7.5$ m. e $y = 5$ m.

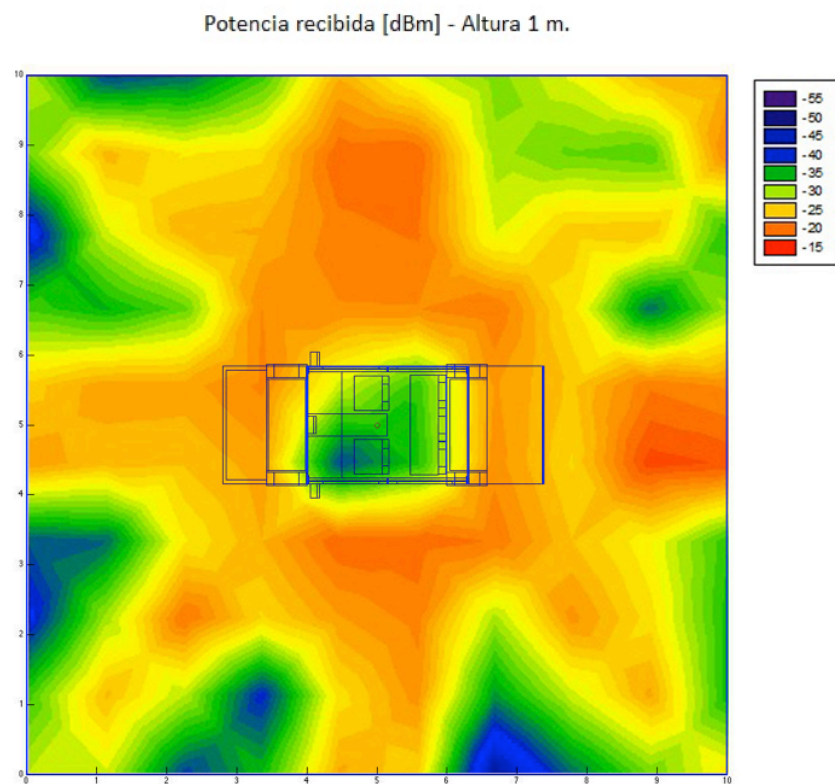
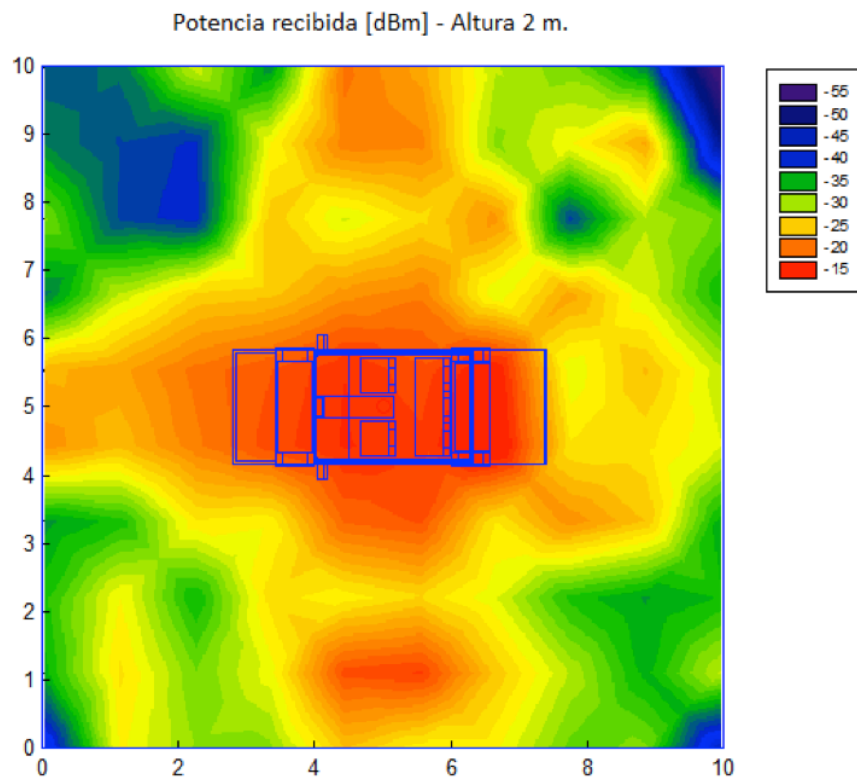


Figura 5.2 Gráficas de potencia recibida para alturas de un metro y dos metros el coche está situado en $x = 5$ m. e $y = 5$ m.

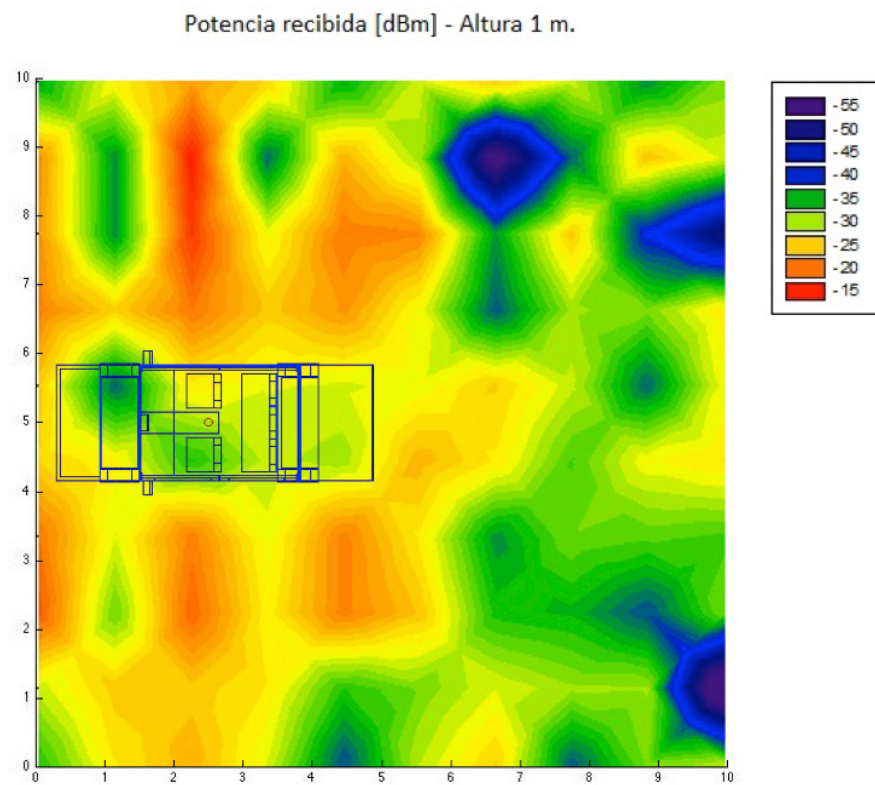
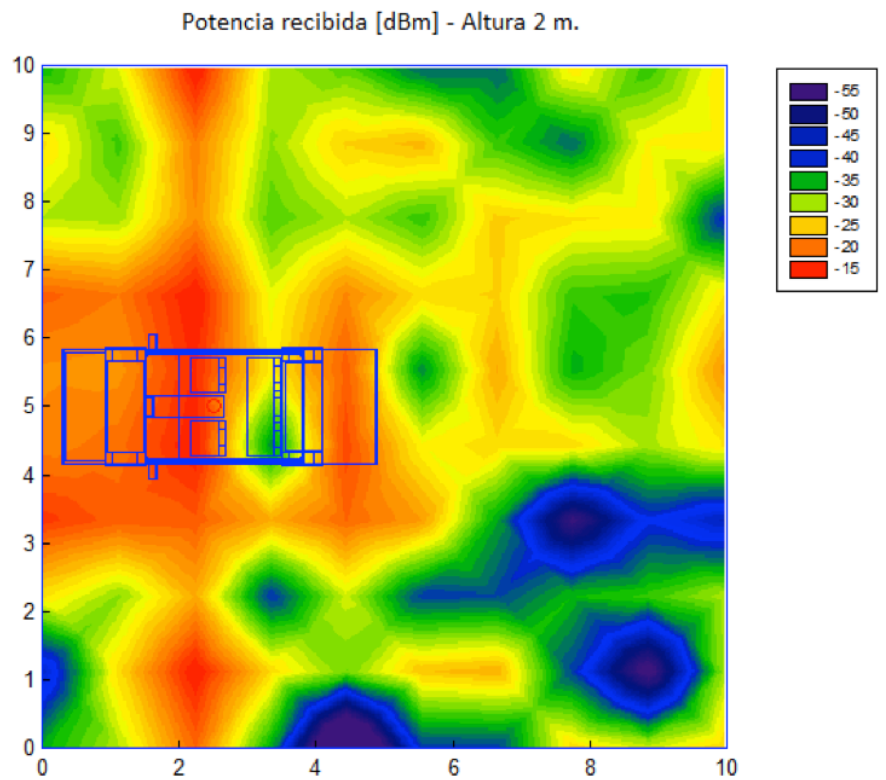


Figura 5.3 Gráficas de potencia recibida para alturas de un metro y dos metros el coche está situado en $x = 2.5$ m. e $y = 5$ m.

5.1.2 Dos coches.

Tamaño escenario	15 m. x 10 m. x 3 m.	
Frecuencia	2,4 GHz	
Número de rebotes	6	
Resolución escenario	Cuboides de 1 m.	
Antena	Altura respecto al suelo	1,6 m. (altura del coche 1,4 m.)
	Potencia	10 dBm
	Directividad	Omnidireccional

Tabla 5.2 Parámetros de simulación para dos coches.

Al igual que en el caso de un coche, los coches se van moviendo por el escenario. Uno de ellos es el encargado de portar la antena.

Además de las gráficas de potencia recibida a un metro y dos metros, también se dibujan las radiales que atraviesan los coches dependiendo de la posición en la que se encuentren.

Análisis resultados.

En general, a la altura de dos metros, la potencia recibida en el coche receptor es adecuada aunque en el caso de la Figura 5.6 donde el escenario puede considerarse más “al límite”, el nivel de potencia recibida es más bajo.

Para la altura de un metro, como es de esperar, al situarse la antena justo 60 centímetros por encima, la zona debajo de ella, apenas recibe señal (figura 5.6) o lo hace de forma débil aunque válida para una posible conexión dentro del vehículo. En cuanto al coche receptor, los valores de potencia recibida se encuentran entre -25 dBm y -35 dBm lo que puede ser considerado válido.

Se ha realizado más casuística que se puede consultar en Anexo A, apartado A2.

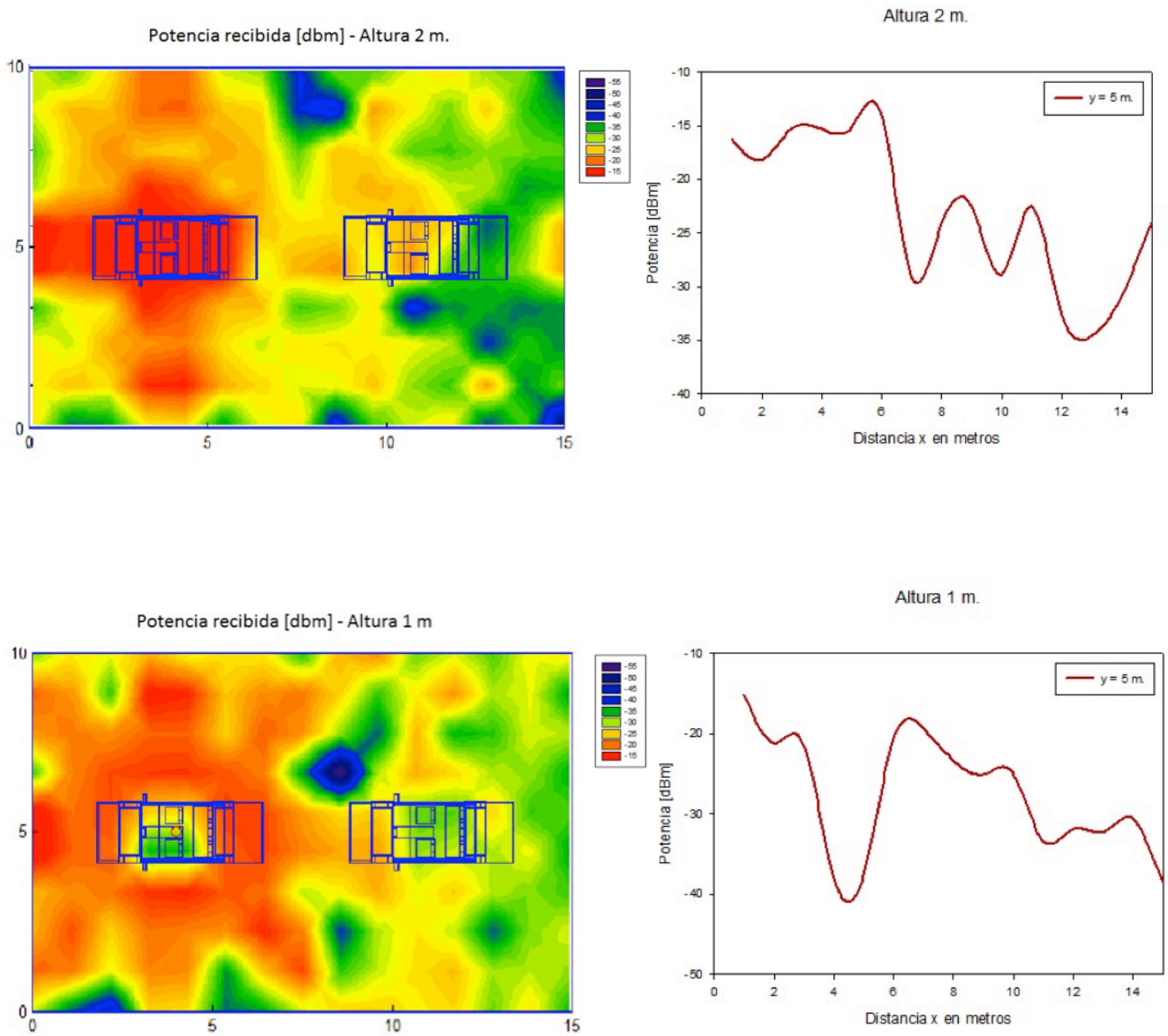


Figura 5.4 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia recibida para alturas de un metro y dos metros cuando ambos coches están situados en $y = 5$ m.

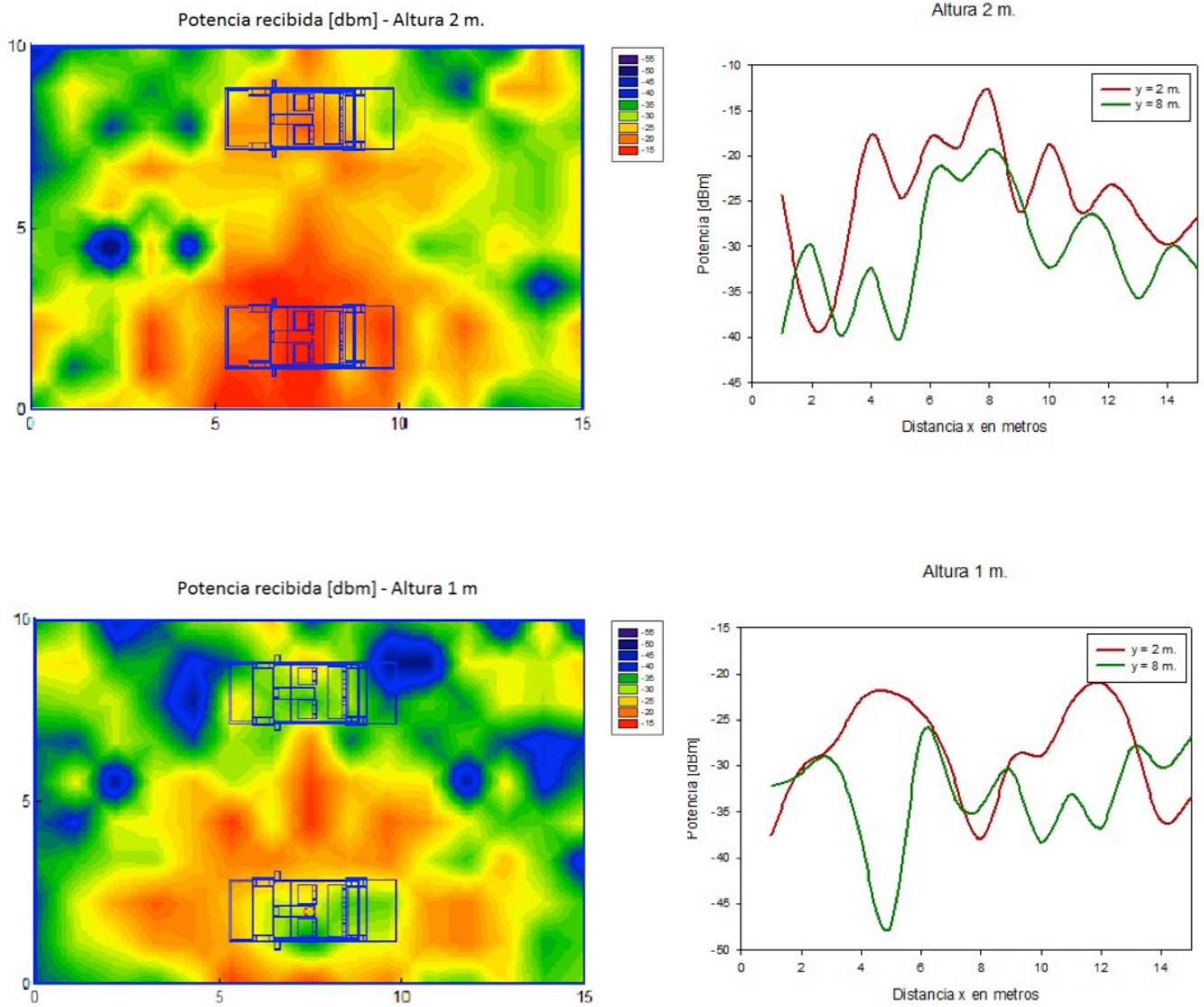


Figura 5.5 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia recibida para alturas de un metro y dos metros cuando el coche emisor se encuentra en $y = 2$ m.

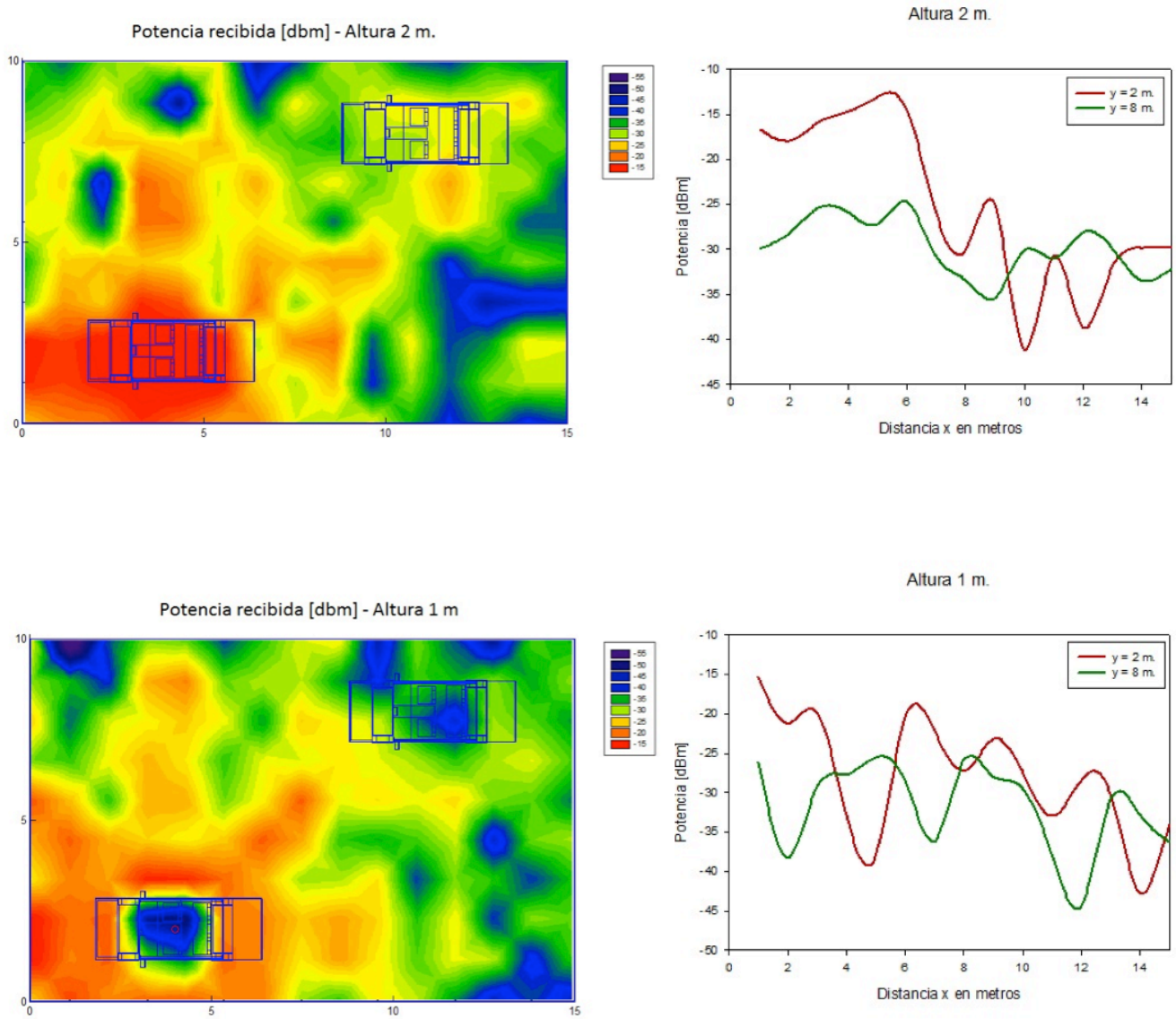


Figura 5.6 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia recibida para alturas de un metro y dos metros cuando el coche emisor se encuentra en $y = 2$ m.

5.1.3 Tres coches.

Tamaño escenario	40 m. x 10 m. x 3 m.	
Frecuencia	2,4 GHz	
Número de rebotes	6	
Resolución escenario	Cuboides de 1 m.	
Antena	Altura respecto al suelo	1,6 m. (altura del coche 1,4 m.)
	Potencia	10 dBm
	Directividad	Omnidireccional

Tabla 5.3 Parámetros de simulación para tres coches.

Al igual que en los casos anteriores, los coches se van moviendo por el escenario. Uno de ellos es el encargado de portar la antena.

Además de las gráficas de potencia recibida a un metro y dos metros, también se dibujan las radiales que atraviesan los coches dependiendo de la posición en la que se encuentren.

Análisis resultados.

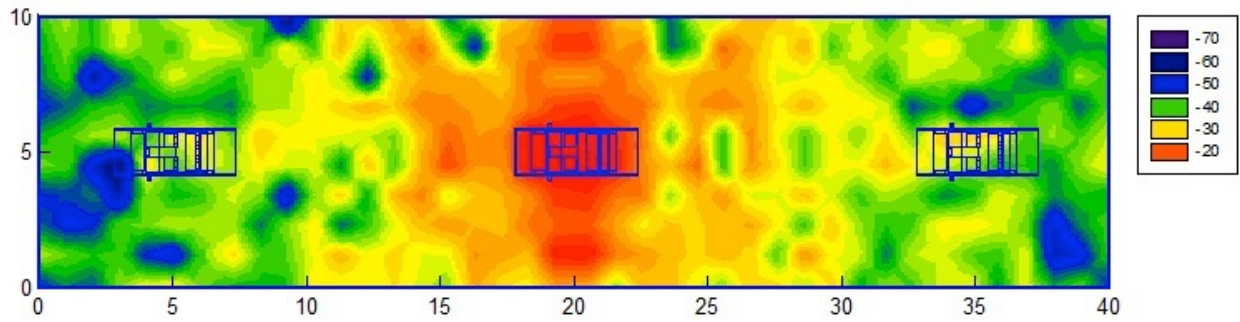
Tal y como muestra la Figura 5.7, cuando la distancia entre vehículos es de 15 metros, todavía se puede establecer una conexión tanto a la altura de un metro como de dos metros. Claro que en estos escenarios no se ha considerado insertar otros objetos por lo que se trata de escenarios poco realistas y más bien ideales.

Sin embargo, como se aprecia en la Figura 5.8, cuando el Tx está a más de 30 metros del posible receptor, los niveles de potencia recibida son bastante bajos por lo que ya podría perderse la señal. En los radiales se aprecia esta pérdida progresiva de señal tanto para la altura de dos metros como para la de un metro.

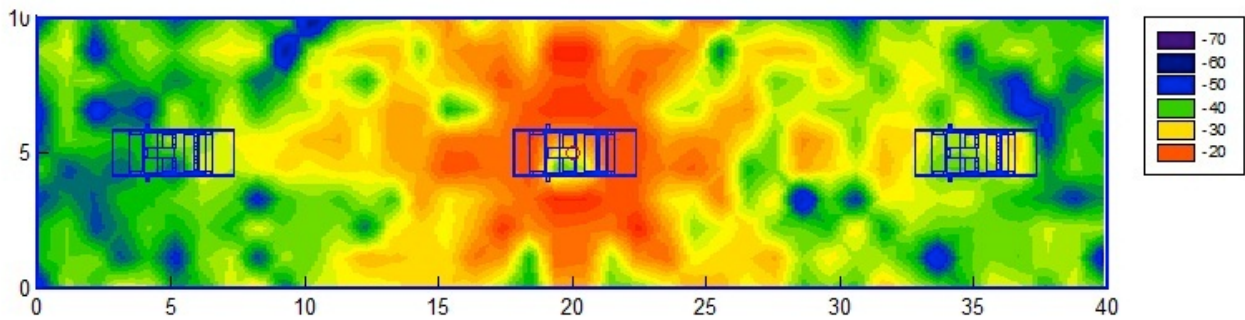
En la Figura 5.9, se plantea un escenario en el que situado el Tx en $y = 2$ m., interesa analizar la recepción del vehículo situado en $y = 8$ m., ya que tiene otro vehículo que a la altura de un metro, puede darle problemas. Los niveles de potencia no son inadecuados pero sí que se puede apreciar la influencia del coche situado entre ellos aunque sea mínima.

Se ha realizado más casuística que se puede consultar en Anexo A, apartado A3.

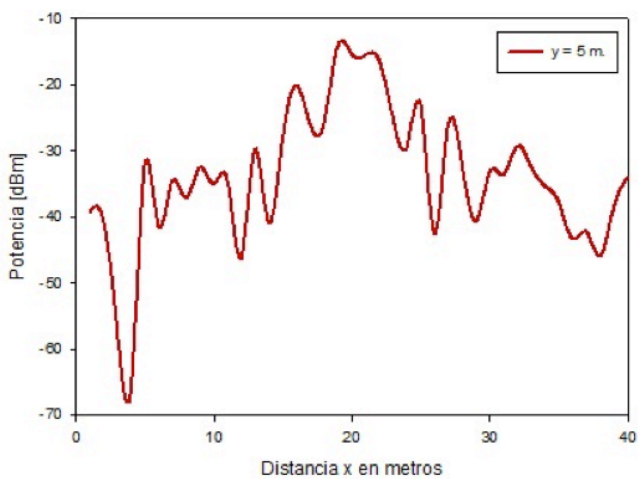
Potencia recibida [dbm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dbm] - Altura 1 m.



Altura 2 m.



Altura 1 m.

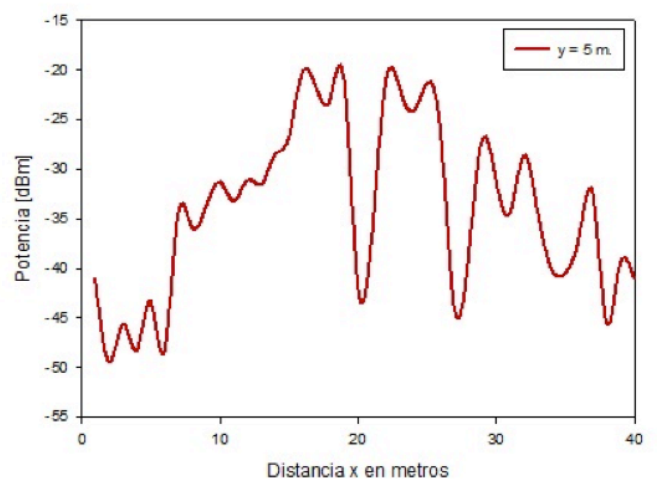
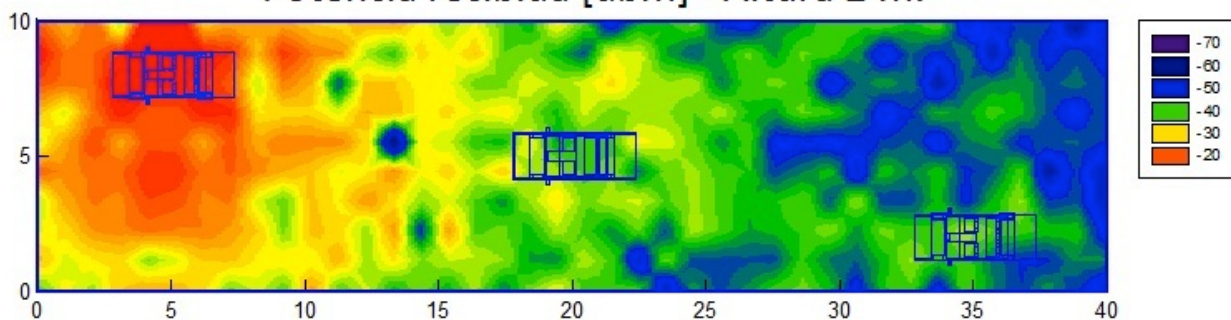
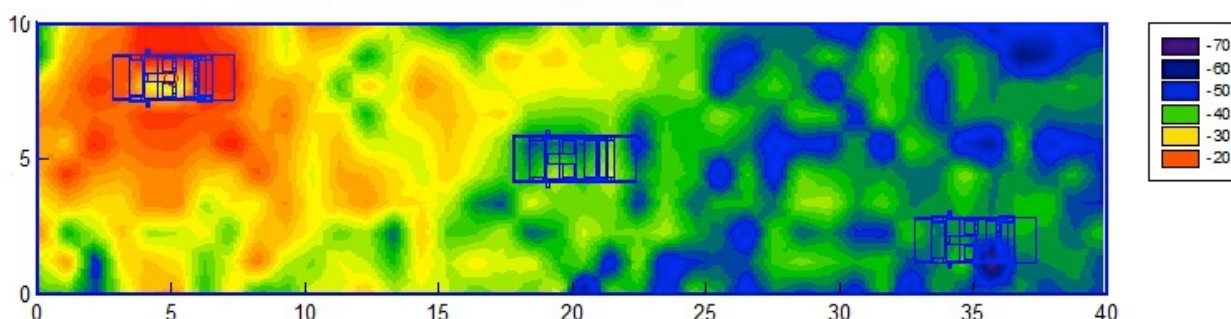


Figura 5.7 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia recibida para alturas de un metro y dos metros cuando el coche emisor y dos más se encuentran en $y = 5$ m.

Potencia recibida [dbm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dbm] - Altura 1 m.



Altura 2 m.

Altura 1 m.

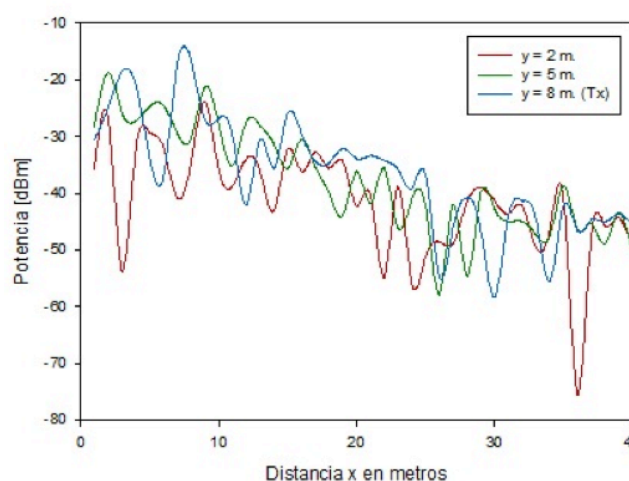
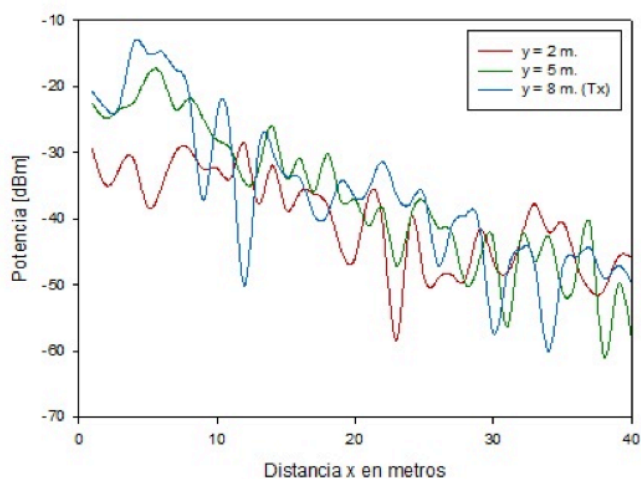
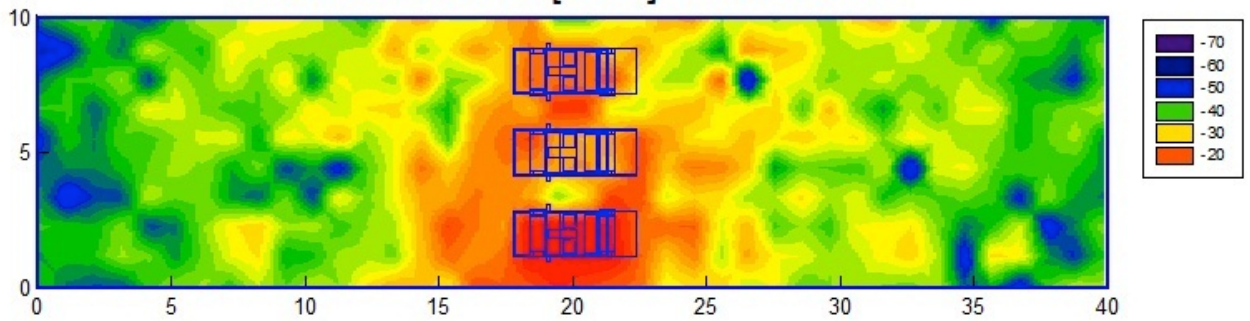
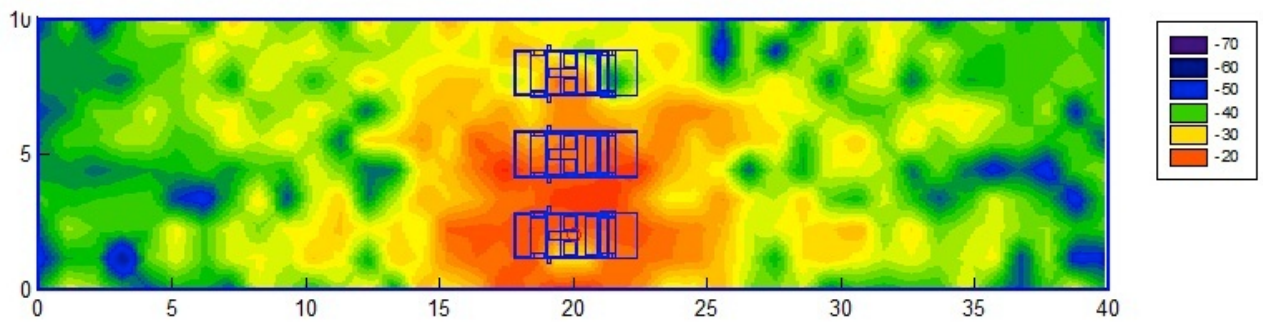


Figura 5.8 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia recibida para alturas de un metro y dos metros cuando el coche emisor se encuentra en $y = 8$ m.

Potencia recibida [dbm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dbm] - Altura 1 m.



Altura 2 m.

Altura 1 m.

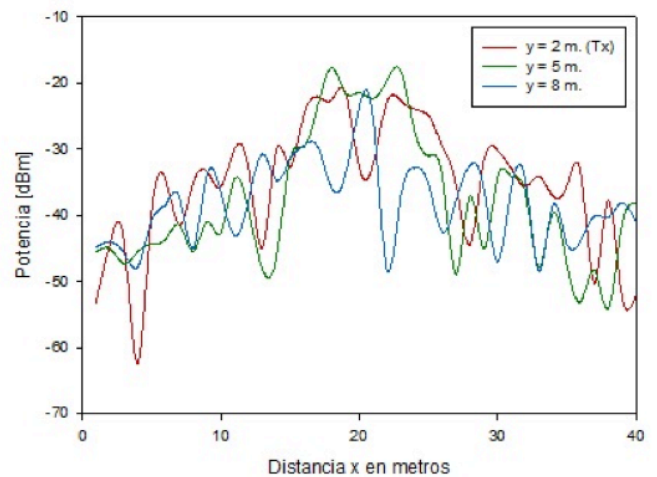
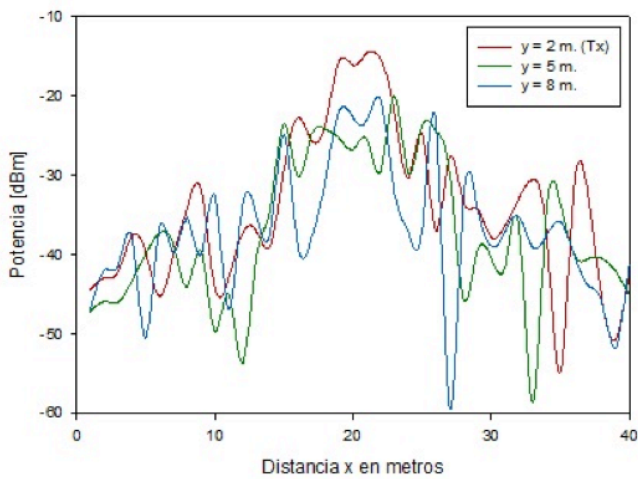


Figura 5.9 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia recibida para alturas de un metro y dos metros cuando el coche emisor se encuentra en $y = 2$ m.

5.1.4 Introducción de un edificio sencillo.

Tamaño escenario	9 m. x 25 m. x 7 m.	
Frecuencia	2,4 GHz	
Número de rebotes	6	
Resolución escenario	Cuboides de 1 m.	
Plantas edificio	Una	
Antena	Altura respecto al suelo	1,6 m. (altura del coche 1,4 m.)
	Potencia	10 dBm
	Directividad	Omnidireccional

Tabla 5.4 Parámetros de simulación para un coche con introducción de un edificio.

Se introduce un edificio de una planta a la simulación para comprobar el efecto de absorción, refracción y difracción del edificio. Para ello, se compara con el mismo escenario pero en ausencia de éste. (apartado 5.4.1.1)

Las alturas a representar (2,3 y 4 m.) son escogidas teniendo en cuenta la posición de la antena y la resolución del escenario.

Análisis resultados.

Como es esperado, el edificio ejerce una cierta absorción de la señal apreciable en la Figura 5.10.

Tal y como muestra la comparativa de la Figura 5.11 y de la Figura 5.12, a la altura de dos y tres metros, cuando $y = 3$ m. e $y = 5$ m. la influencia del edificio no es tan significativa como cuando se analizan las radiales de que atraviesan el edificio donde sí que se aprecia el efecto.

Por otro lado, el cambio de posición del coche en perpendicular con el edificio (apartado 5.14.2) comparado con el caso en paralelo con el edificio, muestra unas radiales muy parecidas a todas las alturas analizadas. Por lo tanto, puede concluirse que la posición del coche no es determinante para la recepción de la señal dentro o fuera del edificio.

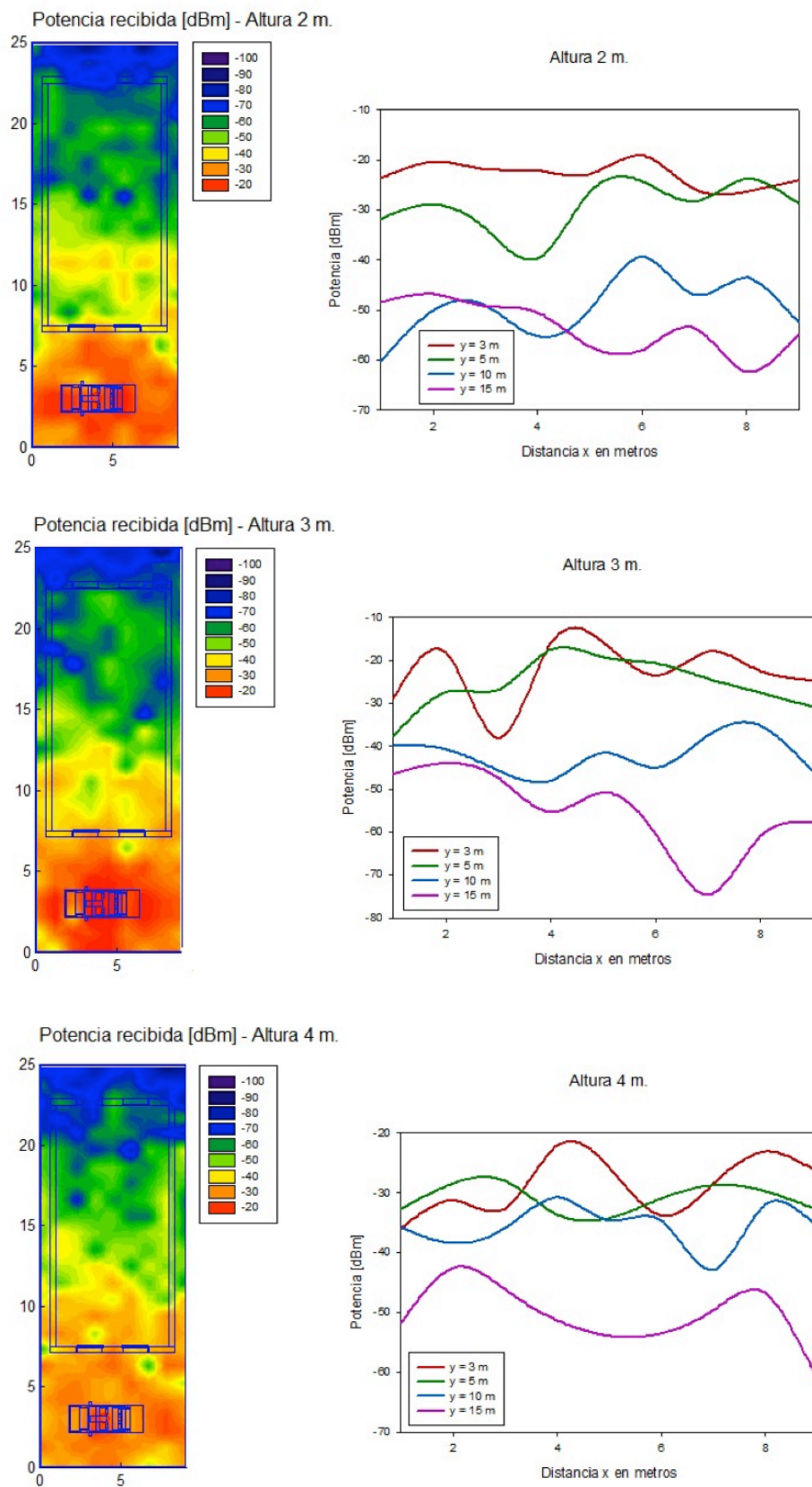


Figura 5.10 Gráficas de potencia recibida y radiales para alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. para un coche situado en y = 3 m. con un edificio de una planta.

5.1.8.1. Comparación con mismo escenario sin edificio.

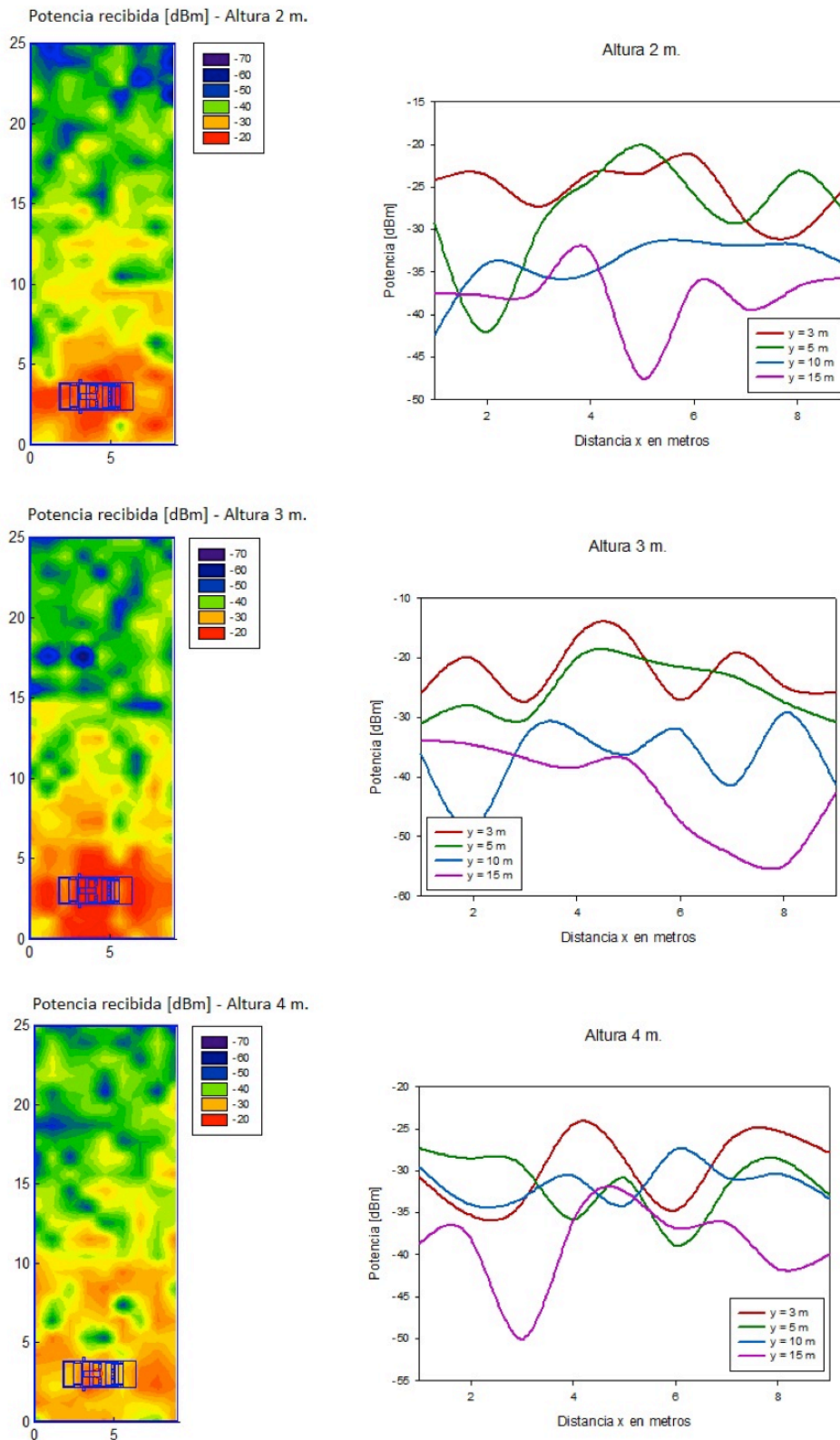
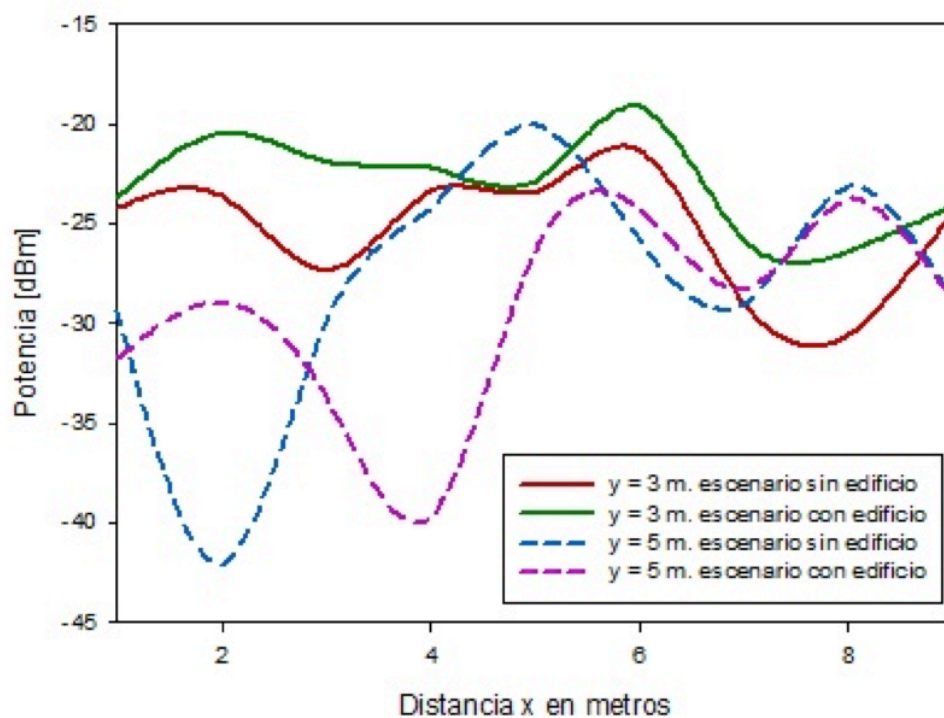


Figura 5.11 Gráficas de potencia recibida y radiales para alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. para un coche situado en $y = 3$ m.

Altura 2 m.



Altura 2 m.

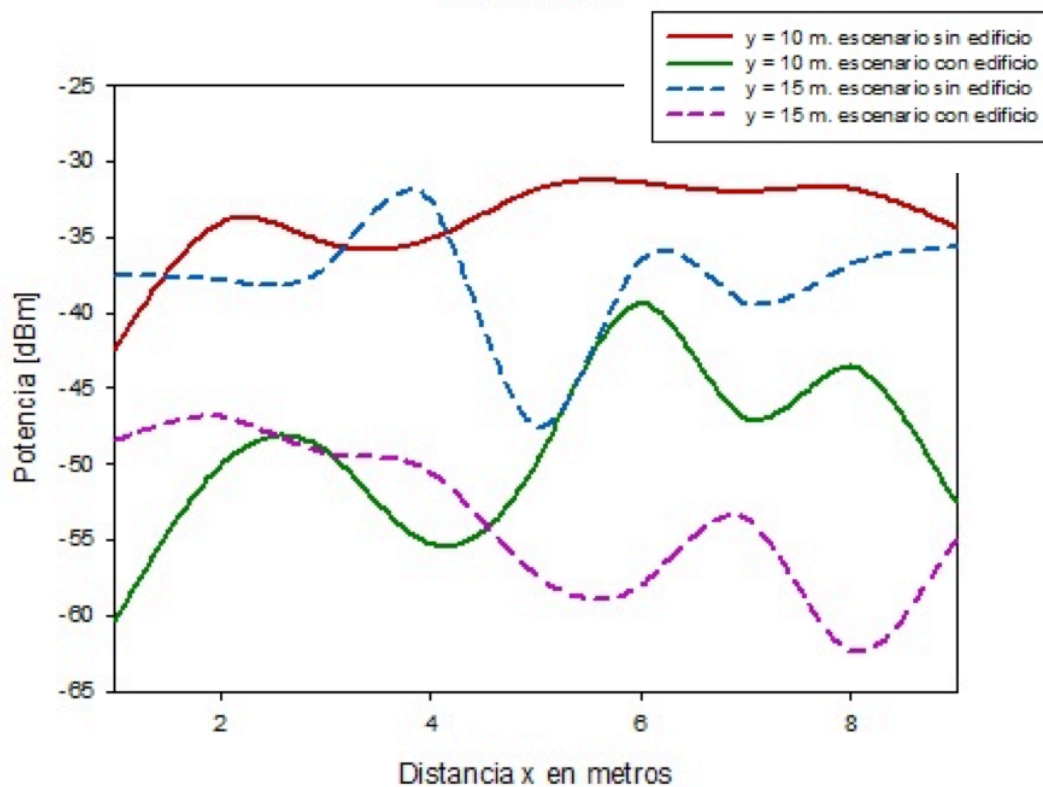


Figura 5.11 Radiales de potencia comparativas con y sin edificio a la altura de 2 metros.

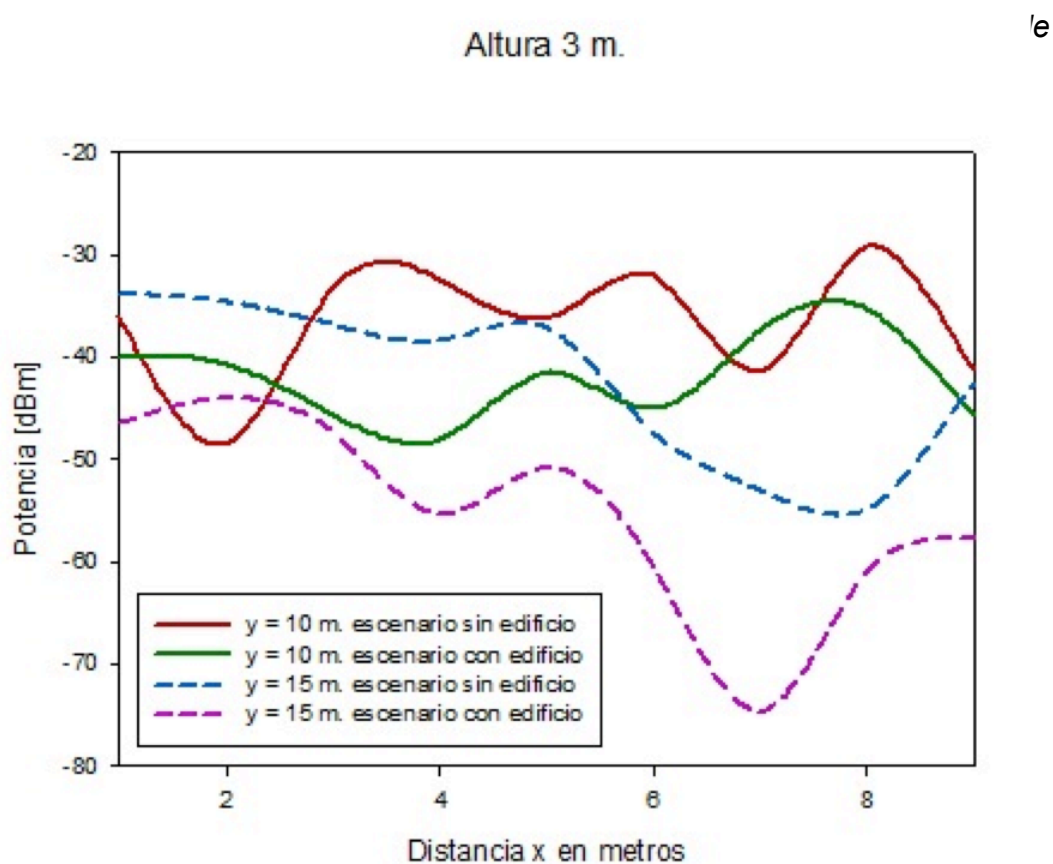
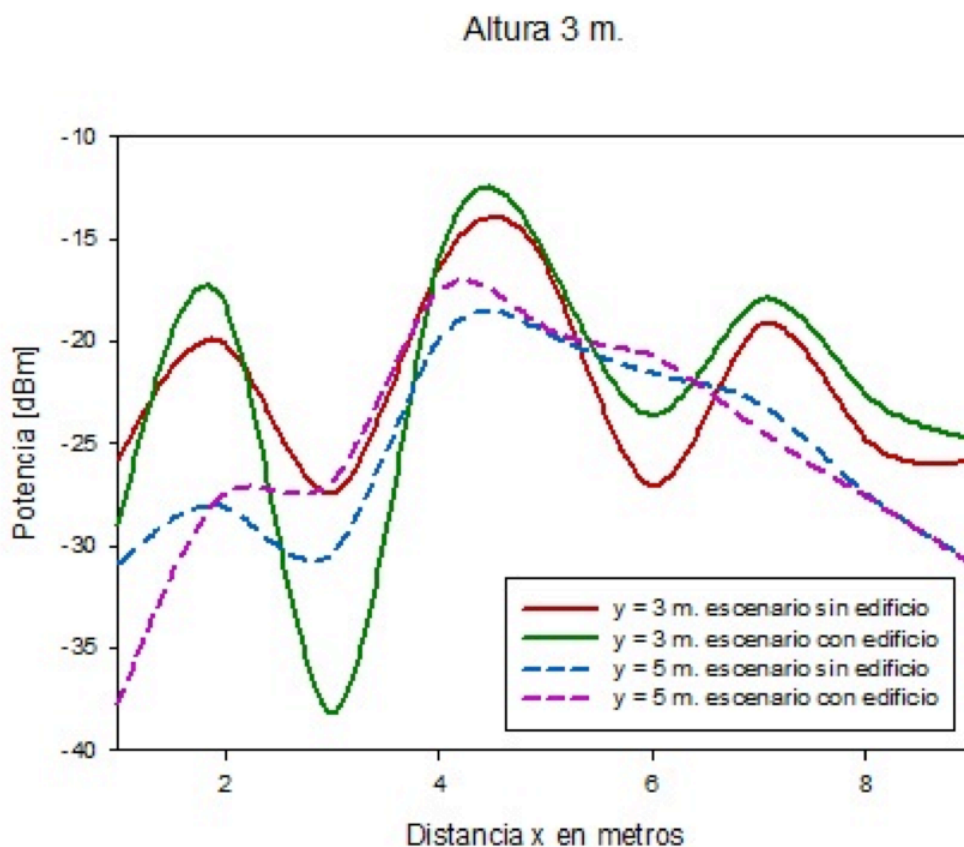


Figura 5.12 Radiales de potencia comparativas con y sin edificio a la altura de 3 metros.

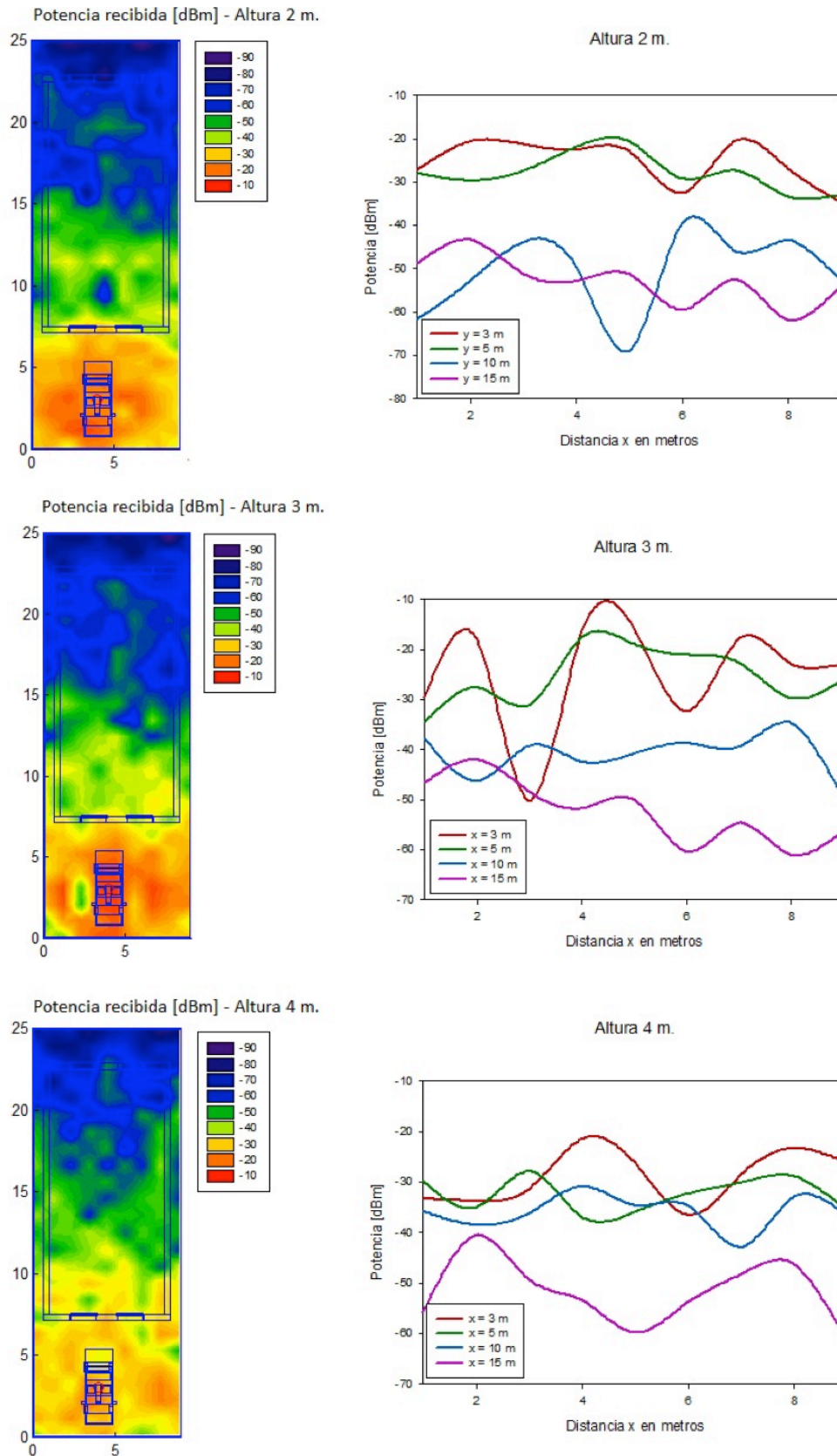


Figura 5.13 Gráficas de potencia recibida y radiales para alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. para un coche situado en x = 4 m. con un edificio de una planta.

5.1.5 Escenario con múltiples edificios.

Tamaño escenario	37 m. x 40 m. x 7 m.	
Frecuencia	2,4 GHz	
Número de rebotes	6	
Resolución escenario	Cuboides de 1 m.	
Plantas edificios	Una	
Antena	Altura respecto al suelo	1,6 m. (altura del coche 1,4 m.)
	Potencia	10 dBm
	Directividad	Omnidireccional

Tabla 5.5 Parámetros de simulación para escenario con múltiples edificios.

Se presenta una calle estrecha (ocho metros de largo) con un coche situado en el punto central del escenario.

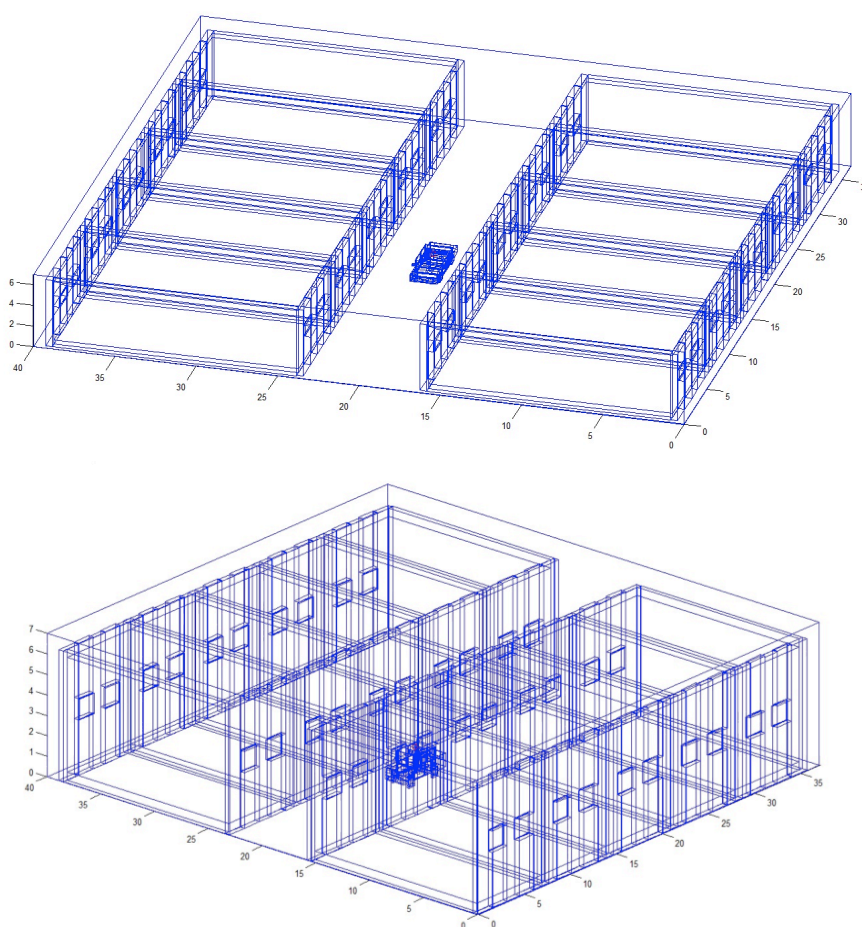


Figura 5.14 Vistas en 3D del escenario.

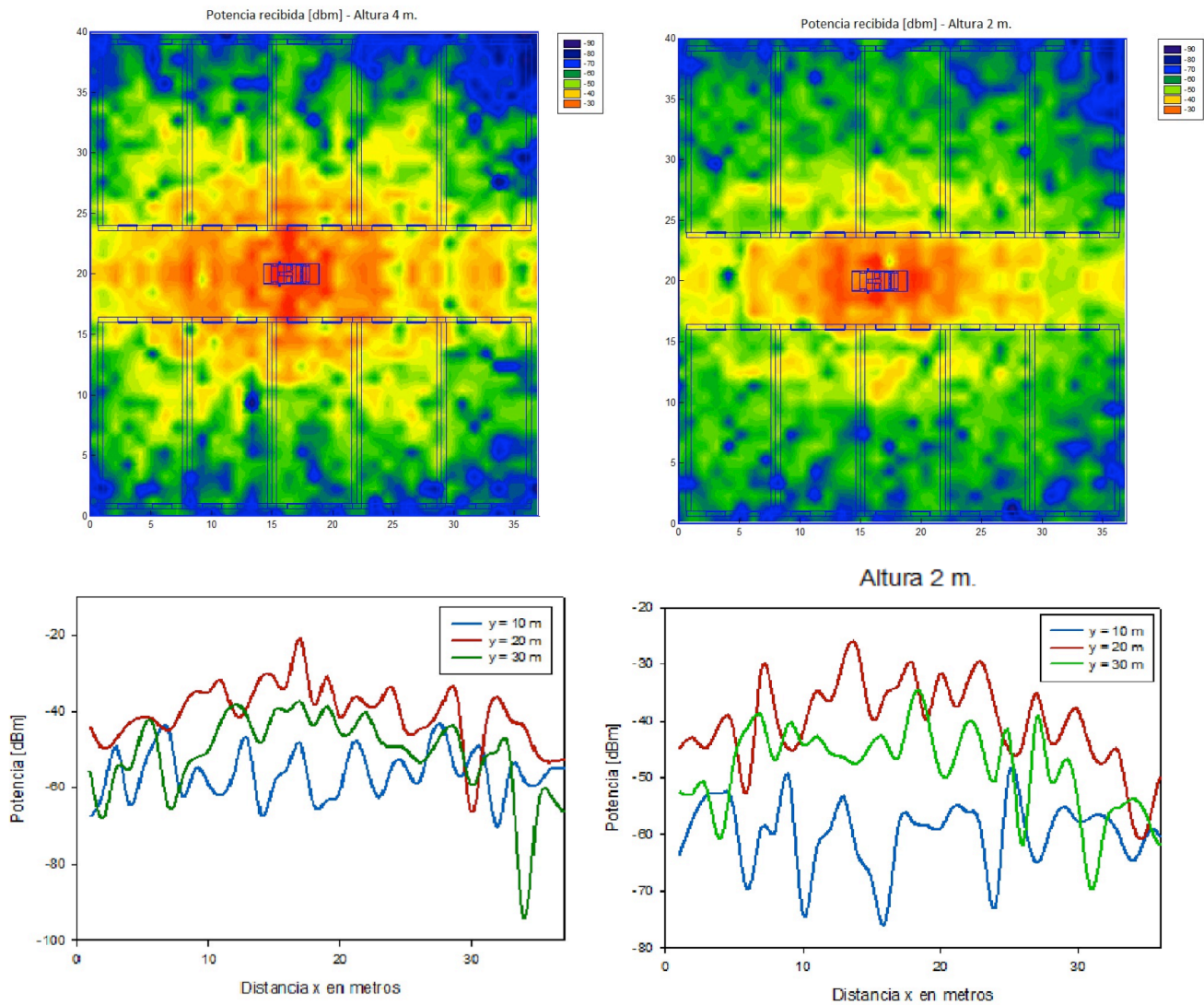


Figura 5.15 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para las alturas de 4 m. y 2 m.

Análisis resultados.

La Figura 5.15 aclara que a la altura de dos metros, la influencia de las paredes del edificio es más alta que a la de cuatro metros donde la señal es capaz de penetrar de manera bastante sólida especialmente en los laterales.

Aunque el escenario es simétrico, los radiales de $y = 10$ m. e $y = 30$ m. a ambas alturas no presentan los mismo niveles de potencia si bien entre alturas sí que son semejantes.

5.1.6 Escenario con dos edificios.

Tamaño escenario	16 m. x 30 m. x 7 m.	
Frecuencia	2,4 GHz	
Número de rebotes	6	
Resolución escenario	Cuboides de 1 m.	
Plantas edificios	Una	
Antena	Altura respecto al suelo	1,6 m. (altura del coche 1,4 m.)
	Potencia	10 dBm
	Directividad	Omnidireccional

Tabla 5.6 Parámetros de simulación para escenario con coche y dos edificios.

En este caso, se simula un coche entre dos edificios de una sola planta.

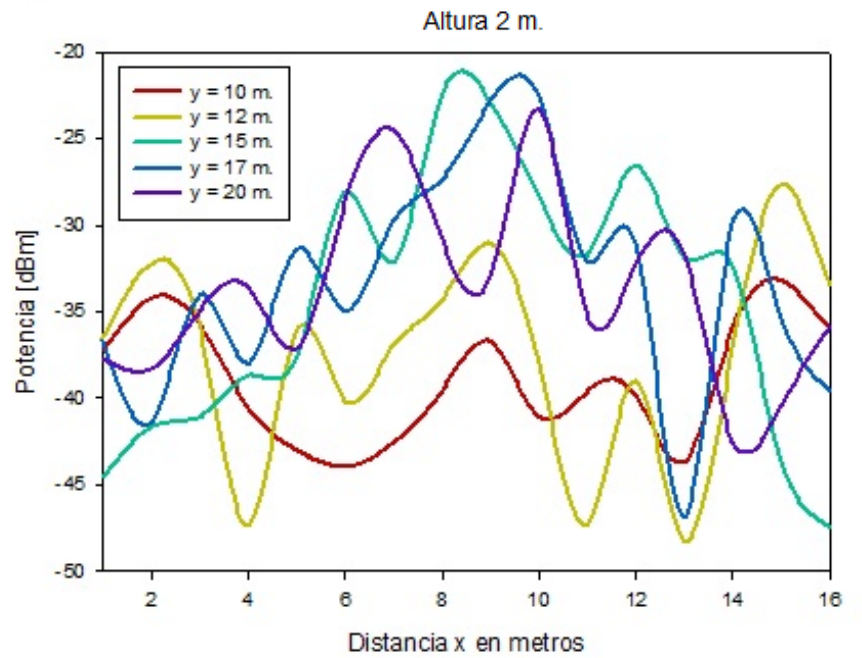
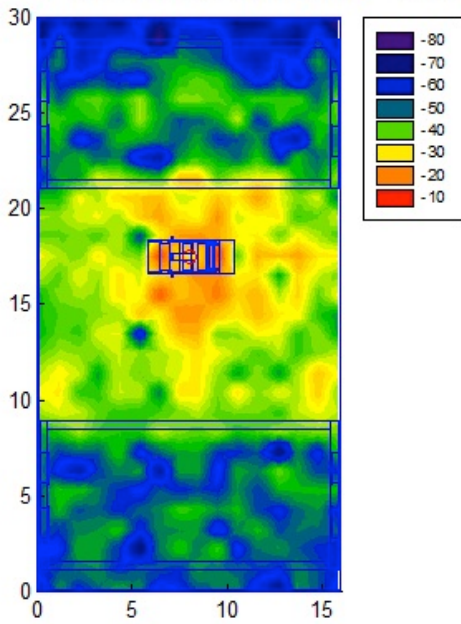
Análisis resultados.

En este escenario, el coche está situada en $y = 17$ m. y la calle tiene una anchura de 12 m.

Se observa que en las esquinas del edificio y partes más alejadas del coche, el nivel de potencia recibida es de uno -70 dBm. Esto es debido en parte a que las paredes del edificio son de hormigón.

De todas formas, los niveles son bastante aceptables tanto dentro del edificio como fuera.

Potencia recibida [dbm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dbm] - Altura 3 m.

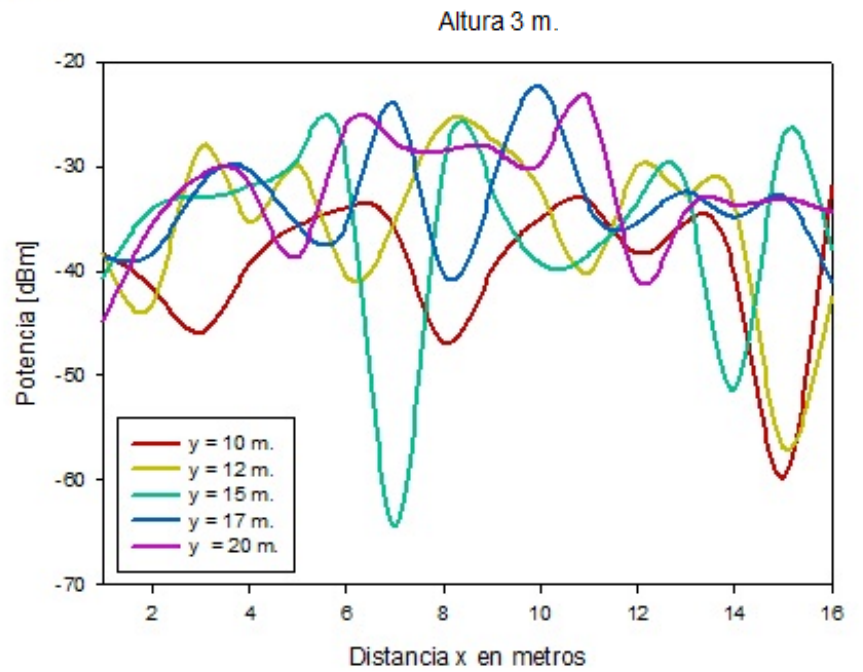
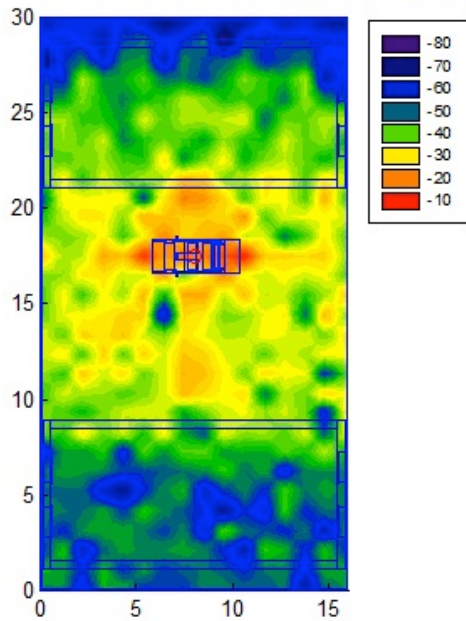


Figura 5.16 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para las alturas de 2 m. y 3 m.

5.1.7 Cruce con un coche.

Tamaño escenario	41 m. x 30 m. x 7 m.	
Frecuencia	2,4 GHz	
Número de rebotes	6	
Resolución escenario	Cuboides de 1 m.	
Plantas edificios	Una	
Antena	Altura respecto al suelo	1,6 m. (altura del coche 1,4 m.)
	Potencia	0 dBm
	Directividad	Omnidireccional

Tabla 5.7 Parámetros de simulación para cruce con un solo coche.

Se introduce un cruce sencillo con cuatro edificios a fin de comprobar cómo afecta la geometría del edificio (esquinas sobre todo) a la comunicación inalámbrica.

En un primer caso, el coche está situado en el punto $x = 34$ m. e $y = 17$ m. y se representan gráficas de potencia recibida y radiales a las alturas de uno, dos y tres metros (figura 5.17) La anchura total de la calle es de 10 metros.

En el segundo caso considerado, el coche está situado en $x = 19$ m. e $y = 25$ m. y la calle es también de 10 metros.

Análisis resultados.

En el primer caso, se observa claramente cómo en las esquinas de los edificios más alejados de la antena emisora, la potencia recibida es prácticamente nula ya que es complicado que la señal atraviese los materiales de la estructura. Dicho fenómeno se aprecia en las radiales de potencia que toman una forma creciente desde cero hasta $x = 34$ m. (donde se sitúa el vehículo)

En el segundo caso, al encontrarse el coche en diferente posición, es en las esquinas de los cuatro edificios donde el nivel de señal es muy bajo.

En ambos casos, se observa que a la altura de dos y tres metros, la potencia recibida cercana al coche está bastante concentrada en el entorno del vehículo mientras que a la altura de cuatro metros, los valores de potencia recibida son más bajos y se encuentran más dispersos.

Se ha realizado más casuística que se puede consultar en Anexo A, apartado A4.

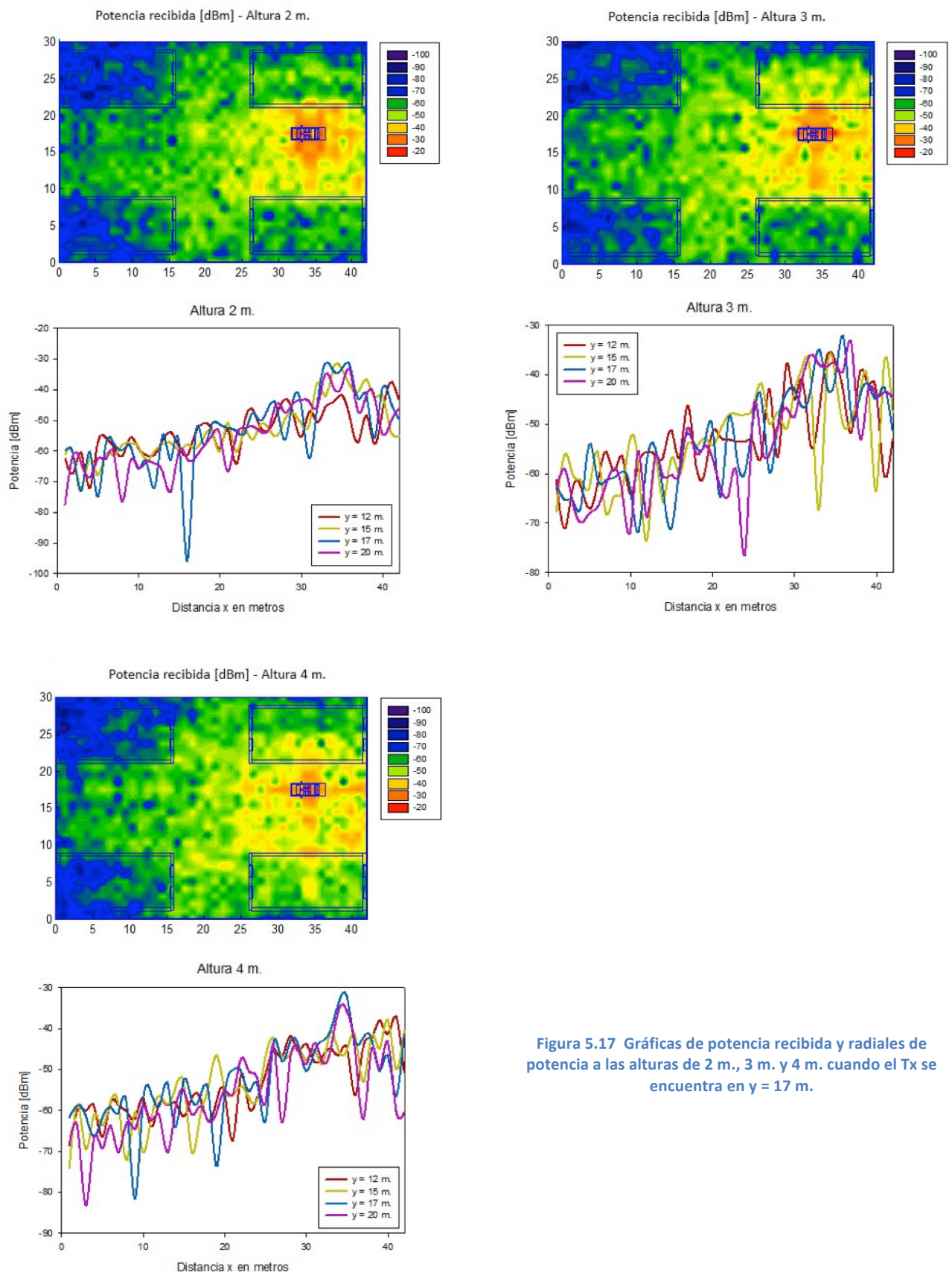


Figura 5.17 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia a las alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. cuando el Tx se encuentra en y = 17 m.

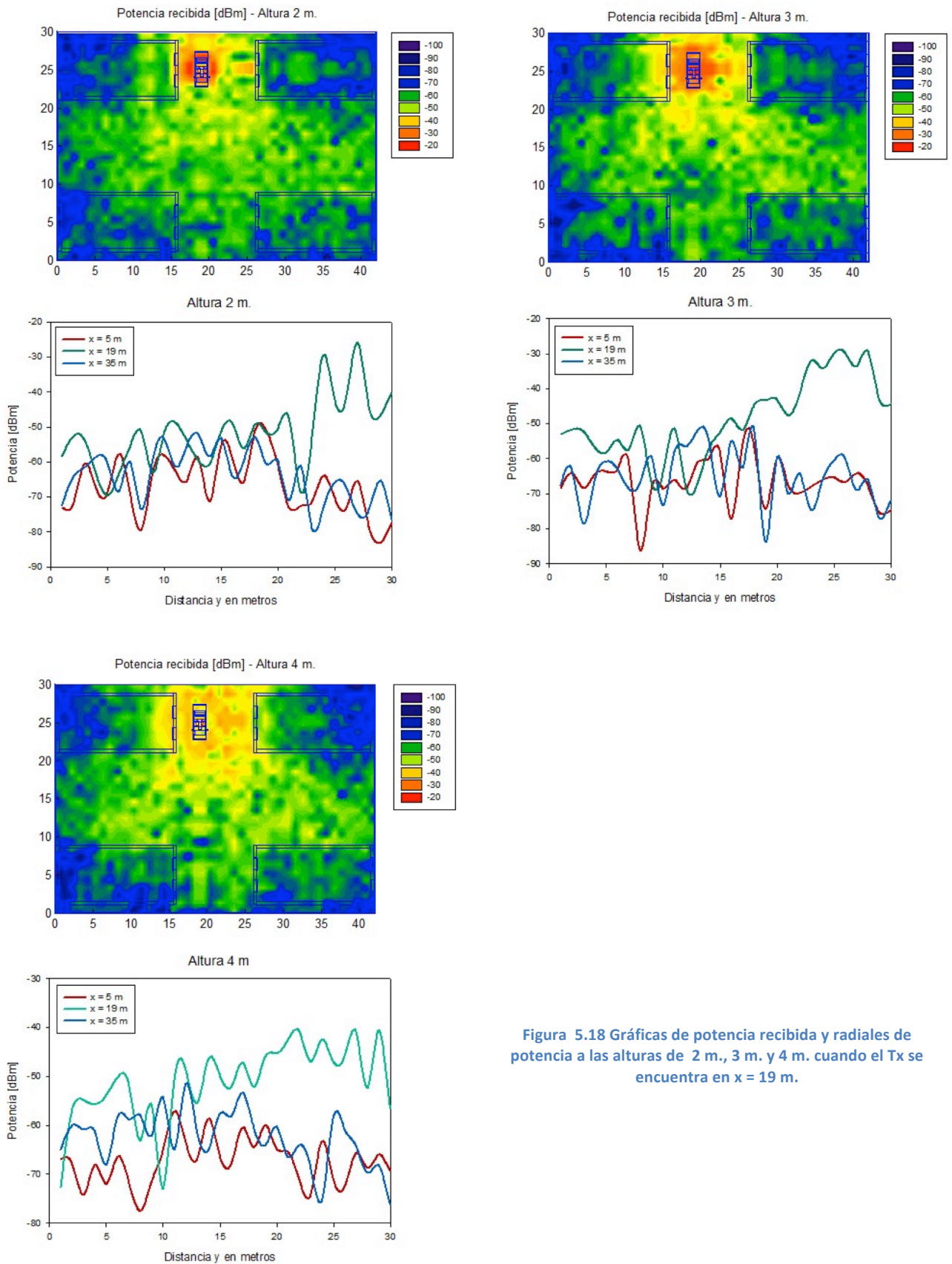


Figura 5.18 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia a las alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. cuando el Tx se encuentra en x = 19 m.

5.1.8 Cruce con dos coches.

Tamaño escenario	41 m. x 30 m. x 7 m.	
Frecuencia	2,4 GHz	
Número de rebotes	6	
Resolución escenario	Cuboides de 1 m.	
Plantas edificios	Una	
Antena	Altura respecto al suelo	1,6 m. (altura del coche 1,4 m.)
	Potencia	0 dBm
	Directividad	Omnidireccional

Tabla 5.8 Parámetros de simulación para cruce con dos coches.

Se amplía la casuística del cruce añadiendo un nuevo vehículo.

El escenario simulado es el del coche Tx sin moverse (situación que se da cuando un semáforo está en rojo) y el Rx está en marcha aproximándose frontalmente desde una distancia de 20 metros (figura 5.19) hasta encontrarse uno al lado del otro a escasos cuatro metros (figura 5.21)

Análisis resultados.

Como es de esperar, a mayor distancia entre Tx y Rx, peor conectividad debido a los fenómenos de dispersión, refracción y difracción.

Finalmente, cuando los dos vehículos están próximos se podría dar una conexión directa bastante buena ya que el nivel de señal recibida entre emisor y receptor apenas varía 5 dBm.

Se ha realizado más casuística que se puede consultar en Anexo A, apartado A5.

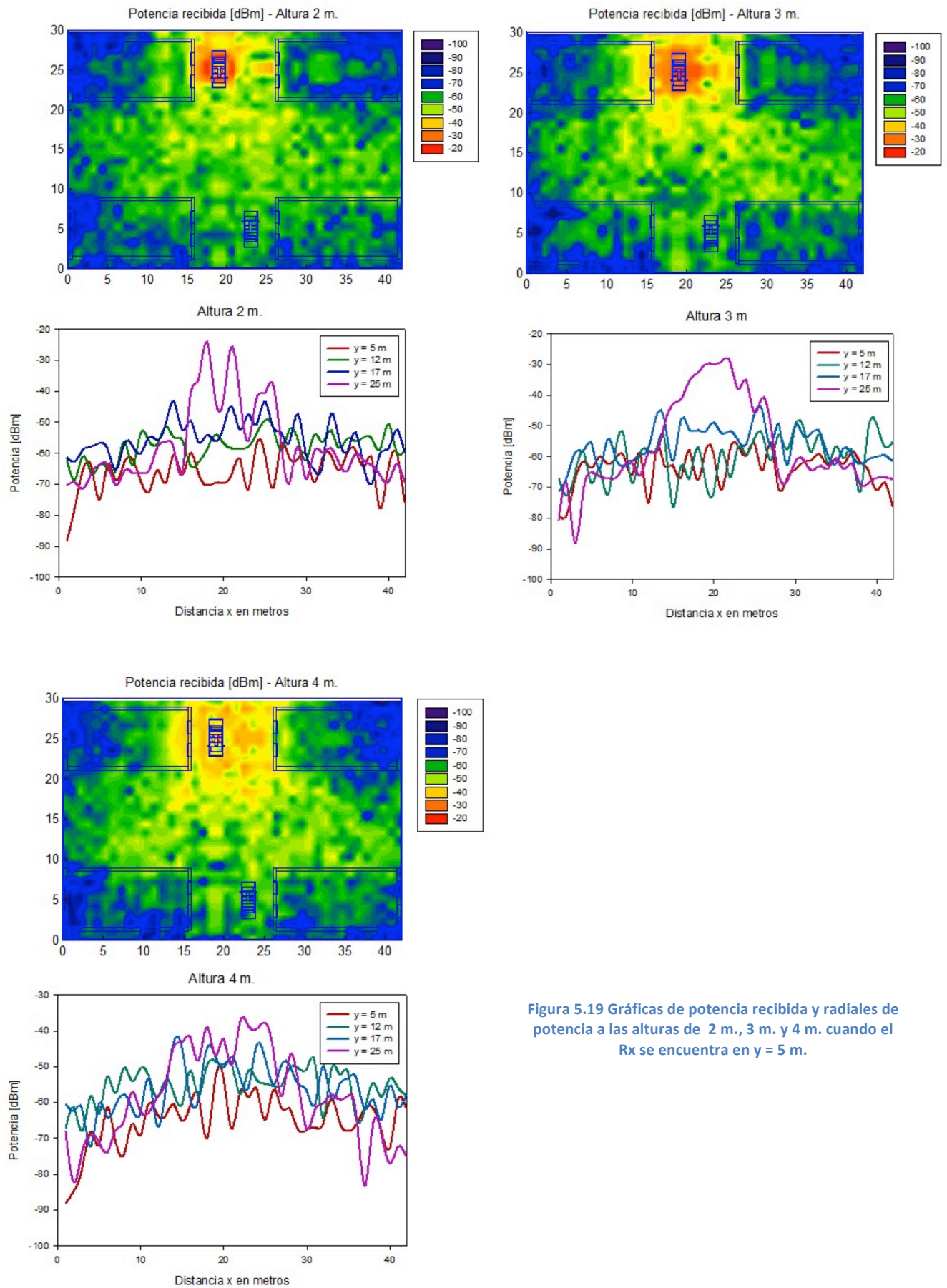
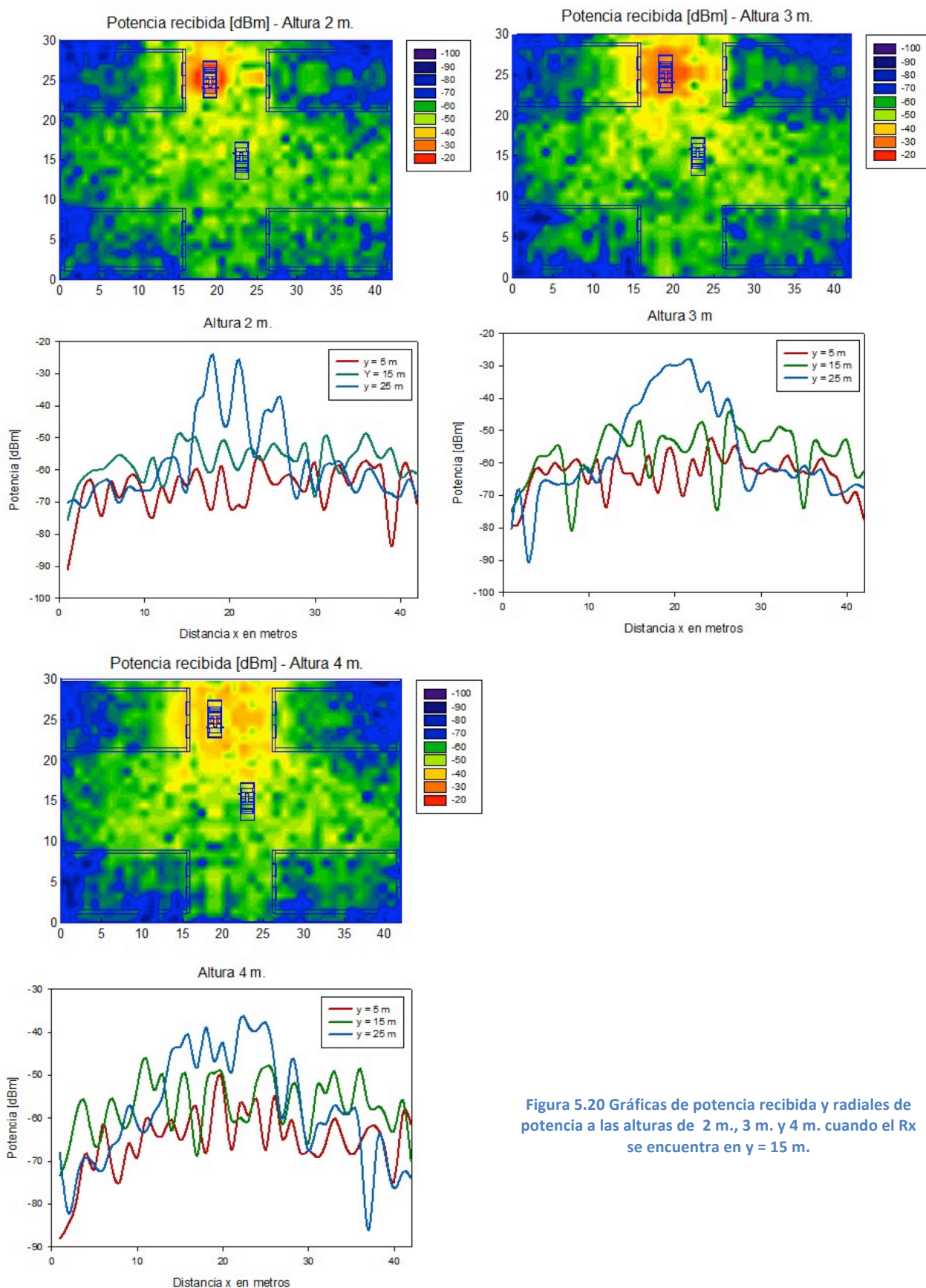


Figura 5.19 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia a las alturas de 2 m, 3 m. y 4 m. cuando el Rx se encuentra en y = 5 m.



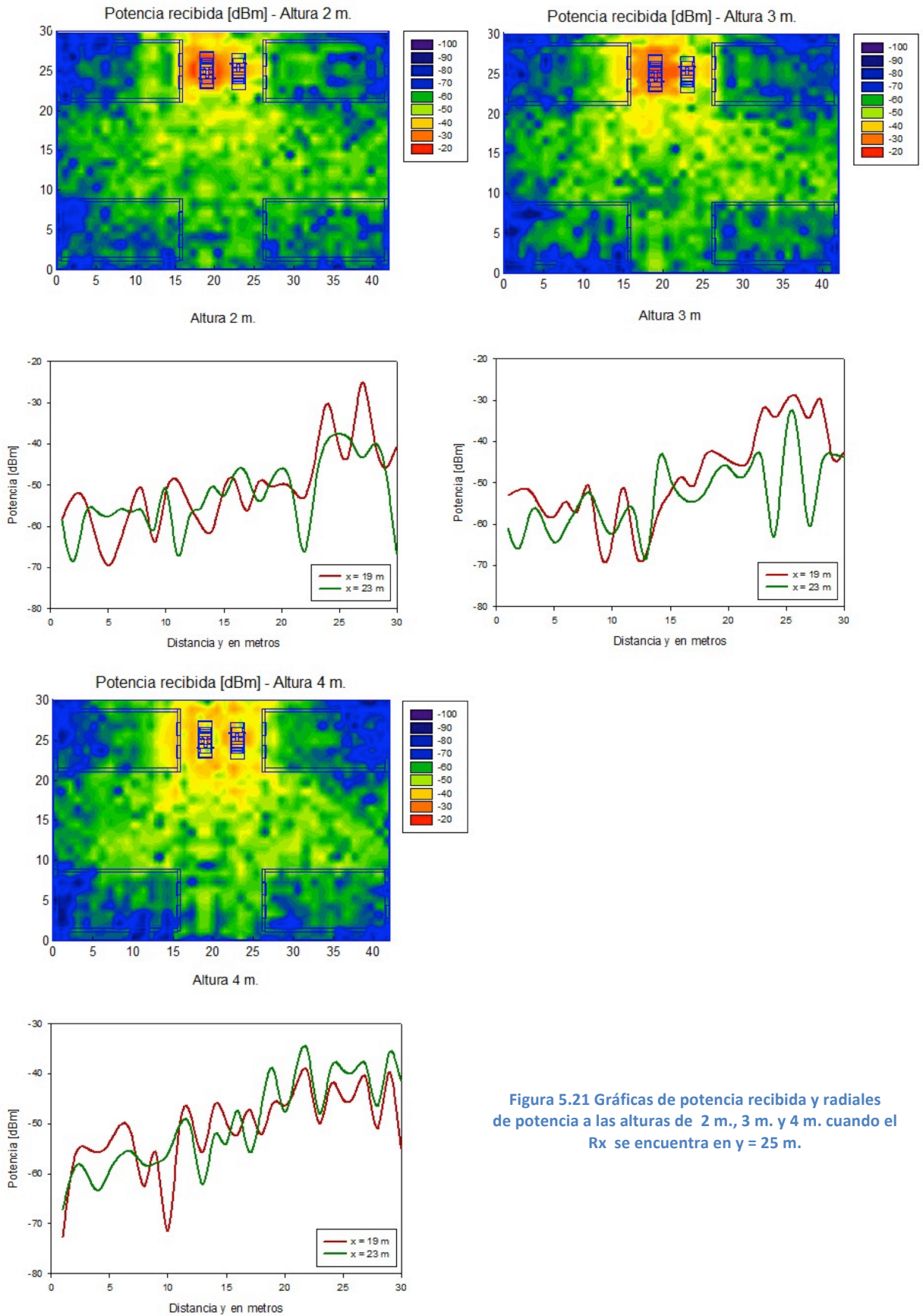


Figura 5.21 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia a las alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. cuando el Rx se encuentra en $y = 25$ m.

5.1.9. Medidas reales en un cruce.

5.1.9.1. Descripción escenario.

Se escoge como escenario un cruce situado en Barañain (Navarra). Dicho cruce presenta unas particularidades. En la Figura 5.22 se aprecia el número de carriles por sentido y la situación de contenedores, farolas y plazas de parking así como la presencia de una mediana formada por un seto.



Figura 5.22 Imagen aérea del cruce situado en la ciudad de Barañain (Navarra)

La visión desde una de la esquinas del cruce y a pie de calle puede verse en la siguiente Figura:



Figura 5.23 Visión a pie de calle del cruce desde una de la esquinas.

Los edificios de las cuatro esquinas, no superan las cinco alturas.

5.1.9.2. Análisis resultados.

5.1.9.2.1. Medidas con sensores ZigBee.

En estas medidas, se colocaron sensores de ZigBee (Figura 5.24) en el techo de los coches aparcados en ambas calles y se midió la potencia recibida tanto con el analizador de espectros (ver Anexo C) como con los propios sensores.



Figura 5.24 Sensor ZigBee situado en uno de los coches.

La frecuencia de emisión es de 2,44 GHz y la potencia de la antena es de 0 dBm.

La Tx. se varió de posición en función de dónde se colocó la Rx. Así, la Tx. fue tomando la posición de la Rx de la medida anterior.

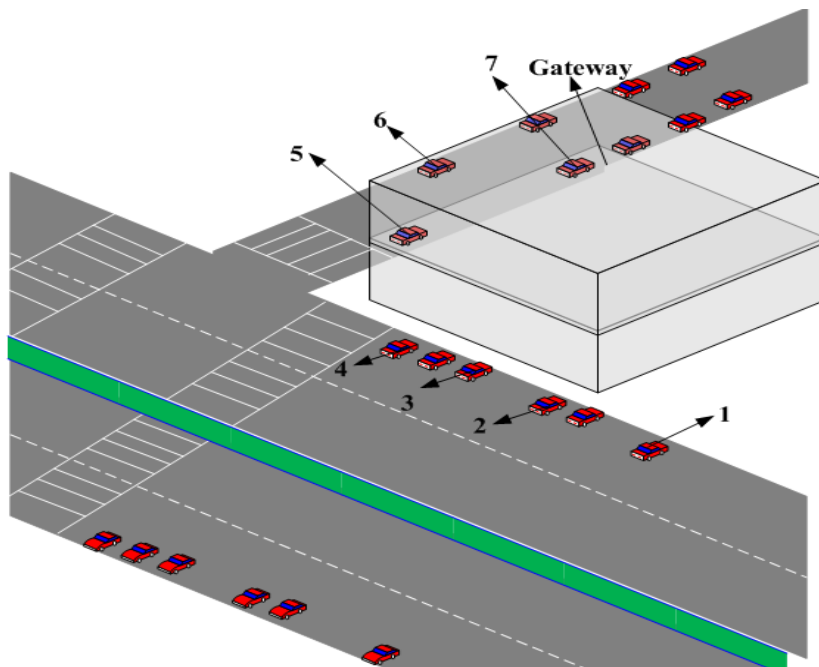


Figura 5.25 Posiciones de medida en el escenario de cruce.

Los valores de RSSI obtenidos son los siguientes:

TX1	RX2 (dBm)	
Analizador	-41,63	ERROR (dBm)
RSSI	-51,556	9,926

TX2	RX3 (dBm)	
Analizador	-63,71	ERROR (dBm)
RSSI	-43,486	-20,224

TX3	RX4 (dBm)	
Analizador	-63,76	ERROR (dBm)
RSSI	-49,829	-13,931

TX4	RX5 (dBm)	
Analizador	-87,1	ERROR (dBm)
RSSI	-68,865	-18,235

TX5	RX6 (dBm)	
Analizador	-74,27	ERROR (dBm)
RSSI	-51,439	-22,831

TX6	RX7 (dBm)	
Analizador	-84,24	ERROR (dBm)
RSSI	-53,169	-31,071

Tabla 5.9 Valores obtenidos variando la Tx. y Rx. en e escenario.

Tal y como se observa en la tabla 5.9, los valores del analizador y del otro dispositivo, son entre ellos y en cada uno de los casos, bastante dispares. Llegan a alcanzar hasta los 31 dBm de diferencia.

El caso más interesante es el de TX4 y RX5 ya que el efecto de la esquina del edificio puede ser crucial. En este caso los valores entre analizador y sensores son también dispares. Mientras que el analizador está al borde del umbral de sensibilidad, los sensores dan un valor de 18,235 dBm por encima. Quizá la causa sea las interferencia con otros dispositivos emitiendo a la misma frecuencia (tales como WiFi)

Aun y todo, los valores son aceptables, sobre todo en el caso del valor aportado por los sensores.

5.1.9.2.2. Medidas de RF.

En la segunda parte de las medidas, se ha utilizado una antena magnética de 10 dBm emitiendo a la frecuencia de 2,40 GHz mediante un generador de señal. (ver Anexo C)



Figura 5.26 Generador de señal utilizado para medidas de RF.



La antena emisora se ha variado en cuatro posiciones diferentes de la misma calle y la antena receptora se sitúa tanto en las plazas de coches (Caso 1) como en la mediana de la calle principal (Caso 2)

Figura 5.27 Antena emisora situada en uno de los coches.

CASO 1.

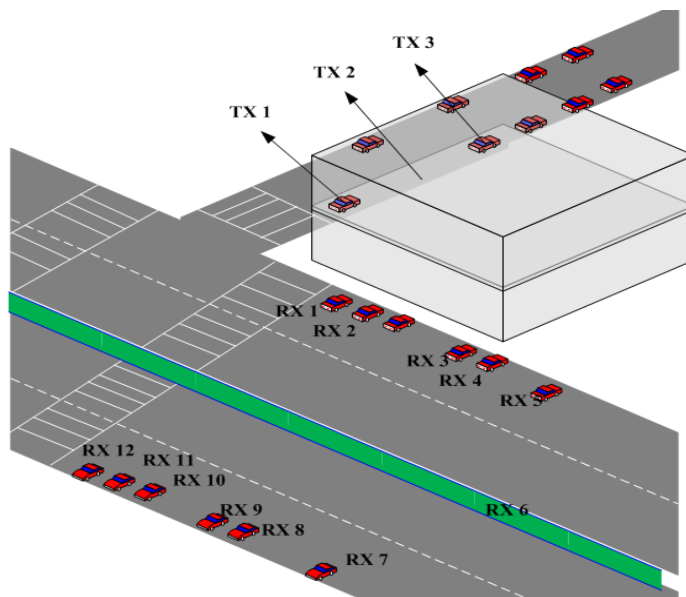


Figura 5.28 Posiciones de medida en el escenario de cruce para Caso 1.



Figura 5.29 Calle donde se sitúan los receptores.



Figura 5.30 Calle donde se sitúan los emisores.

Tal y como se observa en la Figura 5.28, las antenas emisoras se colocan en la misma calle (Figura 5.29) y las receptoras en la calle principal (Figura 5.30)

El objetivo es conocer como afecta la esquina del edificio y la distancia al nivel de potencia recibida.

POS TX1	RSSI (dBm)
RX1	-75,12
RX2	-81
RX3	-82,62
RX4	-84,41
RX5	-89,39
RX6	-92,57
RX7	-77,06
RX8	-77,24
RX9	-79,64
RX10	-74,41
RX11	-70,33
RX12	-74,98

POS TX2	RSSI (dBm)
RX1	-90,64
RX2	-92,13
RX3	-88,19
RX4	-92,31
RX5	-103,34
RX6	-96,27

Tabla 5.10 Niveles de RSSI obtenidos en las dos posiciones.

Para la posición TX1, los niveles más bajos se dan cuando el receptor están en las posiciones 2 a 5, ya que entre emisor y receptor existe NLOS lo que dificulta seriamente la comunicación.

Sin embargo, para el resto de posiciones de receptor en la que existe LOS, los niveles son considerablemente mejores. El caso más crítico se produce cuando el receptor toma la posición 6 que se encuentra en la mediana, ya que además de existir NLOS, la posición es la más alejada respecto al TX1. Se tiene un valor de $-92,57$ dBm, lo que teóricamente no es un valor apropiado.

Para el caso de TX2, se analizan las posiciones de RX1 y RX6 por ser las más interesantes ya que no existe visión directa.

Al alejarse el transmisor, los niveles de potencia recibida disminuyen aún más que en el caso de TX1. El RSSI varía entre $-90,64$ dBm y $-103,34$ dBm lo que se considera valores muy pobres de señal.

CASO 2.

En este caso, los receptores se sitúan en la mediana de la calle principal.

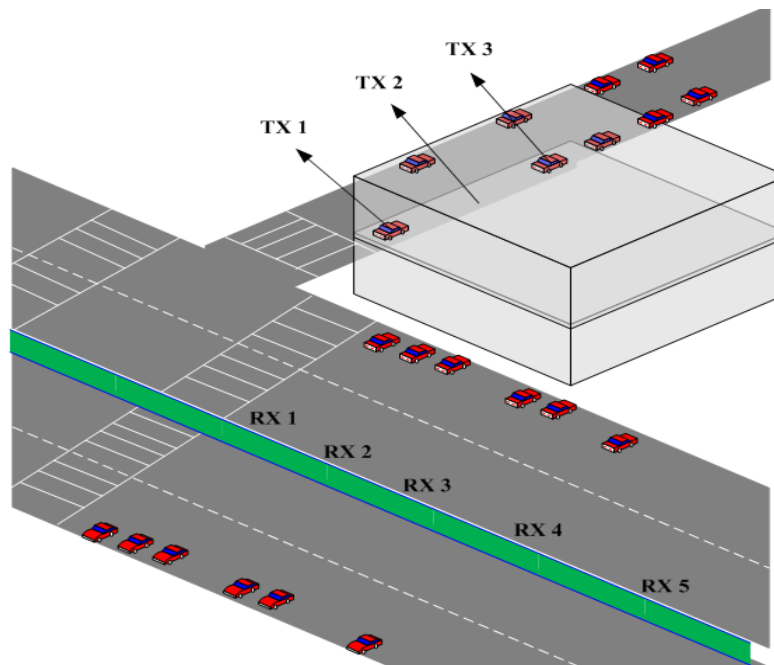


Figura 5.31 Posiciones de medida en el escenario de cruce para Caso 2.



Figura 5.32 Imagen general de la mediana.

POS TX1	RSSI (dBm)
RX1	-72,22
RX2	-73,73
RX3	-85,83
RX4	-92,57
RX5	-85,7

POS TX2	RSSI (dBm)
RX1	-81,1
RX2	-88,74
RX3	-100,01
RX4	-96,27
RX5	-98,8

POS TX3	RSSI (dBm)
RX1	-86,45
RX2	-95,83
RX3	-97,71
RX4	-97,99
RX5	-96,65

POS TX 4	RSSI (dBm)
RX 1	-94,04

Tabla 5.11 Niveles de RSSI obtenidos en las cuatro posiciones.

Como es de esperar, en la posición de TX1 los niveles son mucho mejores que cuando TX4. De hecho, van disminuyendo según el transmisor se va alejando del cruce.

Del mismo modo, la potencia máxima para las cuatro posiciones del transmisor, se encuentra en RX1. La segunda potencia mejor se encuentra en RX2 y en las demás posiciones hay discrepancias.

5.2. Escenarios con antena Tx dentro del coche.

5.2.1 Coche vacío.

Tamaño escenario	6 m. x 5 m. x 2 m.	
Frecuencia	2,4 GHz	
Número de rebotes	6	
Resolución escenario	Cuboides de 0,1 m.	
Antena	Altura respecto al suelo	1 m. (altura del coche 1,4 m.)
	Potencia	-10 dBm
	Directividad	Omnidireccional

Tabla 5.12 Parámetros de simulación de coche vacío.

Colocada la antena a un metro respecto del suelo, se analiza el nivel de potencia recibida dentro del coche. Por ello, se considera prioritario una buena resolución en la zona del interior del vehículo.

Las alturas de 0,8 m., 1 m., y 1,2 m., son las consideradas como más interesantes a analizar. Así mismo, en la radiales, se toma $y = 2$ m., $y = 2.5$ m. e $y = 3$ m. por ser donde se situarán (apartado 5.2.2) los centros de las personas en los asientos.

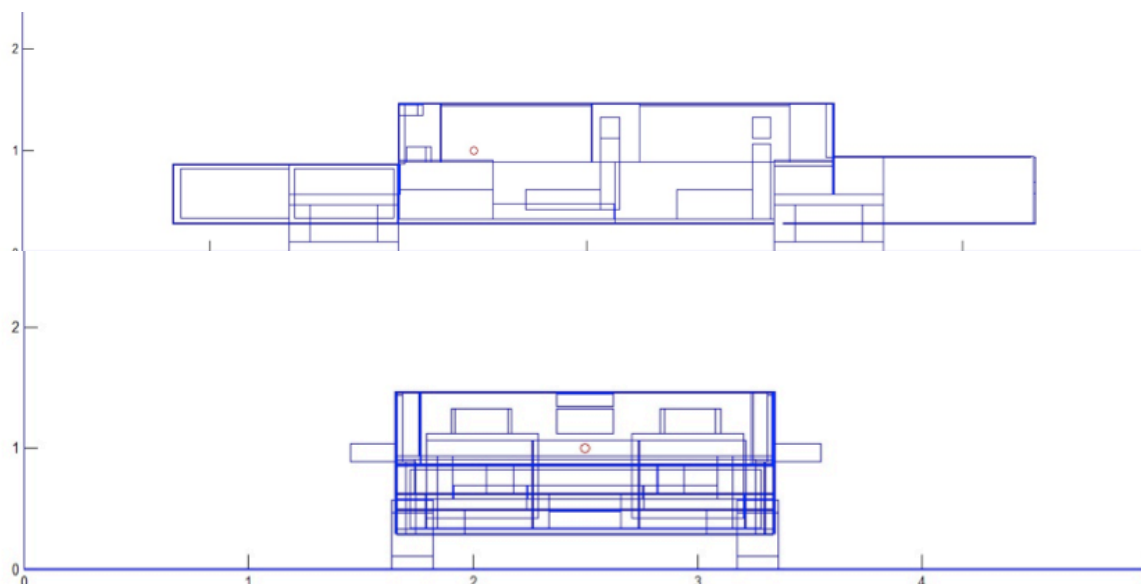


Figura 5.33 Vista lateral y vista frontal del coche con la antena emisora situada a un metro respecto del suelo encima del salpicadero.

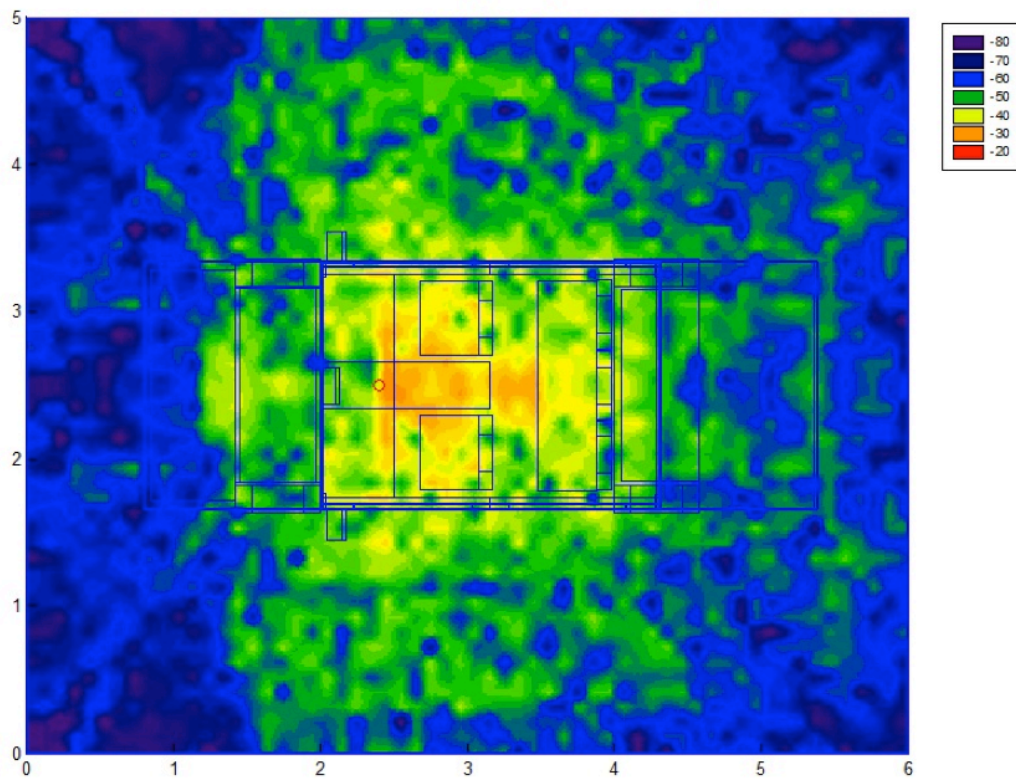
Análisis resultados.

A la altura de 0,8 m., y al estar la antena emisora justo 0,2 m. por encima, lo interesante es el análisis de los niveles de potencia recibida en los asientos del automóvil. Así mismo, el posible piloto y copiloto tienen un nivel de potencia entorno a -40 dBm y los asientos traseros presentan parecido nivel si bien hay puntos en los que el nivel es algo más bajo.

Cuando la altura es de un metro y 1,2 m., por tanto, a la altura de la antena y por encima de ella, el nivel en los asientos delanteros es muy bueno mientras que en la parte trasera es mejor a la altura de 1,2 m.

A las tres alturas, se puede visualizar el efecto del motor ya que el material es de hierro.

Potencia recibida [dbm] - Altura 0,8 m



Altura 0,8 m

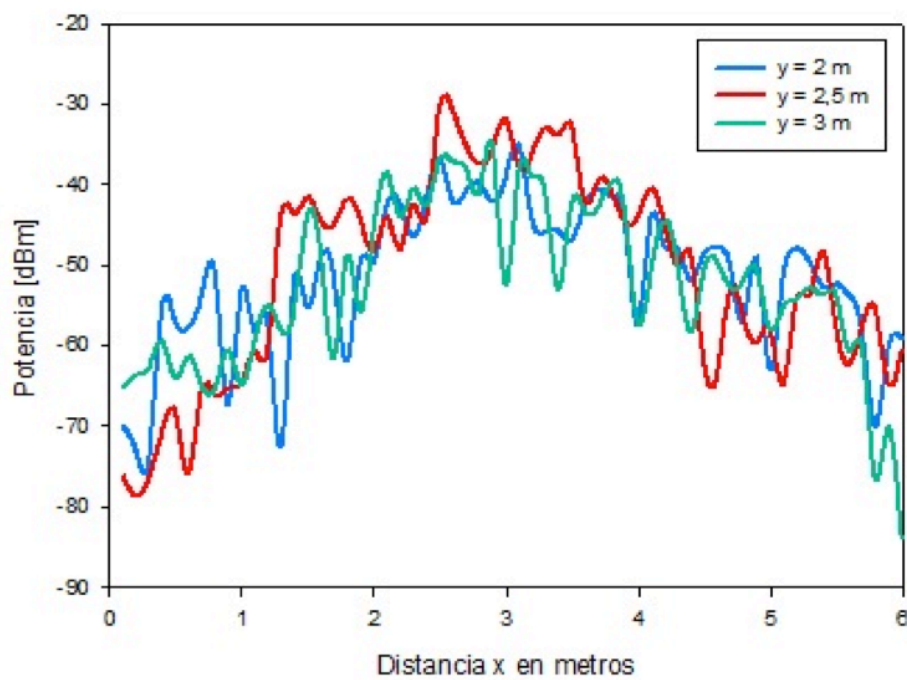
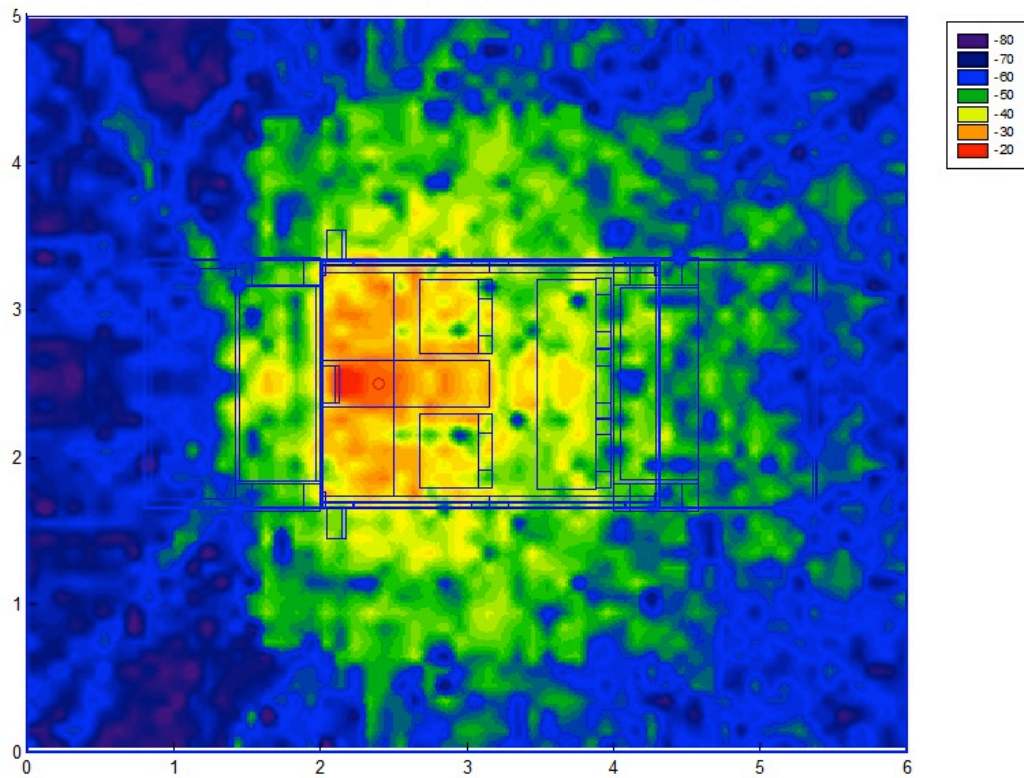


Figura 5.34 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia a la altura de 0,8 m.

Potencia recibida [dbm] - Altura 1 m



Altura 1 m

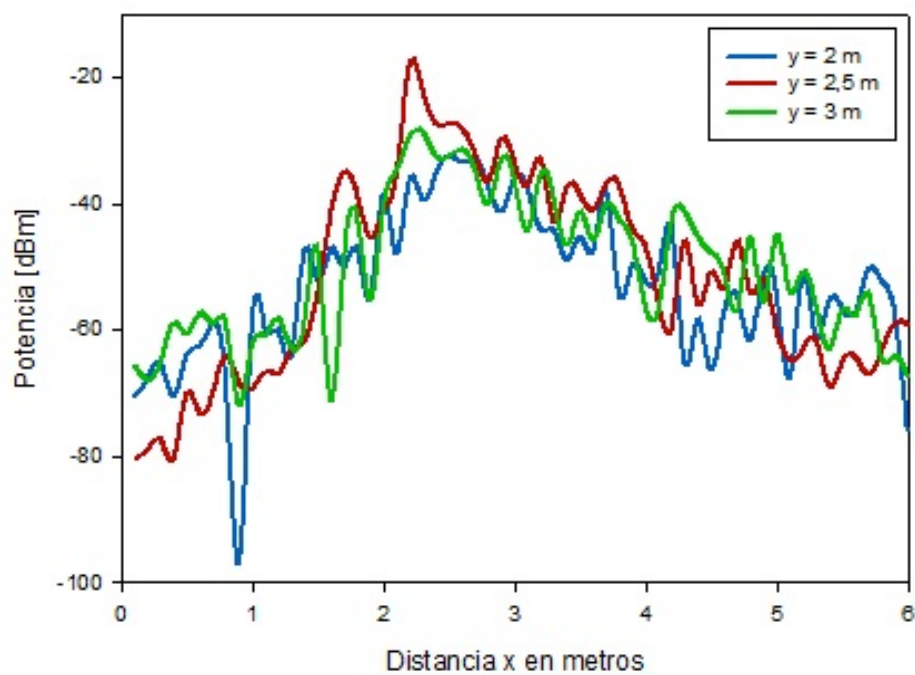


Figura 5.35 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia a la altura de 1 m.

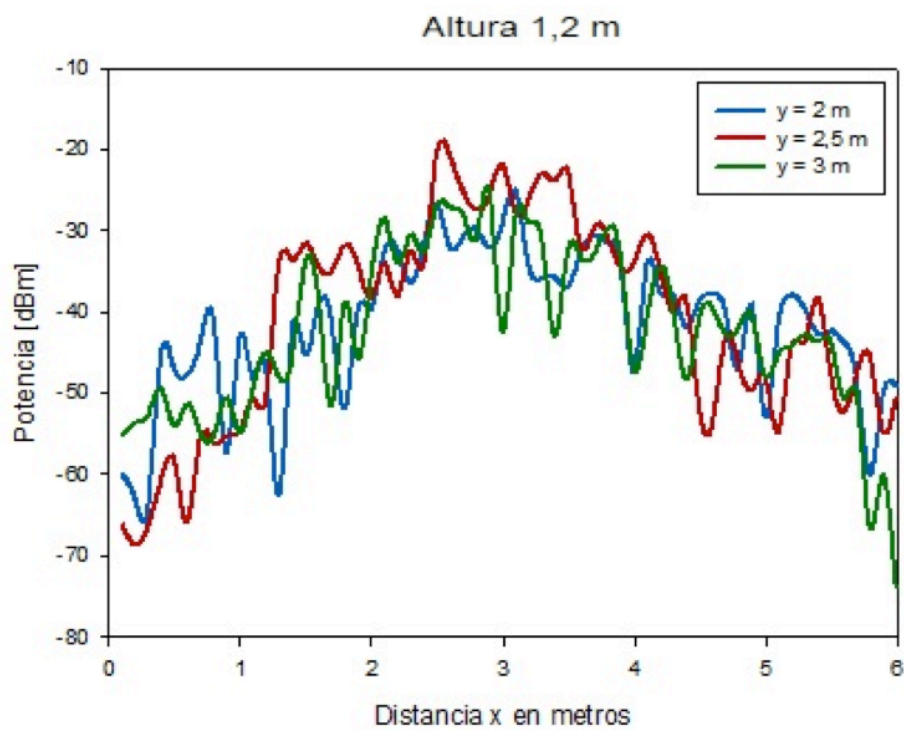
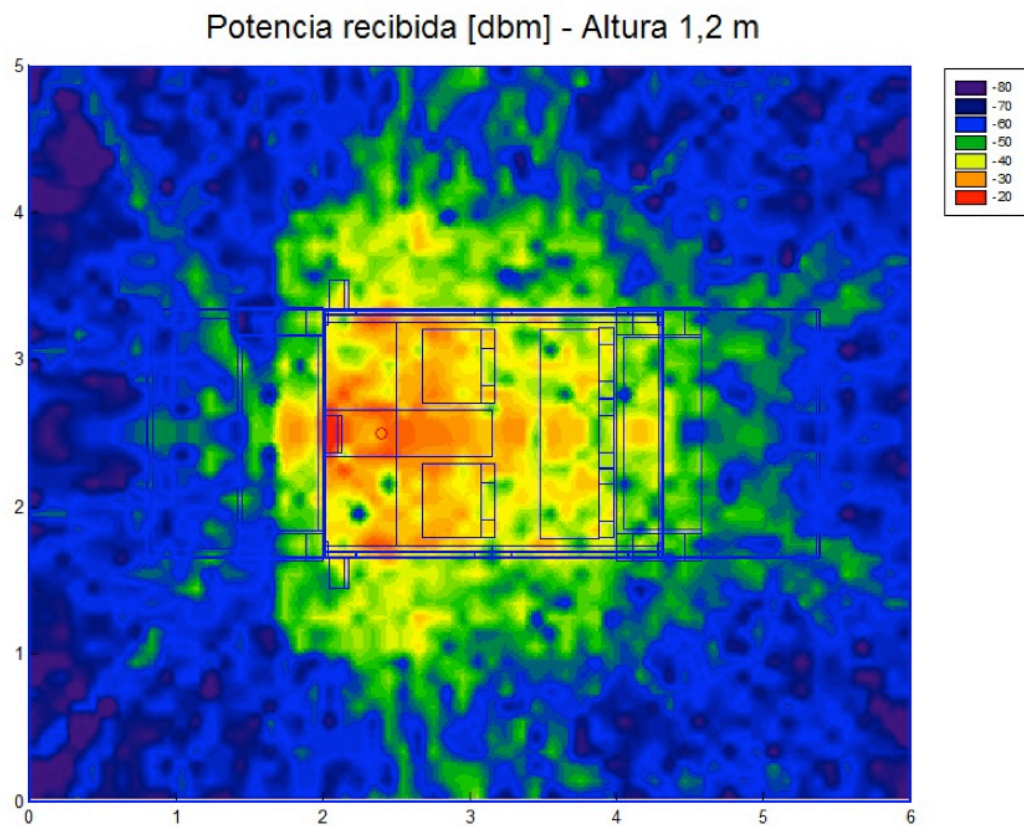


Figura 5.36 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia a la altura de 1,2 m.

5.2.2 Coche con personas.

Tamaño escenario	6 m. x 5 m. x 2 m.	
Frecuencia	2,4 GHz	
Número de rebotes	6	
Resolución escenario	Cuboides de 0,1 m.	
Antena	Altura respecto al suelo	1 m. (altura del coche 1,4 m.)
	Potencia	0 dBm
	Directividad	Omnidireccional

Tabla 5.13 Parámetros de simulación para coche con personas en el interior.

Al modelo de coche vacío, se van a añadiendo el modelo de persona para comprobar el efecto de cuerpos en el interior, El modelo de persona sólo incluye la primera resolución, es decir, no se tiene en cuenta músculos, huesos, etc. sino tan sólo piel.

La resolución de 0,1 m. se considera la más adecuada teniendo en cuenta el tiempo de simulación.

Al igual que en las simulaciones de coche vacío (apartado 5.2.1), las radiales se toman en $y = 2$ m., $y = 2,5$ m. e $y = 3$ m., para poder comparar en el siguiente apartado entre ambos casos.

Se comprueba el efecto de añadir personas progresivamente:

5.2.2.1 Una persona (piloto)

5.2.2.2 Dos personas (piloto y copiloto)

5.2.2.3 Tres personas (piloto, copiloto y un pasajero)

5.2.2.4 Cuatro personas (piloto, copiloto y dos pasajeros)

5.2.2.5 Cinco personas (piloto, copiloto y tres pasajeros)

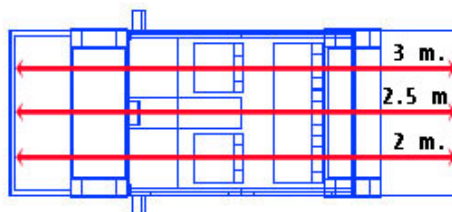


Figura 5.37 Radiales analizadas en función del número de personas dentro del vehículo

Análisis resultados.

Contrariamente a lo que puede parecer, añadir personas no implica un descenso del nivel de potencia recibida. La razón principal es que el modelo de persona no solo absorbe sino que también refleja. Además hay que contar con que el modelo de persona sólo contiene la primera resolución (piel)

Por lo tanto, dentro del vehículo no se presenta ningún problema de recepción de señal aunque el nivel óptimo se encuentra a la altura de 1 m. y 1,2 m.

También se observa que la luna delantera ejerce de “barrera” y se produce un descenso del nivel de potencia recibida. A la altura de 1,2 m. sí que se encuentra una zona justo en el exterior del coche a pocos centímetros de la antena y pegada a la luna en la que el nivel de recepción es algo superior al resto de alturas.

5.2.2.1 Una persona (piloto)

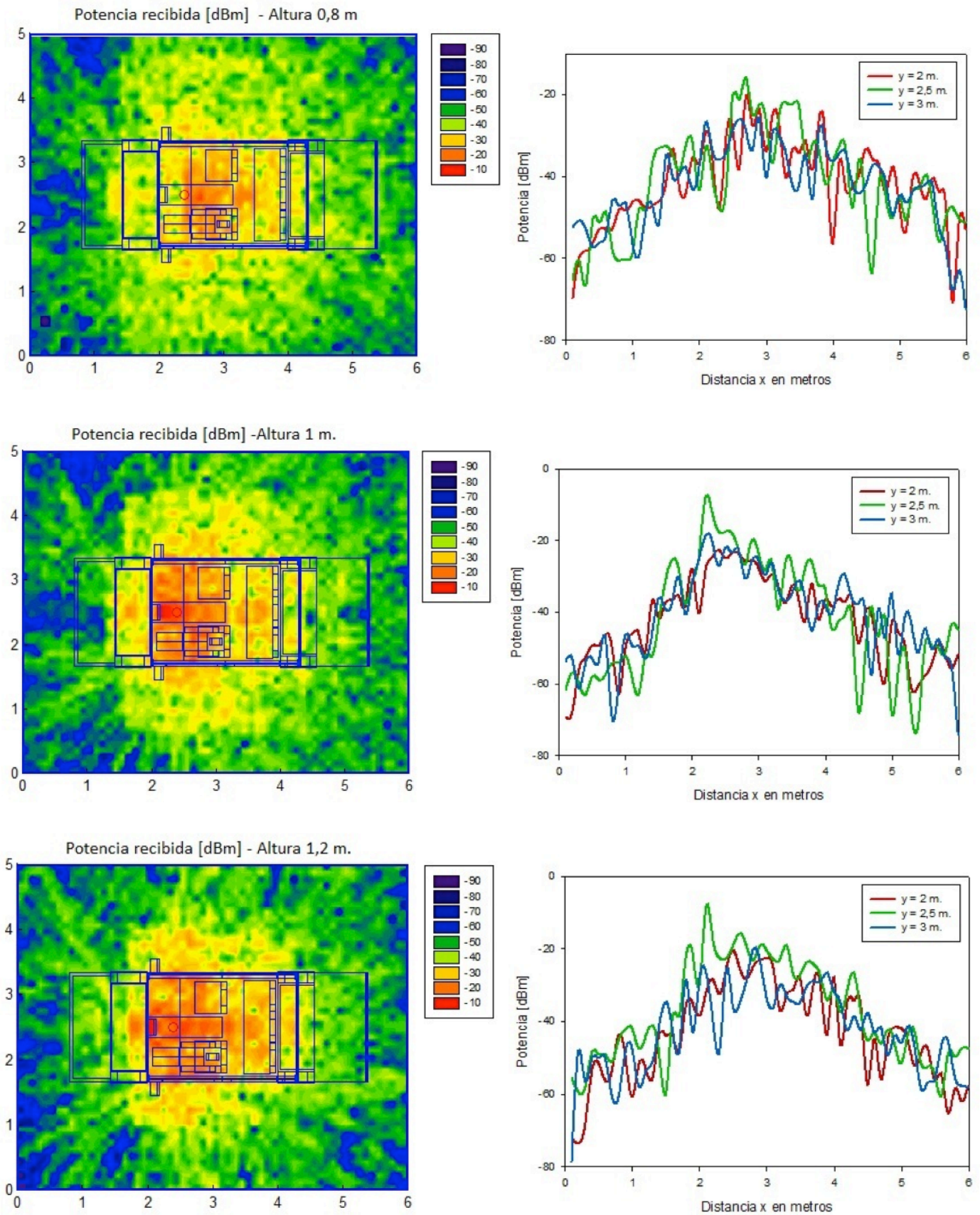


Figura 5.38 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 0.8 m., 1 m. y 1,2 m. para el caso de una única persona.

5.2.2.2 Dos personas (piloto y copiloto)

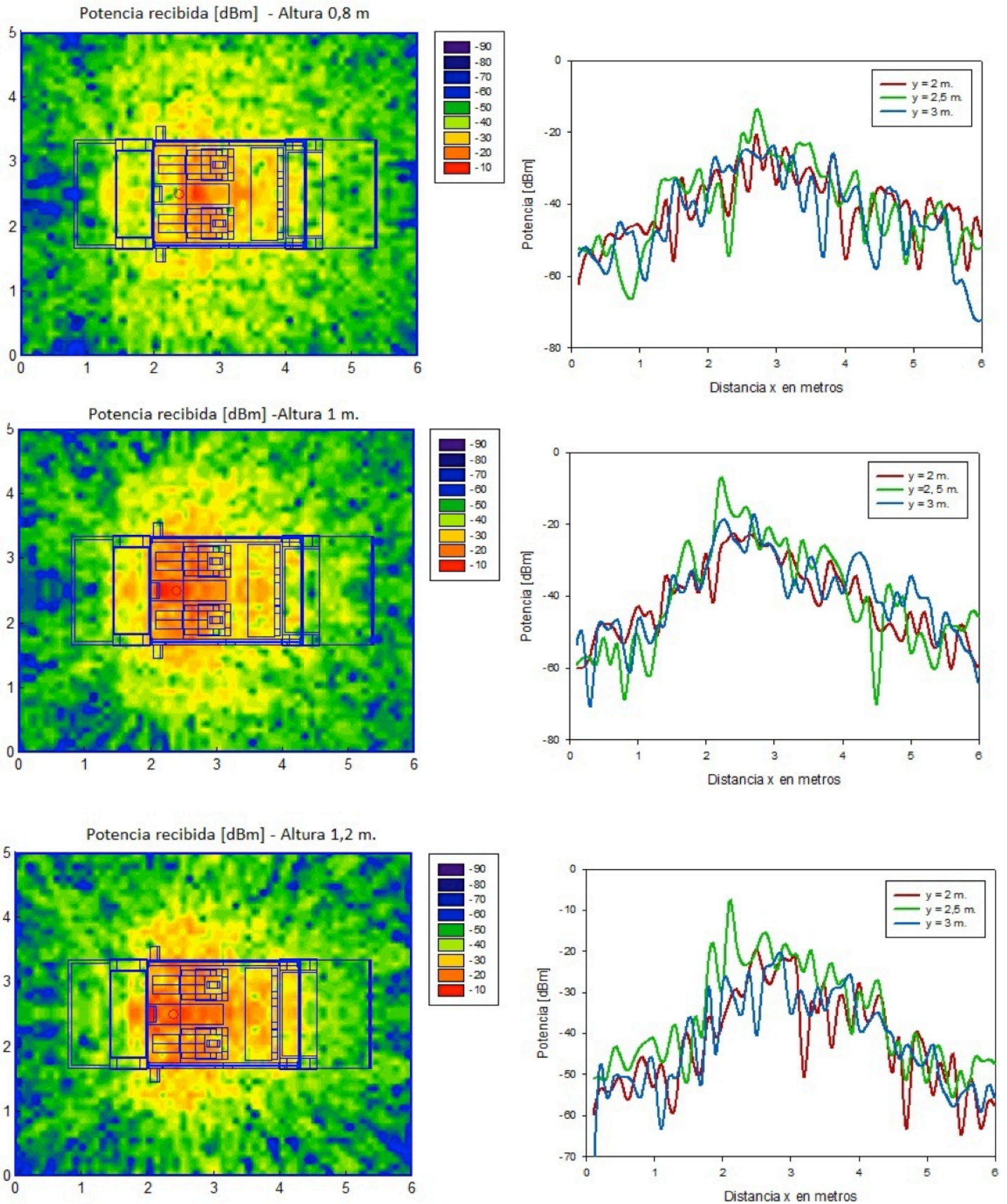


Figura 5.39 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 0.8 m., 1 m. y 1,2 m. para el caso de piloto y copiloto.

5.2.2.3 Tres personas (piloto, copiloto y un pasajero)

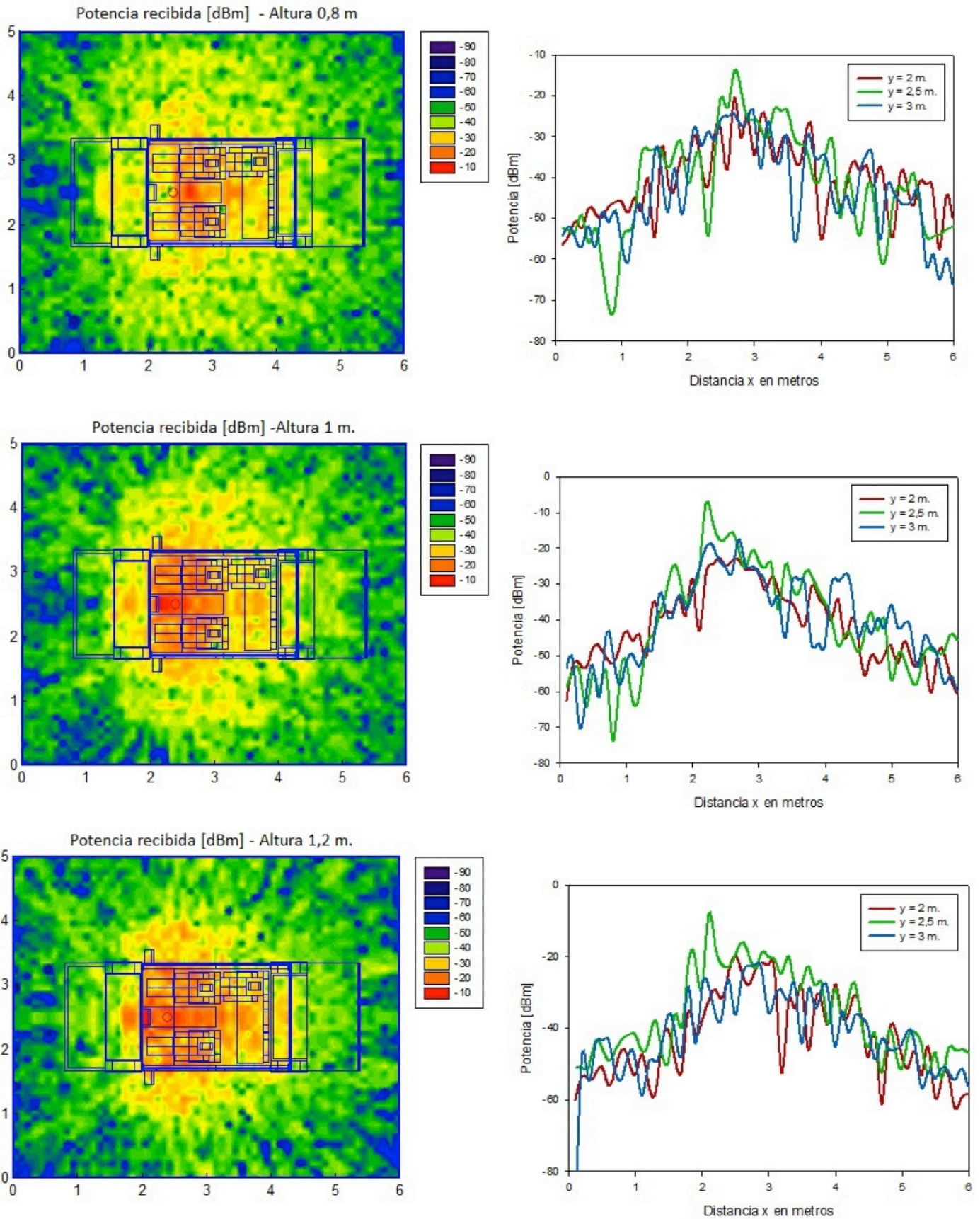


Figura 5.40 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 0.8 m., 1 m. y 1,2 m. para el caso de piloto, copiloto y un pasajero.

5.2.2.4 Cuatro personas (piloto, copiloto y dos pasajeros)

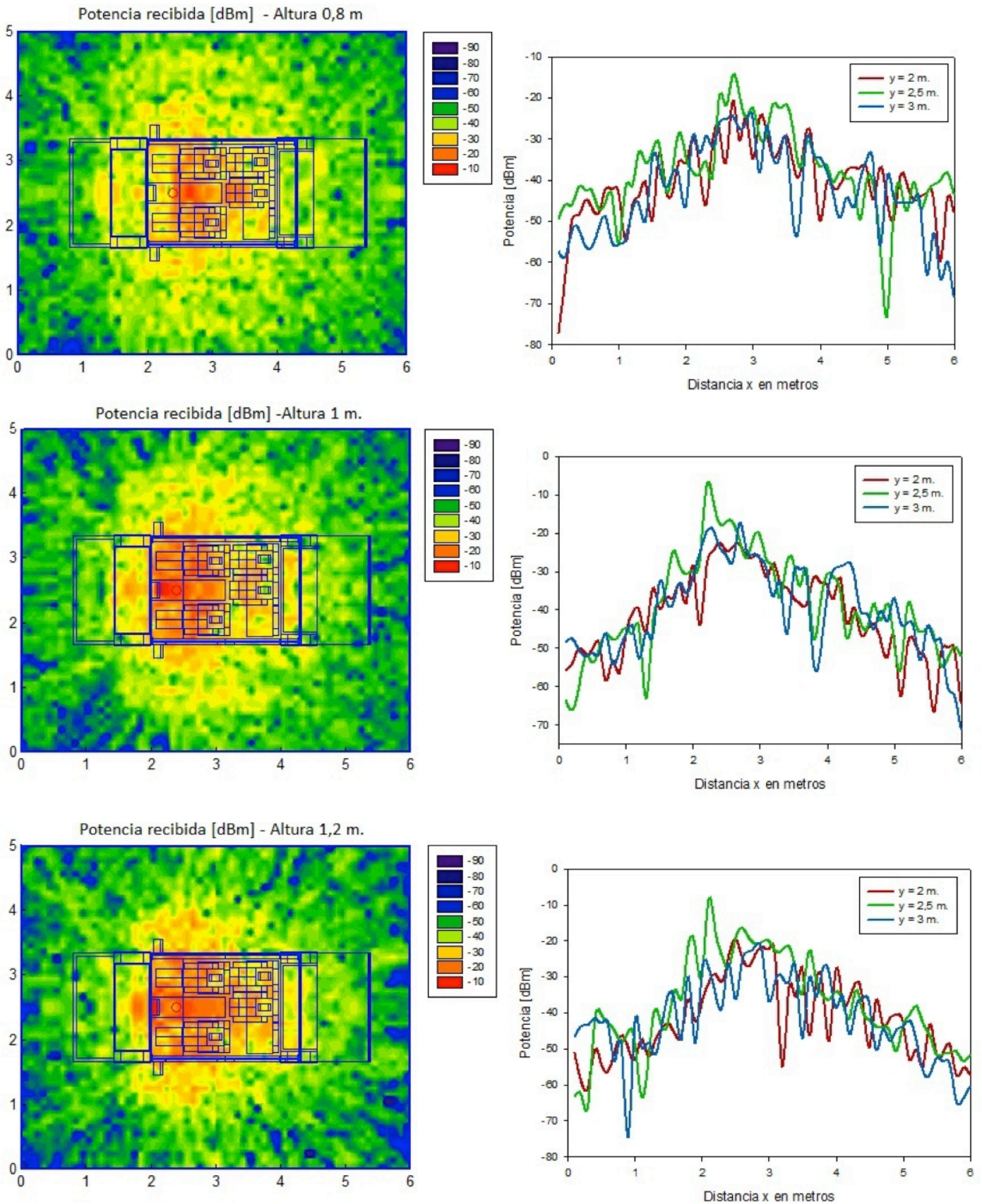


Figura 5.41 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 0.8 m., 1 m. y 1,2 m. para el caso de piloto, copiloto y dos pasajeros.

5.2.2.5 Cinco personas (piloto, copiloto y tres pasajeros)

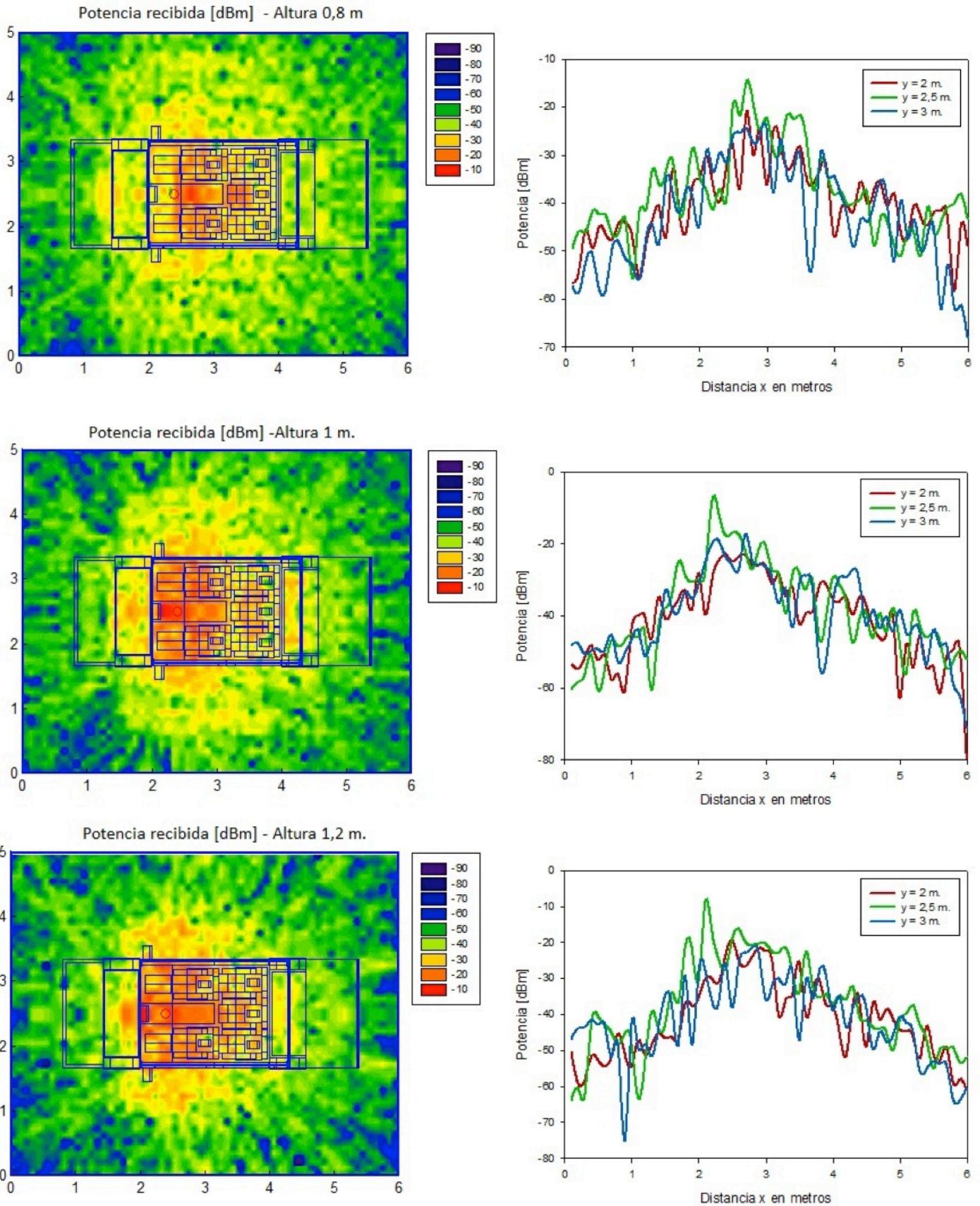


Figura 5.42 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 0.8 m., 1 m. y 1,2 m. para el caso de piloto, copiloto y tres pasajeros.

5.2.3 Comparación vacío – personas.

Tamaño escenario	6 m. x 5 m. x 2 m.	
Frecuencia	2,4 GHz	
Número de rebotes	6	
Resolución escenario	Cuboides de 0,1 m.	
Antena	Altura respecto al suelo	1 m. (altura del coche 1,4 m.)
	Potencia	0 dBm
	Directividad	Omnidireccional

Tabla 5.14 Parámetros de simulación para comparación entre coche vacío y coche con personas.

Se compara la potencia recibida a la altura de un metro, en los casos en los que se considera más determinante la influencia del modelo de cuerpo humano frente al vacío.

Las combinaciones de números de personas con posiciones son numerosas. En este caso, al ser progresiva la incorporación de personas en el vehículo, se analizan las radiales de $y = 2$ m. cuando se encuentra sólo el piloto y cuando están las cinco personas. La radial de $y = 2,5$ m. es analizada cuando se encuentran cuatro personas y la de $y = 3$ m. cuando están dos y tres personas. La resolución del cuerpo humano es la más sencilla (sólo contiene la piel)

Análisis resultados.

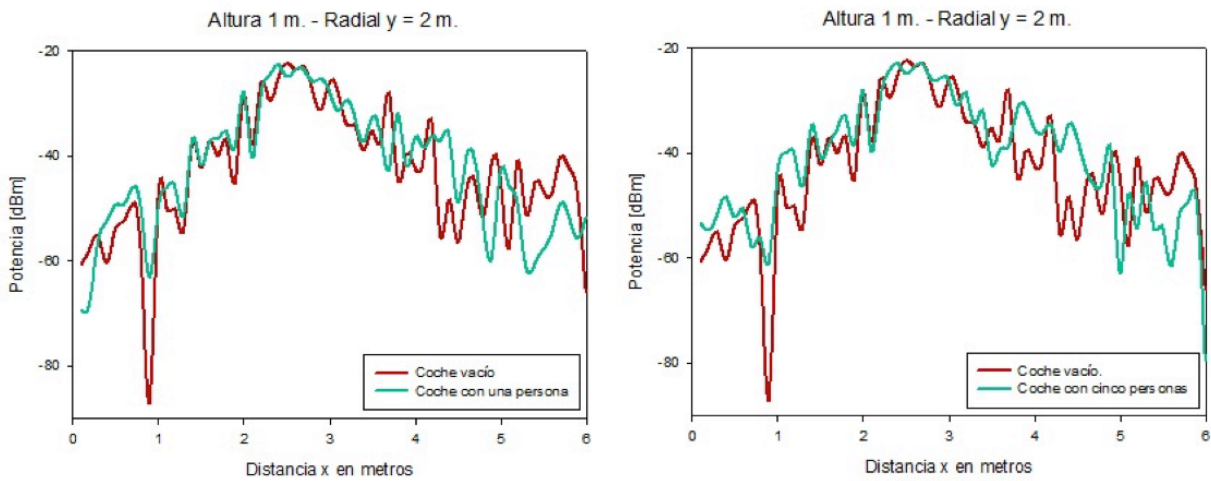


Figura 5.43 Comparación radiales de potencia de $y = 2$ m. para altura de un metro: coche vacío – una persona y coche vacío – cinco personas.

Altura 1 m. - Radial $y = 2.5$ m.

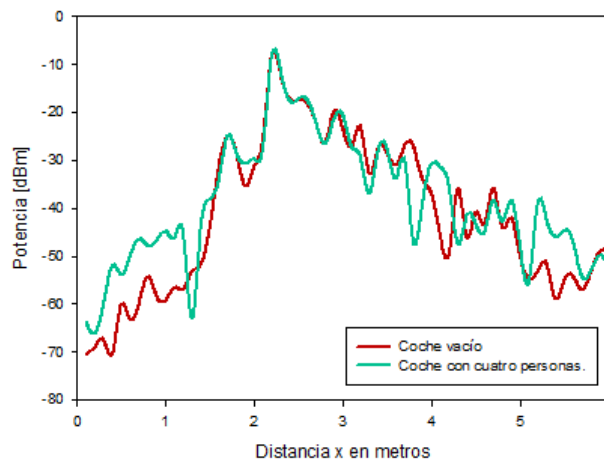
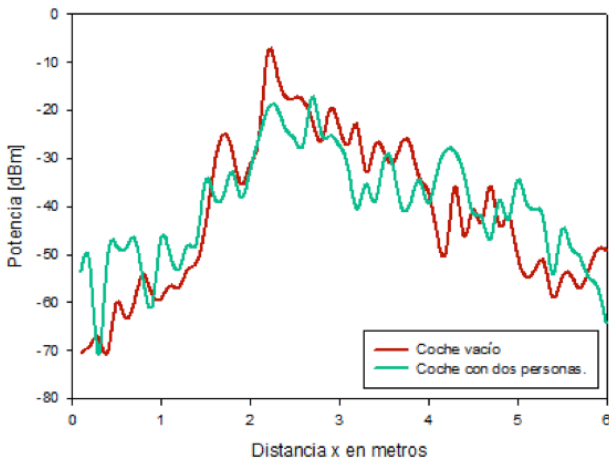


Figura 5.44 Comparación radiales de potencia de $y = 2.5$ m. para altura de un metro: coche vacío – cuatro personas dentro del vehículo.

Altura 1 m. - Radial $y = 3$ m.



Altura 1 m. - Radial $y = 3$ m.

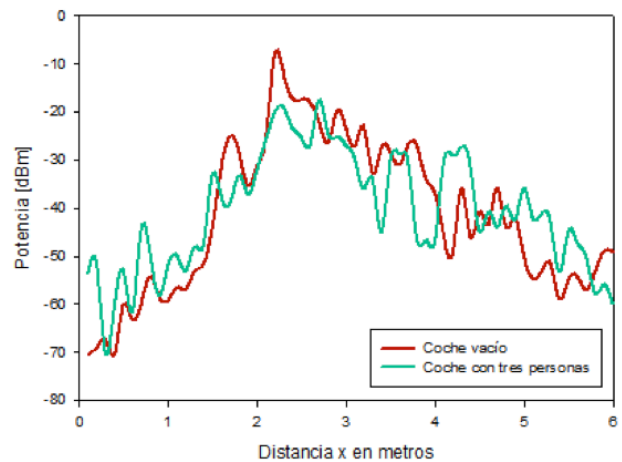


Figura 5.45 Comparación radiales de potencia de $y = 3$ m. para altura de un metro: coche vacío – dos personas y coche vacío – tres personas.

5.2.4 Simulación según medidas.

Tamaño escenario	6 m. x 5 m. x 2 m.	
Frecuencia	2,410 GHz	
Número de rebotes	6	
Resolución escenario	Cuboides de 0,05 m.	
Antena	Altura respecto al suelo	1 m. (1,6 m. altura del coche)
	Potencia	4,5 dBm
	Sensibilidad	0,82 dBi
	Directividad	Omnidireccional

Tabla 5.15 Parámetros de simulación según las medidas reales.

Se simula el escenario de coche vacío de nuevo pero con valores diferentes de sensibilidad y potencia, adaptando el código de trazado de rayos.

Los cambios de sensibilidad y potencia se deben a las medidas realizadas en el campus de la UPNA y que se exponen más adelante (apartado 5.2.5)

Las alturas analizadas son:

- 0,7 m. por tratarse de la altura a la que se encuentra los asientos respecto del suelo.
- 1 m. por tratarse de la altura a la que se encuentra el salpicadero y la bandeja trasera respecto del suelo.
- 1,2 m. por ser una altura cercana a 1 m. e interesante de igual modo.

En cuanto a las posiciones que aparecen en las radiales:

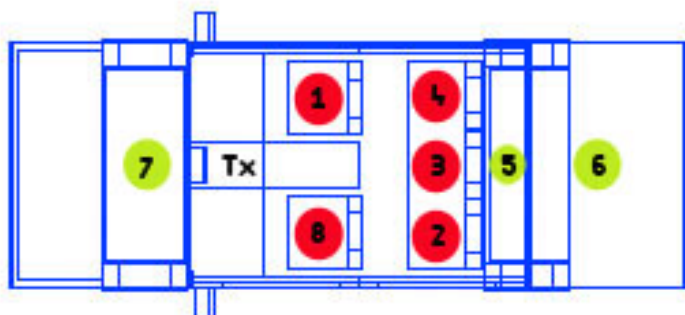


Figura 5.46 Puntos de medidas en el interior y exterior del coche.

Posición	Altura considerada respecto al suelo (m.)	Interior / exterior vehículo
1	0,7	Interior
2	0,7	Interior
3	0,7	Interior
4	0,7	Interior
5	1	Interior
6	1	Exterior
7	1	Exterior
8	0,7	Interior

Análisis resultados.

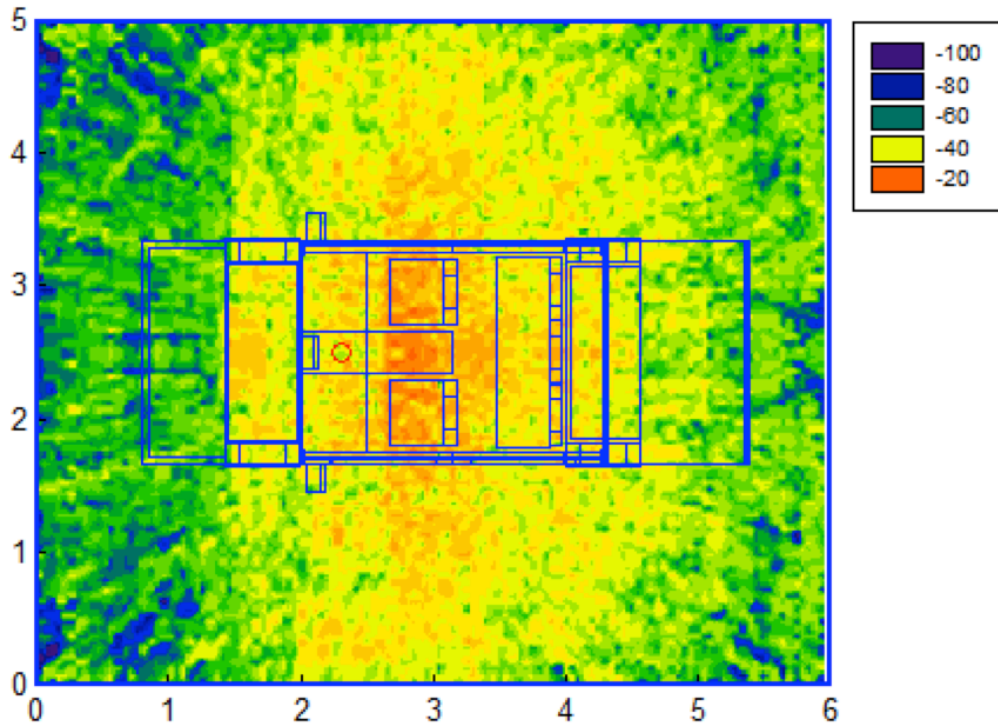
Se representan gráficas de potencia recibida y radiales tanto de x como de y. En ellas se puede observar cómo afecta la distancia entre emisor y zona de recepción. Como ya se ha comentado anteriormente, lo importante es el nivel de potencia recibida en las posiciones 1 a 8 (especialmente las interiores con asientos)

Lo importante de estas gráficas es tener detallado lo máximo posible la zona del coche sin tener en cuenta el campo cercano.

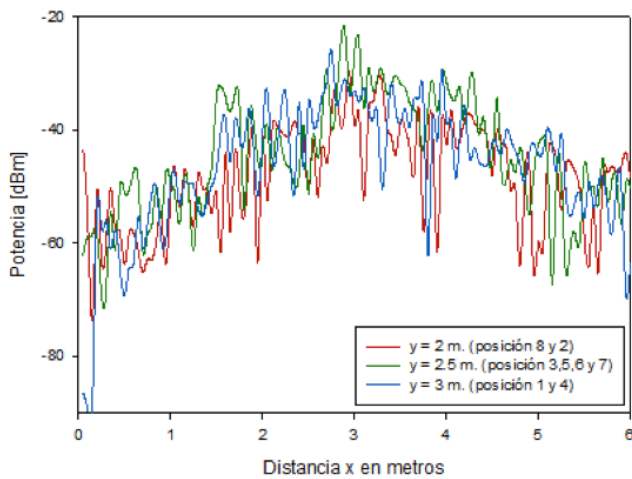
Así, se puede afirmar que a la altura de 1,2 metros la señal dentro del vehículo es incluso mejor que la hallada a un metro (altura Tx)

De igual modo, en la radiales de $x = 2.8$ m y $x = 3.6$ m. (posición de los asientos delanteros y traseros), se observa que el nivel de recepción es mucho mejor en los asientos delanteros (por estar más cerca de la antena) que en los asientos traseros.

Potencia recibida [dBm] - Altura 0,7 m.



Altura 0,7 m.



Altura 0,7 m.

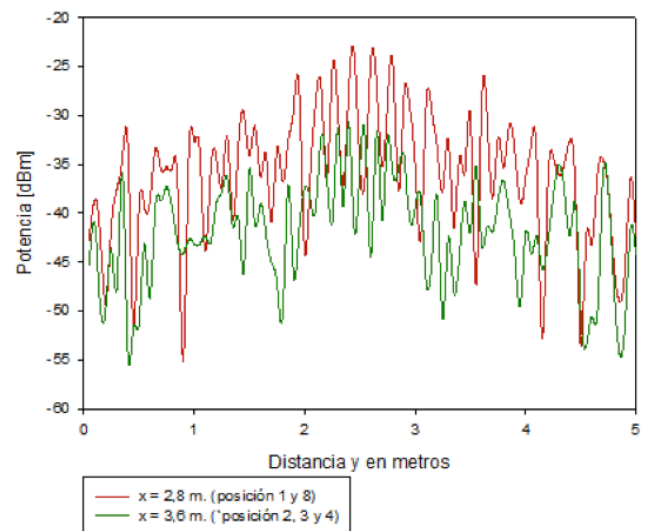
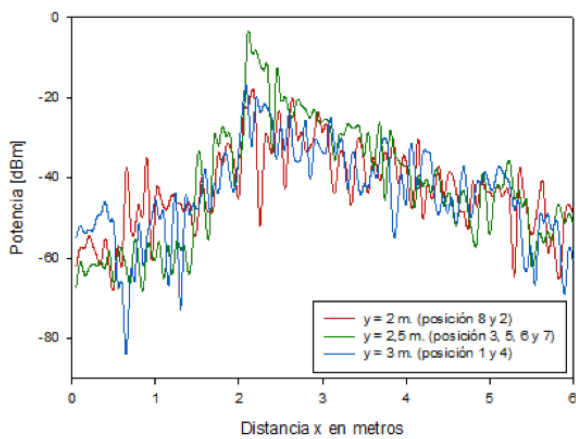
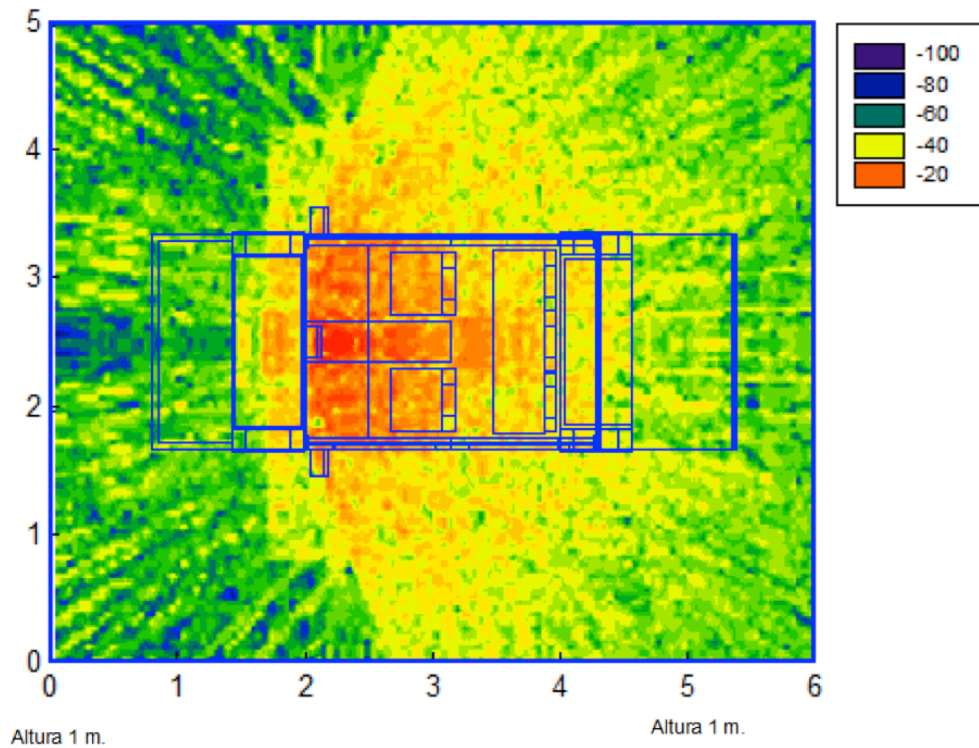


Figura 5.47 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para altura de 0,7 m.

Potencia recibida [dBm] - Altura 1 m.



Altura 1 m.

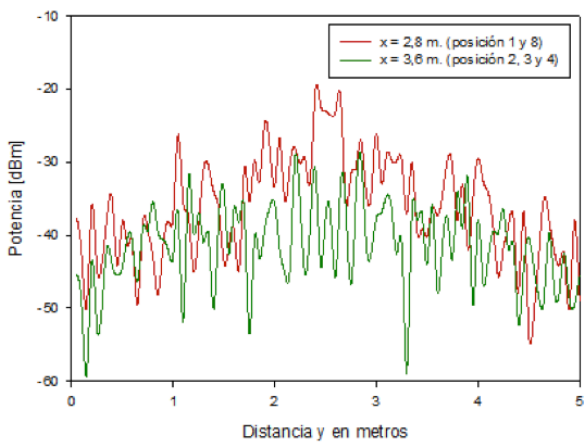
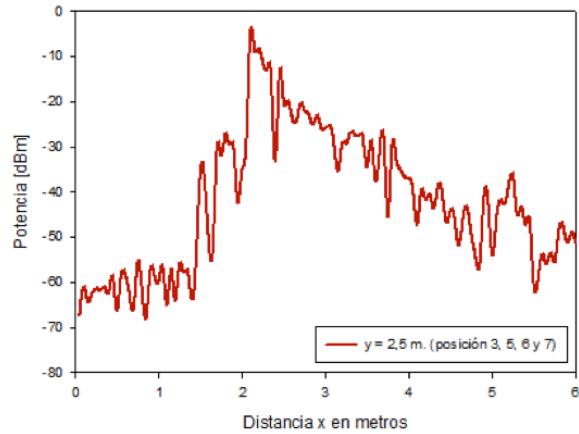
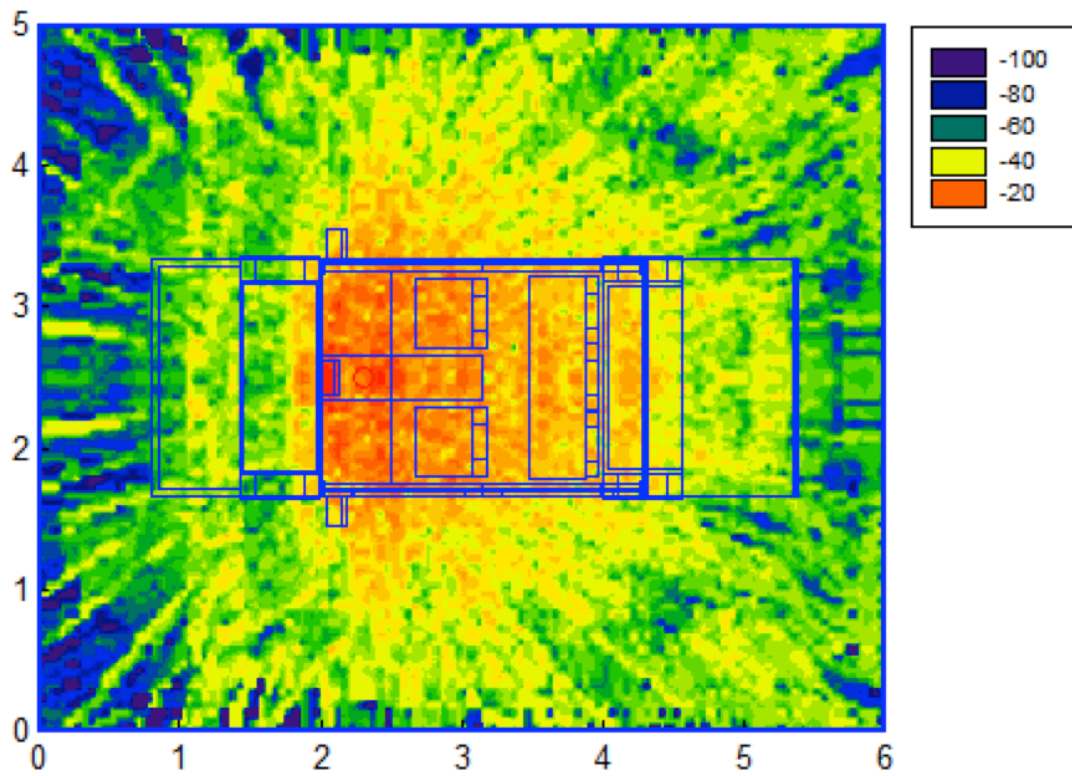


Figura 5.48 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para altura de 1 m.

Potencia recibida [dBm] - Altura 1,2 m.



Altura 1,2 m.

Altura 1,2 m.

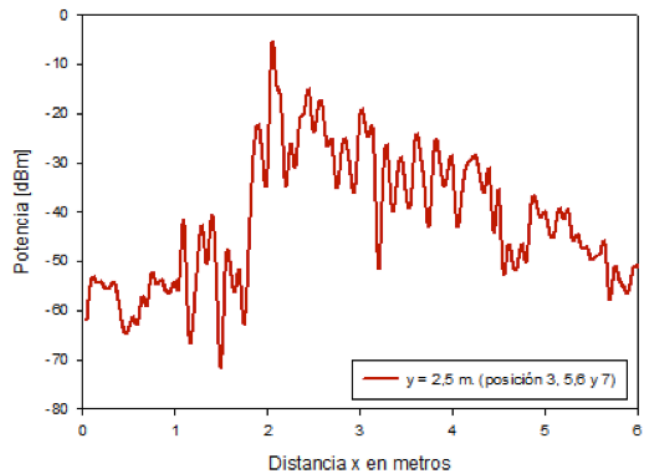
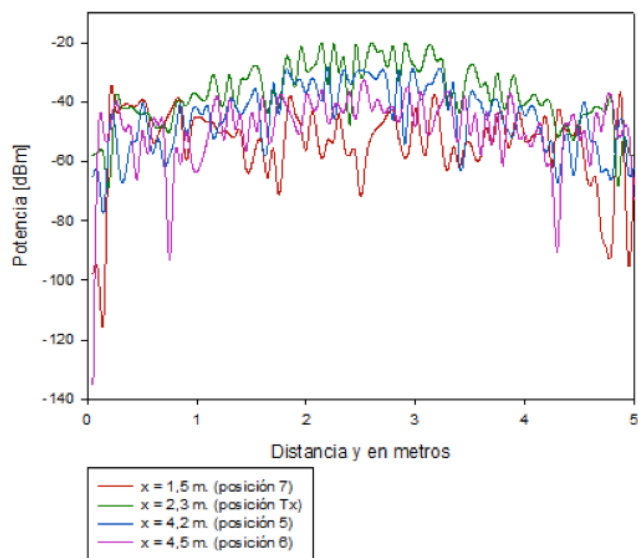


Figura 5.49 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para altura de 1,2 m.*

5.2.5 Medidas reales.

5.2.5.1 Descripción escenario.

El escenario en el que fueron realizadas las medidas está situado en el parking del recinto de deportes de la Universidad Pública de Navarra.



Figura 5.50 Escenario de la UPNA para las medidas reales.

En cuanto al coche, es un Peugeot 406 de medidas muy similares al Skoda Octavia:

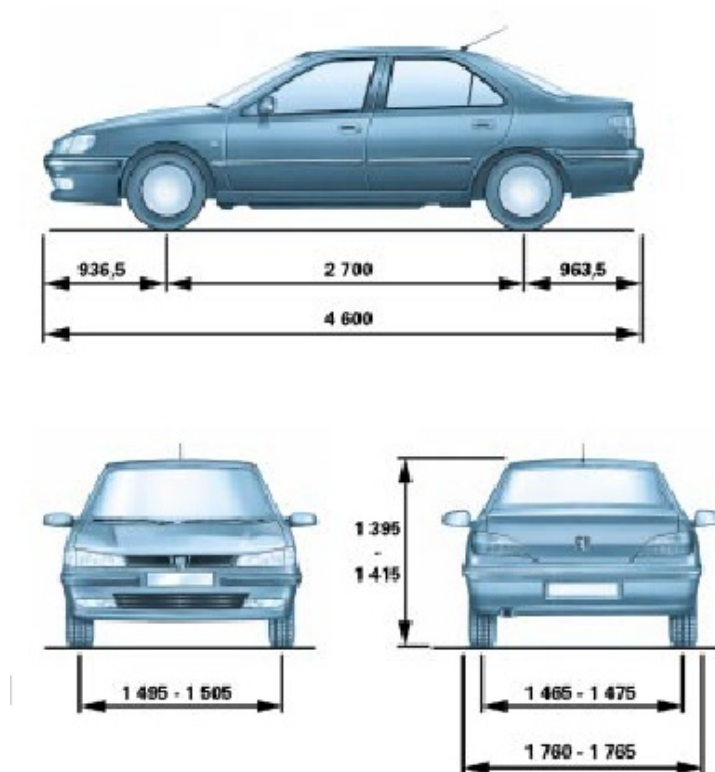


Figura 5.51 Medidas del modelo de coche Peugeot 406.



Figura 5.52 Imágenes del coche Peugeot 406 en el escenario de medida.

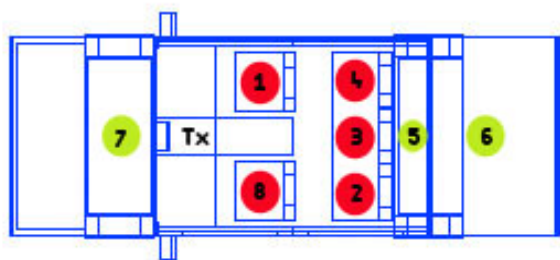


Figura 5.53 Puntos de medidas.

Se toman ocho puntos de medida dentro y fuera del coche siendo los puntos en rojo los asientos situados a 0,7 metros de altura respecto del suelo y los puntos verdes los situados a un metro respecto del suelo. De esta manera se comparará más adelante los resultados de simulaciones y de medidas.

En las medidas de potencia recibida, la antena transmisora está situada en el salpicadero delantero a una altura de un metro:



Figura 5.54 Posición de la antena Tx dentro del vehículo.

Se trata de una antena Picea de Antenova (ver Anexo C sobre instrumentación) que es válida para medidas de Zigbee.

De igual modo, se coloca un analizador de espectro portátil de Agilent Instruments (ver Anexo C sobre instrumentación) en los diferentes puntos comentados anteriormente .

También se toman medidas de dosimetría en los mismos puntos.

Para almacenar los datos del dosímetro así como para generar la señal a 2,410 GHz, se cuenta con un ordenador portátil y su correspondiente software.



Figura 5.55 Diferentes posiciones de medida con el dosímetro y analizador de espectros.

Para las medidas de PER, se utilizan sensores XbeePro (ver Anexo C sobre instrumentación) ya que son de los que se dispone.

Como anteriormente, se colocan en los ocho puntos determinados. Por cuestión de tiempo, no se realizan los de la posición 6 y 7.



Figura 5.56 Posiciones de los sensores XbeePro para medidas de PER.

Mediante el correspondiente software se puede determinar el número de paquetes a transmitir:



Figura 5.57 Interfaz del software con posibilidad de elección de paquetes.

5.2.5.2 *Análisis resultados.*

La antena tiene las siguientes especificaciones:

Altura respecto al suelo	1 m. (1,6 m. altura del coche)
Potencia	4,5 dBm
Sensibilidad	0,82 dBi
Directividad	Omnidireccional

Tabla 5.16 Parámetros de antena Picea.

Se realizan dos medidas:

1. Medida de Potencia recibida [dBm]

Teniendo en cuenta las mismas posiciones de medida que en el apartado 5.2.4, y por medio de un analizador de espectro se obtienen los siguientes resultados:

Posición	Analizador (Tx =1 m.) Potencia recibida [dBm]
1	-35,92
2	-39,15
3	-41,22
4	-47,85
5	-40,18
6	-47,58
7	-38,25
8	-38,19

Tabla 5.17 Valores de potencia recibida según posición.

2. Medida de PER .

Envío de 100000 a 57,6 kbps con una potencia de transmisión de 10 dBm (configuración del dosímetro)

Posición	PER	Paquetes recibidos (sin ACK)
1	0,035	99965
2	0,032	99968
3	0,039	99961
4	0,063	99937
5	0,031	99969
6	-	-
7	-	-
8	0,003	99997

Tabla 5.18 Valores de PER y paquetes recibidos según posición.

5.2.6 Comparación.

A continuación se compara las simulaciones con las medidas (apartado 5.2.4 y 5.2.5)

Posición	Analizador (Tx = 1 m.)	Simulación		ERROR
		h rx = 0,7 m.	h rx = 0,7 m.	
1	-35,92	-34,871693		-1,0483067
2	-39,15	-38,477986		-0,6720135
3	-41,22	-43,643077		2,42307676
4	-47,85	-47,129614		-0,7203862
5	-40,18		-40,34874723	0,16874723
6	-47,58		-46,83281328	-0,7471867
7	-38,25		-38,62045328	0,37045328
8	-38,19	-36,222627		-1,9673732
			ERROR TOTAL	0,27412364

Tabla 5.19 Comparación simulaciones y medidas reales.

Los valores de simulación corresponden a los puntos centrales de cada asiento (en el caso de las posiciones 1,2,3,4 y 8)

A partir de los resultados de las medidas reales y de las simulaciones, se obtiene el error de cada posición y el error total.

Los errores obtenidos varían entre -1 dBm y +2 dBm lo que se puede considerar dentro de unos valores aceptables.

El error total es de 0,2741 dBm lo que demuestra la validez de las simulaciones con el código de trazado de rayos en entornos interiores.

En las figuras 5.45, 5.46 Y 5.47 se representan de forma gráfica la comparación analizador – simulación según las posiciones.

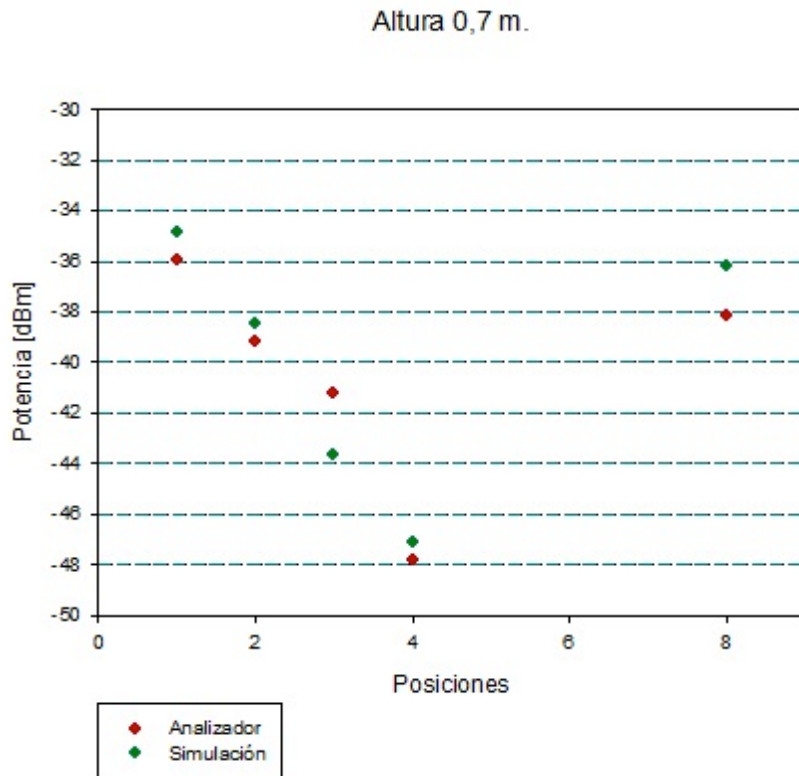


Figura 5.58 Gráfica comparativa simulaciones-medidas según posiciones para altura de 0,7 m.

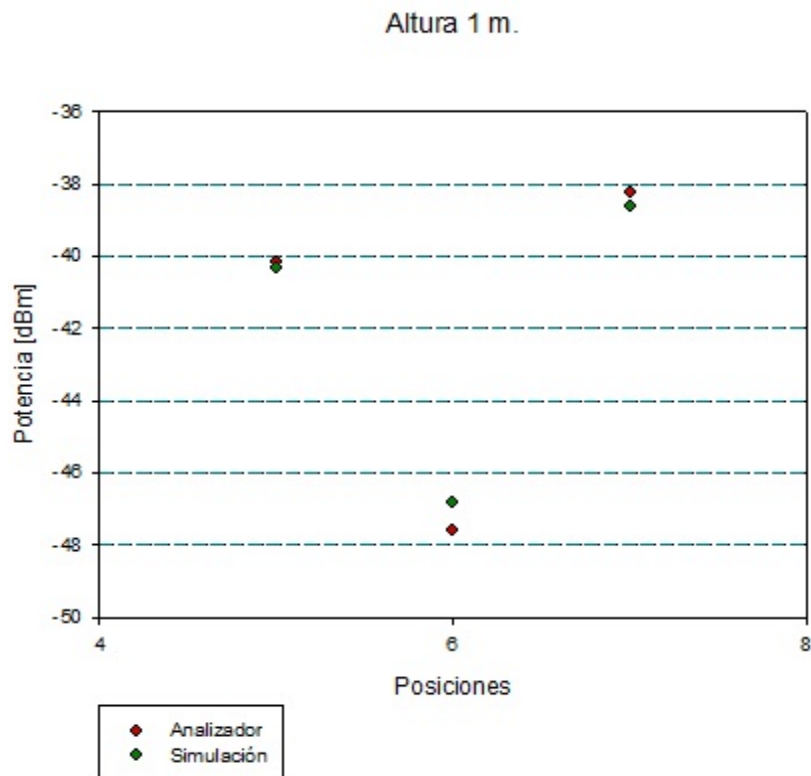


Figura 5.59 Gráfica comparativa simulaciones-medidas según posiciones para altura de 1 m.

Comparación medidas - simulación

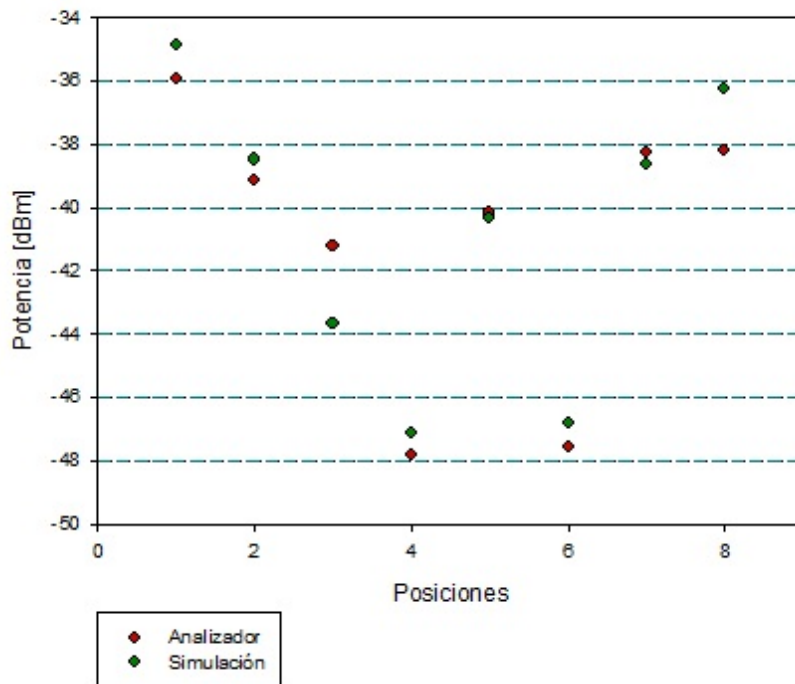


Figura 5.60 Gráfica comparativa simulaciones-medidas según posiciones.

De igual forma, se compara las medidas de potencia recibida del dosímetro (potencia = 10 dBm) con las de las simulaciones y las del analizador de espectro:

Posición	Dosímetro	Analizador + 5,5 dB	Simulación + 5,5 dB
1	-28,462447	-30,42	-29,37169327
2	-31,228501	-33,65	-32,97798645
3	-31,789075	-35,72	-38,14307676
4	-30,046072	-42,35	-41,62961378
5	-26,791526	-34,68	-34,84874723
6	-35,026092	-42,08	-41,33281328
7	-29,584766	-32,75	-33,12045328
8	-26,062941	-32,69	-30,72262683

Tabla 5.20 Datos de potencia recibida para dosímetro, analizador y simulación.

Error simulación – analizador	0,274123639561362
Error simulación – dosímetro	5,39444903368301
Error analizador – dosímetro	5,66857267324437

Tabla 5.21 Errores.

Además de las medidas de simulación y del analizador, se considera interesante las tomadas por el analizador si bien al tener un valor de potencia de 10 dBm no modificable, se modifican las del analizador y simulación sumándoles 5,5 dBm.

De esta manera, se puede analizar las diferentes combinaciones de errores entre los tres dispositivos.

De ello se extrae que los datos aportados por el dosímetro no son muy fiables ya que el error es de entorno a 5 dBm. Se considera, por lo tanto, como datos más apropiados los de simulación y analizador.

5.3 Escenarios con antena Tx colocada en farolas.

Tamaño escenario	44 m. x 30 m. x 14 m.	
Frecuencia	2,4 GHz	
Número de rebotes	6	
Resolución escenario	Cuboides de 1 m.	
Tipo de farola	Punto medio (altura de 5 m.)	
Antena	Altura respecto al suelo	4 m.
	Potencia	10 dBm
	Directividad	Omnidireccional

Tabla 5.22 Parámetros de simulación para escenario con antena Tx en farola.

Ahora la antena Tx está colocada en una modelo de farola Punto Medio (apartado 4.2.3) de altura total igual a 5 m. pero cuya antena está a 4 metros.

Se han colocado doce farolas en puntos fijos y se va variando la posición de dicha antena mientras que el coche está fijo en el punto $x = 34$ m. e $y = 17$ m.

Las alturas analizadas son 2 m. (altura de recepción del vehículo), 3 m. (altura de recepción para una posible persona dentro del edificio, por ejemplo) y 4 m. (altura a la que está la antena Tx)

Análisis resultados.

Como es de esperar, a mayor distancia entre coche y emisor, el nivel de potencia es menor. También cuando la antena emisora se encuentra en perpendicular respecto al vehículo (Figura 5.50) la recepción es más complicada.

Cuando la altura analizada es la de tres metros, lo importante, además de la conexión con el coche, es la recepción en el interior del edificio. En general, en los edificios cercanos es posible la recepción pero en el resto en algunos casos es nula (Figura 5.52)

Con la altura de 4 metros, los valores de potencia recibida son algo mejores ya que es la altura de la antena pero sigue produciéndose una pérdida total de señal en las esquinas de los edificios más alejados.

Estas simulaciones son una aproximación muy sencilla a lo que podría ocurrir en un entorno real y mucho más complejo.

Se ha realizado más casuística que se puede consultar en Anexo A, apartado A6.

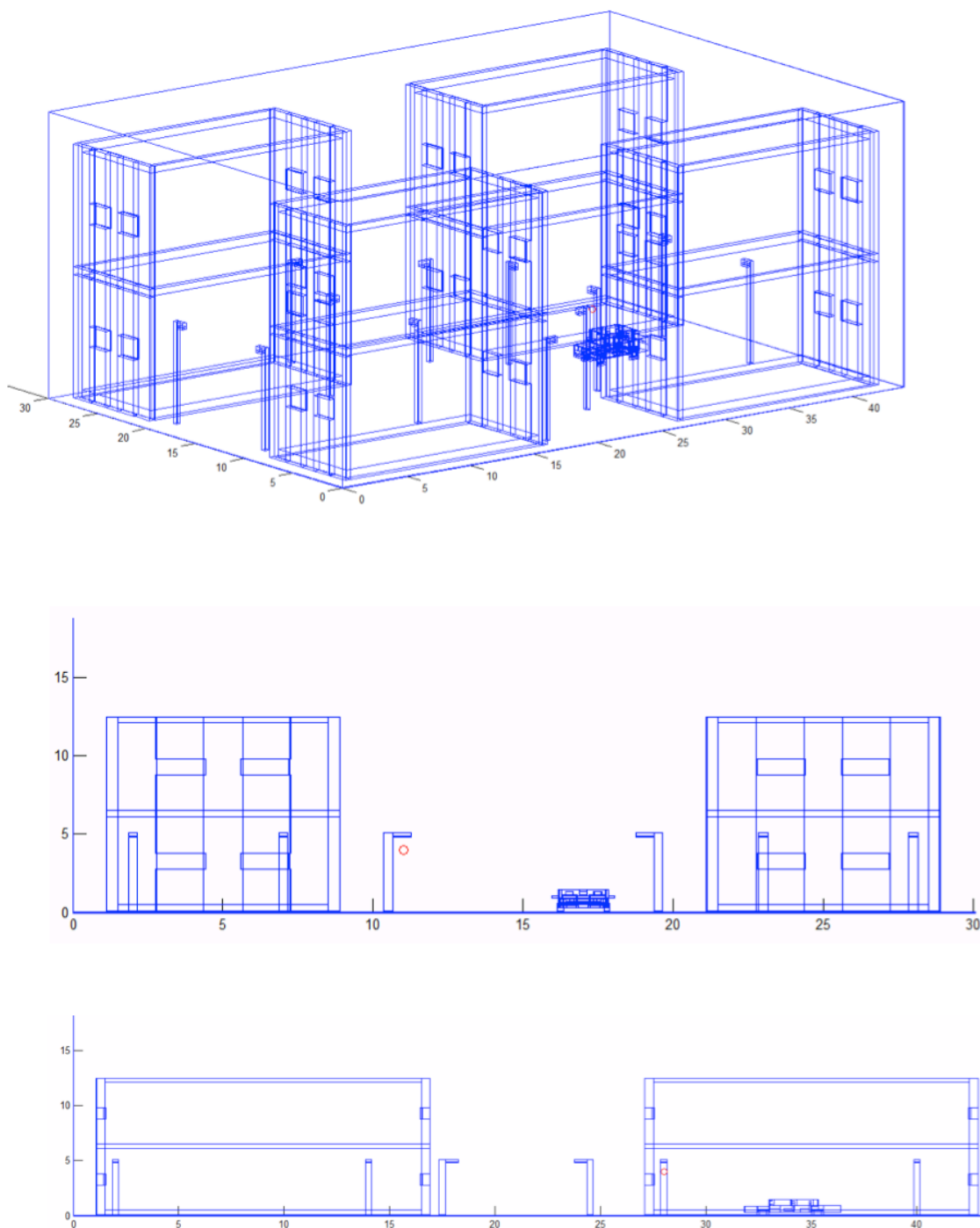


Figura 5.61 Vistas en 3D del escenario de simulación con antena Tx situada en una farola.

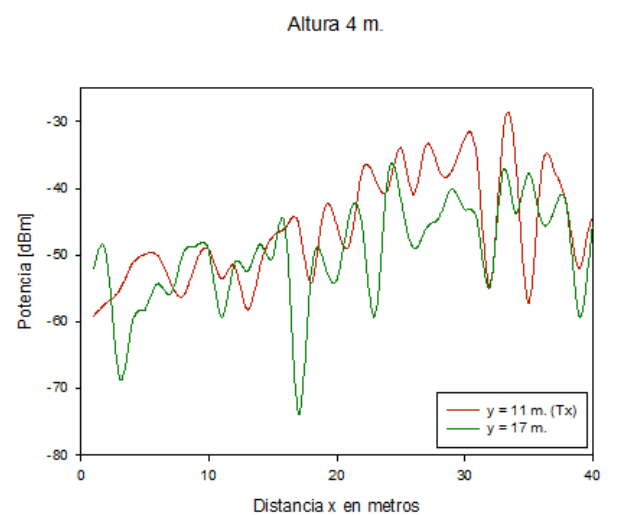
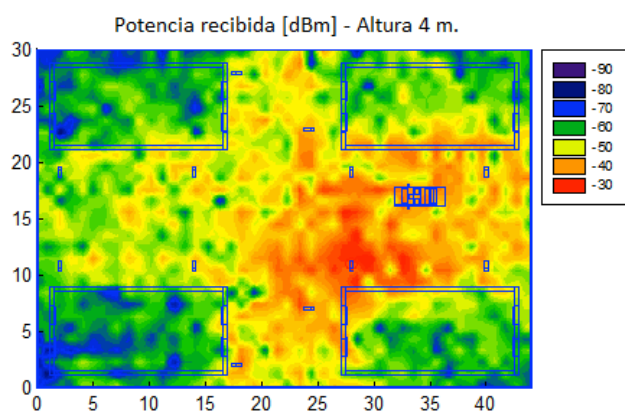
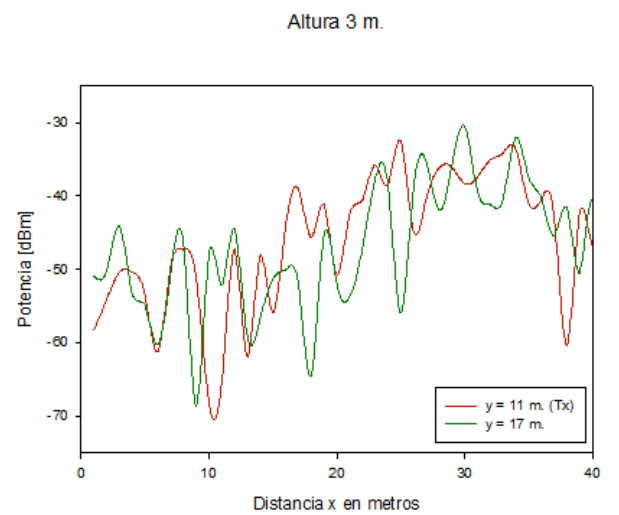
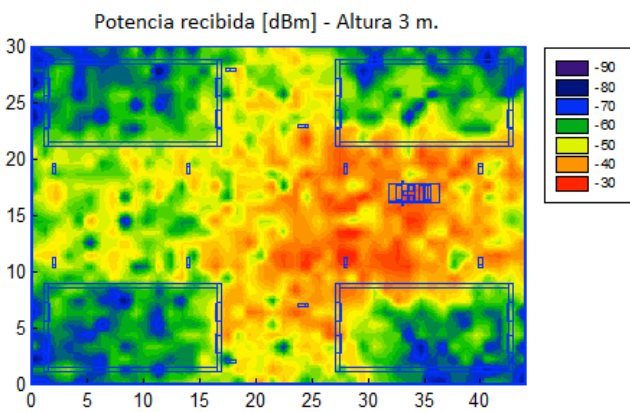
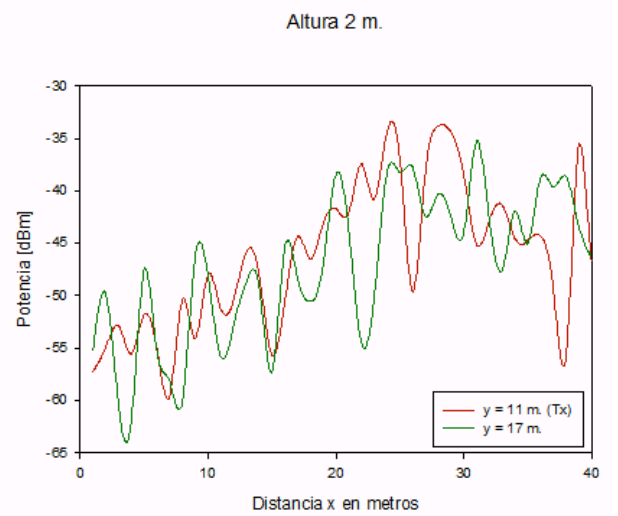
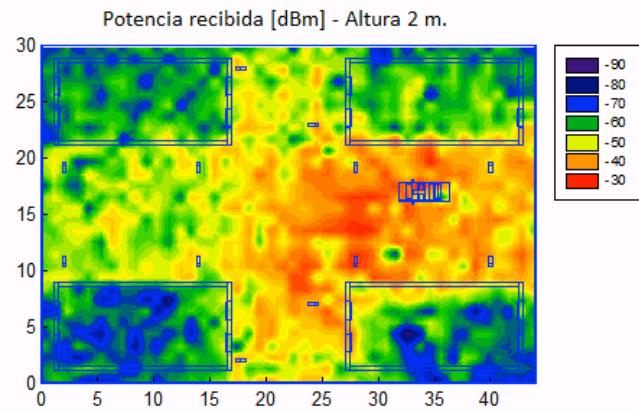


Figura 5.62 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para antena Tx situada en una farola a $x = 28$ m., $y = 11$ m. y $z = 4$ m.

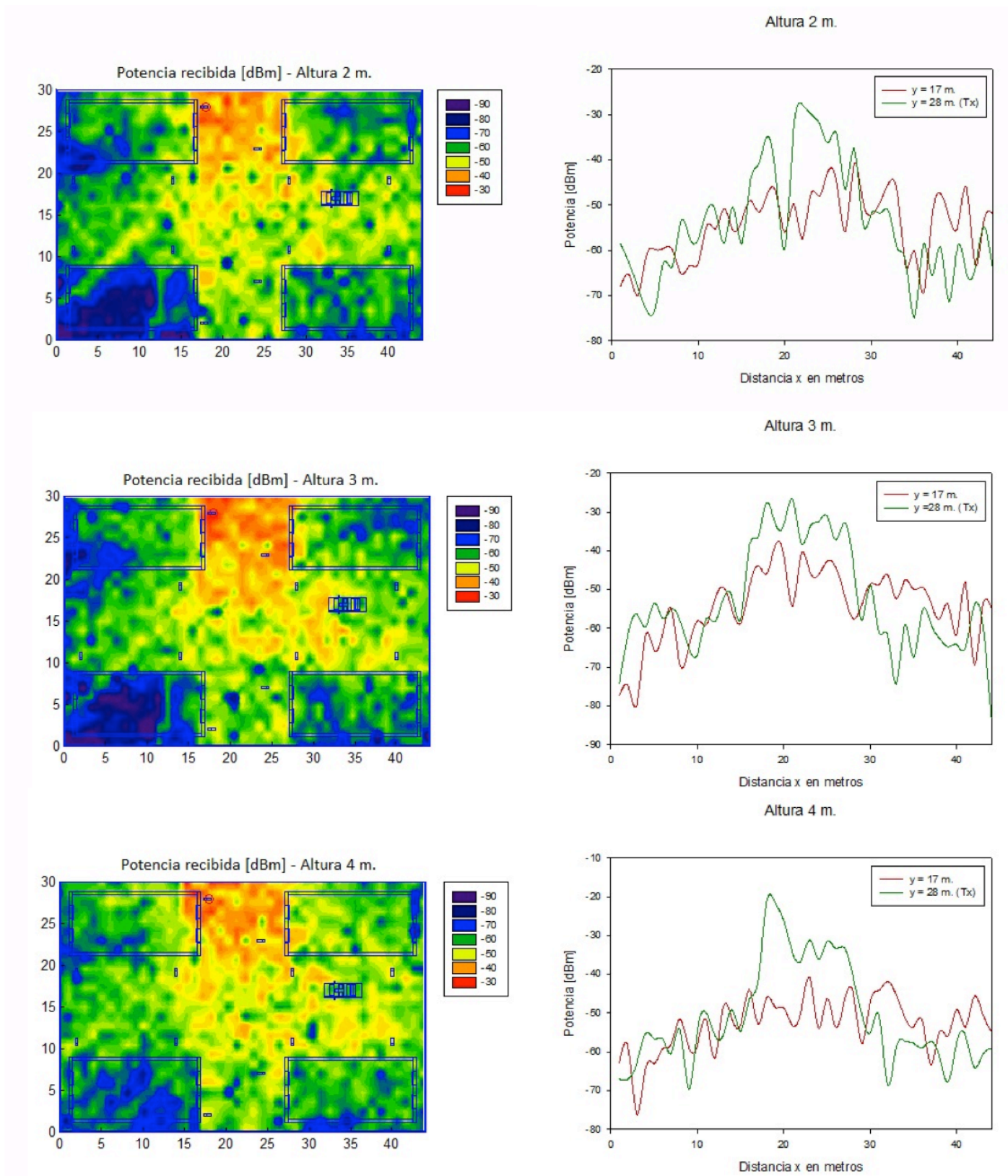


Figura 5.63 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para antena Tx situada en una farola a $x = 18$ m., $y = 28$ m. y $z = 4$ m.

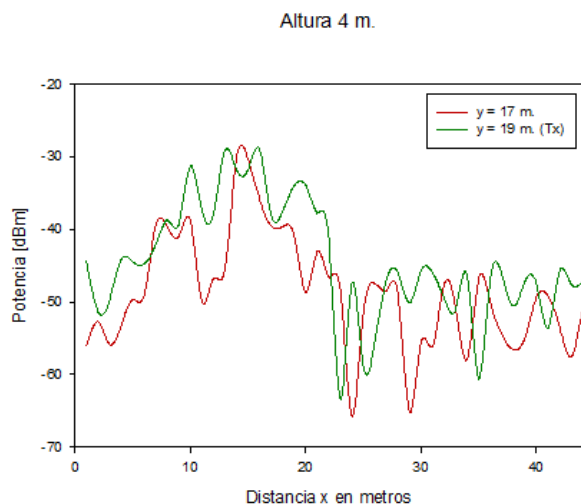
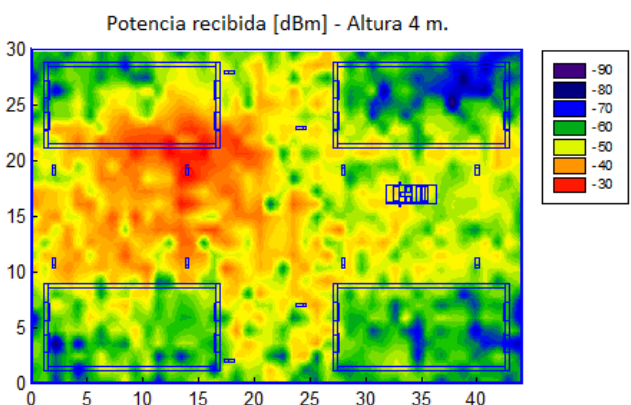
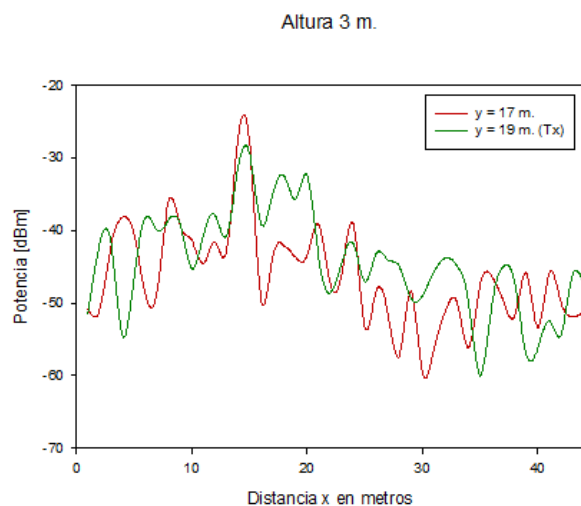
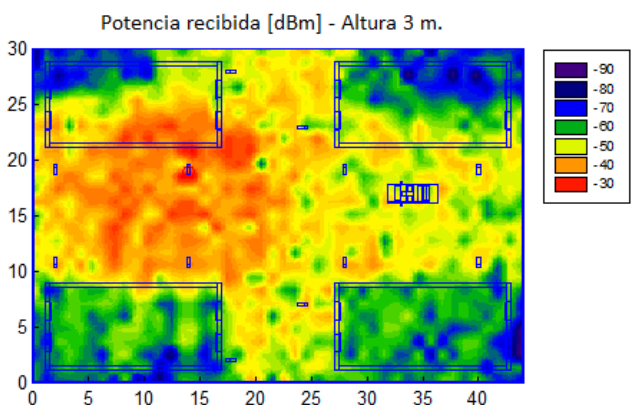
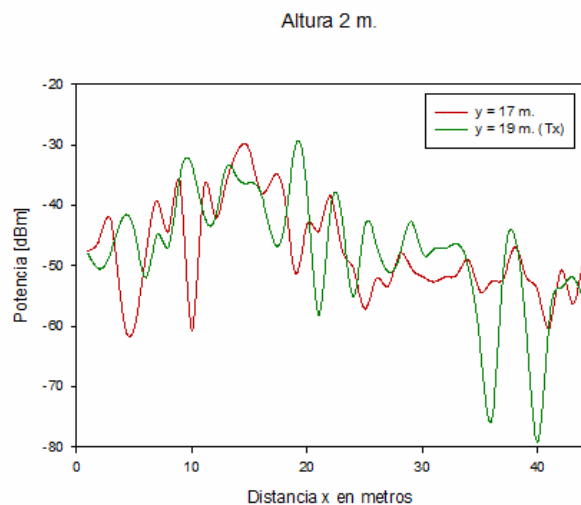
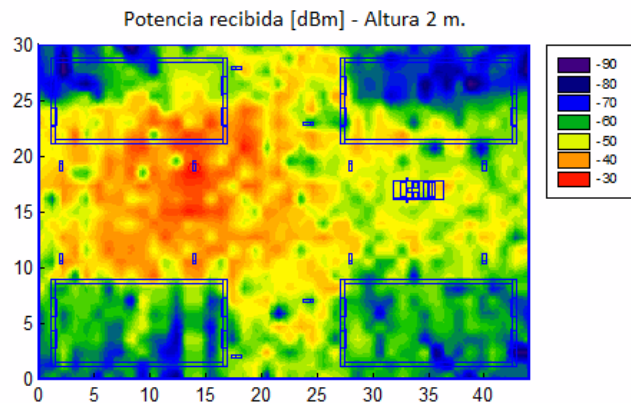


Figura 5.64 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para antena Tx situada en una farola a $x = 14$ m., $y = 11$ m. y $z = 4$ m.

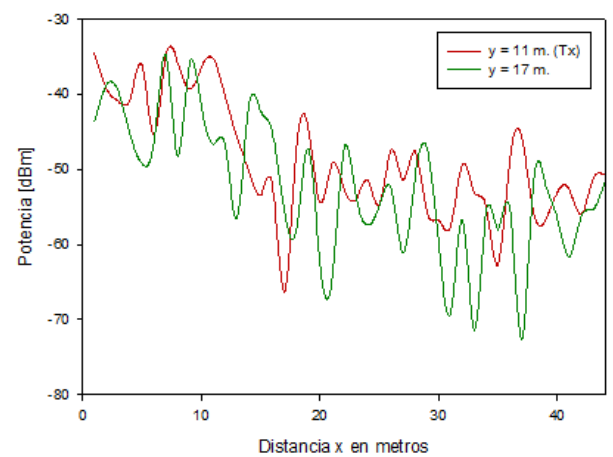
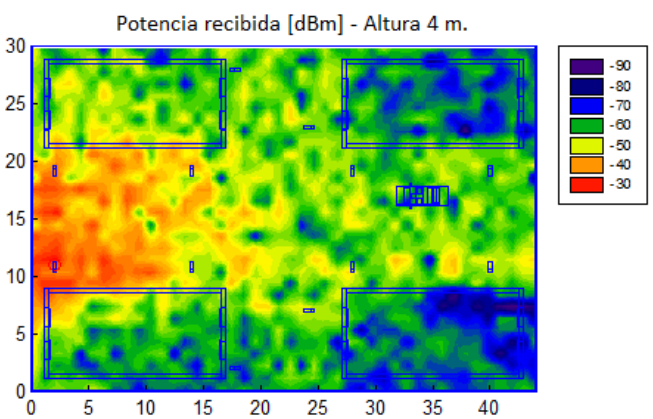
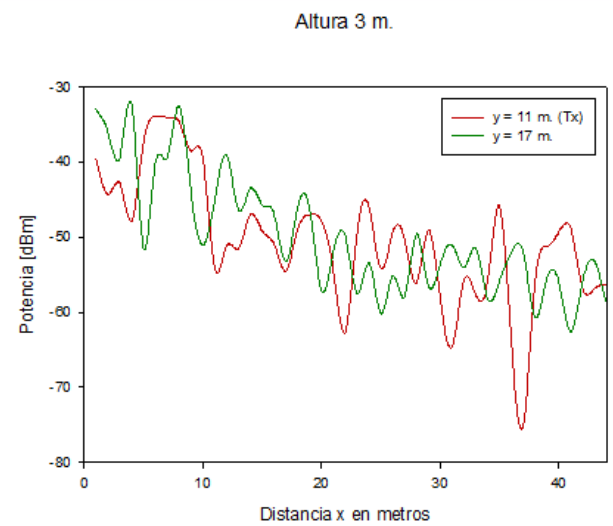
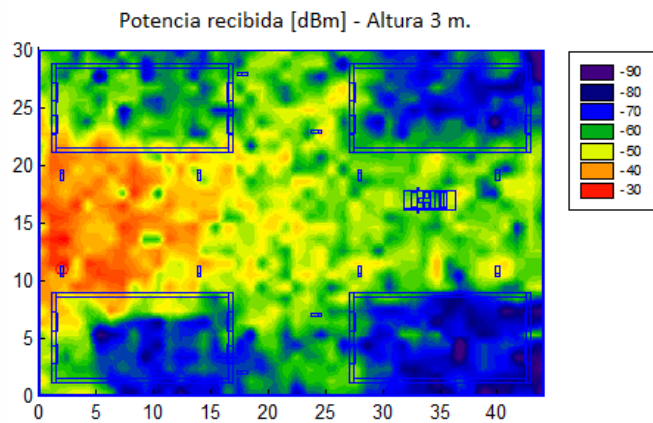
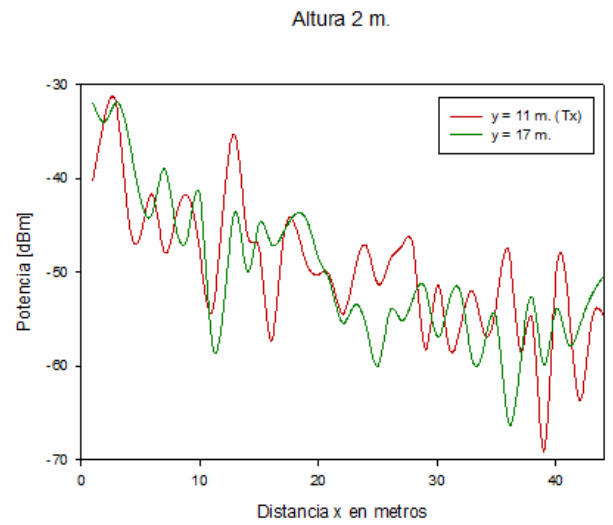
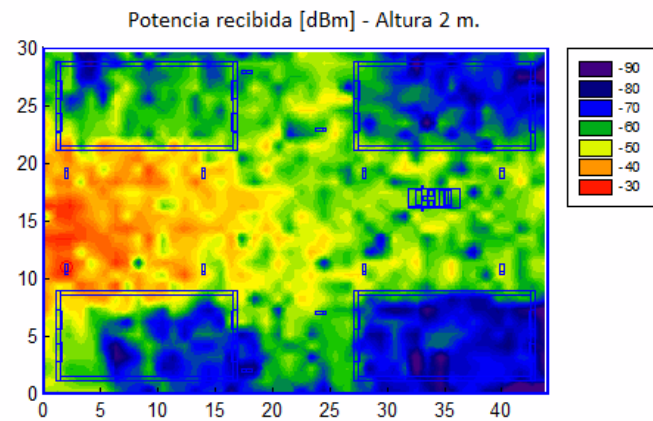


Figura 5.65 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para antena Tx situada en una farola a $x = 2$ m., $y = 11$ m. $y z = 4$ m.

Capítulo

6

6 Conclusiones

De este proyecto se puede concluir que:

- El código de trazado de rayos es mejorable para entornos exteriores ya que ha sido necesario una resolución muy alta para poder representar los resultados y no necesitar un tiempo de ejecución muy alto.
- Para entorno interiores, el código es bastante preciso ya que se ha podido realizar tanto simulaciones con alta resolución como medidas reales que se han podido contrastar.
- El modelo de coche desarrollado es mejorable en diseño pero ofrece unos resultados bastante aproximados a los del medidas reales (en interior)
- También se aprecia que es complicado determinar la posición de la antena emisora óptima y más al tratar escenarios exteriores.
- Los escenarios simulados son bastantes sencillos aunque sirven para hacerse una idea de la calidad de recepción.

Capítulo

7

7 Líneas futuras

La evolución del trabajo ofrece numerosas posibilidades de desarrollo más complejas:

- Ampliación del rango frecuencial tales como WLAN 802.11p destinado a la comunicación intervehicular.
- Consideración de movimiento del modelo de coche desarrollado.
- Nuevos modelos de objetos: Añadidura de nuevos elementos en el entorno exterior y/o de precisión de los ya diseñados (por ejemplo del coche)
- Nuevos escenarios de simulación: Creación de escenarios más realistas a partir de los modelos de objetos.
- Aumentar la complejidad de los escenarios: Comprobación de la interacción con más vehículos y con más objetos llegando a escenarios mucho más realistas.
- Comprobación de interferencias con otras tecnologías inalámbricas.
- Variación de la antena transmisora en varios puntos del vehículo.

Capítulo

8

8 Bibliografía

[1] Miquel Font Roselló. Material extraído de iTunes U de la Universidad Oberta de Catalunya.

[2] www.bluetooth.com

[3] www.zigbee.org

[4] Shahin Farahani. ZigBee wireless networks and transceivers.

[5] William Stallings. Comunicaciones y redes de computadores. Pearson – Prentice Hall.

[6] <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>

[7] T.S. Rappaport. Wireless communications principles and practices. Prentice Hall.

[8] J.M Hernando Rábanos. Transmisión por radio. Editorial Centro de estudios Ramón Areces, S.A.

[9] WAVE: A Tutorial. Varios. IEEE Communications Magazine.

[10] WLAN 802.11p Measurements for V2V DSRC. Application Note. Rohde & Schwarz.

[11] Car-to-Car Communication Consortium. www.car-to-car.org

[12] The European Telecommunications Standards Institute (ETSI) www.etsi.org

[13] CALM (Communication Air-Interference, Long and Medium Range) www.calm.hu

[14] Varios. Vehicular communications systems: enabling technologies, applications and future outlook on Intelligent Transportation. IEEE Communication Magazine.

Capítulo

9

9 Anexos

- A. Resultados adicionales.
- B. Códigos.
- C. Instrumentación.
- D. Publicaciones.

ANEXO A.

Resultados adicionales

A1. Ampliación resultados de apartado 5.1.1

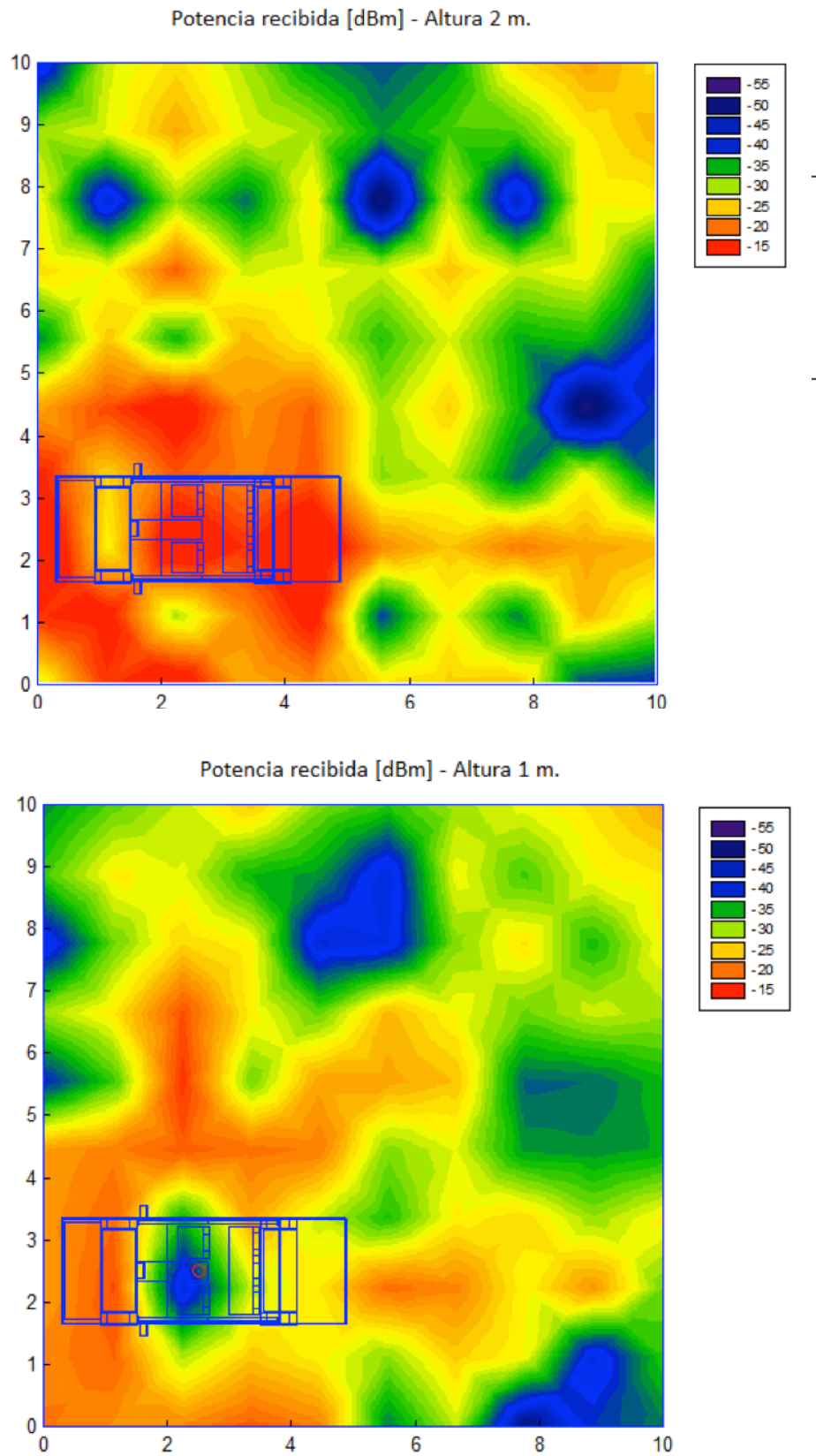
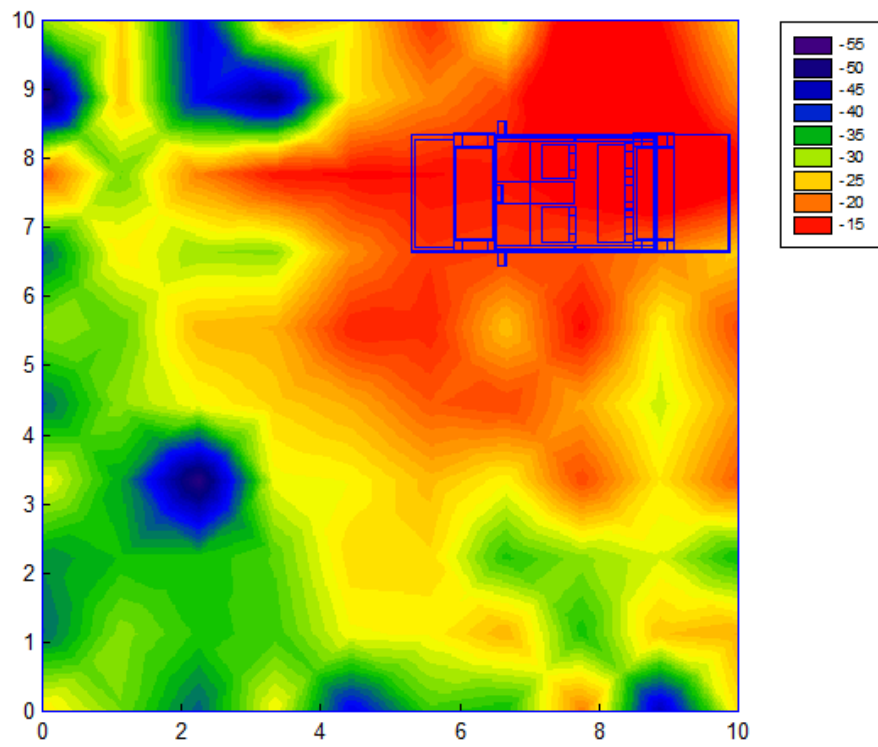
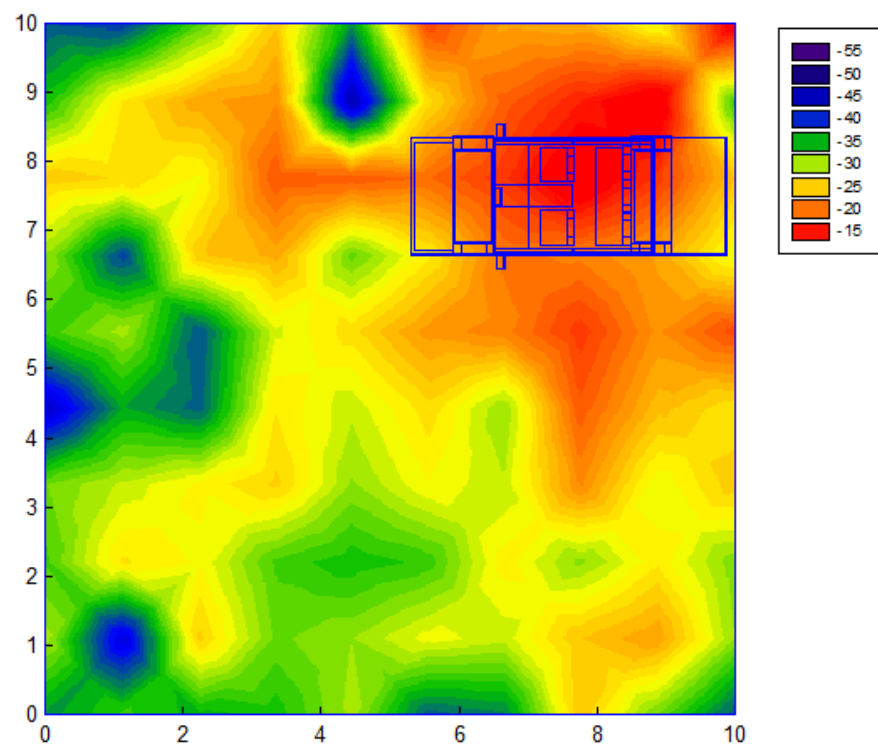


Figura A1.1 Gráficas de potencia recibida para alturas de un metro y dos metros cuando $x = 2.5$ m. e $y = 2.5$ m.

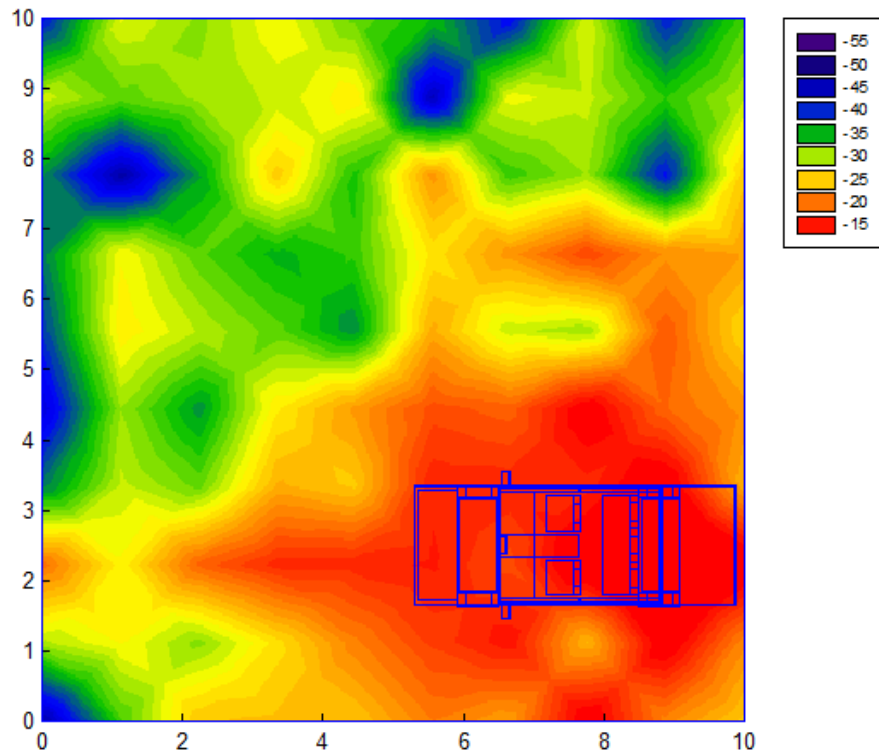
Potencia recibida [dBm] - Altura 2 m.



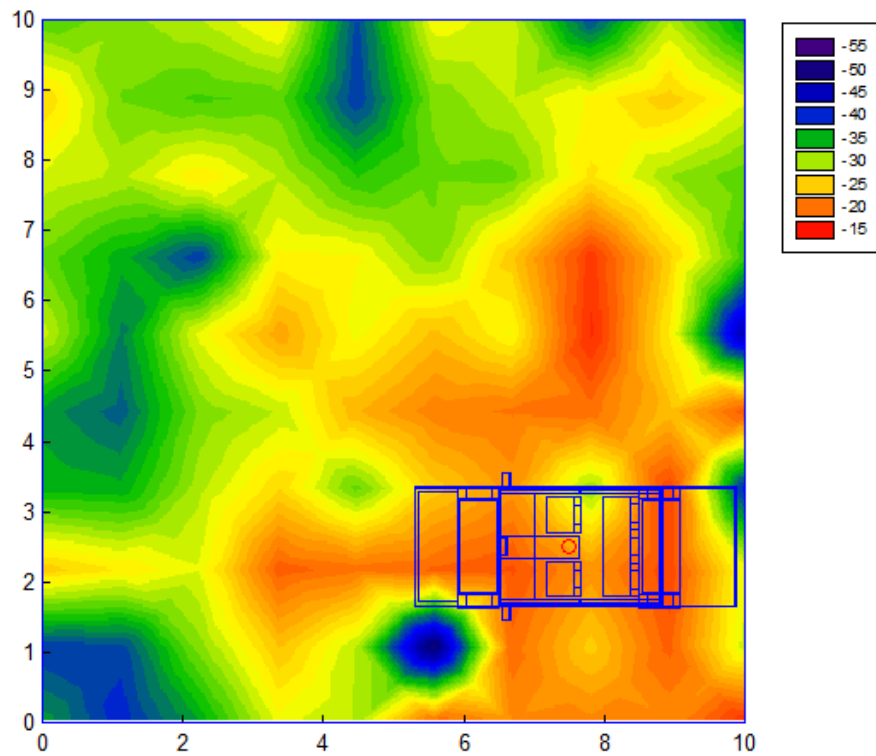
Potencia recibida [dBm] - Altura 1 m.



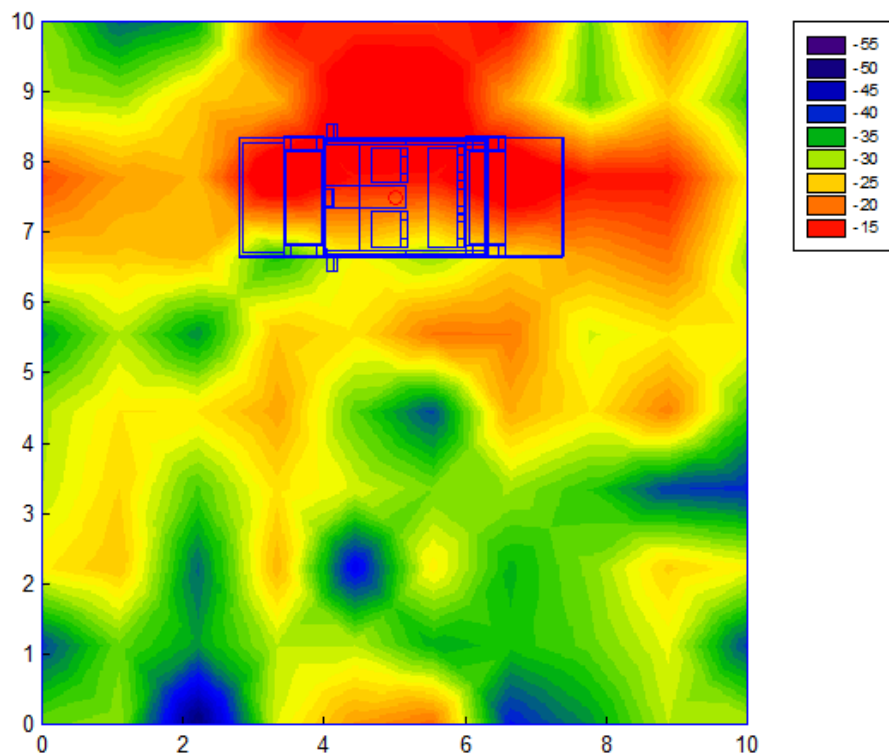
Potencia recibida [dBm] - Altura 2 m.



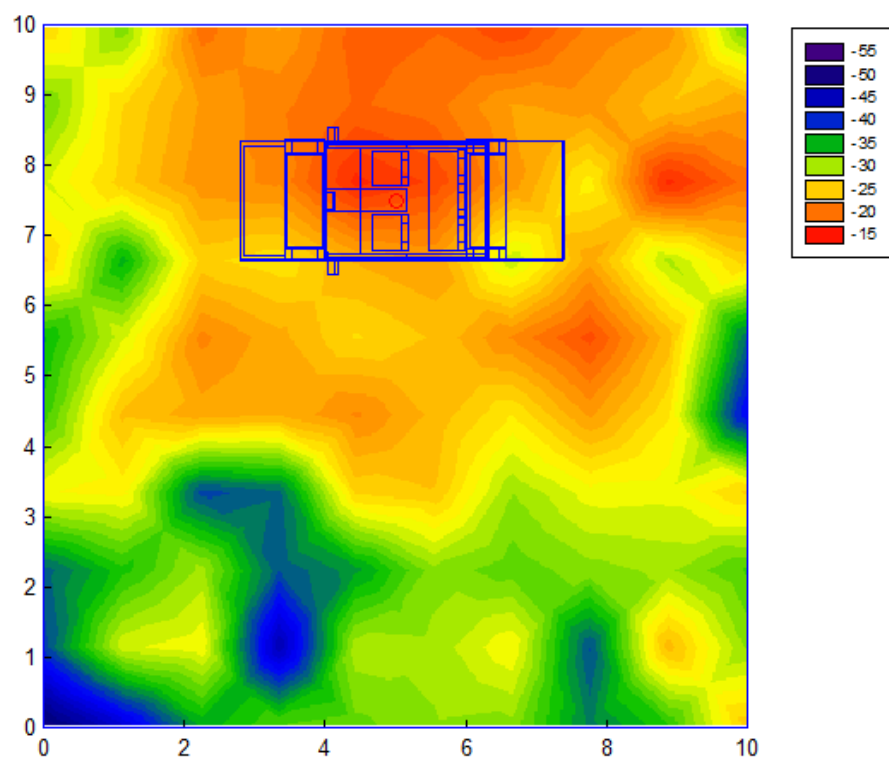
Potencia recibida [dBm] - Altura 1 m.



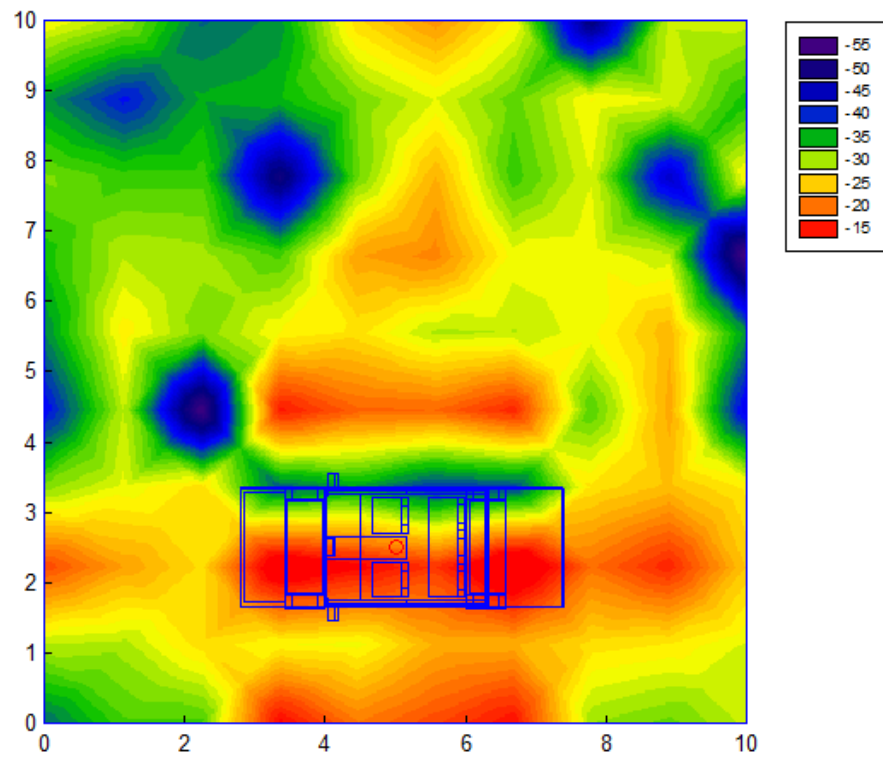
Potencia recibida [dBm] - Altura 2 m.



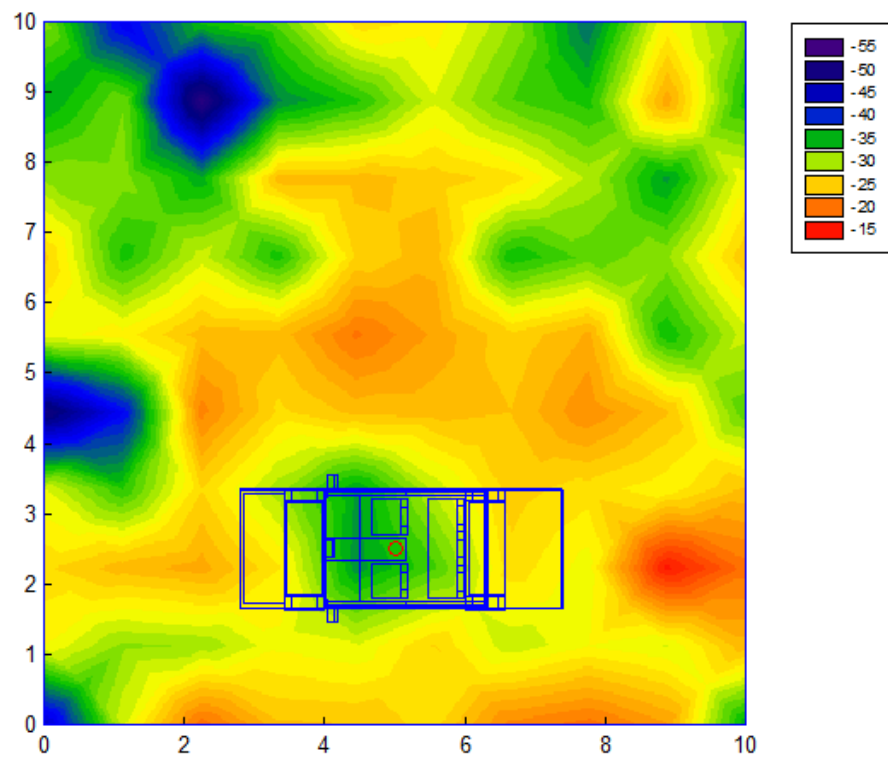
Potencia recibida [dBm] - Altura 1 m.



Potencia recibida [dBm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dBm] - Altura 1 m.



A2. Ampliación resultados de apartado 5.1.2

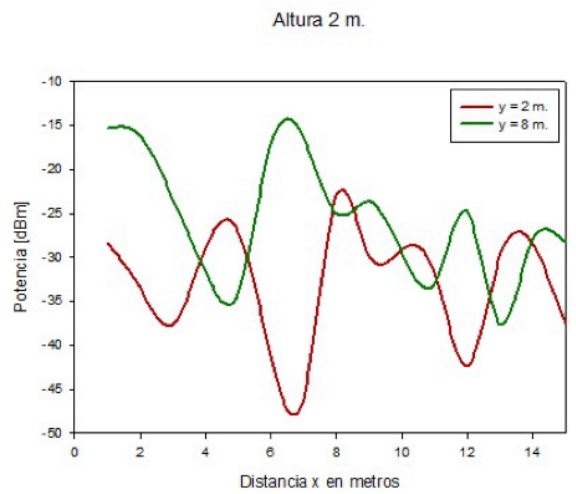
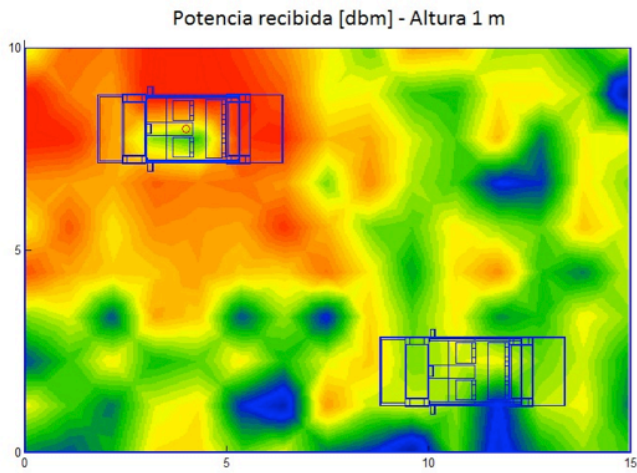
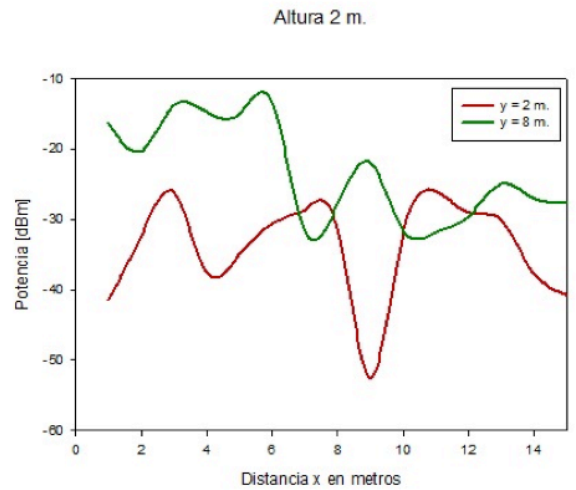
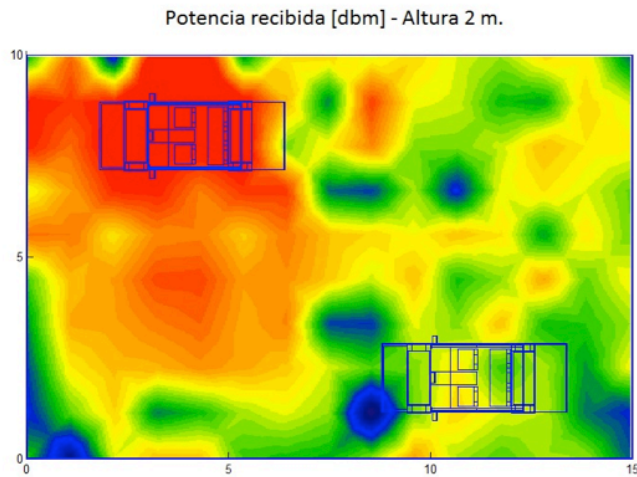


Figura A2.1 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en $x = 4$ m. e $y = 8$ m.

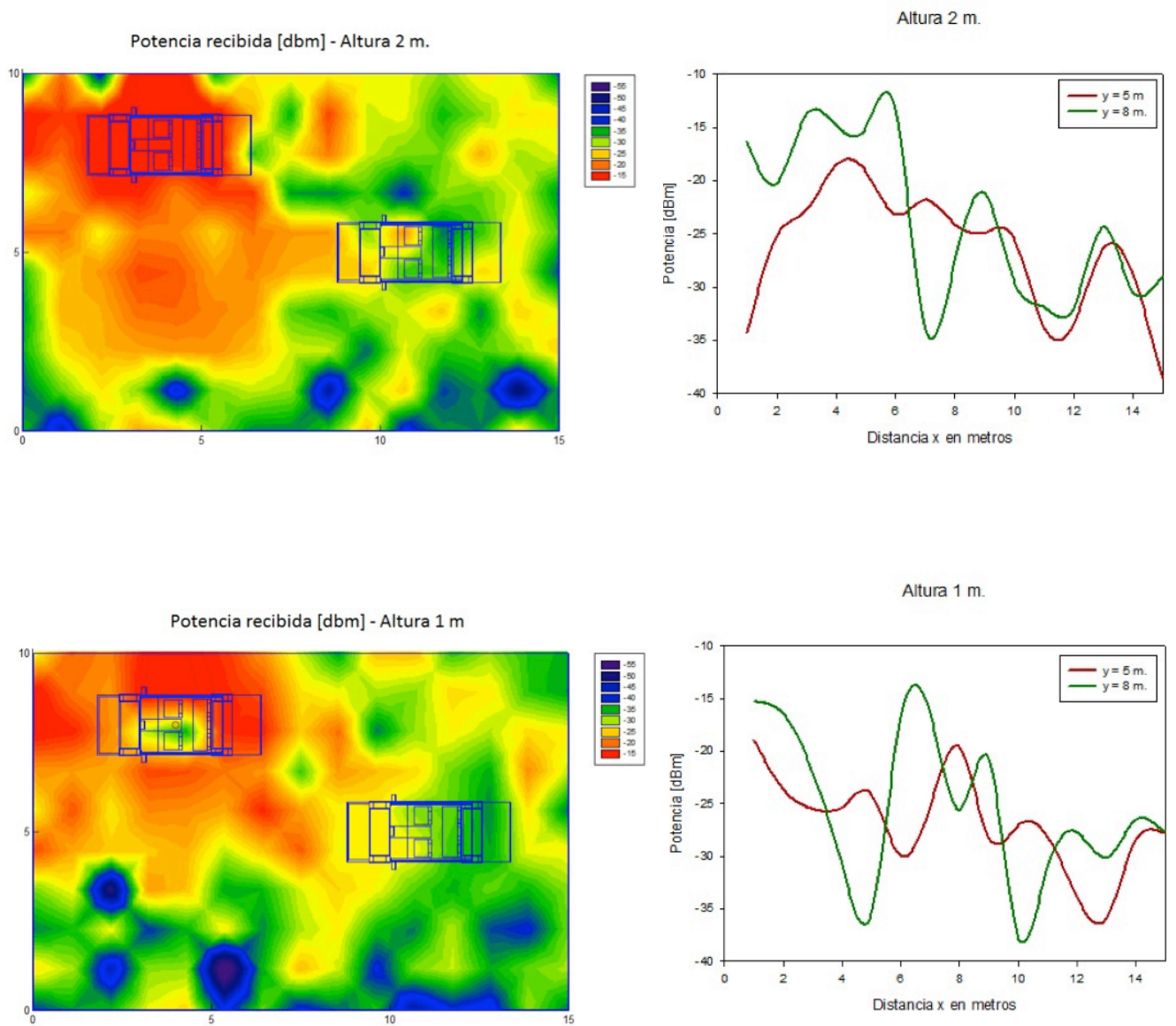


Figura A2.2 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en $x = 4$ m. e $y = 8$ m.

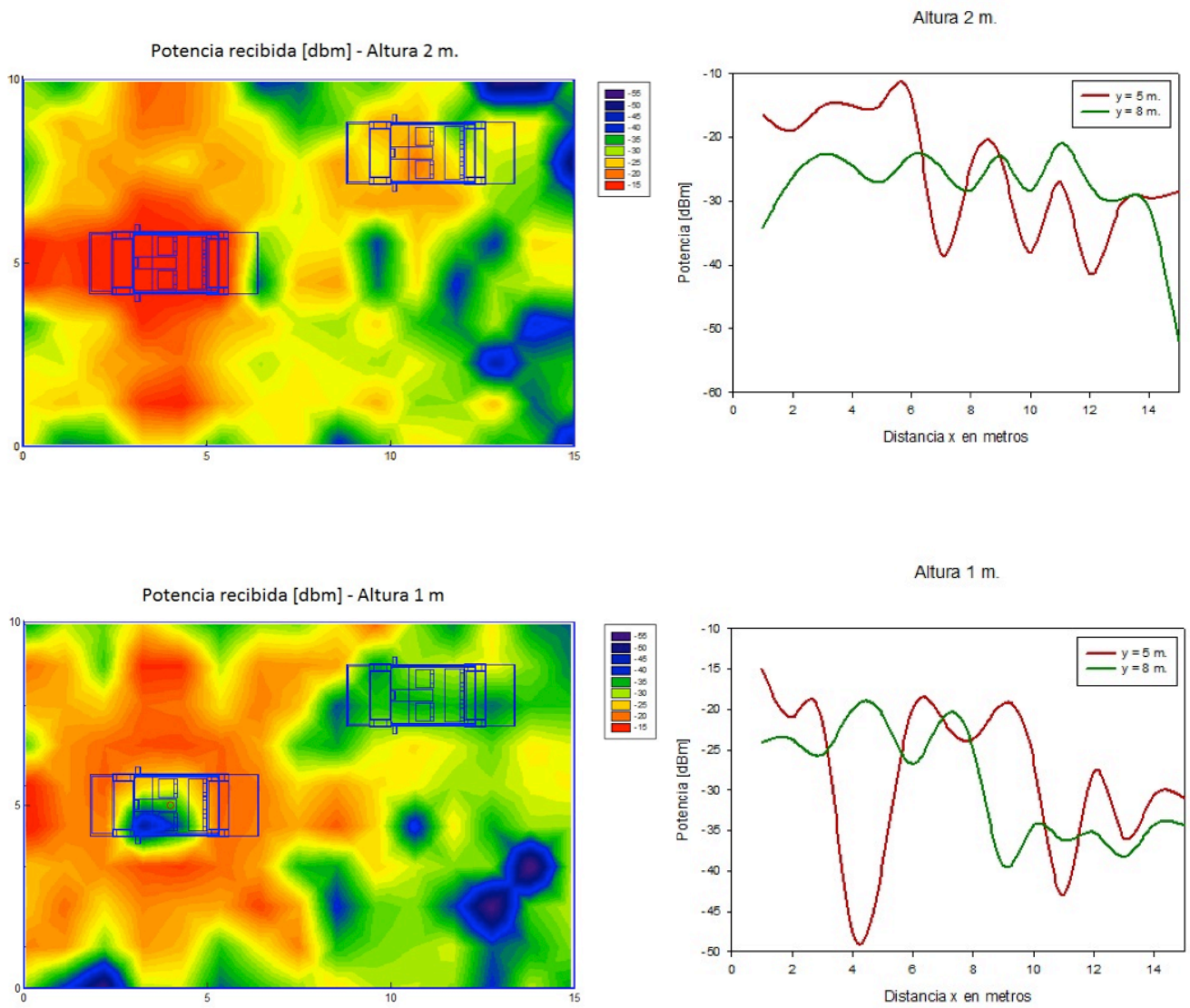


Figura A2.3 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en $x = 4$ m. e $y = 5$ m.

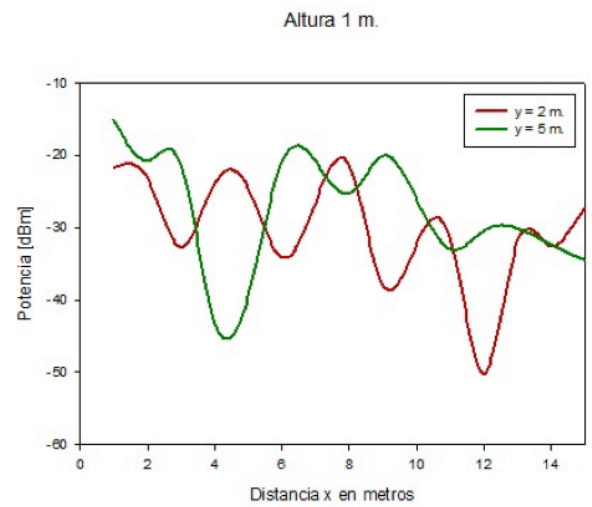
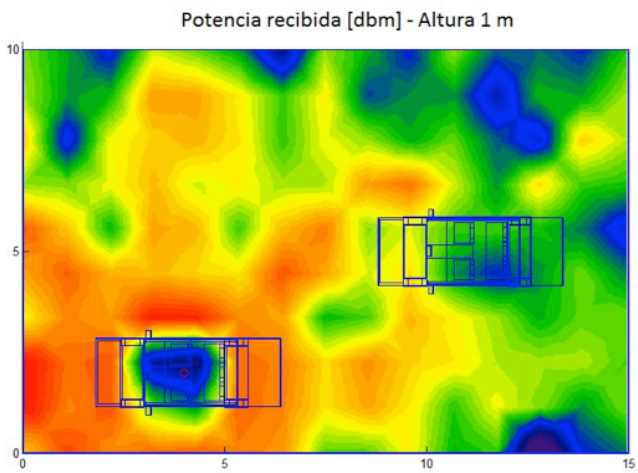
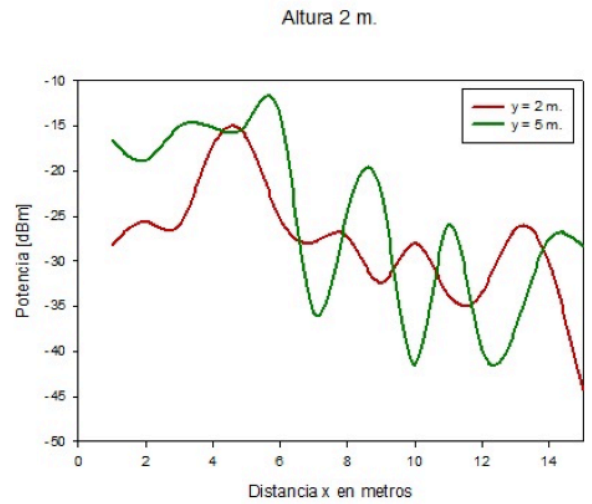
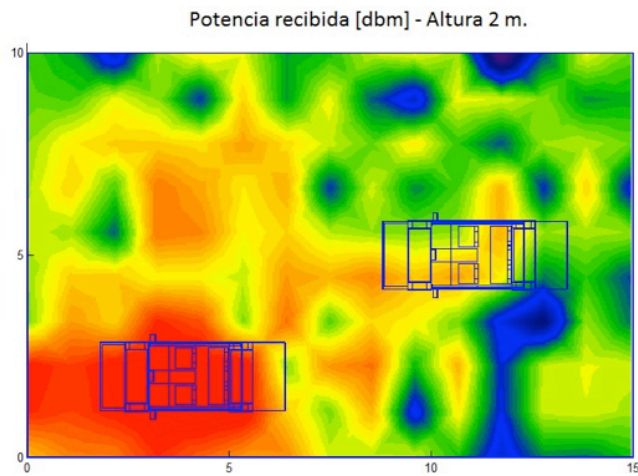


Figura A2.4 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en $x = 4$ m. e $y = 2.5$ m.

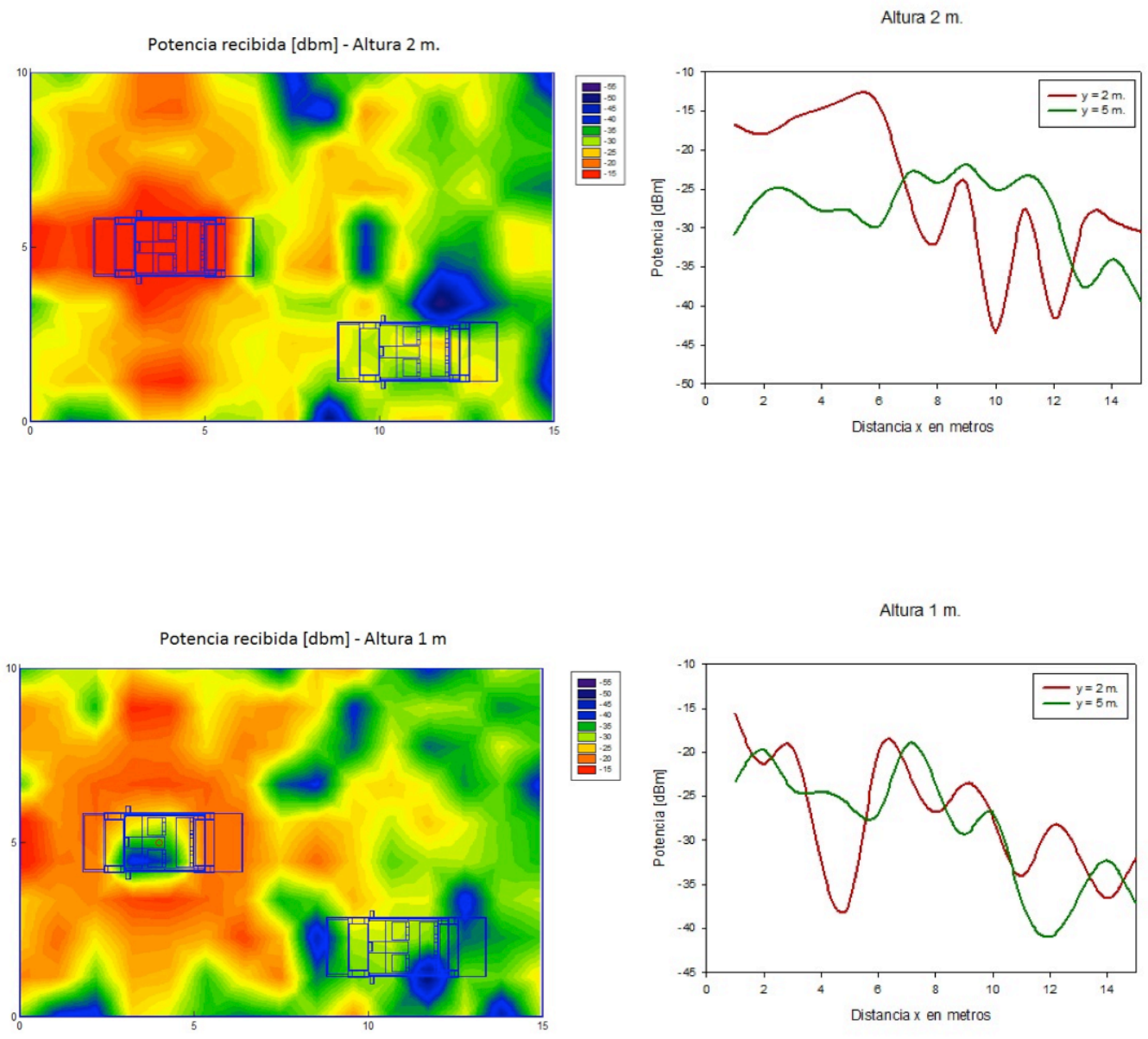
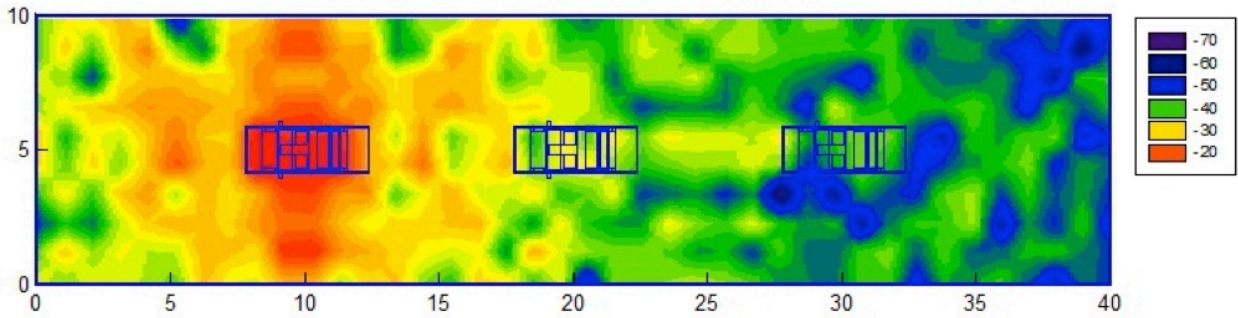


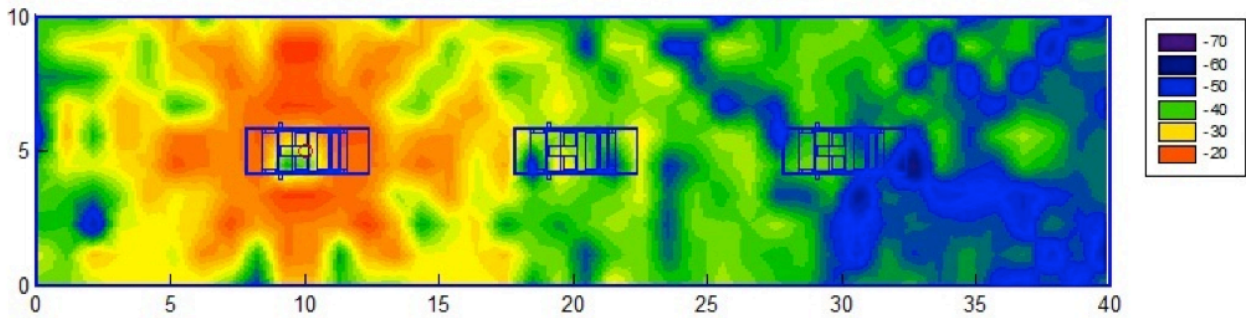
Figura A2.5 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en $x = 4$ m. e $y = 5$ m.

A3. Ampliación resultados de apartado 5.1.3

Potencia recibida [dbm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dbm] - Altura 1 m.



Altura 2 m.

Altura 1 m.

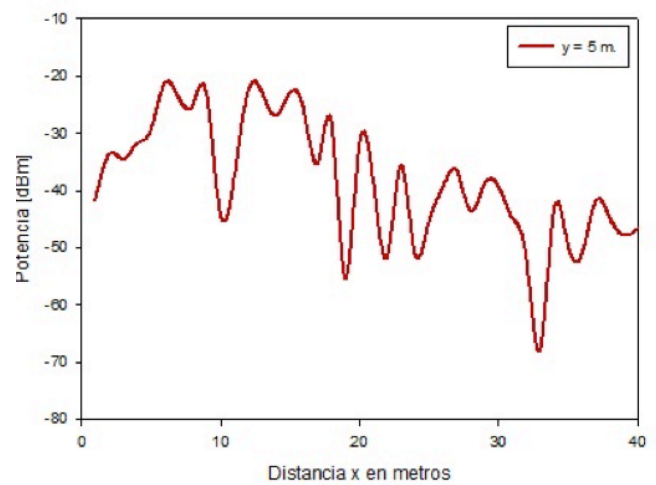
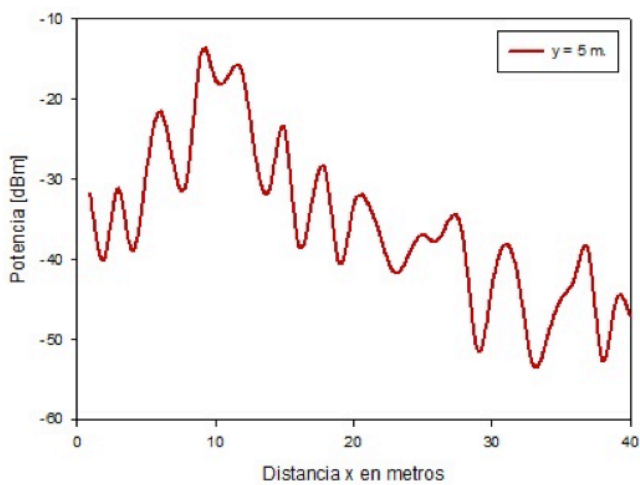
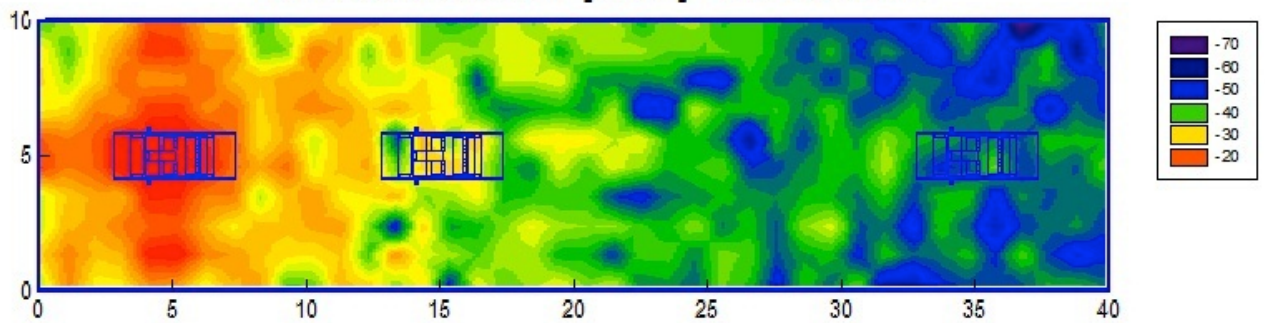
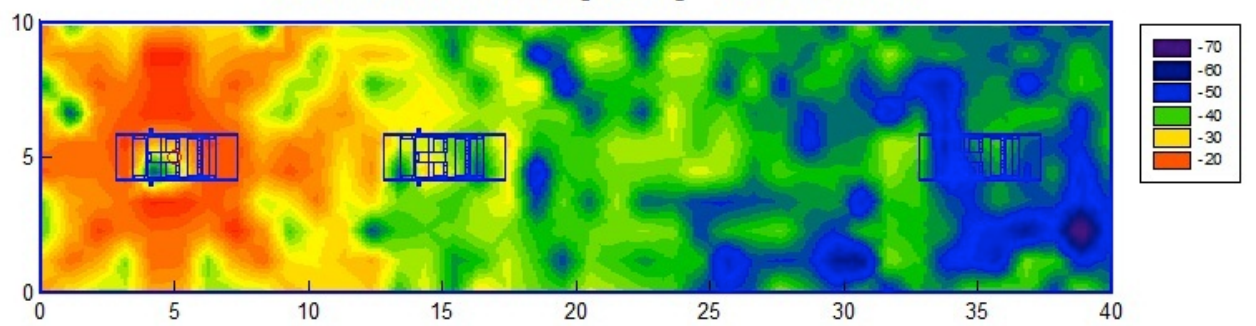


Figura A3.1 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en $x = 10$ m. e $y = 5$ m.

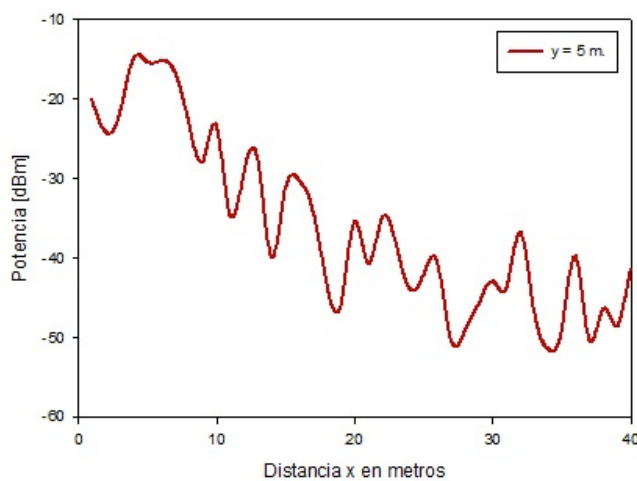
Potencia recibida [dbm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dbm] - Altura 1 m.



Altura 2 m.



Altura 1 m.

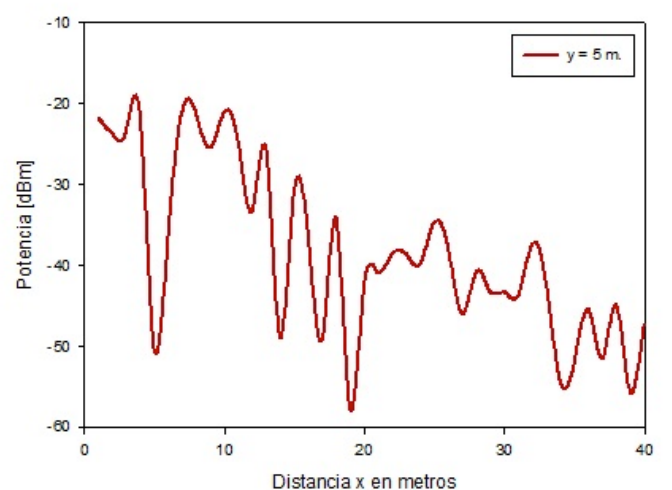
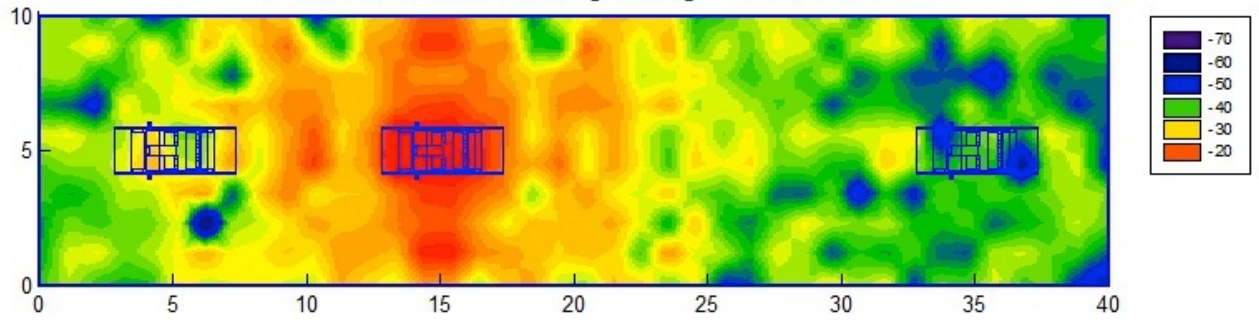
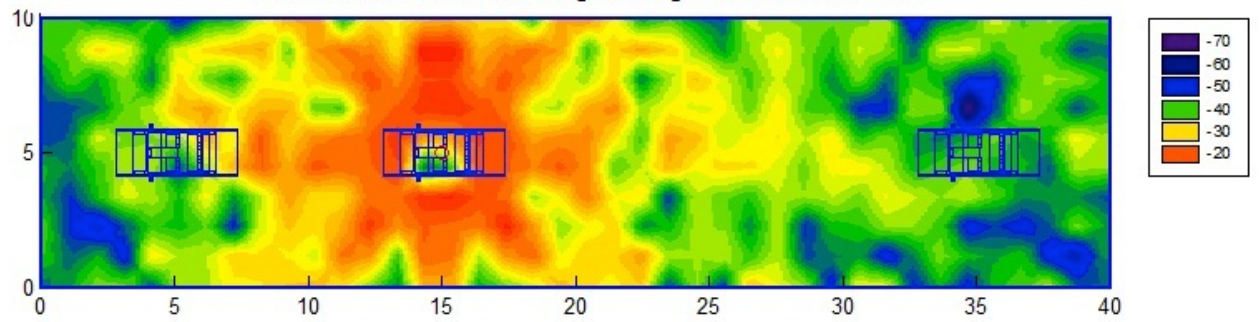


Figura A3.2 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en $x = 10$ m. e $y = 5$ m.

Potencia recibida [dbm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dbm] - Altura 1 m.



Altura 2 m.

Altura 1 m.

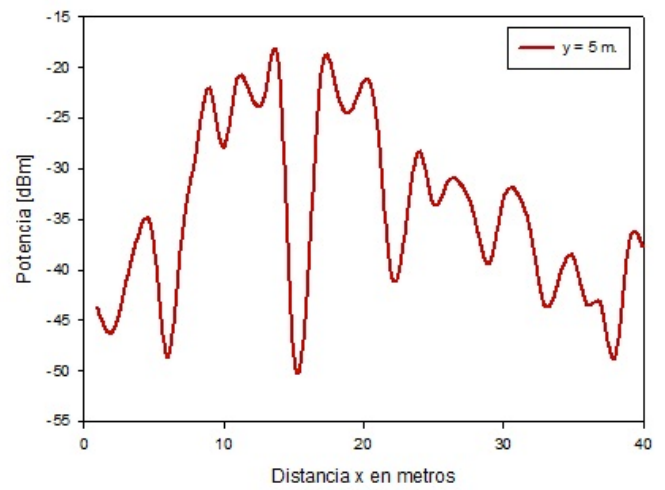
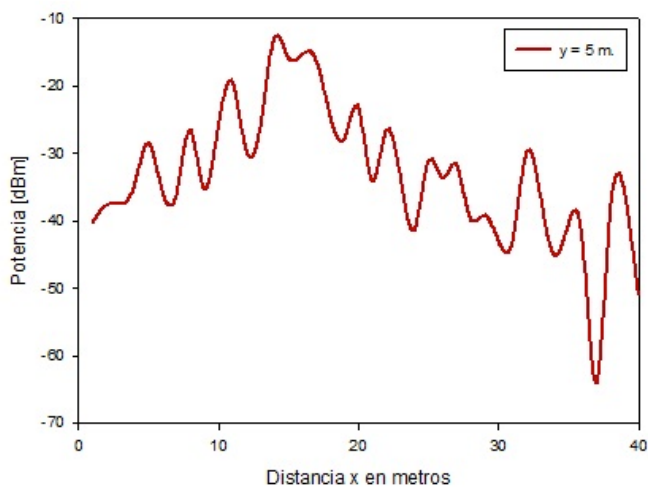
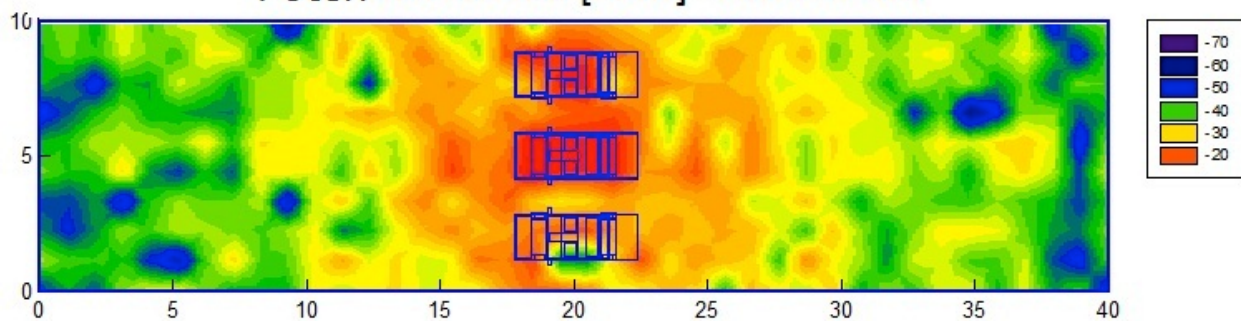
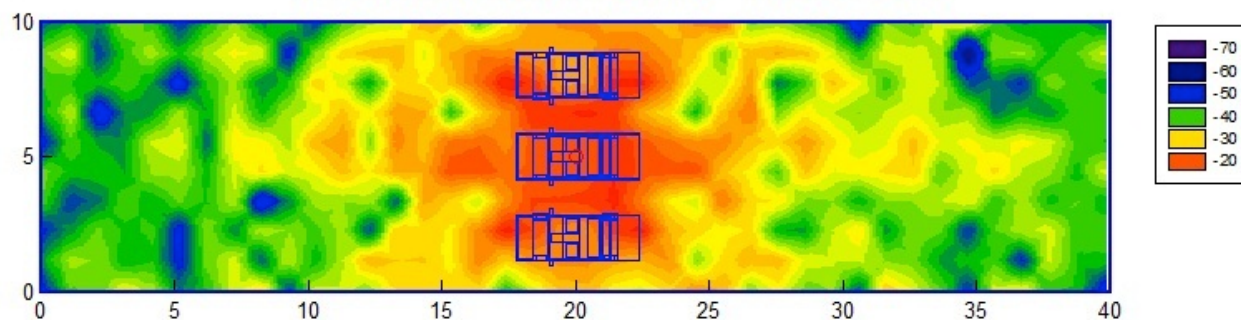


Figura A3.3 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en $x = 15$ m. e $y = 5$ m.

Potencia recibida [dbm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dbm] - Altura 1 m.



Altura 2 m.

Altura 1 m.

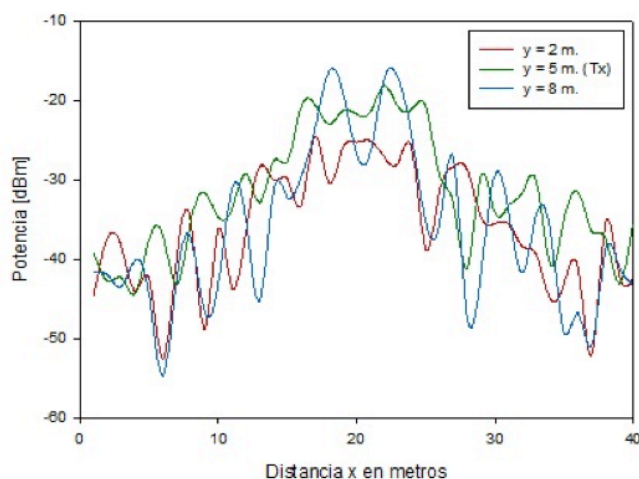
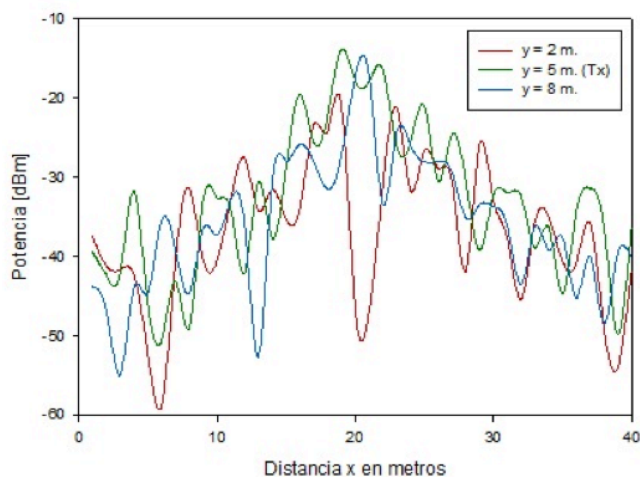
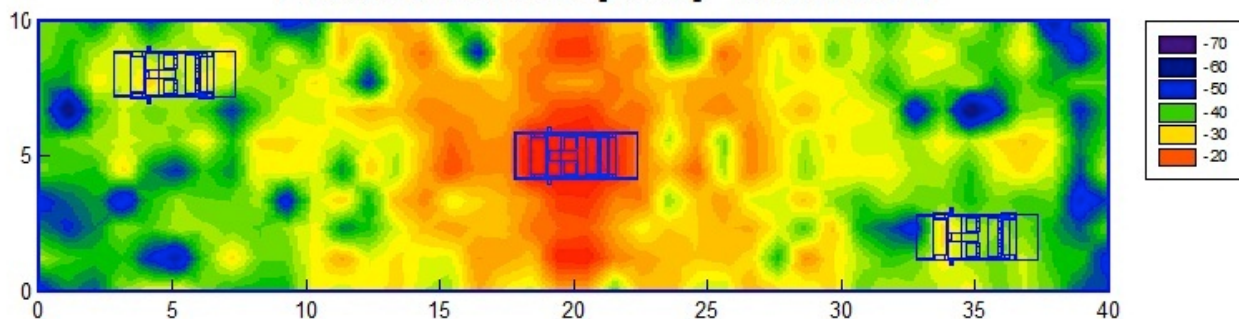
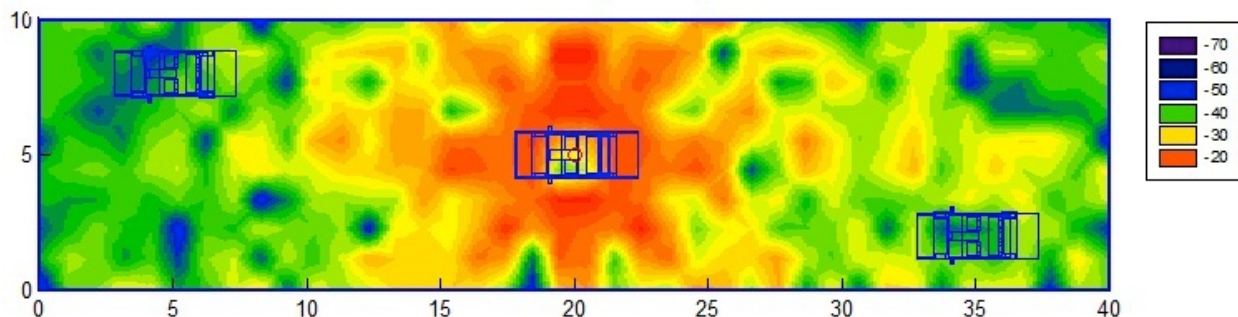


Figura A3.4 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en $x = 20$ m. e $y = 5$ m.

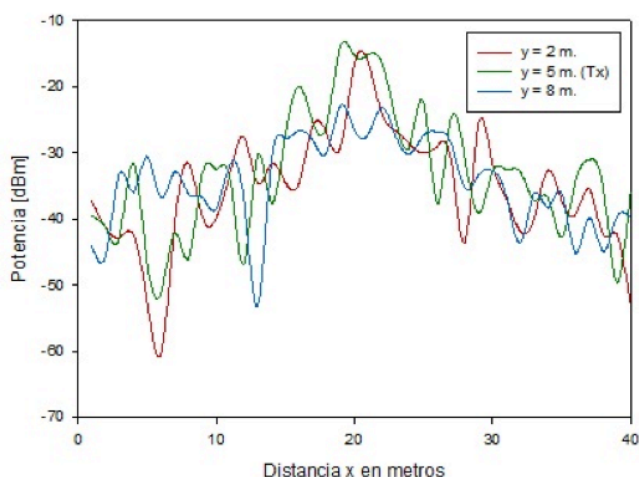
Potencia recibida [dbm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dbm] - Altura 1 m.



Altura 2 m.



Altura 1 m.

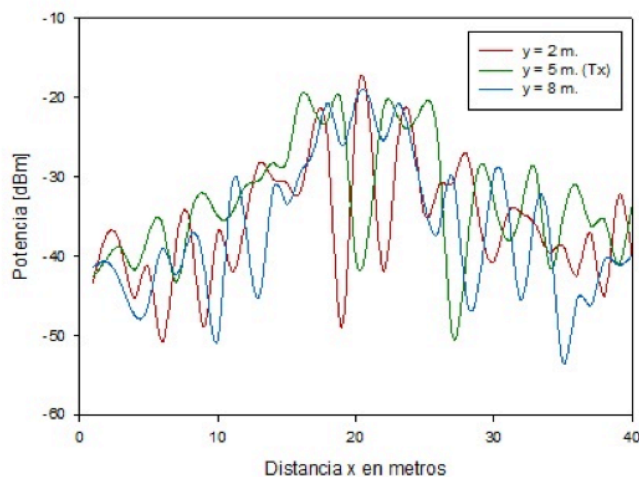
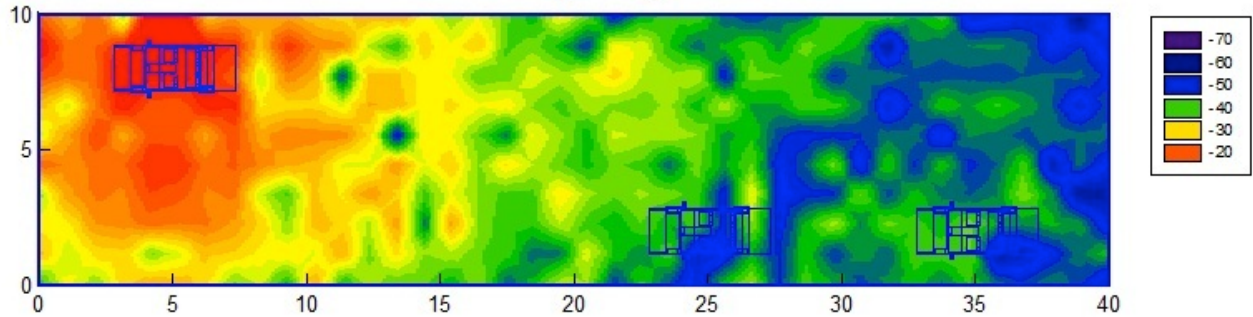
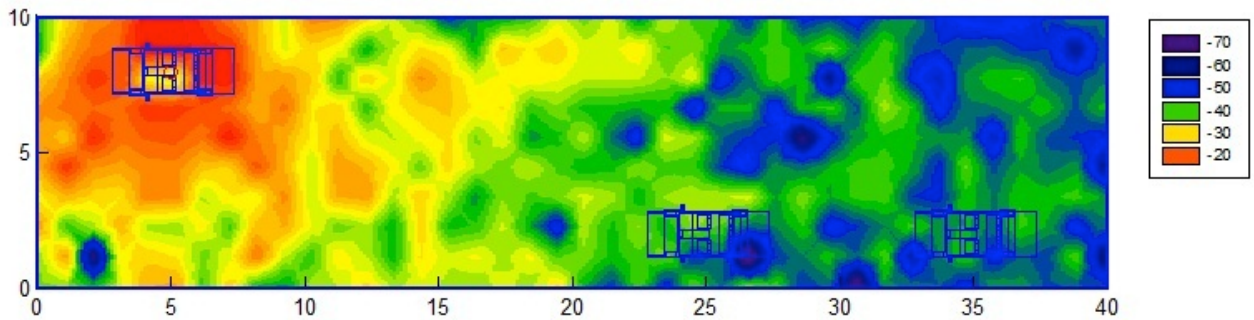


Figura A3.5 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en $x = 10$ m. e $y = 5$ m.

Potencia recibida [dbm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dbm] - Altura 1 m.



Altura 2 m.

Altura 1 m.

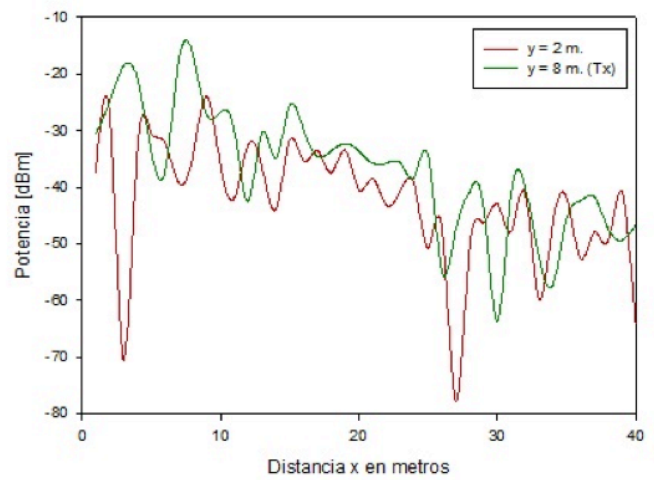
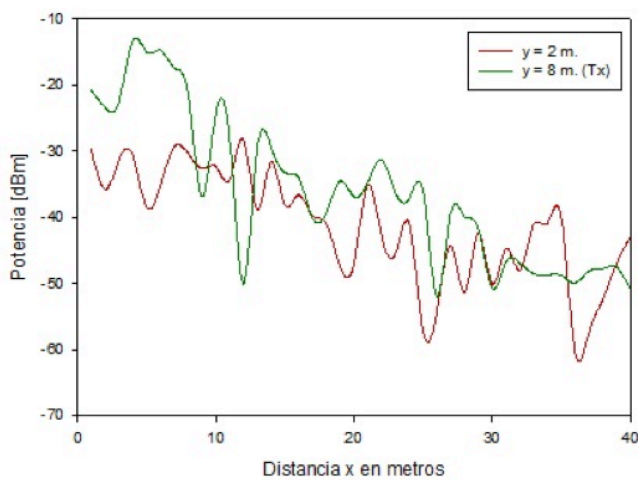
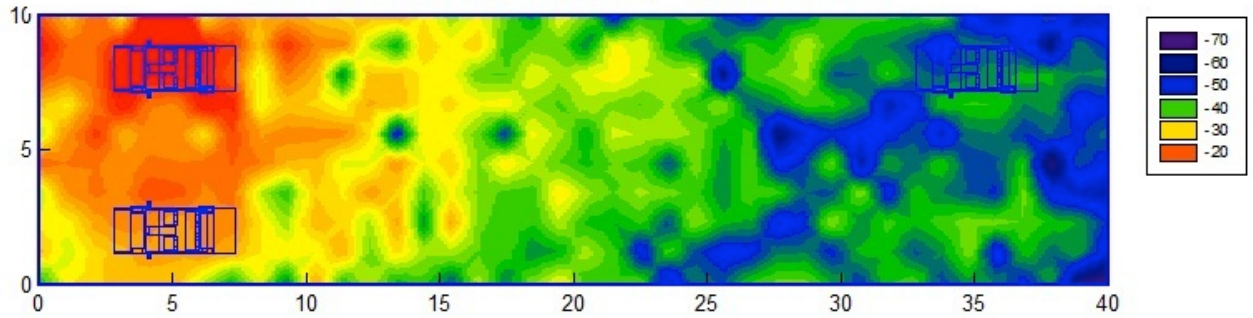
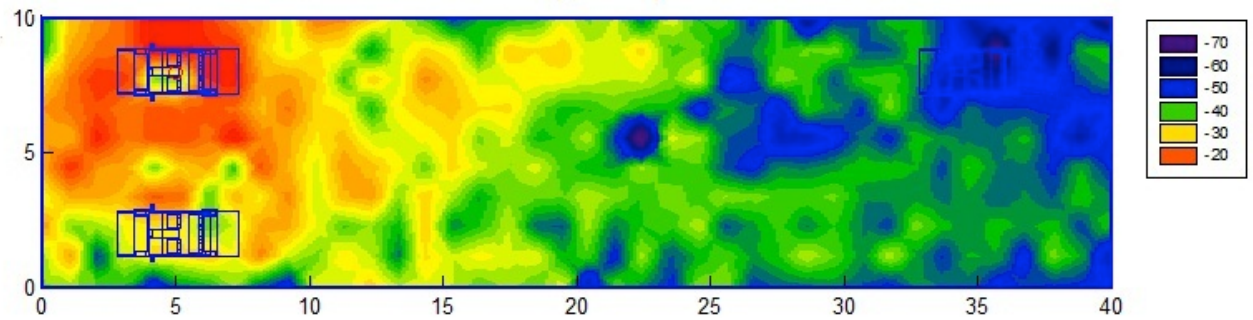


Figura A3.6 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en $x = 5$ m. e $y = 8$ m.

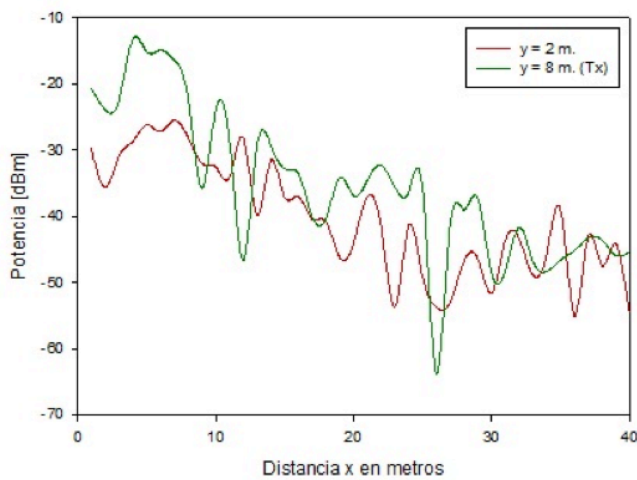
Potencia recibida [dbm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dbm] - Altura 1 m.



Altura 2 m.



Altura 1 m.

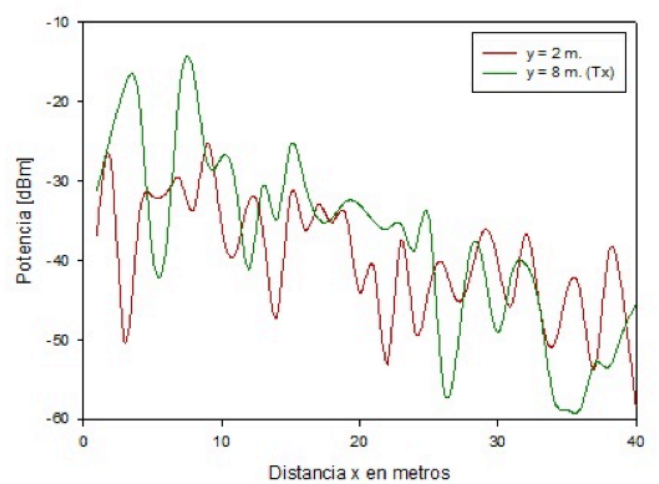
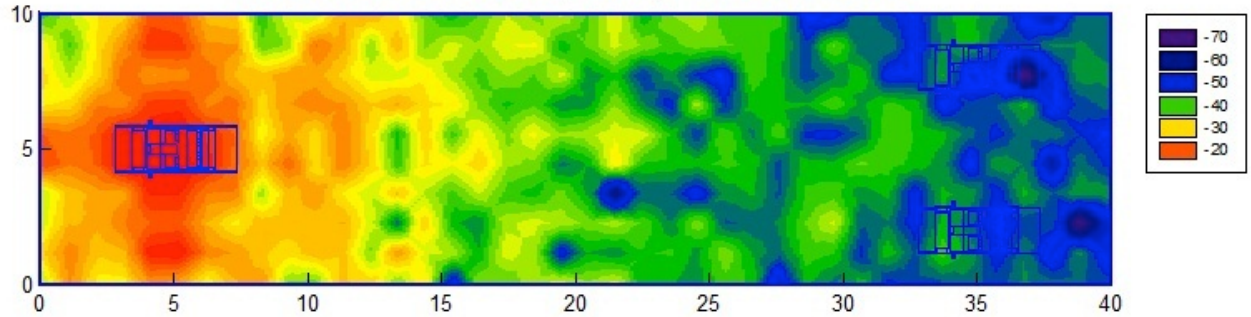
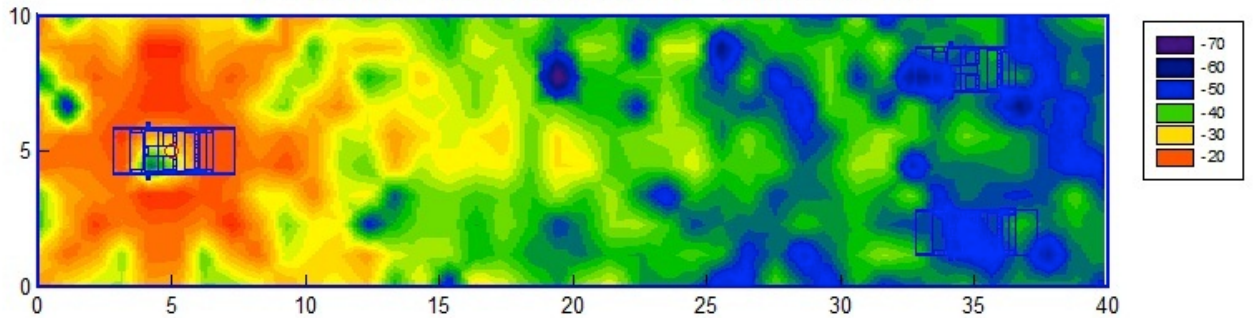


Figura A3.7 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en x = 5 m. e y = 8 m.

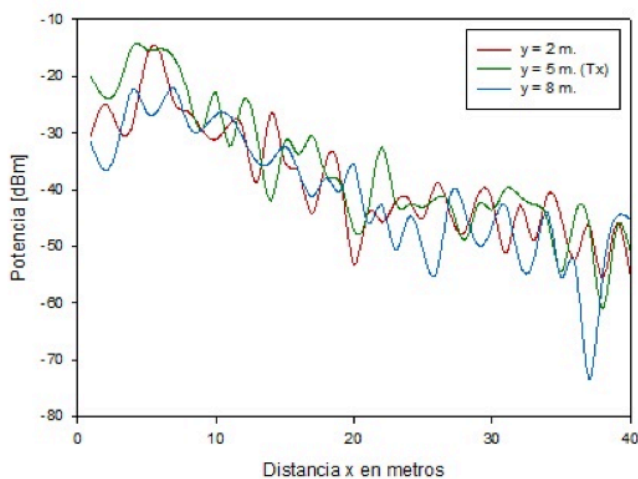
Potencia recibida [dbm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dbm] - Altura 1 m.



Altura 2 m.



Altura 1 m.

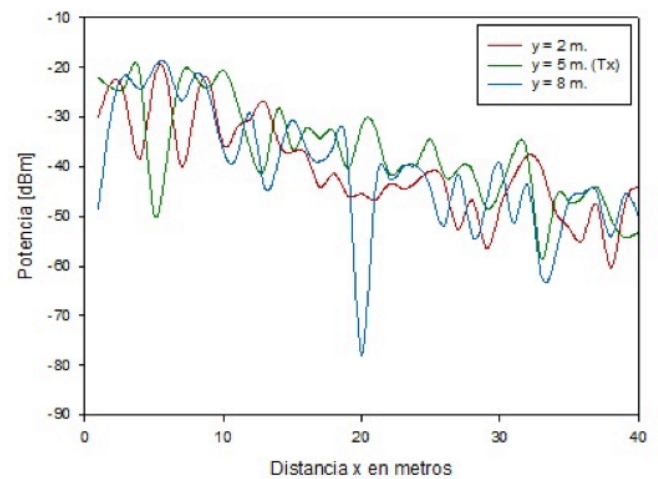
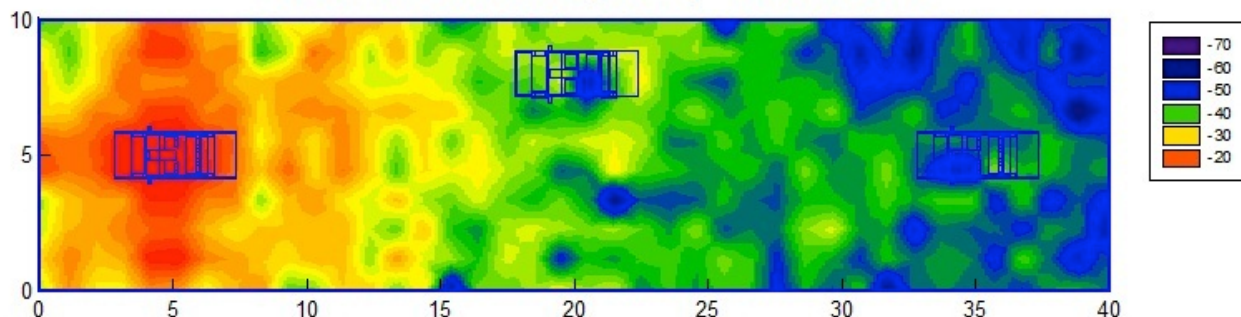
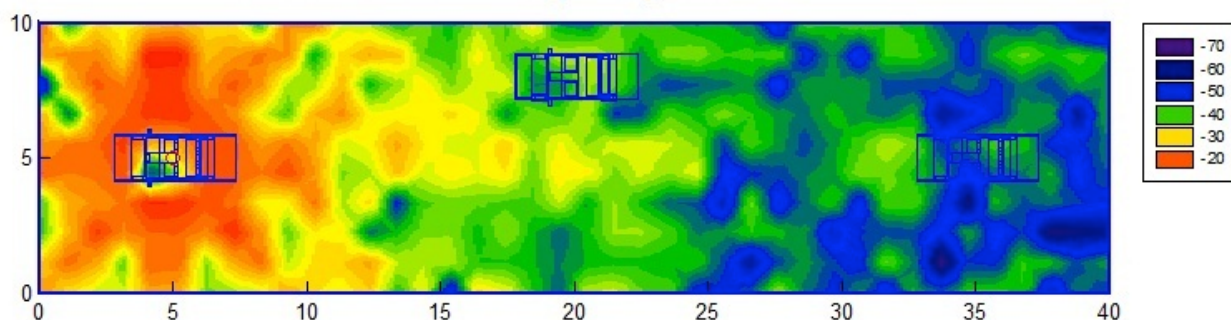


Figura A3.8 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en x = 5 m. e y = 5 m.

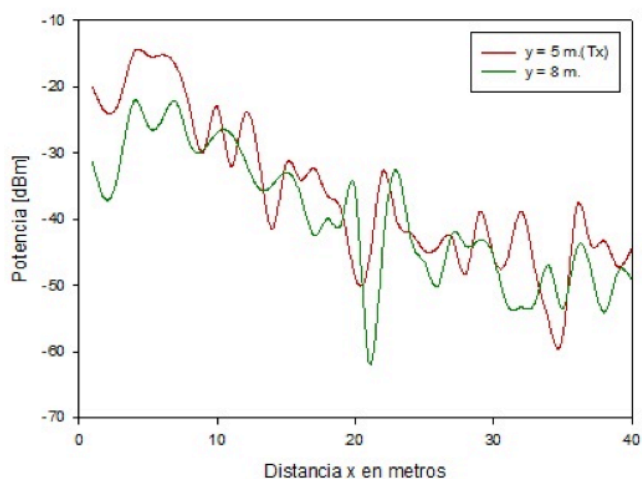
Potencia recibida [dbm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dbm] - Altura 1 m.



Altura 2 m.



Altura 1 m.

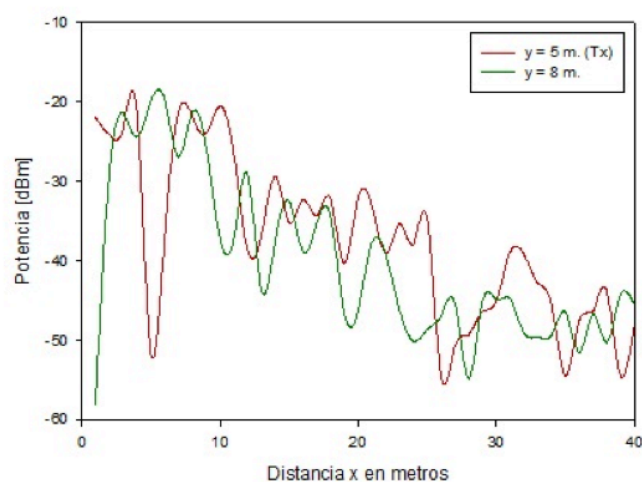
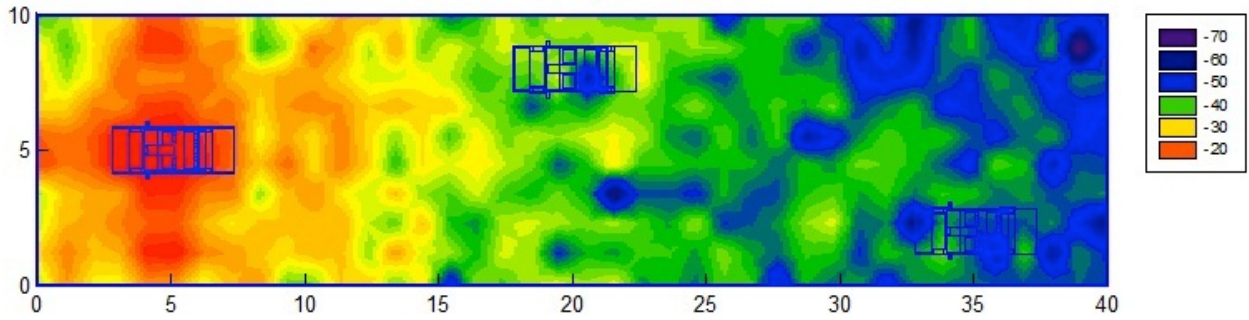
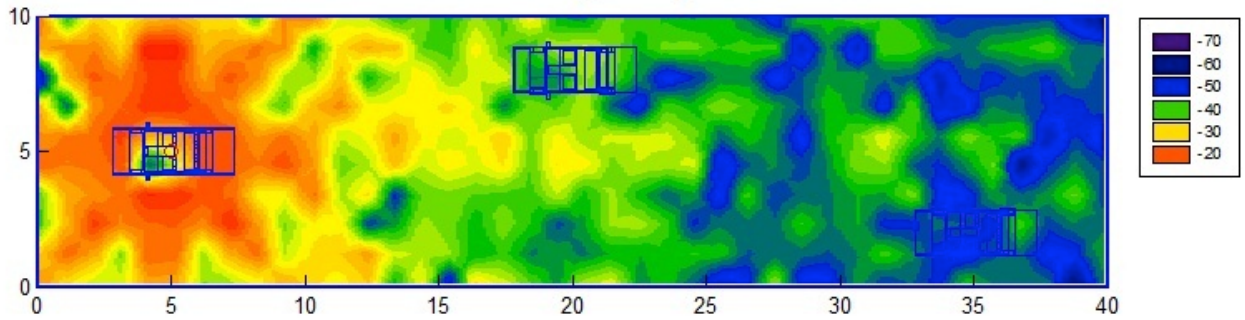


Figura A3.9 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en $x = 5$ m. e $y = 5$ m.

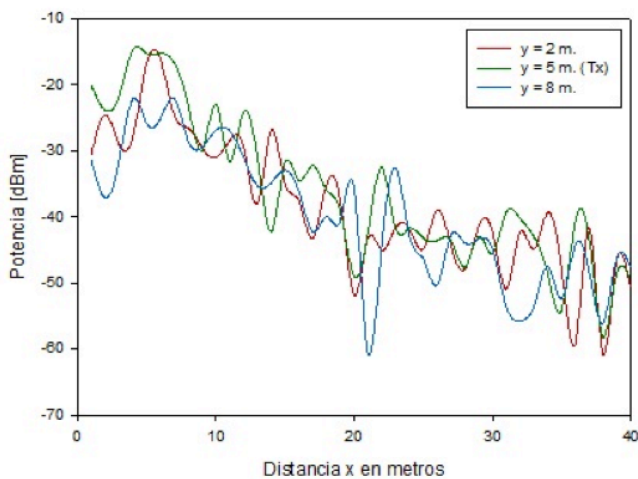
Potencia recibida [dbm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dbm] - Altura 1 m.



Altura 2 m.



Altura 1 m.

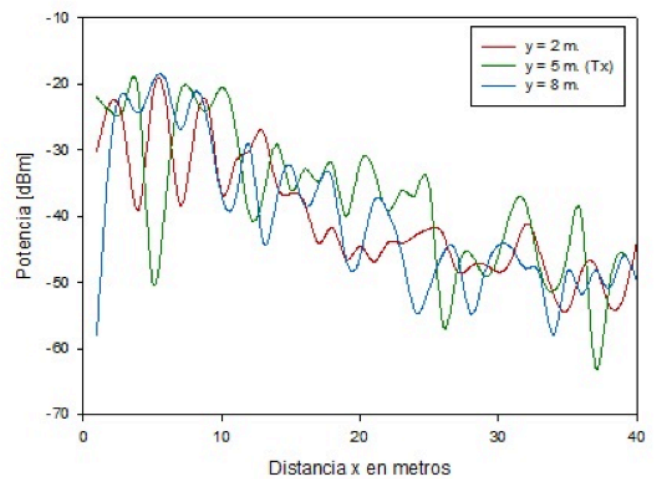
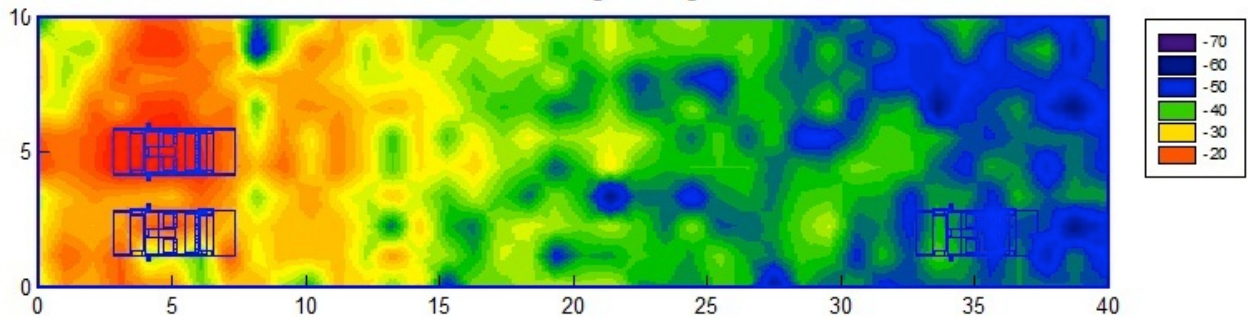
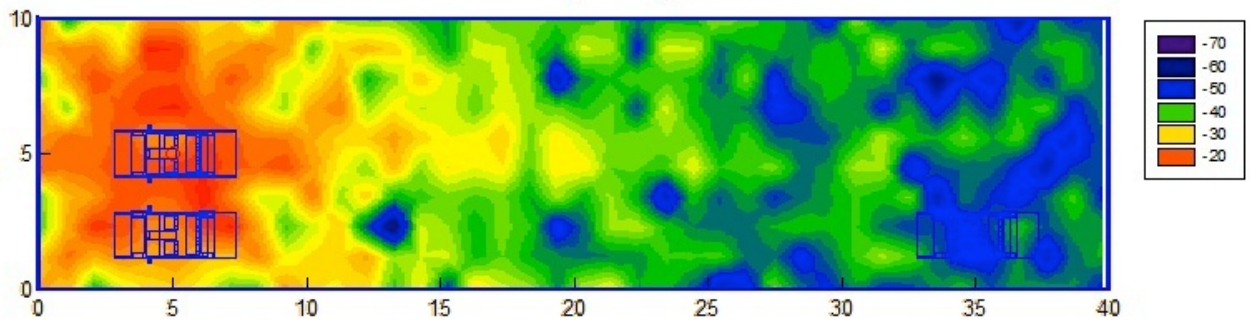


Figura A3.10 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en $x = 5$ m. e $y = 5$ m.

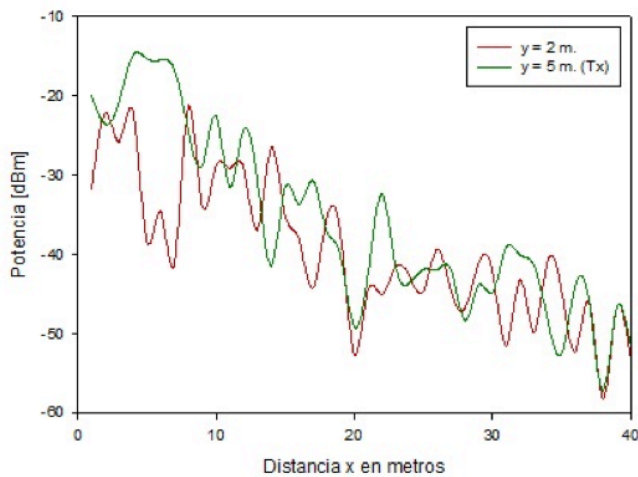
Potencia recibida [dbm] - Altura 2 m.



Potencia recibida [dbm] - Altura 1 m.



Altura 2 m.



Altura 1 m.

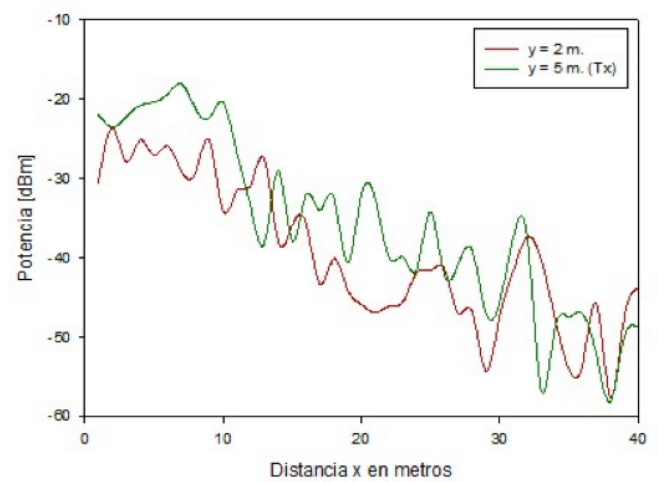
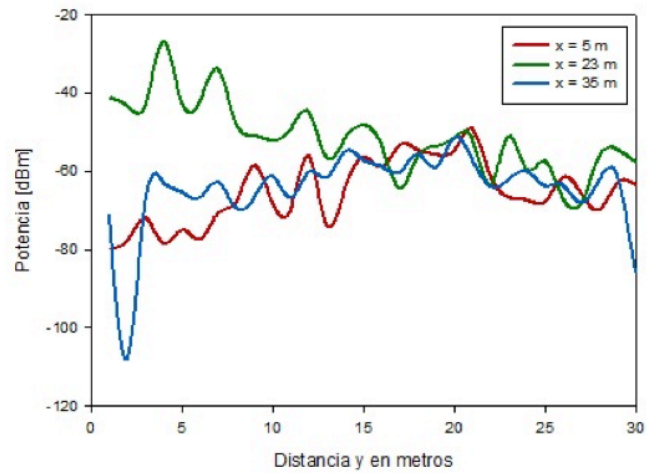
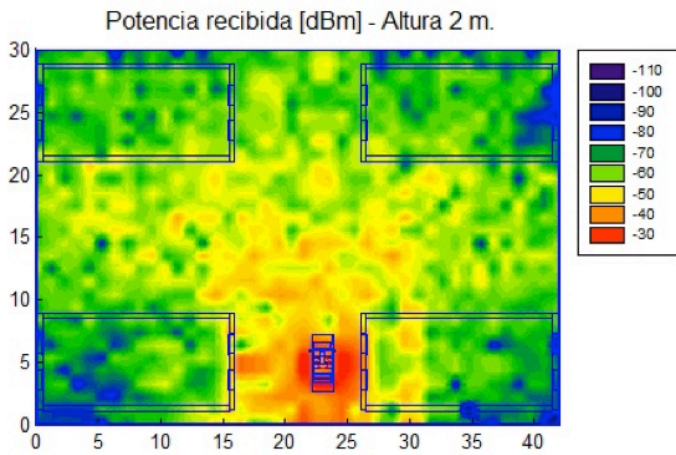


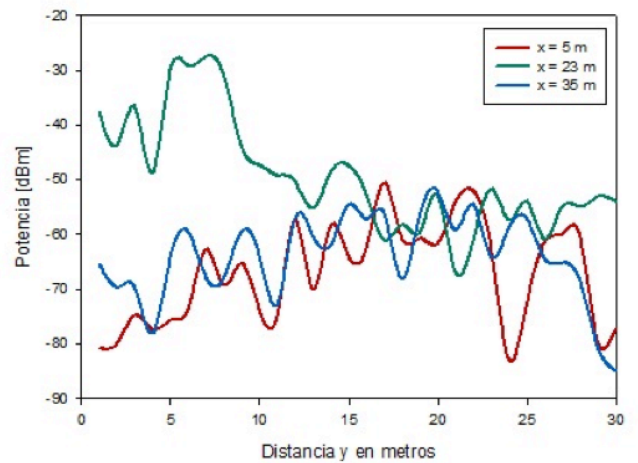
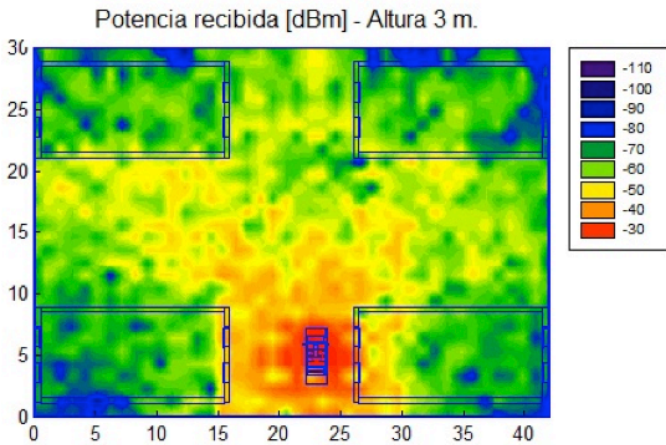
Figura A3.11 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de uno y dos metros cuando Tx se encuentra en $x = 5$ m. e $y = 5$ m.

A4. Ampliación resultados de apartado 5.1.7

Altura 2 m.



Altura 3 m.



Altura 4 m.

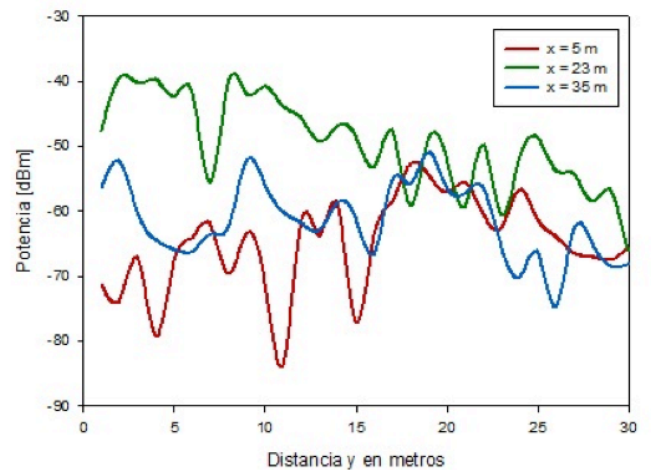
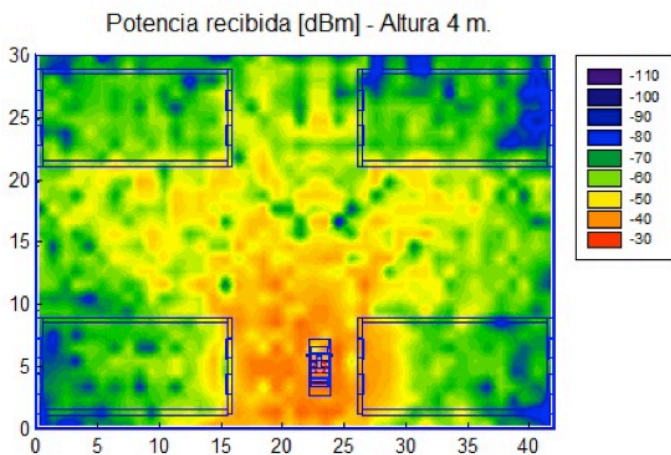


Figura A4.1 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. cuando Tx se encuentra en $x = 23$ m. e $y = 5$ m.

A5. Ampliación resultados de apartado 5.1.8

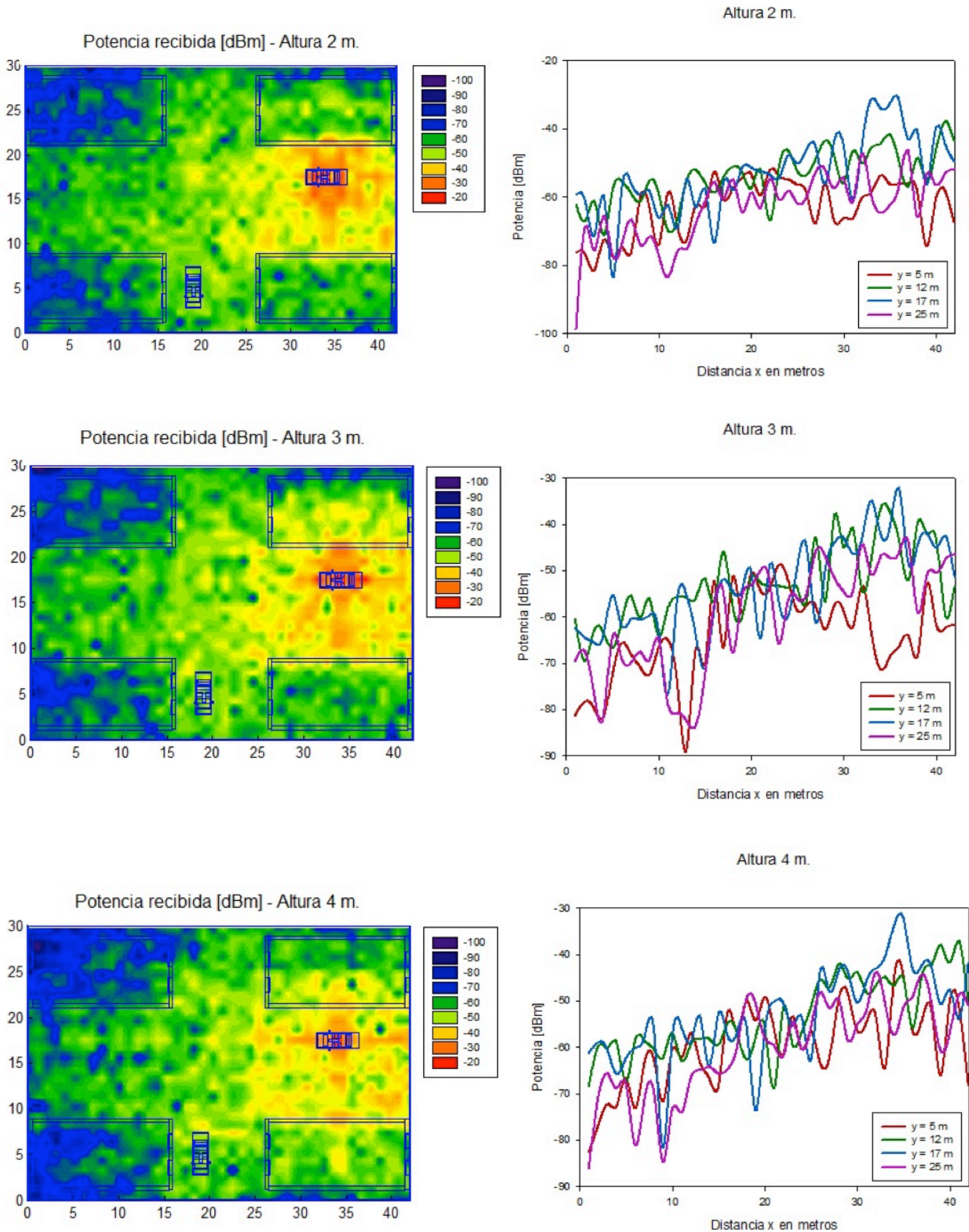


Figura A5.1 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. cuando Tx se encuentra en $x = 34$ m. e $y = 17$ m.

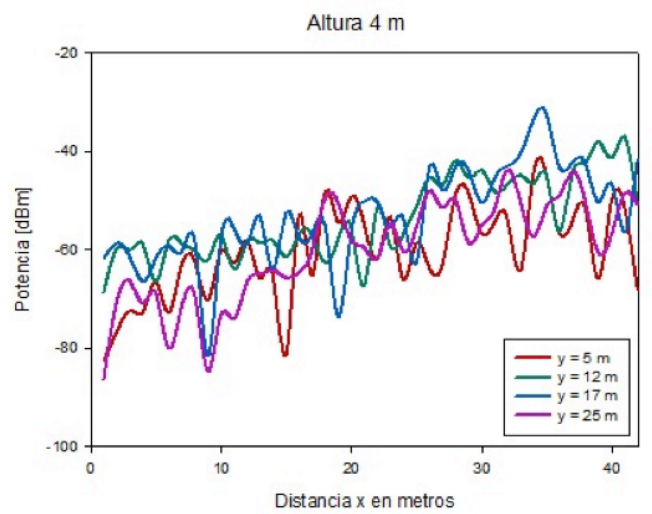
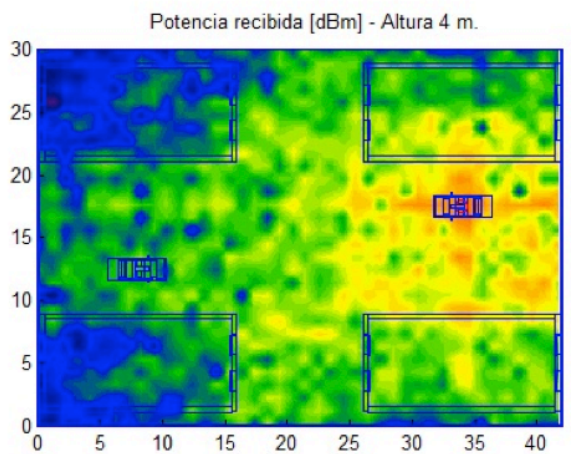
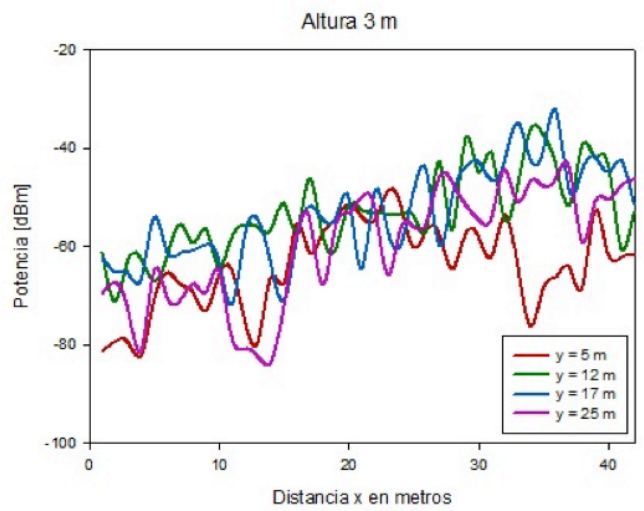
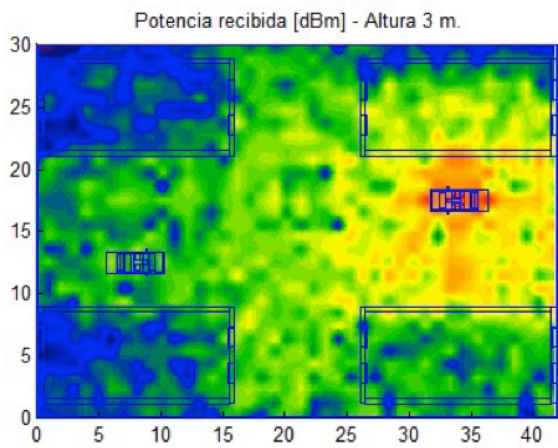
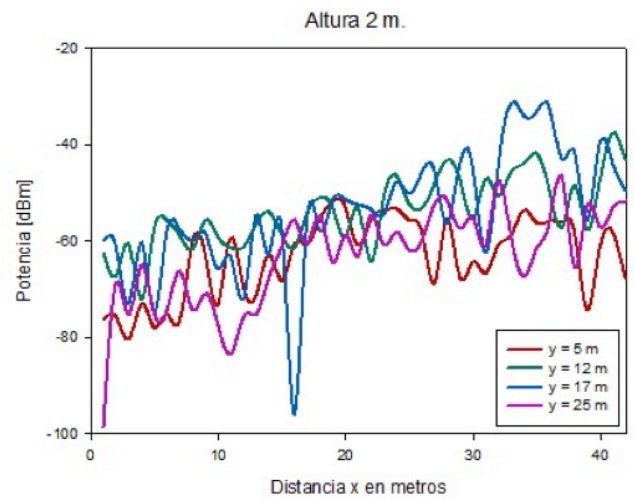
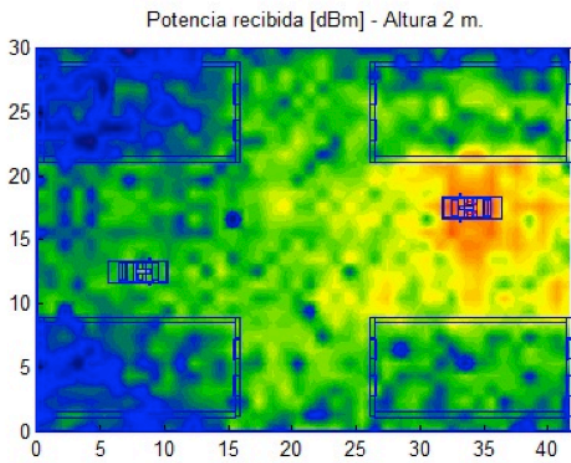


Figura A5.2 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. cuando Tx se encuentra en $x = 34$ m. e $y = 17$ m.

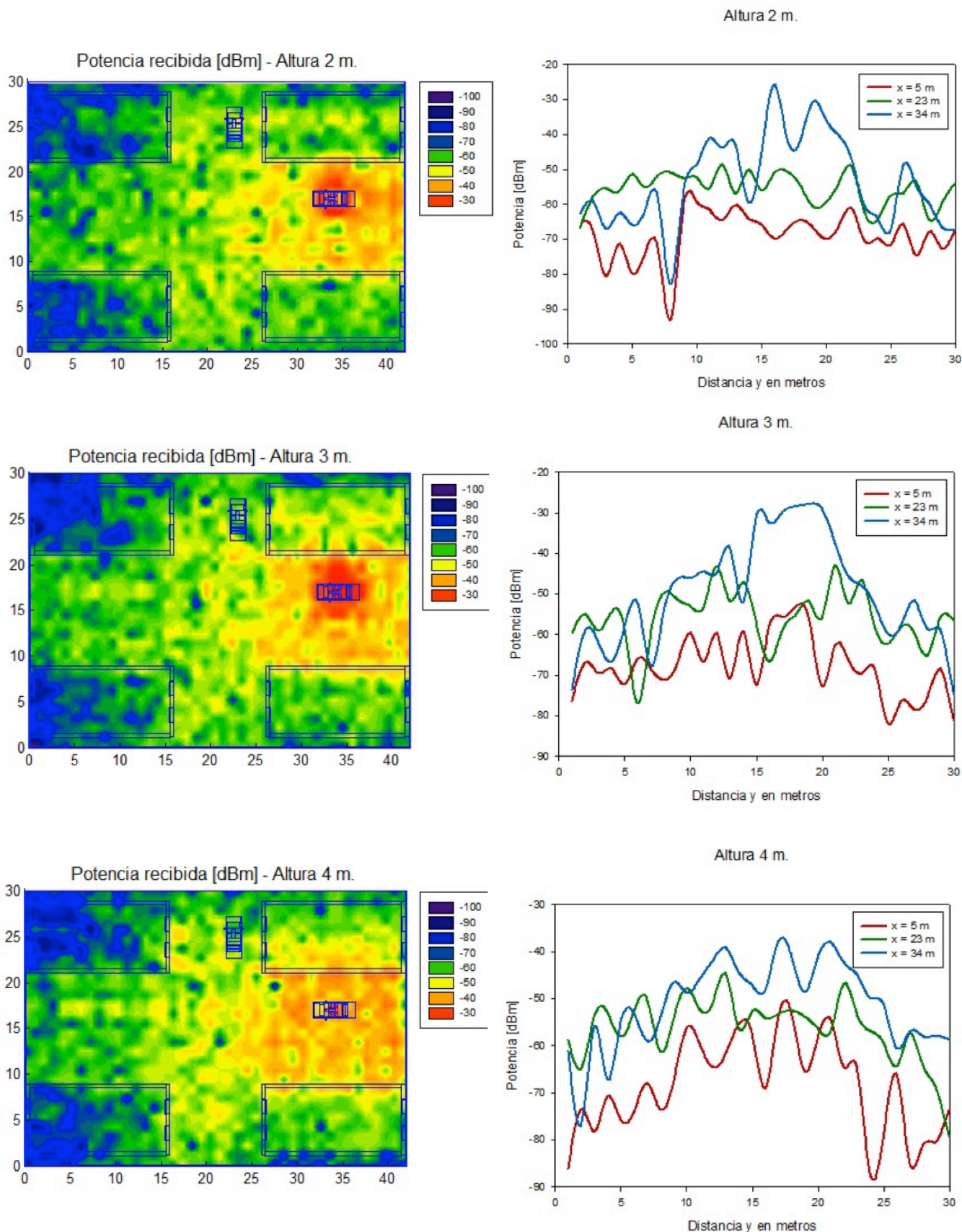


Figura A5.3 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. cuando Tx se encuentra en x = 34 m. e y = 17 m.

A6 . Ampliación resultados de apartado 5.3

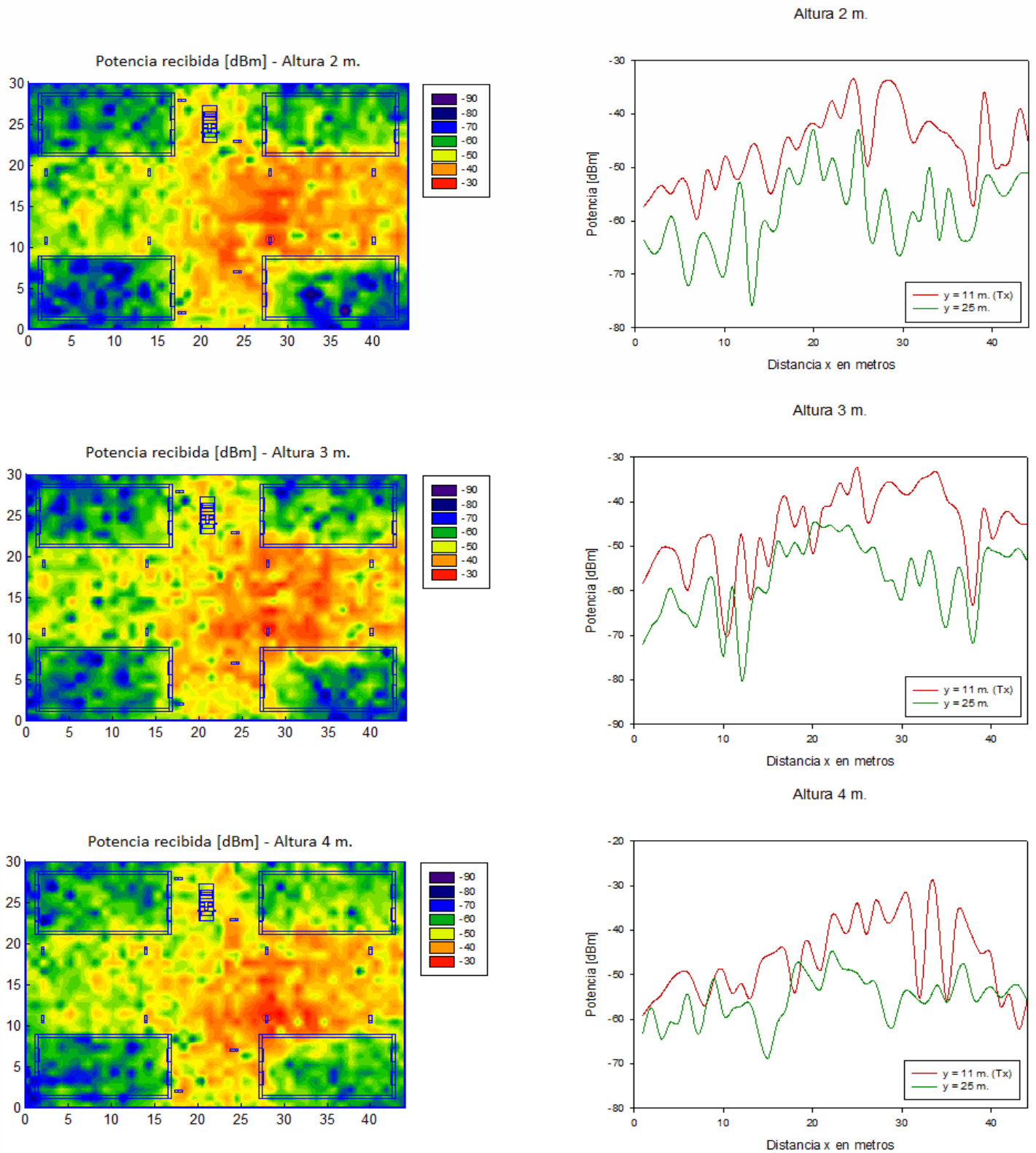


Figura A6.1 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. cuando Tx se encuentra en $x = 11$ m. e $y = 28$ m.

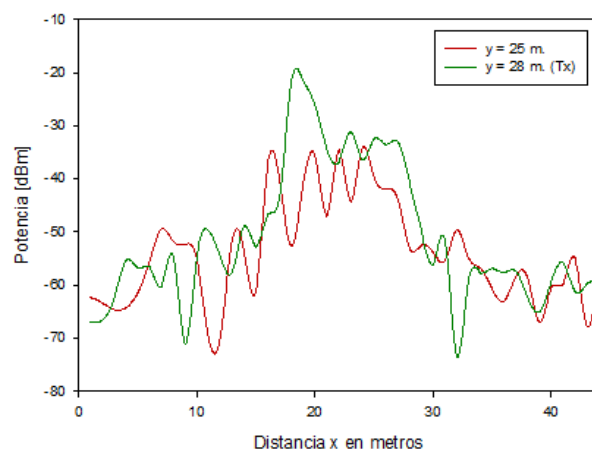
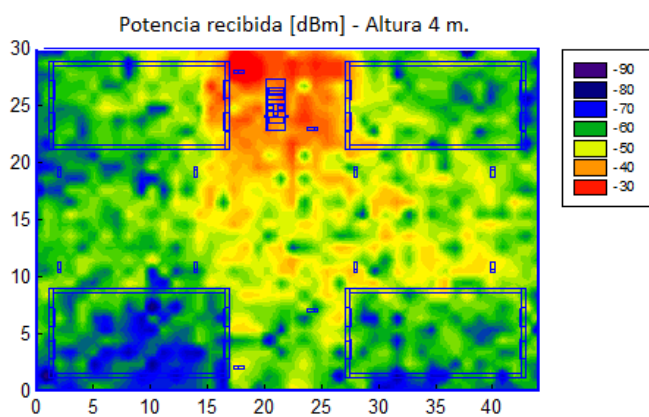
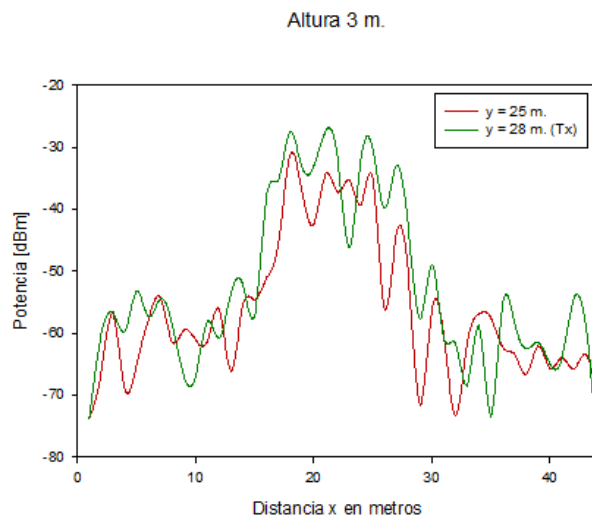
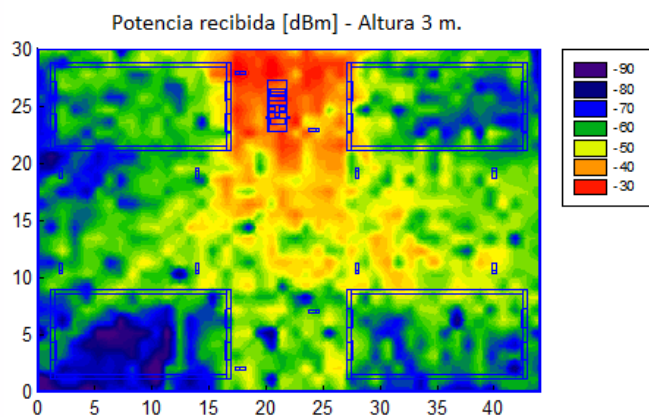
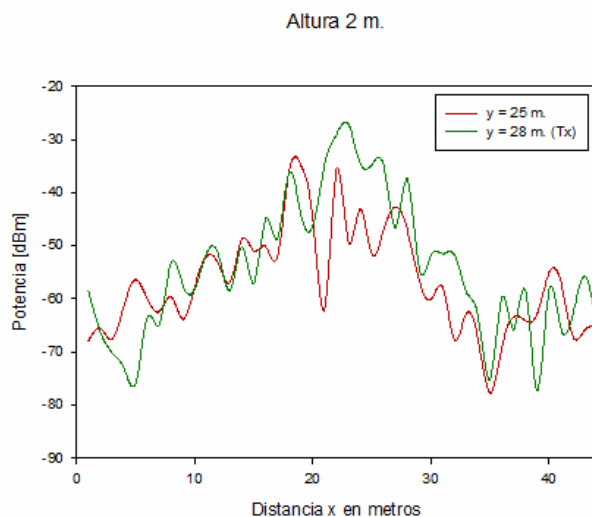
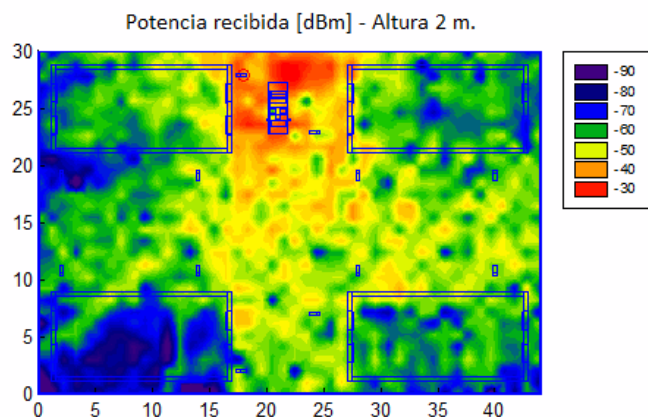
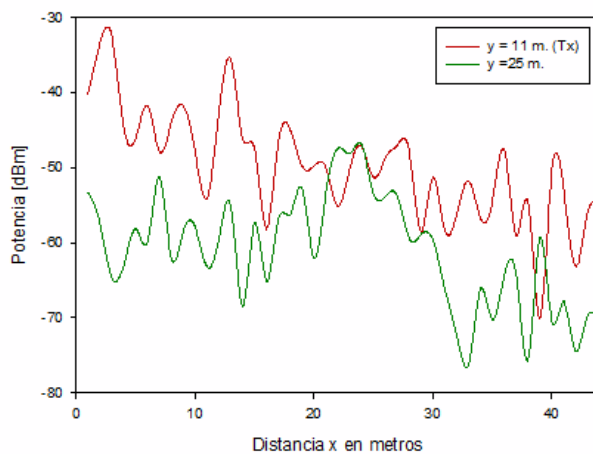
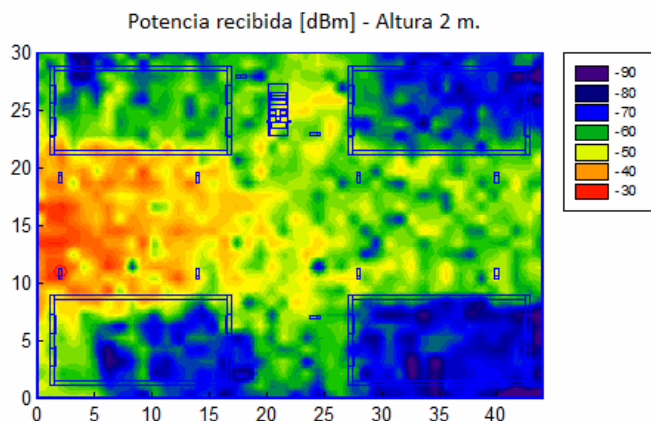
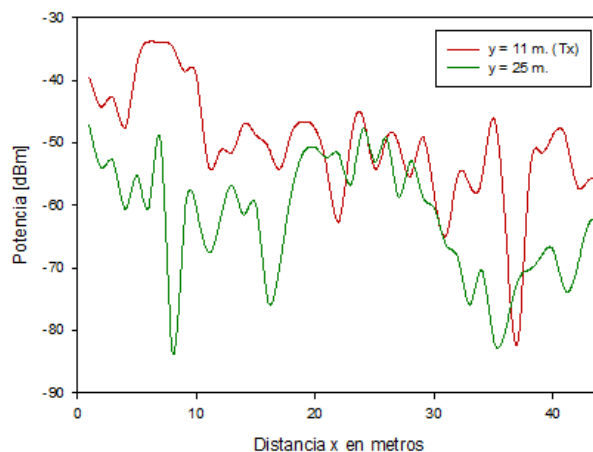
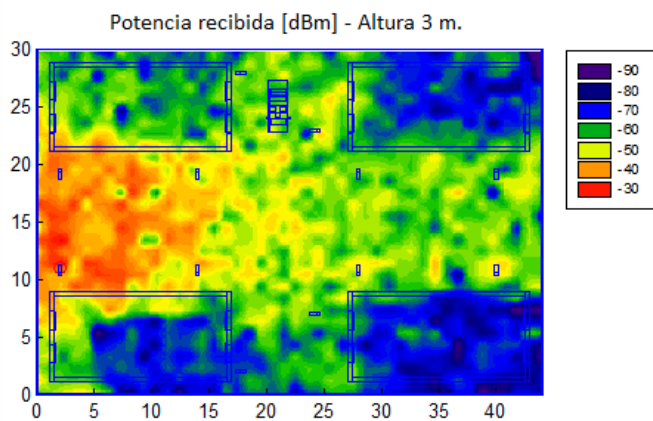


Figura A6.2 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. cuando Tx se encuentra en $x = 18$ m. e $y = 28$ m.

Altura 2 m.



Altura 3 m.



Altura 4 m.

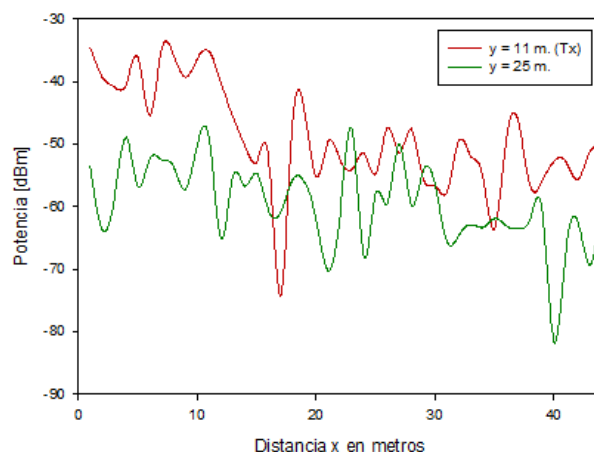
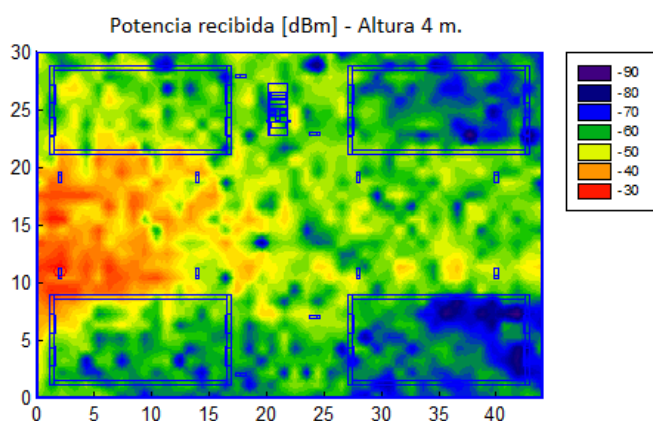


Figura A6.3 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. cuando Tx se encuentra en $x = 2$ m. e $y = 11$ m.

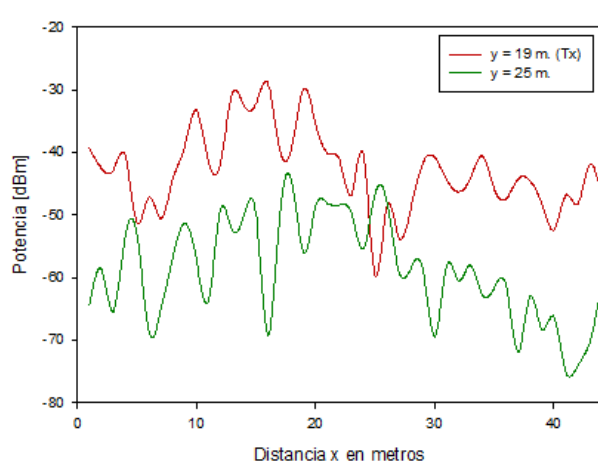
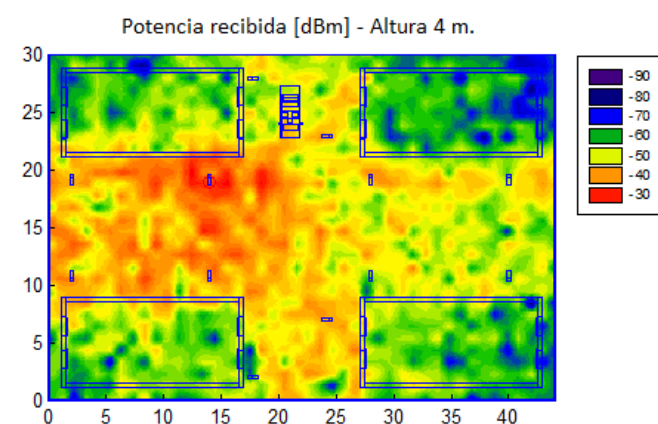
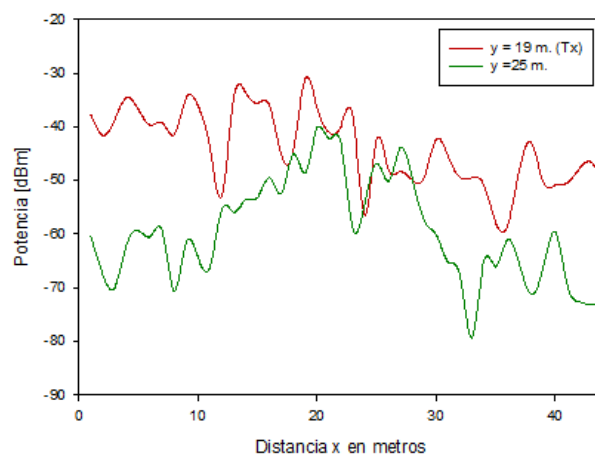
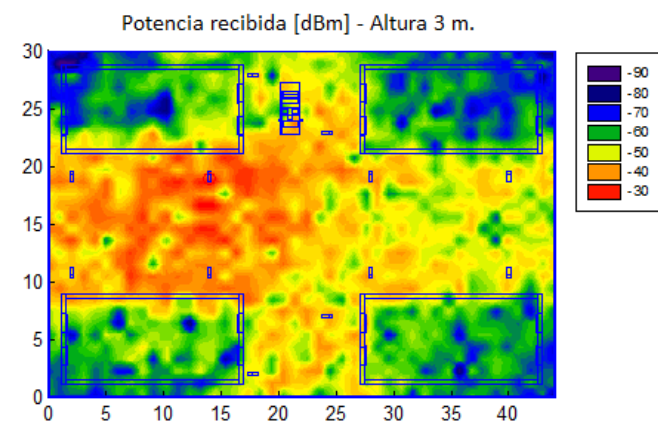
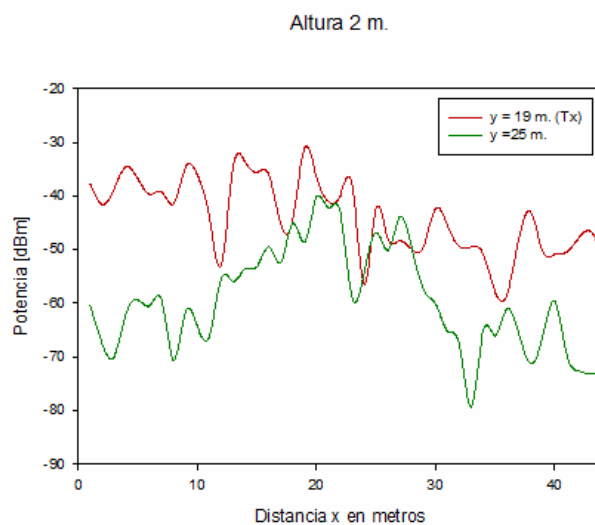
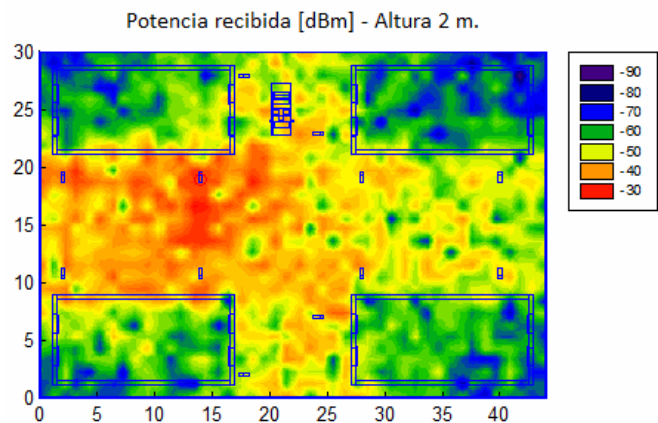
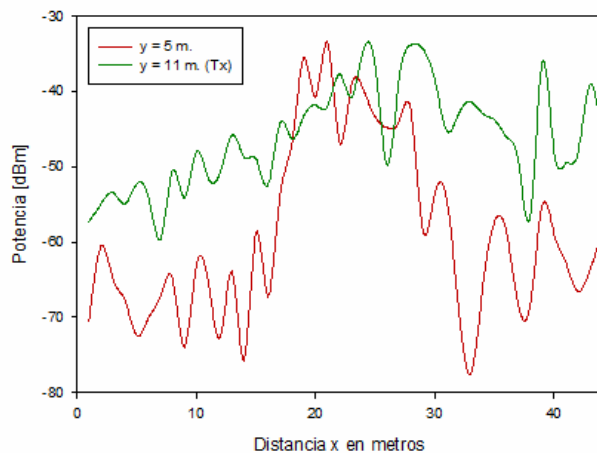
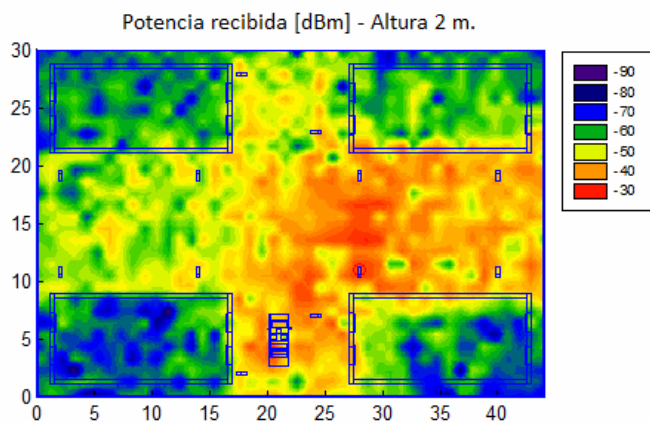
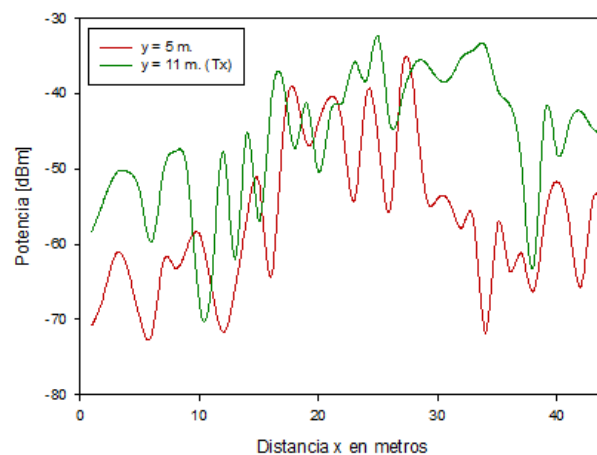
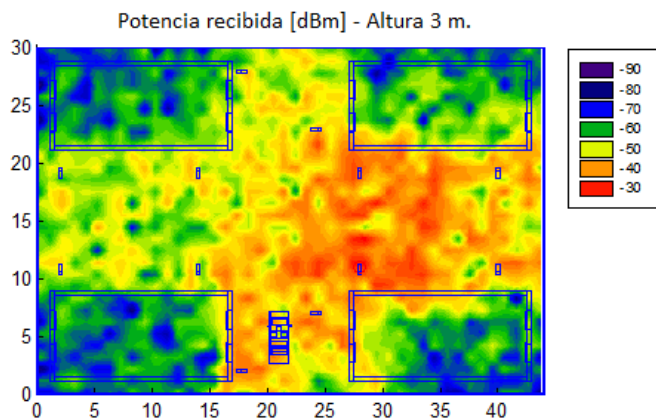


Figura A6.4 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. cuando Tx se encuentra en $x = 14$ m. e $y = 19$ m.

Altura 2 m.



Altura 3 m.



Altura 4 m.

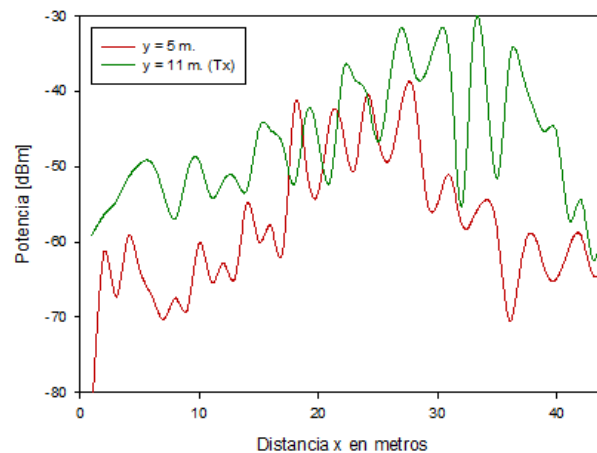
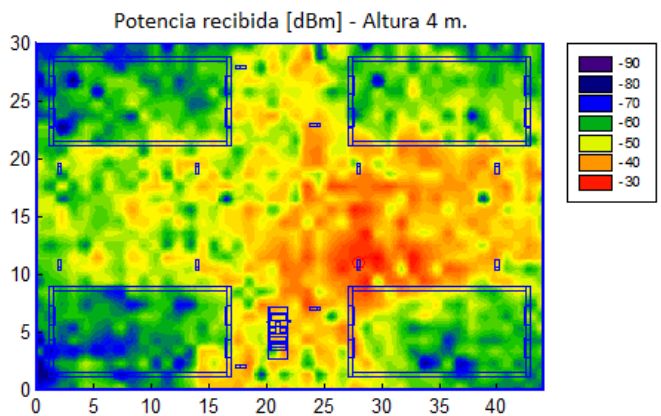


Figura A6.5 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. cuando Tx se encuentra en $x = 28$ m. e $y = 11$ m.

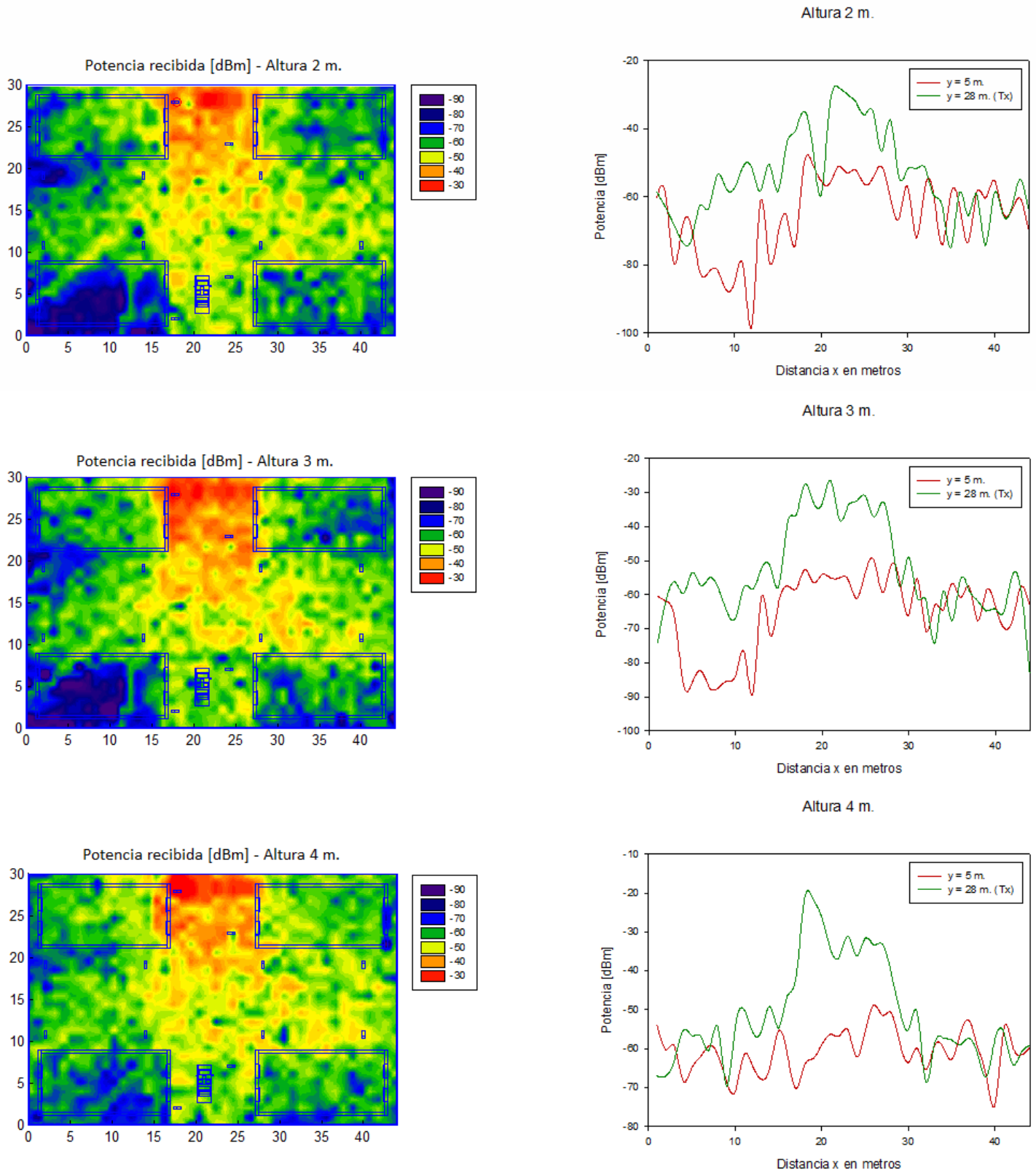


Figura A6.6 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. cuando Tx se encuentra en $x = 184$ m. e $y = 28$ m.

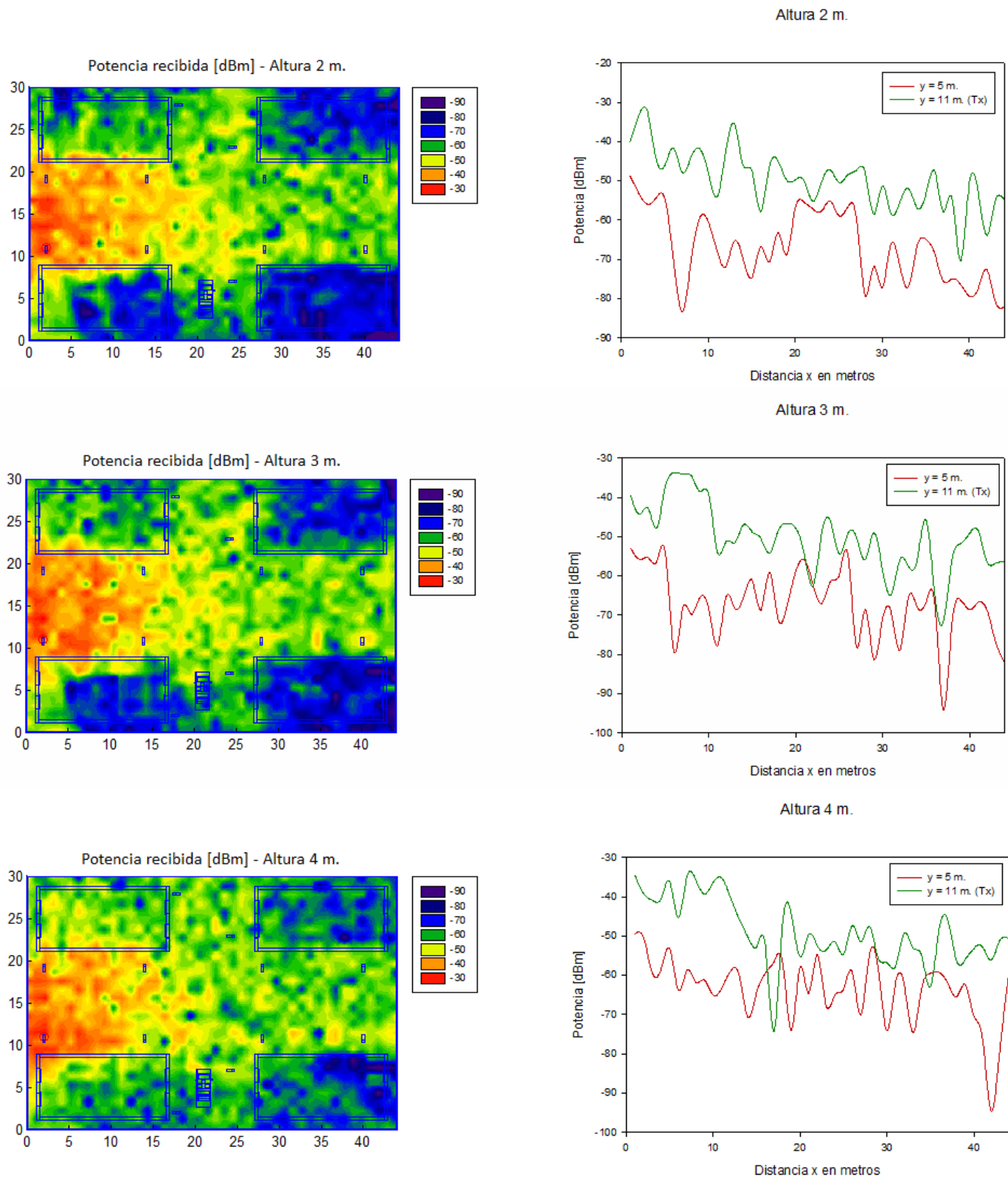
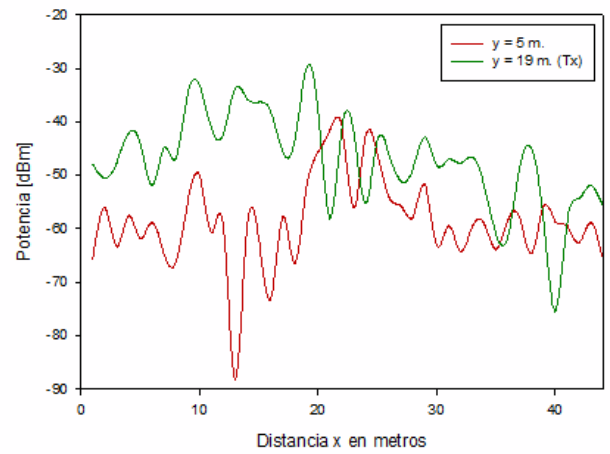
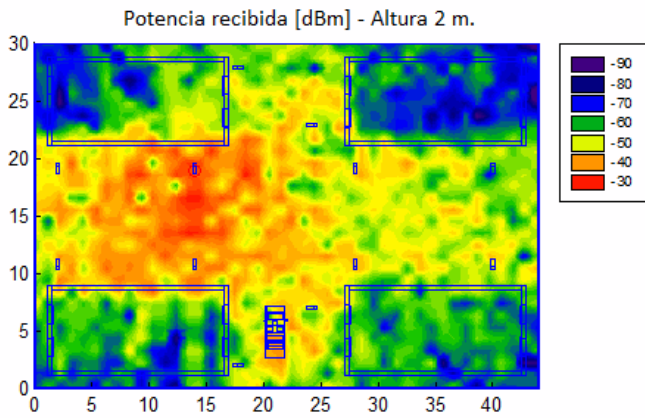
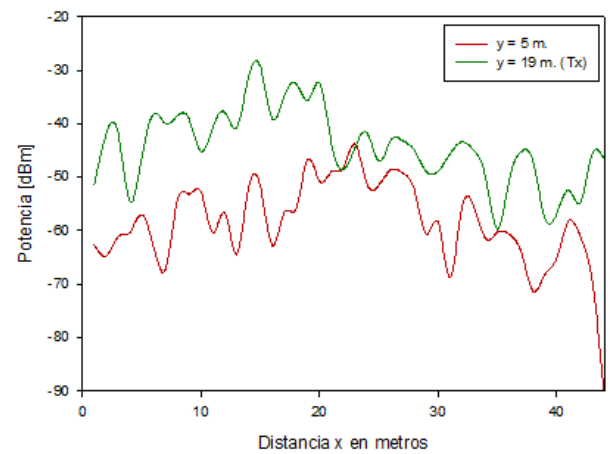
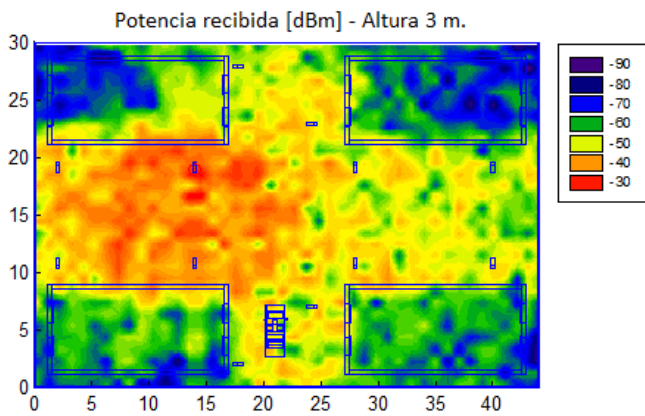


Figura A6.7 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. cuando Tx se encuentra en x = 2 m. e y = 11 m.

Altura 2 m.



Altura 3 m.



Altura 4 m.

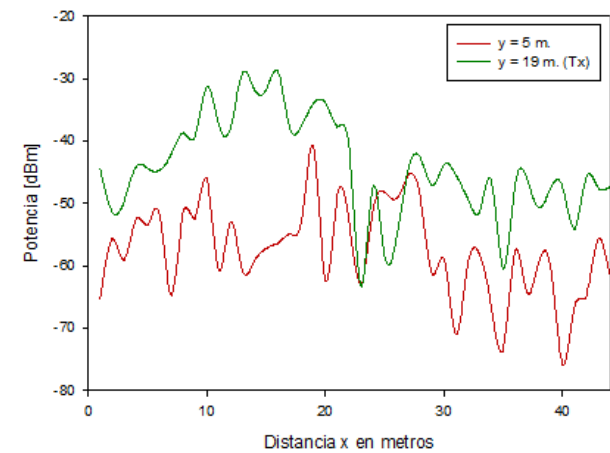
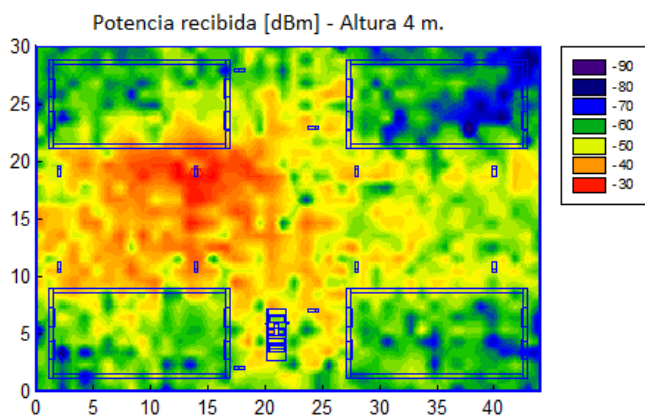


Figura A6.8 Gráficas de potencia recibida y radiales de potencia para alturas de 2 m., 3 m. y 4 m. cuando Tx se encuentra en $x = 14$ m. e $y = 19$ m.

ANEXO B

Códigos


```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% CARROCERIA
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

]

llanta+(anchocaucho*2);
diferenciarueda=(llanta+(anchocaucho*2)-0.531)/2;

suelocabinax=2;
puertadelanterax=1.1525;
puertatraserax=0.845;
puertasupruedax=0.31;

coche=[coche

%suelo coche

x0,y0,z0+anchocaucho+llanta/2,2,1.677,0.005,6; %suelo cabina HIERRO
x0-entreruedasx/2,y0,z0+anchocaucho+llanta/2,0.5776,1.317,0.005,6; %suelo ruedas
delantera
x0+entreruedasx/2+diferenciarueda,y0,z0+anchocaucho+llanta/2,0.531,1.306,0.005,6;
%suelo ruedas trasera
x0-entreruedasx/2-cauchoarriba/2-
0.6212/2,y0,z0+anchocaucho+llanta/2,0.6212,1.677,0.005,6; % suelo delantero
x0+entreruedasx/2+cauchoarriba/2+0.81/2,y0,z0+anchocaucho+llanta/2,0.81,1.677,0.005,6;
%suelo trasero

%tapa motor

x0-entreruedasx/2-0.3048,y0,z0+(anchocaucho+altocaucho/2)*3,1.21,1.677,0.005,6; %pared
tapa motor HIERRO

%interior cabina pedales

x0-entreruedasx/2+cauchoarriba/2,y0,z0+anchocaucho*2+llanta,0.005,1.677,0.5812,6;
%pared tapa motor HIERRO

%capû

x0+entreruedasx/2+0.682,y0,z0+0.938,0.7872,1.677,0.005,6;
x0+entreruedasx/2+0.145,y0,z0+0.938,0.289,1.677,0.005,6;

%interior capû

x0+puertadelanterax/2+0.742,y0+0.749,z0+0.75905,0.005,0.1855,0.358,6; %HIERRO
x0+puertadelanterax/2+0.742,y0-0.749,z0+0.75905,0.005,0.185,0.3624,6;

%techo

x0+0.164,y0-0.01,z0+1.462,2.303,1.677,0.005,6; %exterior HIERRO
x0+0.164,y0-0.01,z0+1.457,2.303,1.677,0.005,8; %interior / polipropileno

%perfiles lunas

x0-puertadelanterax/2-0.421,y0-0.7935,z0+1.1671,0.005,0.11,0.5857,6; %perfil luna
delantera izquierda / aluminio
x0-puertadelanterax/2-0.421,y0+0.7935,z0+1.1671,0.005,0.09,0.5857,6; %perfil luna
delantera derecha /aluminio
x0+puertadelanterax/2+0.742,y0-0.789,z0+1.2022,0.005,0.1,0.5235,6; %perfil luna
trasera izquierda / aluminio
x0+puertadelanterax/2+0.742,y0+0.789,z0+1.2022,0.005,0.1,0.5235,6; %perfil luna
trasera derecha /aluminio

%puertas

x0-puertadelanterax/2+0.152,y0-0.843,z0+0.5901,1.1525,0.008,0.5977,6; %puerta piloto
HIERRO
x0+puertatraserax/2+0.152,y0-0.843,z0+0.5901,0.845,0.008,0.5977,6; %puerta trasera
izquierda
x0+puertasupruedax/2+0.997,y0-0.843,z0+0.7328,0.31,0.008,0.3114,6; %puerta trasera
izquierda superior rueda
x0-puertadelanterax/2+0.152,y0+0.843,z0+0.5901,1.1525,0.008,0.5977,6; %puerta copiloto
x0+puertatraserax/2+0.152,y0+0.843,z0+0.5901,0.845,0.008,0.5977,6; %puerta trasera
derecha
x0+puertasupruedax/2+0.997,y0+0.843,z0+0.7328,0.31,0.008,0.3114,6; %puerta trasera

```

derecha superior rueda

%puertas "cámara de aire"

x0-puertadelanterax/2+0.152,y0-0.8185,z0+0.5901,1.1525,0.041,0.5977,0; %puerta piloto
 x0+puertadelanterax/2,y0-0.8185,z0+0.5901,0.845,0.041,0.5977,0; %puerta trasera
 izquierda

x0+puertadelanterax/2+0.5775,y0-0.8185,z0+0.7328,0.31,0.041,0.3114,0; %puerta trasera
 izquierda superior rueda

x0-puertadelanterax/2+0.152,y0+0.8195,z0+0.5901,1.1525,0.039,0.5977,0; %puerta

copiloto

x0+puertadelanterax/2,y0+0.8195,z0+0.5901,0.845,0.039,0.5977,0; %puerta trasera

derecha

x0+puertadelanterax/2+0.5775,y0+0.8195,z0+0.7328,0.31,0.039,0.3114,0; %puerta trasera

derecha superior rueda

%perfiles ventanillas

x0-puertadelanterax/2-0.311,y0-0.843,z0+1.1764,0.226,0.005,0.5751,6; %puerta piloto

HIERRO

x0+puertadelanterax/2+0.617,y0-0.843,z0+1.1764,0.228,0.005,0.5751,6; %puerta trasera

izquierda

x0+0.158,y0-0.843,z0+1.1764,0.253,0.005,0.5751,6; %entrepuestas

x0-puertadelanterax/2+0.205,y0-0.843,z0+1.4515,0.8,0.005,0.025,6; %superior puerta

piloto

x0+puertadelanterax/2+0.107,y0-0.843,z0+1.4515,0.8,0.005,0.025,6; %superior puerta

trasera izquierda

x0-puertadelanterax/2-0.311,y0+0.843,z0+1.1764,0.226,0.005,0.5751,6; %puerta copiloto

x0+puertadelanterax/2+0.617,y0+0.843,z0+1.1764,0.228,0.005,0.5751,6; %puerta trasera

derecha

x0+0.158,y0+0.843,z0+1.1764,0.253,0.005,0.5751,6; %entrepuestas

x0-puertadelanterax/2+0.205,y0+0.843,z0+1.4515,0.8,0.005,0.025,6; %superior puerta

copiloto

x0+puertadelanterax/2+0.107,y0+0.843,z0+1.4515,0.8,0.005,0.025,6; %superior puerta

trasera derecha

%laterales carroceria

x0-puertadelanterax/2-1.312,y0-0.843,z0+0.5825,0.6212,0.005,0.585,6; %delantera

izquierda pieza 1 HIERRO

x0-puertadelanterax/2-1.312,y0+0.843,z0+0.5825,0.6212,0.005,0.585,6; %delantera

derecha pieza 1

x0-puertadelanterax/2-0.7076,y0-0.843,z0+0.7263,0.5884,0.005,0.2974,6; %delantera

izquierda pieza 2 (superior rueda)

x0-puertadelanterax/2-0.7076,y0+0.843,z0+0.7263,0.5884,0.005,0.2974,6; %delantera

derecha pieza 2 (superior rueda)

x0+1.445,y0-0.843,z0+0.7615,z0+0.266,0.005,0.3679,6; %lateral izquierdo superior rueda

HIERRO

x0+entreruedasx/2+0.69,y0-0.843,z0+0.62,0.798,0.005,0.6592,6; %lateral izquierdo

x0+1.445,y0+0.843,z0+0.7615,0.266,0.005,0.3679,6; %lateral derecho superior rueda

x0+entreruedasx/2+0.69,y0+0.843,z0+0.62,0.798,0.005,0.6592,6; %lateral derecho

%matriculas

x0-entreruedasx/2-0.9078,y0,z0+0.5575,0.005,0.52,0.127,6; %matrícula delantera /

aluminio

x0+entreruedasx/2+1.094,y0,z0+0.64,0.01,0.52,0.11,6; %matrícula trasera / aluminio

%faros antiniebla delanteros

x0-entreruedasx/2-0.9078,y0-0.689,z0+0.39,0.005,0.3,0.2,8; %faro antiniebla delantero

izquierdo

x0-entreruedasx/2-0.9078,y0+0.689,z0+0.39,0.005,0.3,0.2,8; %faro antiniebla delantero

derecho

%faros delanteros

x0-entreruedasx/2-0.9078,y0-0.639,z0+0.75,0.005,0.4,0.25,8; %faro delantero izquierdo

x0-entreruedasx/2-0.9078,y0+0.639,z0+0.75,0.005,0.4,0.25,8; %faro delantero derecho

%faros traseros

x0+entreruedasx/2+1.094,y0-0.714,z0+0.76,0.005,0.25,0.35,8; %faro trasero izquierdo

x0+entreruedasx/2+1.094,y0+0.714,z0+0.76,0.005,0.25,0.35,8; %faro trasero derecho

%radiadores delanteros

```

x0-entruedax/2-0.9078,y0,z0+0.39,0.005,1.078,0.2,8; %horizontal pl.stico
x0-entruedax/2-0.9078,y0,z0+0.75,0.005,0.64,0.25,8; %vertical pl.stico

%piezas delanteras

x0-entruedax/2-0.9078,y0-0.55,z0+0.5575,0.005,0.578,0.127,6; %paragolpes delantero
izquierda HIERRO
x0-entruedax/2-0.9078,y0+0.55,z0+0.5575,0.005,0.578,0.127,6; %paragolpes delantero
derecha HIERRO
x0-entruedax/2-0.9078,y0-0.38,z0+0.75,0.005,0.118,0.25,6; %pieza izquierda HIERRO
x0-entruedax/2-0.9078,y0+0.38,z0+0.75,0.005,0.118,0.25,6; %pieza derecha HIERRO

%piezas traseras

x0+entruedax/2+1.094,y0,z0+0.4381,0.005,1.677,0.2937,6; %paragolpes trasero HIERRO
x0+entruedax/2+1.094,y0,z0+0.815,0.005,1.179,0.24,6; %pieza superior HIERRO
x0+entruedax/2+1.094,y0-0.423,z0+0.64,0.005,0.331,0.11,6; %pieza izquierda HIERRO
x0+entruedax/2+1.094,y0+0.423,z0+0.64,0.005,0.331,0.11,6; %pieza derecha HIERRO

%lunas del coche

x0-puertadelanterax/2-0.421,y0,z0+1.1683,0.005,1.477,0.5873,5; %luna delantera
x0+puertadelanterax/2+0.742,y0,z0+1.2022,0.005,1.477,0.5235,5; %luna trasera

%ventanillas

x0-puertadelanterax/2+0.205,y0-0.843,z0+1.164,0.8,0.005,0.55,5; %ventanilla piloto
x0-puertadelanterax/2+0.205,y0+0.843,z0+1.164,0.8,0.005,0.55,5; %ventanilla copiloto
x0+puertadelanterax/2+0.107,y0-0.843,z0+1.164,0.8,0.005,0.55,5; %ventanilla trasera
izquierda
x0+puertadelanterax/2+0.107,y0+0.843,z0+1.164,0.8,0.005,0.55,5; %ventanilla trasera
derecha

%retrovisor izquierdo

x0-entruedax/2+0.45,y0-0.948,z0+0.964,0.03,0.2,0.15,5; %pared izquierda / cristal
x0-entruedax/2+0.385,y0-0.948,z0+0.964,0.1,0.2,0.15,6; %resto / pl.stico

%retrovisor derecho

x0-entruedax/2+0.45,y0+0.948,z0+0.964,0.03,0.2,0.15,5; %pared derecha cristal
x0-entruedax/2+0.385,y0+0.948,z0+0.964,0.1,0.2,0.15,6; %resto

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% INTERIOR %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%retrovisor interior

x0-entruedax/2+0.404,y0,z0+1.395,0.03,0.25,0.1,5; % / cristal
x0-entruedax/2+0.339,y0,z0+1.395,0.1,0.25,0.1,6; % / pl.stico

%puertas interior poplilpropileno

x0-puertadelanterax/2+0.152,y0-0.778,z0+0.5901,1.1525,0.04,0.5977,8; %puerta piloto
x0+puertadelanterax/2,y0-0.778,z0+0.5901,0.845,0.04,0.5977,8; %puerta trasera
izquierda
x0+puertadelanterax/2+0.5775,y0-0.778,z0+0.7328,0.31,0.04,0.3114,8; %puerta trasera
izquierda superior rueda

x0-puertadelanterax/2+0.152,y0+0.779,z0+0.5901,1.1525,0.04,0.5977,8; %puerta copiloto
x0+puertadelanterax/2,y0+0.779,z0+0.5901,0.845,0.04,0.5977,8; %puerta trasera derecha
x0+puertadelanterax/2+0.5775,y0+0.779,z0+0.7328,0.31,0.04,0.3114,8; %puerta trasera
derecha superior rueda

%suelo interior cabina

x0,y0,z0+0.3113,2,1.677,0.04,8;

%perfiles interior lunas

x0-puertadelanterax/2-0.406,y0-0.786,z0+1.1671,0.03,0.11,0.5857,8; %perfil luna
delantera izquierda
x0-puertadelanterax/2-0.406,y0+0.786,z0+1.1671,0.03,0.09,0.5857,8; %perfil luna
delantera derecha

```

```
x0+puertadelanterax/2+0.716,y0-0.791,z0+1.2022,0.03,0.1,0.5235,8; %perfil luna
trasera izquierda
x0+puertadelanterax/2+0.716,y0+0.791,z0+1.2022,0.03,0.1,0.5235,8; %perfil luna trasera
derecha

%perfiles interiores ventanillas

x0-puertadelanterax/2-0.311,y0-0.828,z0+1.1764,0.226,0.03,0.5751,8; %puerta piloto
x0+puertadelanterax/2+0.617,y0-0.828,z0+1.1764,0.228,0.03,0.5751,8; %puerta trasera
izquierda
x0+0.158,y0-0.828,z0+1.1764,0.253,0.03,0.5751,8; %entrepuertas
x0-puertadelanterax/2+0.205,y0-0.828,z0+1.4515,0.8,0.03,0.025,8; %superior puerta
piloto
x0+puertadelanterax/2+0.107,y0-0.828,z0+1.4515,0.8,0.03,0.025,8; %superior puerta
trasera izquierda

x0-puertadelanterax/2-0.311,y0+0.828,z0+1.1764,0.226,0.03,0.5751,8; %puerta copiloto
x0+puertadelanterax/2+0.617,y0+0.828,z0+1.1764,0.228,0.03,0.5751,8; %puerta trasera
derecha
x0+0.158,y0+0.828,z0+1.1764,0.253,0.03,0.5751,8; %entrepuertas
x0-puertadelanterax/2+0.205,y0+0.828,z0+1.4515,0.8,0.03,0.025,8; %superior puerta
copiloto
x0+puertadelanterax/2+0.107,y0+0.828,z0+1.4515,0.8,0.03,0.025,8; %superior puerta
trasera derecha

%salpicadero

x0-0.7467,y0,z0+0.7642,0.5,1.52,0.28,8;
x0-0.7467,y0,z0+0.4777,0.5,0.32,0.2929,8; %pieza central(radio, navegador...)
x0-0.1737,y0,z0+0.4063,0.646,0.32,0.15,8; %pieza entre los asientos (palanca de
cambios. freno de mano...)

%bandeja trasera

x0+entruedasx/2-0.135,y0,z0+0.88,0.307,1.677,0.05,8;

%asientos

x0-0.1237,y0-0.457,z0+0.5242,0.4,0.5,0.20,8; %asiento piloto
x0-0.1237,y0+0.457,z0+0.5242,0.4,0.5,0.20,8; %asiento copiloto
x0+0.1263,y0-0.457,z0+0.7742,0.1,0.5,0.7,8; %respaldo piloto
x0+0.1263,y0+0.457,z0+0.7742,0.1,0.5,0.7,8; %respaldo copiloto
x0+0.1263,y0-0.457,z0+1.224,0.1,0.25,0.2,8; %reposacabezas piloto
x0+0.1263,y0+0.457,z0+1.224,0.1,0.25,0.2,8; %reposacabezas copiloto

x0+0.6813,y0,z0+0.4777,0.4,1.4225,0.2929,8; %asiento trasero
x0+0.9313,y0-0.47,z0+0.7013,0.1,0.4742,0.74,8; %respaldo izquierda trasero
x0+0.9313,y0,z0+0.7013,0.1,0.4742,0.74,8; %respaldo central trasero
x0+0.9313,y0+0.4784,z0+0.7013,0.1,0.4742,0.74,8; %respaldo derecha trasero
x0+0.9313,y0-0.47,z0+1.224,0.1,0.25,0.2,8; %reposacabezas izquierdo trasero
x0+0.9313,y0,z0+1.224,0.1,0.25,0.2,8; %reposacabezas central trasero
x0+0.9313,y0+0.4784,z0+1.224,0.1,0.25,0.2,8; %reposacabezas derecho trasero

%motor

x0-entruedasx/2-0.578,y0,z0+0.5825,0.5762,1.564,0.485,6; %motor HIERRO
x0-entruedasx/2,y0,z0+0.5825,0.5278,1.317,0.485,6; %motor HIERRO

]

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%% POSICION
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

matrizcambio=coche;
matrizcambio(:,1)=coche(:,1)-x0;
matrizcambio(:,2)=coche(:,2)-y0;
matrizcambio(:,3)=coche(:,3)-z0;

matrizvir=zeros(size(coche));
matrizvir(:,1)=x0;
matrizvir(:,2)=y0;
matrizvir(:,3)=z0;

if posicion==2
    coche=matrizvir-matrizcambio
    coche(:,3)=matrizvir(:,3)+matrizcambio(:,3);
    coche(:,7)=-coche(:,7);
end
```

```

if posicion==3
    coche(:,1)=matrizvir(:,1)-matrizcambio(:,2);
    coche(:,2)=matrizvir(:,2)+matrizcambio(:,1);
    coche(:,4)=matrizcambio(:,5);
    coche(:,5)=matrizcambio(:,4);
end

if posicion==4
    coche(:,1)=matrizvir(:,1)+matrizcambio(:,2);
    coche(:,2)=matrizvir(:,2)-matrizcambio(:,1);
    coche(:,4)=matrizcambio(:,5);
    coche(:,5)=matrizcambio(:,4);
end

end

end

```

2. Código fabricaedif.m

```
function planta = fabricaedif(x0,y0,z0,plantas,posicion)
```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%%                                PLANTA                                %%
%%                                %%                                %%
%%                                %%                                %%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

suelotechox=7;
suelotechoy=15;
suelotechoz=0.4;
nplantas=plantas;

for j=1:nplantas
    plantaz(j)=6*j;

    auxiliar=22*(j-1)+1;
    %paredes planta

    planta(auxiliar,:)= [x0,y0,z0+plantaz(j)-6,suelotechox,suelotechoy,suelotechoz,7];
    %suelo
    planta(auxiliar+1,:)= [x0,y0,z0+plantaz(j),suelotechox,suelotechoy,suelotechoz,7];
    %techo
    planta(auxiliar+2,:)= [x0-
    3.70,y0,z0+plantaz(j)/2,suelotechoz,suelotechoy,plantaz(j)+suelotechoz,7]; %pared
    izquierda
    planta(auxiliar+3,:)= [x0+3.70,y0,z0+plantaz(j)/2,suelotechoz,suelotechoy,plantaz(j)+su
    elotechoz,7]; %pared derecha

    %ventanas

    planta(auxiliar+4,:)= [x0-1.4,y0-suelotechoy/2,z0+plantaz(j)-plantaz(1)/2,1.6,0.1,1,5];
    %ventana izquierda frontal
    planta(auxiliar+5,:)= [x0+1.4,y0-suelotechoy/2,z0+plantaz(j)-plantaz(1)/2,1.6,0.1,1,5];
    %ventana derecha frontal
    planta(auxiliar+6,:)= [x0-1.4,y0+suelotechoy/2,z0+plantaz(j)-plantaz(1)/2,1.6,0.1,1,5];
    %ventana izquierda trasera
    planta(auxiliar+7,:)= [x0+1.4,y0+suelotechoy/2,z0+plantaz(j)-plantaz(1)/2,1.6,0.1,1,5];
    %ventana derecha trasera

    %paredes ventanas frontales

    planta(auxiliar+8,:)= [x0-3.05,y0-suelotechoy/2-0.2,z0+plantaz(j)-
    6/2,1.655,suelotechoz,6+0.4,7]; %pared izquierda
    planta(auxiliar+9,:)= [x0+3.05,y0-suelotechoy/2-0.2,z0+plantaz(j)-
    6/2,1.655,suelotechoz,6+0.4,7]; %pared derecha
    planta(auxiliar+10,:)= [x0-1.45,y0-suelotechoy/2-0.2,z0+plantaz(j)-
    6/2+1.85,1.6,suelotechoz,2.7,7]; %pared superior ventana izquierda
    planta(auxiliar+11,:)= [x0-1.45,y0-suelotechoy/2-0.2,z0+plantaz(j)-6/2-

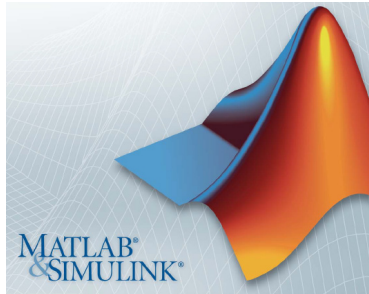
```


ANEXO C

Instrumentación y herramientas

1. Herramientas de software.

1.1 Matlab.



Matlab es un lenguaje de alto nivel y un entorno interactivo para el cálculo numérico, la visualización y la programación. Mediante Matlab, es posible analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos o aplicaciones. El lenguaje, las herramientas y las funciones matemáticas incorporadas permiten explorar diversos enfoques y llegar a una solución antes que con hojas de cálculo o lenguajes de programación tradicionales, como pueden ser C/C++ o Java.

Este programa ha sido utilizado para simulaciones con el código de Trazado de rayos tridimensional, representación de imágenes en 3D y diseño de escenarios y objetos.

1.2 Sigmaplot.



SigmaPlot es uno de los paquetes estadísticos más conocidos. A partir de una sencilla hoja de cálculo permite generar gráficas de alta calidad y efectuar análisis estadísticos complejos.

Las más de 100 gráficas en 2D y 3D de SigmaPlot, fáciles de personalizar y publicar, son una tarjeta de visita impresionante. Pero SigmaPlot no se dedica exclusivamente a la representación de datos: 50 pruebas estadísticas y la integración con Excel dan buena cuenta de su poderío analítico.

En este proyecto se ha utilizado para generar gráficas principalmente de Potencia recibida y de radiales a diferentes alturas o puntos.

2. Instrumentación para medidas.

2.1 Analizador de espectros: Agilent Fieldfox N9912A. Ficha técnica.



Key features & specifications:

(i) Cable and antenna analyzer (CAT), vector network analyzer (VNA):

- 2 MHz to 4/6 GHz
- Directivity > 42 dB
- CAT: Distance-to-fault, return loss, cable loss
- VNA: S11 mag and phase, S21 mag, time domain with gating.

(ii) Spectrum analyzer, interference analyzer:

- 5 kHz to 4/6 GHz
- DANL: -148 dBm, +18 dBm TOI
- Spectrogram, waterfall display, record and playback.

(iii) Independent source, vector voltmeter (VVM), power sensor and channel power measurements:

- RF source: 2 MHz to 4/6 GHz, CW and tracking
- VVM: 2 MHz to 4/6 GHz, compare phase and electrical length
- Power measurements with USB sensor, 9 kHz to 24 GHz

- Channel power measurements: 100 kHz to 4/6 GHz, no sensor needed

(iv) *FieldFox instrument attributes:*

- Standard 3-year warranty
- Battery life: 4-hours
- Weight: 2.8 kg or 6.2 lbs
- Operating temperature: -10 to +55 °C (14 to 131 °F)

2.2 Dispositivo ZigBee: Xbee-Pro. Ficha técnica.

Overview:

XBee and XBee-PRO ZB embedded RF modules provide cost-effective gíreles connectivity to devices in ZigBeemesh networks. Utilizing the ZigBee PRO Feature Set, these modules are interoperable with other ZigBee devices, including devices from other vendors*. Products in the XBee family are easy to use. They require noconfiguration or additional development; users can have their network up and running in a matter of minutes. Programmable versions of the XBee-PRO ZB module make customizing ZigBee applications easy. Programming directly on the module eliminates the need for a separate processor. Because the wireless software is isolated, applications can be developed with no risk to RF performance or security. XBee modules are available in a variety of protocols and frequencies. The common hardware footprint shared by Digi's XBee modules means users can substitute one XBee for another with minimal development time and risk.



Key features & specifications:

- Interoperability with ZigBee devices from other vendors[†]
- Variety of modules with common footprint for global deployment
- No configuration or programming required
- Self-healing and discovery for network stability
- Programmable XBee-PRO ZB ZigBee modules available.

Platform	XBee® ZB	XBee-PRO® ZB	Programmable XBee-PRO® ZB
Performance			
RF Data Rate	250 Kbps		
Indoor/Urban Range	133 ft (40 m)	300 ft. (90 m)	
Outdoor/RF Line-of-Sight Range	400 ft (120 m)	2 miles (3200 m)/ Int'l 5000 ft (1500 m)	
Transmit Power	1.25 mW (+1 dBm) / 2 mW (+3 dBm) boost mode	63 mW (+18 dBm) / Int'l 10 mW (+10 dBm)	
Receiver Sensitivity (1% PER)	-96 dBm in boost mode	-102 dBm	
Features			
Adjustable Power	Yes		
I/O Interface	3.3V CMOS UART, ADC, DIO	3.3V CMOS UART, SPI, I2C, PWM, DIO, ADC	
Configuration Method	API or AT commands, local or over-the-air		
Frequency Band	2.4 GHz		
Interference Immunity	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)		
Serial Data Rate	1200 bps - 1 Mbps		
ADC Inputs	(4) 10-bit ADC inputs		
Digital I/O	10		
Antenna Options	Chip, Wire Whip, U.FL, RPSMA	PCB Embedded Antenna, Wire Whip, U.FL, RPSMA	
Operating Temperature & Humidity	-40° C to +85° C, 0-95% humidity non-condensing		
Programmability			
Memory	N/A	32 KB Flash / 2 KB RAM)	
CPU/Clock Speed	N/A	HCS08 / Up to 50.33 MHz	
Networking & Security			
Encryption	128-bit AES		
Reliable Packet Delivery	Retries/Acknowledgments		
IDs and Channels	PAN ID, 64-bit IEEE MAC, 16 channels	PAN ID, 64-bit IEEE MAC, 15 channels	
Power Requirements			
Supply Voltage	2.1 - 3.6VDC	2.7 - 3.6VDC	
Transmit Current	35 mA / 45 mA boost mode @ 3.3VDC	205 mA	220 mA
Receive Current	38 mA / 40 mA boost mode @ 3.3VDC	47 mA	62 mA
Power-Down Current	<1 uA @ 25° C	3.5 uA @ 25° C	4 uA @ 25° C
Regulatory Approvals			
FCC (USA)	Yes		
IC (Canada)	Yes		
ETSI (Europe)	Yes		
C-TICK (Australia)	Yes		
TELEC (Japan)	Yes	Yes (Int'l unit only)	

2.3 Antena transmisora: Picea 2,4 GHz Swivel. Ficha técnica.

Features:

- Designed for 2.4 GHz applications: Bluetooth, Wi-Fi (802.11a/b/g/n), Zig Bee, etc., as well as 2.3 GHz WiMAX, 2.5 GHz WiMAX and WiBro applications.
- Easy to integrate
- High efficiency
- Intended for snap-in mounting
- Supplied in bulk

Description:

Picea is intended for use with all 2.4 GHz applications and it has an antenna blade made of a flexible material that can be rotated 360 degrees.

The antenna is intended for snap-in mounting and it uses a ground plane in order to radiate efficiently. The ground plane must extend underneath the antenna itself.

Applications:

- Development tools
- Test equipment
- Access points, routers, etc

General data:

Product name	Picea 2.4 GHz
Part Number	B5771
Frequency	2.4 – 2.5 GHz
Polarization	Linear
Operating temperature	-40 °C to +85 °C
Impedance with matching	50 Ω
Weight	3.3 g
Antenna type	Swivel
Dimensions	14.9 x 12 x 48 [mm]

*Electrical characteristics:*

	Typical performance	Conditions
Peak gain	2.1 dBi	All data measured on Antenova's reference board, part number B5771-U1 Data given for the 2.4 – 2.5 GHz frequency range
Average gain	-1.5 dBi	
Average efficiency	70%	
Maximum Return Loss	-12 dB	
Maximum VSWR	1.7:1	

2.4 Antena magnética RS ECO Series Mobile Antennas . Ficha técnica.



These antennas are free space designs and are ground plane independent. High gain coupled with low loss cable compensates for the losses that occur at higher bands. All antennas use low loss RF-195 cable to improve efficiency. The vertical radomes are black fiberglass with an ABS base assembly. All antennas are weatherproof.

The magnetic mount models have a 2.6" (66 mm) base, and use a strong commercial magnet. They provide a scratch resistant covering on the bottom. The cable exits out of the side of the base. Special "EF" elevated feed versions are available. These models have the radiating element located higher in a longer radome, providing more clearance of lightbars on police vehicles.

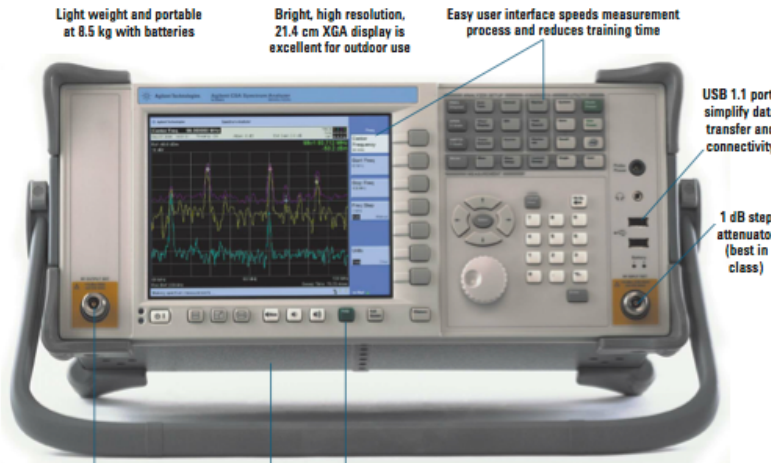
Frequency Gain

2.4 - 2.5 GHz 5 dBi

Specifications

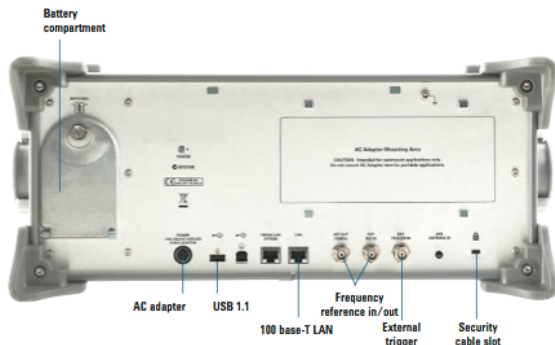
Frequency:	See above	Trunk Mount Size:	1"H x 3"L x 2.75"W (25 mm x 76 mm x 70 mm)
Gain:	See above	Trunk Mount Method:	Dual set screws, allen wrench supplied
Bandwidth:	See above @2:1 SWR	Cable Length/type:	10 ft of RF-195 (3 meters)
Impedance:	50 Ohm nominal	Connector:	Male TNC, N or SMA. Specify at time of order.
Maximum Power:	10 Watts		
Radome:	Black Fiberglass		
Base/Mount:	ABS plastic & steel		
MAG Base Size:	2.6" D (66 mm)		

2.5 Analizador y generador de señal: Agilent CSA Spectrum Analyzer N1996A.



- Light weight and portable at 8.5 kg with batteries
- Bright, high resolution, 21.4 cm XGA display is excellent for outdoor use
- Easy user interface speeds measurement process and reduces training time
- USB 1.1 ports simplify data transfer and connectivity
- 1 dB step attenuator (best in class)
- Signal source enables system, cable, and component measurements
- Shallow depth of 25 cm (with bumpers) conserves bench space
- Built-in help
- VSWR bridge is built-in, reducing the complexity of stimulus/response measurements
- Built-in preamplifier increases sensitivity

- Frequency coverage**
- Frequency range: 100 kHz to 3 or 6 GHz
 - Signal source: 10 MHz to 3 or 6 GHz
 - Preamplifier to 3 or 6 GHz
- Performance**
- DANL: -156 dBm/Hz, normalized to 1 Hz
 - Best-in-class dynamic range with +18 dBm TOI
 - Overall amplitude accuracy: ±0.5 dB
- Compact Design**
- Weight: 7.5 kg with built-in signal source, preamplifier, and VSWR bridge
 - Battery life: 2 hours (typical)
- Features**
- Brightest, highest resolution display in its class (21 cm XGA, 1024 x 768)
 - 1 dB electronic step input attenuator
 - 10 Hz to 5 MHz RBW standard, 10% adjustable to 200 kHz, 1 Hz to 50 MHz VBW
 - USB and LAN standard



- Battery compartment
- AC adapter
- USB 1.1
- 100 base-T LAN
- Frequency reference in/out
- External trigger
- Security cable slot

2.6 Dosímetro : Satimo EME Spy 121. Ficha técnica.



EME Spy is a light and portable dosimeter which performs continuous measurements of the human exposure level to electromagnetic fields on predefined frequency bands.

1 Technical characteristics 88 MHz - 2.5 GHz

EME SPY 121	FREQUENCY RANGES	AXIAL ISOTROPY
FM	88 MHz ↔ 108 MHz	± 1.3 dB
TV3	174 MHz ↔ 223 MHz	± 1.3 dB
TETRA	380MHz ↔ 400MHz	± 1.2 dB
TV4&5	470 MHz ↔ 830 MHz	± 0.9 dB
GSM TX	880 MHz ↔ 915 MHz	± 1.8 dB
GSM RX	925 MHz ↔ 960 MHz	± 0.8 dB
DCS TX	1710 MHz ↔ 1785 MHz	± 1.4 dB
DCS RX	1805 MHz ↔ 1880 MHz	± 1.0 dB
DECT	1880 MHz ↔ 1900MHz	± 1.3 dB
UMTS TX	1920 MHz ↔ 1980 MHz	± 0.8 dB
UMTS RX	2110 MHz ↔ 2170 MHz	± 1.8 dB
WIFI	2400 MHz ↔ 2500 MHz	± 3.3 dB

2 Probe characteristics

Probe	Triaxial E-field probe
Sensitivity	0.05 V/m
Dynamic - EME Spy 121	46 dB (up to 10 V/m)
Dynamic - EME Spy 100	40 dB (up to 5 V/m)

ANEXO D

Publicaciones

Ontology based Road Traffic Management in emergency situations

A.J. Bermejo, J. Villadangos, J.J. Astrain, A. Córdoba, L. Azpilicueta, U. Gárate, F. Falcone

Universidad Pública de Navarra
Campus de Arrosadía, 31006 Pamplona (Spain)

antoniojesus.bermejo@unavarra.es, jesusv@unavarra.es, josej.astrain@unavarra.es,
alberto.cordoba@unavarra.es, leyre.azpilicueta@unavarra.es, ugarate@gmail.com,
francisco.falcone@unavarra.es

Abstract—Every time an exceptional situation takes place on the road, dangerous situations occur and they need the **drivers' skills** in order to cope with them. These special situations can occur due to many reasons such as a non-expected object on the road, or an incoming emergency vehicle. Current proposals consider that vehicles are equipped with sensors and communication devices that collect and communicate sensor data to a central point to take further decisions. In this paper, those exceptional situations are handled in a different way: we propose to integrate an ontology inside each vehicle to provide them with distributed reasoning capabilities. Our system benefits traffic management in emergency situations with immediate and coherent suggestions to drivers where each vehicle is a decision point, reacts considering its neighboring vehicles, and collaborates with them to reach consensus in real time. A complete analysis of the system is given, from the behavior of the wireless link channel to the application level, giving an integral description of the designed solution. The system operates continuously adapting itself to driver reactions. A common ontology provides, during the reasoning process, a suggestion to each driver, maintaining the coherence of the whole set of suggestions (avoiding conflicting situations).

Keywords: VANET, traffic management, decision, ontology, emergency.

I. INTRODUCTION

Nowadays, safety on roads is one of the main goals that governments and private companies are pursuing. Smart city initiatives include situations in which an emergency vehicle needs to have free way in order to carry out its job as fast and safely as possible. The aim is to manage the traffic distribution, vehicle by vehicle individually, in order to ensure that emergency vehicles have free way as soon as possible and avoiding risk situations on the road.

On one hand, drivers act correctly but not in the optimal way in most situations, so the potential actions taken by the drivers could be improved. On the other hand, in plenty of situations the reactions of the drivers are completely incorrect and can lead to new dangerous situations or accidents. The current scenario is particularly complicated and many issues must be considered: a) the expected service provided by the emergency vehicle will be delayed and, consequently, the life of other people can be endangered; b) a new dangerous situation emerges and users involved must take a special care in their behavior while the situation is happening; and c), new accidents could easily happen, becoming the situation even more drastic and dangerous.

Many projects and research efforts focus on this topic, such as: Car2Car- CC [1], SimTD [2], PRE-VENT, FleetNet [3], DSRC, SeVeCom [4], NoW [5], Coopers [6], Anemone [7], Poseidon [8] and GST Rescue [9]. All of them are related with Vehicular Ad-hoc Networks (commonly called VANETs). In [1], relevant emergency scenarios are shown, and explained but a documented solution is not provided. The different scenarios under consideration are: Motorcycle warning (Figure 1.a); approaching emergency vehicle (Figure 1.b); warning of road work (Figure 1.c) and avoidance of traffic jams (Figure 1d). Most of these works focus on the study of the roads, obtaining information about the traffic congestion [10] and giving some alternative routes [11-12] to the emergency vehicles if there are traffic jams or slow traffic flow. In most cases, information is collected at a central point to take decisions and vehicles are later informed and we consider that decisions must be taken in a decentralized way reaching a consensus among the vehicles concerned.



(a)



(b)

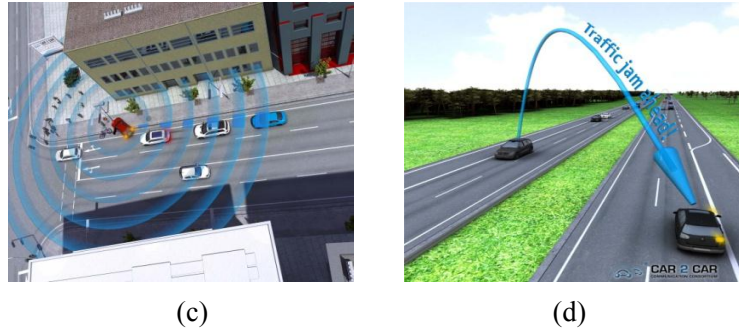


Figure 1: Different types of traffic situations a) vehicle approaching intersection, b) emergency vehicle approaching, c) warning of road work, and d) traffic flow information (source: Car2Car Communication Consortium).

This paper describes a real time decision-making system based on an ontology which ensures vehicle cooperation to reach a consensus on a common decision in order to manage road traffic in emergency situations. The rest of the paper is organized as follows: Section II describes the related work; Section III is devoted to the characterization of the communication channel; Section IV introduces the ontology-driven decision system architecture, while Section V explains the implementation; Section VI is devoted to the validation of the system proposed; and finally, conclusions, acknowledgements and references end the paper.

II. RELATED WORK

Among the approaches to model traffic situations, an increasing number of symbolic ones propose the use of ontologies [13-18] following the criteria that knowledge (a high level, symbolic, representation) is useful to perform reasoning on traffic situations. Ontologies may be introduced into vehicles allowing sensor and actuation inside each vehicle, and communication among them (V2V) or with the infrastructure (V2I). In [11], a chaos reducing information dissemination approach for spatio-temporal traffic information related to first responders and evacuation scenarios using Vehicular Ad Hoc Networks is presented. A scheme of flow-based travel plan of VANETs, which can calculate most time-saving routes for vehicles according to real time traffic information of each road segments and the traffic condition is presented in [12]. In [13], authors claim to represent in the ontology the whole infrastructure in which regular vehicles are embedded and not only the motion parameters of each vehicle but they do not provide a way to adapt car driving to the arrival of vehicles that require overtake urgently. An overview of design

areas relevant to automotive applications (by way of the Automotive Ontology), as well as some aspects that facilitate inference and reasoning are described in [15].

An approach to create a generic situation description for advanced driver assistance systems using logic reasoning on a traffic situation knowledge base is presented in [17], while [18] describes how a high-level abstract world model can be used to support the decision-making process of an autonomous driving system. This model, based on topological lane segmentation, introduces relations to represent the semantic context of the traffic scenario in order to make easier the realization of a consistent and complete driving control system, and to analyze, evaluate and simulate it.

Traffic safety is addressed in [14] and [19]; analyzing the needs of traffic accident ontology in [14] and dealing with traffic safety improvement by using an ontology-based approach in Vehicular Networks in the *VEhicular ACCident ONtology* (VEACON) [19]. VEACON is an ontology proposed to provide sharing and reusing knowledge about traffic accidents. The Automotive Ontology presented in [15] introduces, according to their authors, the minimal tools an in-car middleware application should offer to support a large variety of application scenarios. This proposal encourages a discussion about the informed knowledge exchange between V2V and V2I.

Another approach, presented in [20] deals with emergency vehicles informing to a central point, which disseminates some basic orders given to the vehicles in a similar manner as the emergency vehicle. In this case, the reasoning capacity located in a central point. Vehicles are notified about the situation and the actions to perform before the arrival of the emergency vehicle to their position, in order to give them enough time to react properly and without any risk. Traffic signals and other specific devices on the road, under the control of the central point, are gathering/providing updated information from/to the vehicles on the road. Additionally, traffic signals are configured by the intelligent central point to manage the traffic in such emergency situations. Some simple tests have been performed in real situations [20-21], providing quite successful results. In [21], a specific scenario is analyzed: a straight road with three lanes in the same direction and only three possible lane changes for a vehicle: No change; overtakes the slower ones; gives pass to the faster ones (see Figure 1).

Current proposals consider that vehicles are equipped with sensors and communication devices that collect and communicate sensor data. However, vehicles do not integrate reasoning capabilities, which are left to a central point [14-15]. Traffic management in emergency situation could benefit from immediate decisions avoiding the use of a central point. In such case, each vehicle collects its perception of the scenario and aggregates the situation awareness provided by other vehicles located in its vicinity. The use of a common ontology ensures a quick and effective response to the event. As all the vehicles share the same ontology, all of them reach a consensus and act together avoiding inconsistent decisions. We consider, as other proposals do, that vehicles are equipped with sensors and communication devices that collect and communicate sensed data. We also propose the integration of an ontology inside each vehicle in order to provide them with reasoning capabilities and avoid the use of a central decision point. The proposed system enhances traffic management, above all in emergency situations, with immediate decisions where each vehicle reacts taking into consideration its neighboring vehicles and collaborates with them to reach consensus in real time. Considering the case of highways, the strategy used to design the ontology is to clear the fastest lane by moving all the other vehicles to the slowest lanes. Then, the emergency vehicle will have a free lane and will be able to give its service in a minimum time. This paper describes the development and implementation of our proposal, the real devices used and also the RF channel characterization. Table 1 summarizes the state of the art in this research area.

As it can be seen, most of the related previous works focus on wide areas, including more than one road. i.e., these solutions are working in general terms, focusing primarily on the traffic flow more than on individual vehicles and their movements (which is the goal of the proposal presented in this paper). Most of them require gathering information about the scenario and they extract this information from infrastructure elements placed on the road (which can alternatively be complemented with weather information).

Other proposals consider two different approaches to solve emergency situations: spreading warning alarms, and proposing alternative routes. In our work, besides sharing the alarm signal, more specific instructions are given. Every single vehicle on the road affected by the exceptional situation is suggested to perform personalized and exclusive actions. Although many previous works focus on avoiding the approach to conflictive areas, we focus on how to solve an emergency situation once the users are already in-

volved in such a situation. In any case, the solution provided is just a suggestion, which must be received, agreed and ultimately performed by the driver.

Project	Operation area	Information required	External information providers	Decision taken	Decision taker	Collaboration among vehicles
Car2Car CC	Wide and small	None	Roadside	Alternative routes, Warnings	Device suggests, Driver decides	Spread emergency warnings
SimTD	Wide	Destination, Traffic study	Infrastructures	Adapt the routes	Device suggests, Driver decides	Spread emergency warnings
PreVent	Wide	Vehicle location, Weather info, Maps	Traffic lights	Warnings (give way, not crossing, not changing lane, automatically braking)	Device suggests. If driver does not act, device acts	No collaboration (only sensors)
FleetNet	Wide	Geographical addressing	Stationary gateways	Warnings (traffic jam, emergency braking, accident,...)	Device informs, Driver decides	Data exchange of positions and dangers
DSRC	Wide	Maps	Infrastructures	Warnings (hazardous situations, soon braking, weather and road conditions, accidents)	Device informs, Driver decides	Spread emergency warnings
NoW	Wide	None (not management of traffic, only warnings)	Infrastructures	Alternative routes, Warnings	Device suggests, Driver decides	Spread emergency warnings
Coopers	Small	Roadmap, Monitored info from driver	Infrastructures	Maximum speeds (depending of traffic situation)	Infrastructures suggests, Driver decides	No collaboration (communication between infrastructure y vehicle)
Anemone	Wide	Network map	No	Shortest path (centralized decision)	Device suggests, Driver decides	Share position
Safespot	Wide	Road Maps	Infrastructures	Warnings (future dangers)	Device informs, Driver decides	Spread emergency warnings
Poseidon	Wide	Network map	No	Routes optimization	Device suggests, Driver decides	Share info about the traffic situation
Current proposal	Small (one road)	Position and speed	Weather and infrastructures (future steps)	Suggest exclusive movements to every single driver	Device suggests, Driver decides	Agreed decision (collaboration among them)

Table 1: State of the art of the different solutions.

Finally, the maximum level of coordination among vehicles on other proposals are sharing their positions and spreading the warning signals [26]. Here lies the key point of our proposal: cooperation/collaboration among vehicles in order to reach agreed solutions (i.e., consensus among the vehicles) previously introduced in [16]. We propose a system that adapts to emergency situations (i.e.: obstacles on the road, traffic jam, etc.) and where vehicles cooperate to reach a consensus on a common decision. We measure the execution time of the ontology, proving that the execution of the ontology based road traffic management proposed can apply in real time. Other proposals do not focus on this execution time although it is a key input in order to ensure real time operation. We focus on the decision-making for the avoidance

of accidents when allocating a lane to emergency vehicles is required. Decisions are taken in situ, without requiring a core ontology being accessed in a centralized way, reaching a consensus among the cars involved in real time in the same way that airborne collision avoidance and airborne separation assurance systems (ACAS and ASAS respectively) do.

III. VEHICULAR RADIOCHANNEL CHARACTERIZATION

Ambient intelligence can be reached if a certain communication scenario may be guaranteed and therefore, upper layer services such as intelligent routing, transport and final applications can operate adequately. In such way, radiofrequency (RF) communication among vehicles and infrastructures must be analyzed in depth, leading to a complete analysis of the system, from physical layer to the final user application. Channel performance directly determines the quality of the communication link, in terms of sensitivity, capacity and latency. Therefore, a very clear understanding of the channel must be pursued to get high-quality and high-capacity transmission of the useful information by using inherently limited base stations and hot-spots to give an efficient service. Initial approaches in order to analyze the impact of the environment on wireless link operation are based on first order analytical approaches, which do not consider adequately phenomena such as multipath propagation, diffuse scattering or specific material absorption. In order to analyze the performance of the propagation channel in a vehicular scenario, we have simulated a vehicle with the aid of an in-house developed 3D ray launching code [22-23]. The model of the vehicle is based in a specific vehicle “Skoda Octavia” hatchback (4.57m x 1.6m x 1.46m), and the simulation considers the properties of the materials of the different parts of the vehicle. Figure 2 shows a detail of the vehicle with the different parts that have been considered.



Figure 2. Detail of the vehicle model: tridimensional view (left) and aerial view (right).

Two scenarios have been considered for simulation. The first one is an outdoor scenario of 8m x 16m x 2m dimensions, with two vehicles, with the goal of the assessment of the radiopropagation channel performance between them. The second outdoor scenario is larger, with 40m x 20m x 8m dimensions and

three vehicles. A schematic view of both scenarios is depicted in Figure 3. The transmitter antenna has been placed on the ceiling of the first vehicle in both cases. Table 2 summarizes the parameters employed in both simulations in the 3D ray launching code.

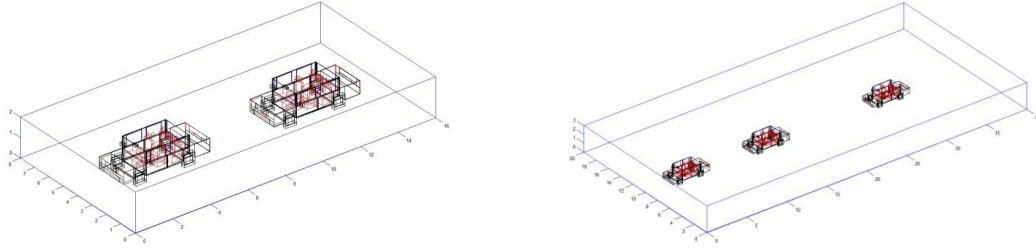


Figure 3. Schematic view of the considered scenarios: two (left), and three vehicles (right).

PARAMETERS IN THE RAY LAUNCHING SIMULATION

Frequency	2.4GHz
Vertical plane angle resolution	1°
Horizontal plane angle resolution	1°
Reflections	10
Transmitter Power	0dBm
Cuboids size	10cm

Table 2. Simulation parameters.

Figure 4 and Figure 5 show simulation results obtained by means of in-house 3D ray launching algorithm for the received power in bi-dimensional planes for a height of 1.25m and 1.55m for the considered scenarios depicted in Figure 3. As it can be seen, estimation of received power levels has a strong topological dependence, given by multipath propagation in this environment, which can lead to received power levels below the sensitivity threshold of the transceivers within the vehicles.

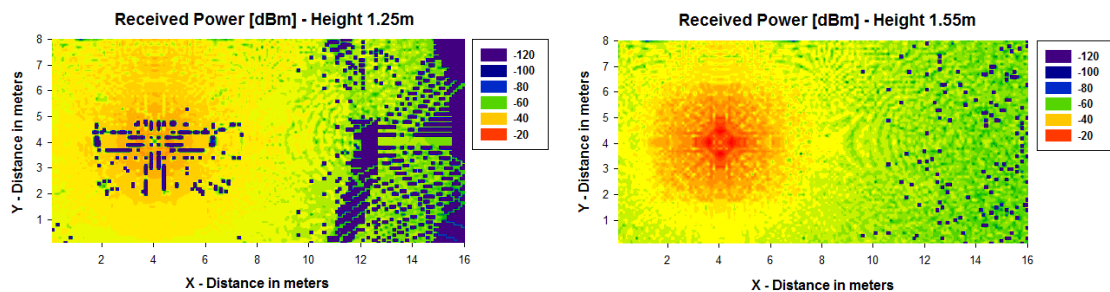


Figure 4. Received power [dBm] for the scenario with two vehicles for a height plane of 1.25m (left) and a height plane of 1.55m (right)

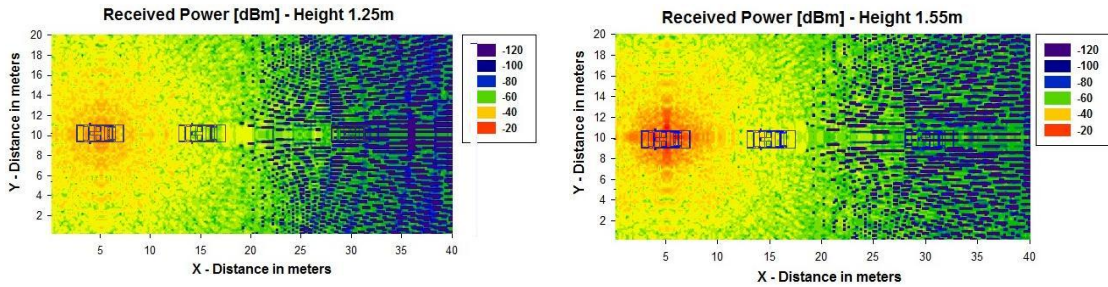


Figure 5. Received power [dBm] for the scenario with three vehicles for a height plane of 1.25m (left) and a height plane of 1.55m (right)

The comparison between different heights for the received power versus distance for both scenarios is represented in Figure 6. The propagation phenomena exhibits a complex behavior, which is strongly dependent on the location of the transceiver elements as well as on the material contents employed. This must be taken into consideration when analyzing the behavior of the wireless transceivers within the vehicle, in order to determine the best radioplanning solution for the choice and location of such transceivers, to obtain the optimal overall performance of the complete system.

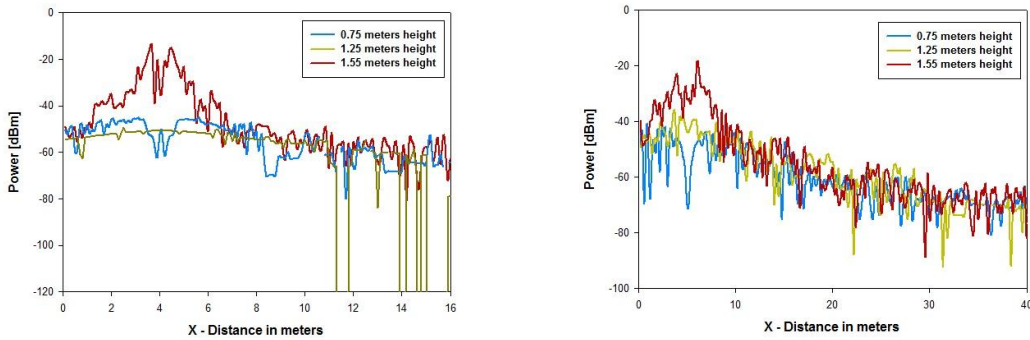


Figure 6. Estimation of received power for different heights: two vehicles (left figure) and three vehicles (right figure).

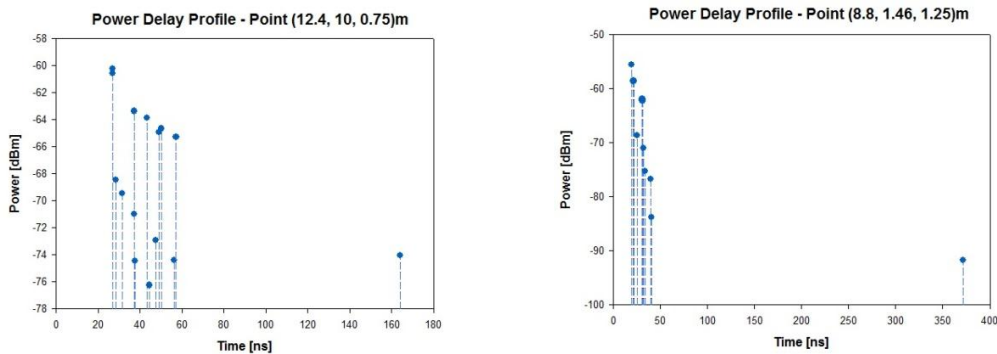


Figure 7. Power-Delay Profile at two different simulation points in the scenario with three vehicles. As it can be seen, multipath propagation (given by each one of the time domain components) is has a strong dependence with position.

As it has been stated, the fundamental propagation phenomenon in this environment is multipath propagation due to the large metallic content of the vehicles, which is characterized by the temporal dispersion of the signal and the frequency dispersion due to temporal variations of the received amplitude. To illustrate the relevance in this propagation channel, the power delay profile for two points within the scenario with three vehicles has been simulated and is shown in Figure 7. As it can be seen, there are a large number of received echoes, due to strong multipath components when high reflectivity (from metals) is achieved.

The results previously shown allow the determination of the minimum communication latency that must be considered, the amount of information that can be delivered in an emergency scenario where a quick response is required and how multipath propagation affects the reception on new incoming messages. The changes in topology in morphology modify the received power in the vehicle, as well as the overall signal to noise ratio, which must be considered in order to guarantee overall system operation.

IV. ONTOLOGY-DRIVEN DECISION SYSTEM

Emergency situations can happen at any time and all the involved vehicles on the road should be ready for reacting in the shortest period of time. When an emergency vehicle is on the road asking for a free lane, there is the need of coping with the following scenario depicted in Figure 8.

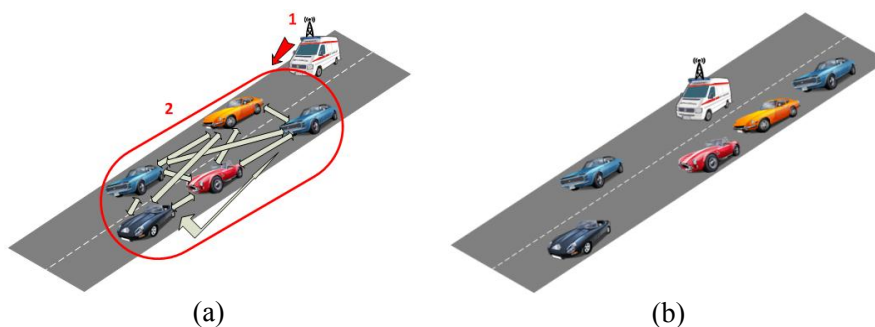


Figure 8. Emergency vehicle asking for a free lane (a.1); vehicles collaborating among them (a.2); vehicle redistribution after consensus (b).

The emergency vehicle (an ambulance in this case) sends an alarm message towards all the vehicles on the road via wireless links. There is a continuous communication among all the vehicles. Thus, each one of the vehicles knows exactly the speeds and positions of the other vehicles. Then, the vehicles that receive

this message start to interact with the others, re-sending the alarm signal. At this moment, when all the vehicles involved in the scenario have been notified about the incoming emergency, is when all of them start to look for a consensus in order to know how to act properly. The aim is to solve the emergency situation as fast as possible and with the minimum modification of the current traffic flow. The communications are limited by the distances among the involved vehicles in terms of coverage problems and buffer saturation due to multipath propagation as described in Section II. Finally, when an agreed solution is reached, every vehicle knows the course of action to take in order to solve the situation and facilitate the course of the emergency vehicle. This solution will be displayed to the driver as a suggestion and will be responsible for performing it.

Every vehicle is provided with some devices that are installed in order to enable the complete process explained above related with the communications among vehicles, the decision taking process and the notification to the driver. Figure 9 shows an aerial placed on the roof of the car (left image), which is responsible of enabling all the wireless communications between other vehicles and with a tablet installed inside the vehicle. The tablet is placed on the dashboard and it has a screen on which the suggestion to the driver is displayed (depicted in the central image in Figure 9) and how the road is displayed on the screen with an emergency signal and the suggestion to the driver (right image in Figure 9). This suggestion consists of two parts: a text content and a graphical content to aid in the dissemination of the message.



Figure 9. Location of external antenna (left image) and tablet (middle image), and example action suggestion (right image).

The core of the system resides in a router, which is in charge of the following tasks:

- a) the creation of the messages (concerning alarms, location and speed) to send to the other vehicles through the aerial;
- b) the interpretation of the messages received from other vehicles;

c) the creation of the messages to send to the tablet, including the actions suggested to the driver that must be displayed on the screen and

d), the management of the ontology embedded in it, using all the information gathered in order to infer a solution to solve the emergency situation. This ontology uses a specific reasoning element based on the Rete algorithm [24], which provides a very fast reasoning process.

Vehicles ontology, based on sensor data, suggests the driver different actions depending on the specific situation. The ontology extends the A3ME ontology [25], a basic simple classification for self-description and discovery of devices and their capabilities in heterogeneous networks including resource constrained sensor nodes. It is suggested to be used as a core and build an extended semantically sophisticated version of the ontology on top of this core, what is actually done in the current work. This extension has been made by adding some classes to model each vehicle respect its neighbours: *position*, *distance* and *acceleration*. We extend the class *output* to model ontology suggestions: *Accelerate*, *SoftAccelerate*, *Decelerate*, *SoftDecelerate*, *MaintainSpeed*, *MaintainDistanceWithCarInFront* and *ChangeLane*.

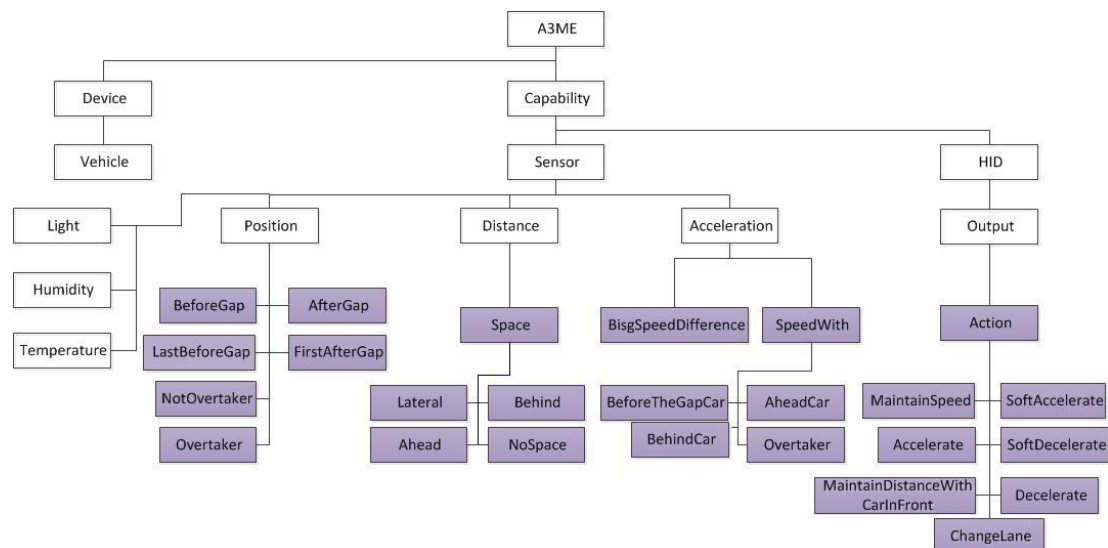


Figure 10. Proposed ontology extended from A3ME ontology.

Figure 10 represents the proposed ontology, in which purple rectangles represent the classes we have added to the A3ME ontology. Additionally, other classes have been integrated that we will use to adapt decisions to weather conditions. The knowledge of the developed ontology is based on rules, called SWRL Rules and they have the intelligence needed for, starting from some specific information, provide

the desired results in order to know how to act in every different situation. The created ontology is based on 77 rules, with 24 classes and 12 properties, and their structure is *Condition1, Condition2 ... ConditionN* \rightarrow *Result*. Some of these rules are shown in [Figure 11](#).

The whole process followed from gathering the information until the specific vehicle performing a specific action is broken down. This process is exactly the same for every single vehicle on the road. There is a device installed inside the car that is capable of exchanging information. When there is an emergency situation on the road, vehicles broadcast an alarm towards all the other vehicles on the road. Each vehicle, by reception of the alarm signal, uses its semantics in order to extract agreed suggestions. Suggestions are provided to the driver through a screen located inside the vehicle or a head-up-display (voice messages are also available). The driver reacts taking into account the suggestions.

Rules
Vehicle(?c, beforeTheGap(?c, false), hasSpaceLateral(?c, true), isOvertaking(?c, false), lastFirst-BeforeAfter-TheGap(?c, true), speedWithBeforeTheGapCar(?c, "3***long) \rightarrow MaintainSpeed(?c)
Vehicle(?c, beforeTheGap(?c, true), bigSpeedDifference(?c, false), hasSpaceAhead(?c, false), hasSpaceBehind(?c, true), hasSpaceLateral(?c, false), isOvertaking(?c, false), lastFirst-BeforeAfter-TheGap(?c, false), speedWithOvertaker(?c, "3***long) \rightarrow SoftDecelerate(?c)
Vehicle(?c, beforeTheGap(?c, false), bigSpeedDifference(?c, true), hasSpaceLateral(?c, true), isOvertaking(?c, false), lastFirst-BeforeAfter-TheGap(?c, true), speedWithBeforeTheGapCar(?c, "1***long) \rightarrow Accelerate(?c)
Vehicle(?c, bigSpeedDifference(?c, false), hasSpaceAhead(?c, false), hasSpaceBehind(?c, true), hasSpaceLateral(?c, false), isOvertaking(?c, true), speedWithAheadCar(?c, "3***long), speedWithBehindCar(?c, "2***long) \rightarrow SoftDecelerate(?c)
Vehicle(?c, beforeTheGap(?c, false), hasSpaceAhead(?c, true), hasSpaceLateral(?c, false), isOvertaking(?c, false), lastFirst-BeforeAfter-TheGap(?c, true), speedWithBeforeTheGapCar(?c, "3***long) \rightarrow MaintainSpeed(?c)
Vehicle(?c, hasSpaceAhead(?c, false), hasSpaceBehind(?c, true), hasSpaceLateral(?c, false), isOvertaking(?c, true), speedWithAheadCar(?c, "1***long), speedWithBehindCar(?c, "2***long) \rightarrow SoftAccelerate(?c)
Vehicle(?c, beforeTheGap(?c, false), hasSpaceAhead(?c, false), hasSpaceBehind(?c, true), hasSpaceLateral(?c, false), isFrontOfOvertaker(?c, true), isOvertaking(?c, false), lastFirst-BeforeAfter-TheGap(?c, false), speedWithBehindCar(?c, "3***long) \rightarrow MaintainSpeed(?c)
Vehicle(?c, beforeTheGap(?c, true), hasSpaceAhead(?c, false), hasSpaceBehind(?c, true), hasSpaceLateral(?c, false), isOvertaking(?c, false), lastFirst-BeforeAfter-TheGap(?c, true), speedWithOvertaker(?c, "1***long) \rightarrow MaintainSpeed(?c)
Vehicle(?c, hasSpaceAhead(?c, true), hasSpaceLateral(?c, false), isOvertaking(?c, true), speedWithBeforeTheGapCar(?c, "3***long) \rightarrow SoftAccelerate(?c)
Vehicle(?c, beforeTheGap(?c, false), hasSpaceAhead(?c, true), hasSpaceLateral(?c, false), isOvertaking(?c, false), lastFirst-BeforeAfter-TheGap(?c, false), speedWithBeforeTheGapCar(?c, "3***long) \rightarrow MaintainSpeed(?c)
Vehicle(?c, bigSpeedDifference(?c, true), hasSpaceAhead(?c, false), hasSpaceBehind(?c, true), hasSpaceLateral(?c, false), isOvertaking(?c, true), speedWithAheadCar(?c, "3***long), speedWithBehindCar(?c, "3***long) \rightarrow Decelerate(?c)
FirstAfterGap(?c), Vehicle(?c), hasSpaceAhead(?c, true), hasSpaceLateral(?c, false), isOvertaking(?c, false), speedWithBeforeTheGapCar(?c, "2***long) \rightarrow MaintainSpeed(?c)
Vehicle(?c, hasSpaceAhead(?c, false), hasSpaceBehind(?c, false), hasSpaceLateral(?c, false), isFrontOfOvertaker(?c, false), isOvertaking(?c, false) \rightarrow SoftDecelerate(?c)

Figure 11. Example of SWRL rules.

V. SYSTEM IMPLEMENTATION

In order to validate our proposal, a test system has been implemented. The system consists on a VANET network where nodes have embedded an ontology, and nodes follow a protocol to exchange messages among them in order to reach a consensus between cars involved in the reasoning process. Each vehicle every second broadcasts its state: identity, speed, and GPS position. Each vehicle receives information from other ones. Such information is stored in the ontology. The reasoner is continuously executing in order to evaluate the data stored in the ontology, and to suggest actions to the driver.

Concerning the election of the router to build up the VANET, and according to the management of its interfaces, two different ones have been tested: Mikrotik and Ubiquiti. Finally, the Mikrotik RouterBoard 433UAH has been selected due to the consistent results along the tests performed. The board, depicted in Figure 12, has three communication interfaces, where three cables can be linked to different devices. In the current case, aerials have been linked to them. A minimum number of two wireless interfaces are needed for the connection to the 3G and GPS networks respectively.

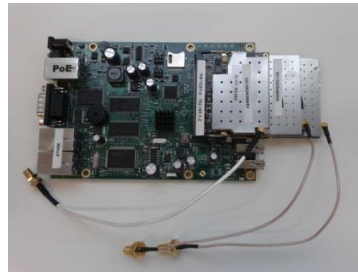


Figure 12. Mikrotik RouterBoard 433UAH employed in the test system.

These interfaces can communicate with others through an unlicensed spectrum technology, Wi-Fi (IEEE 802.11), in ISM frequency bands of 2.4 GHz or 5 GHz, with a bandwidth of 20MHz. The software drivers used by the router are ath5k and ath9k, for Atheros/Qualcomm architectures in Linux systems. They are open source, allowing the access to their real source code and, therefore, amend options like the bandwidth or setting executing parameters at driver level. As the drivers are developed for Linux systems, the operating system installed inside is OpenWRT, a reduced version of Linux for embedded systems. As the routing algorithm for meshed area networks we use ‘BATMAN Advanced’ working in the MAC protocol layer. In contrast with other algorithms, BATMAN Adv. is transparent to the higher layers of the OSI Model. Our communication model is based on UDP connections, offering a reduction on the number of headers sent among vehicles and a lower number of control packets than those that of a TCP based communication. The router manages two different wireless networks at the same time: the tablet-router network, and the vehicle-router network. Each interface is connected as shown in Figure 13 to an antenna. The antenna used is presented with a card close to it in order to evaluate its real size.

TABLET-ROUTER:	VEHICLE-ROUTER:	
	Wi-Fi	802.11a/b/g/n

Wi-Fi	802.11a	Drivers	Ath5k (XR2) Ath9k (SR71A)
Drivers	Ath5k	Card	Ubiquiti, UBNT- XR2 Ubiquiti, UBNT- SR71A
Card	Ubiquiti, UBNT- XR5	Range	2,4 GHz – 2,5 GHz 5 GHz – 6 GHz (SR71A)
Range	5 GHz – 6 GHz	Bandwidths	5, 10, 20, 40 MHz
Bandwidths	5, 10, 20, 40 MHz	Max. Throughput	11 Mbps (802.11b) 54 Mbps (802.11a/g) 300Mbps (802.11 n) (SR71A)
Max. Throughput	54 Mbps (802,11a)		

Table 3. Specifications of the Wireless networks involved in the system.



Figure 13. Antenna (left) and view of the complete system components employed (right).

This antenna is placed on the roof of the vehicle, at an approximate height of 1.5m, attached by means of a magnetic basis, allowing a maximum driving speed of 120 km/h. The physical link between the RouterBoards and the radiating elements is done with low attenuation ‘pigtailed’ and coaxial feeder cables up to 3 meters. The antenna exhibits a gain of 7 dBi with a frequency of operation of 5 GHz, and of 4.5 dBi when operating in 2.4 GHz, with an omnidirectional pattern. Receiver sensitivity requires a minimum power level of -97 dBm to establish a feasible communication link. Every vehicle requires these elements installed in order to allow the execution of the all the tasks previously explained.

In order to transfer messages we have followed a broadcast strategy. All the nodes inform about their state periodically every second. There are no other messages exchanged between vehicles.

VI. EXPERIMENTAL RESULTS

In order to validate the proposed system, we have performed a broad analysis concerning communication features and also metrics related to system performance. To validate previous predictions, measure-

ments of the radiopropagation channel in a real scenario with two vehicles involved have been performed. For this purpose, a 1000 meters straight stretch of road has served as the set up for the experiments. The wideband measurements were performed with 100 MHz bandwidth at 2.4GHz frequency band. The transceivers are a magnetic mount model from *ECO Series Mobile Antennas*, specifically the *ECOM5-2400* model. The radiation pattern of the transceivers is omnidirectional with linear polarization and 5dB gain. The transmitter power is set to -10dBm. Measurements have been obtained for two different cases. First, both vehicles were in movement, one behind another, with 20 meters separation between them and with constant velocity. In the second case, the vehicle with the transmitter antenna remained in a fixed position and the other vehicle was in movement along the straight road. For both cases, the transmitter and receiver antenna was above the roof of the car, as is shown in [Figure 14](#).



Figure 14. View of the set up for the experiments, with the antennas magnetically mounted on the car roof.

A spectrum analyzer, *Agilent N1996A* has been used as signal generator configured with a minimum sweep frequency to obtain a single-frequency pulse at the output and also a portable spectrum analyzer from *Agilent (N9912 Field Fox)* has been used in the reception vehicle. Figure 15 shows the variations in the received power along the time for the first experiment, that is, with both vehicles in movement, with a constant distance and velocity along a straight road. Received power presents variation along a mean value, which is due to time-varying multipath propagation from the different element encountered in the road as the vehicles are moving. The mean value, which is -77.04dBm with a standard deviation of 4.8dBm, is similar to the previous ray launching estimations, for a non-movement vehicle situation. Differences are mainly given by changes in the urban topology (existence of other elements such as vegetation or road in-

frastructure) as well as by the large amount of different material parameters within the real measurement scenario.

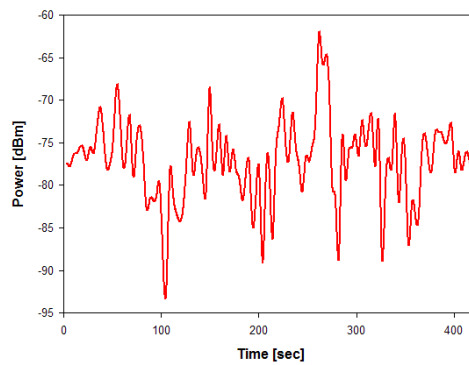


Figure 15. Variations of measured received power between two vehicles in movement with constant speed and distance between them.

For the second experiment, the vehicle with the transmitter antenna remained in a static position and the receiver vehicle was in movement. Figure 16 shows the measured spectrogram, which is capable showing the variations of frequency along time. The larger variations occurred when the distance between both vehicles was larger and with the increase of the car velocity of the vehicle with the reception antenna, due to Doppler effect. As previously stated, the elements within the scenario as well as the inherent mobility in vehicular communication have a strong effect on signal attenuation and therefore, in the received power and hence, final system performance.

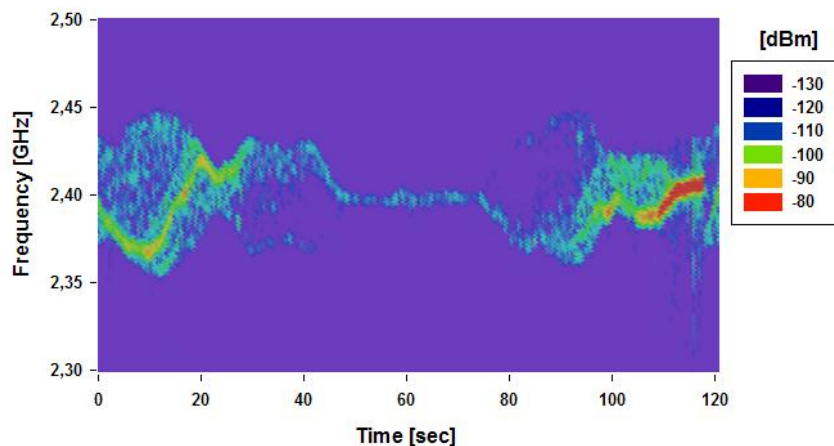


Figure 16. Spectrogram in 2.4GHz ISM band when the vehicle with the reception antenna is in movement and the vehicle with the transmitter antenna is in a static position.

As previously stated, two different types of routers have been tested, Ubiquiti and Mikrotik, with two different software drivers each one of them (ath5k and ath9k) and three transmission modes (802.11 b, a/g and n). Two different frequencies have also been tested, 2.4 GHz and 5 GHz, the ones which are used in the communication links between router and vehicles and between the router and the tablet, respectively. The protocol used in transmissions is UDP. We have shared data between two vehicles obtaining the results shown in Figure 17 when considering the interface 802.11 n (SR71A). As it can be observed, the transference rate can reach up to 100 Mbps in situations with vehicles close to each other.

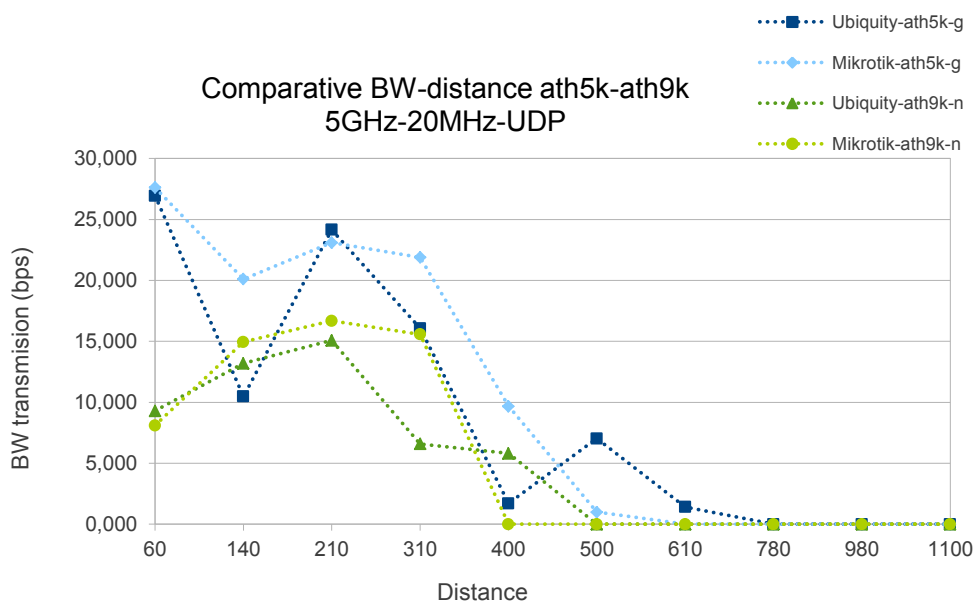
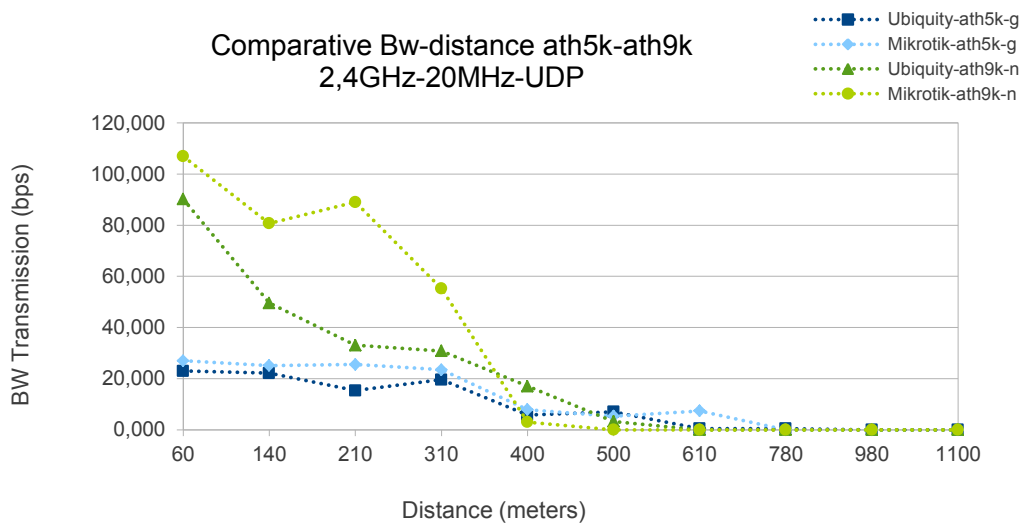


Figure 17. Bandwith-distance comparatives for 2 (up) and 5 GHz (down) respectively.

The selection of the Mikrotik RouterBoard with the ath5k driver has been made due to the good results, mainly with a frequency of operation of 5 GHz, as well as due to the ease of use (for the driver of ath9k there are more physical requirements, like an increment of the number of aerials needed). In both frequencies (2.4 GHz and 5 GHz) the throughput decreases drastically in the 400-500 metres rang. For the first one, the communication is between the router and the tablet, both inside the same vehicle. Therefore, as the separating distance is reduced to a maximum value of 3 metres, the transference rates are fast enough. For the second frequency, the communication is between the router and the other routers placed in different vehicles. Thus, the transference rates are good enough to ensure the correct communications.

We have performed different experiments with our private vehicles distributed into two lanes. The ones on the fastest lane are the overtakers and they have to find a free space to occupy on the other lane.

Each car broadcast a simple, short and fixed in size information about its state. Each car processes such information, and based on the ontology rules take a particular decision. Packet content is not affected by the strategies computed by the ontology during the inference process.

They are a subset of the total number of vehicles on the road. As we can see in Figure 18, with more inferences occurrence, inference times decrease notably. This is due to the use of the Jess reasoning element. As the system progresses, the decision graph is evaluated faster.

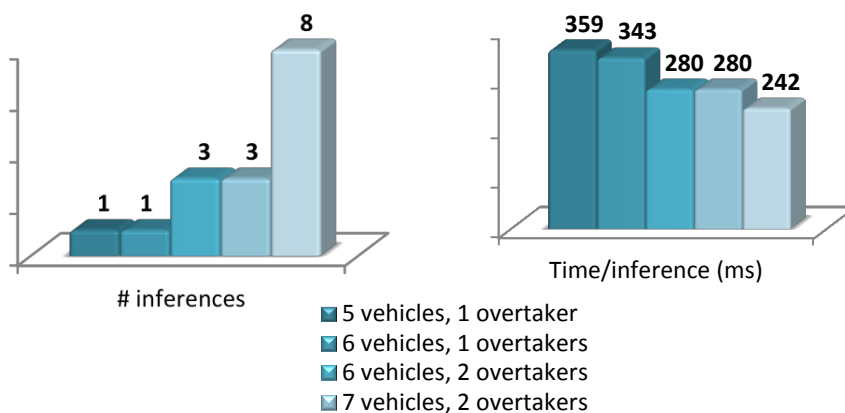


Figure 18. Number of inferences and time elapsed in an inference occurrence.

Figure 18 shows that the number of inferences grows with the number of vehicles. There are more vehicles to take decisions, so the number of total inferences grows very fast. However, the time of the whole inference process remains around 300ms. This is an effect of the Rete algorithm on which is based the inference process, because this algorithm do not waste processing time analysing the complete decision graph for each inference. Then, we consider that the system can operate in real-time conditions. We do not consider more vehicles because 7 cars, considering 3 of them in the same lane, correspond about 10 meters in the lane. This scenario could be considered a worst case because decisions should be achieve as soon as possible. Figure 8 shows that inference rules could increase, for example, due to more rich ontology, but the Rete algorithm ensures that inference time does not correspond to the number of inference rules.

From previous comments, it can be stated the system allows the communication among vehicles with good rates, depending on the distances among them. At short distances, transfer rate is very high. In addition, the establishment of new connections with new devices detected on the road is done very quickly. The obtained transfer rates (more than 1.5 Mbps) make the system completely able to manage the communications following a broadcast model.

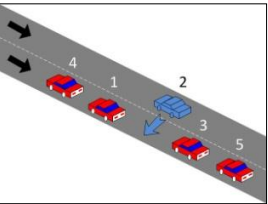
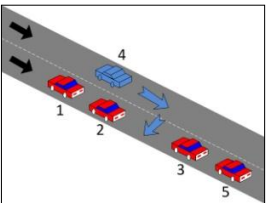
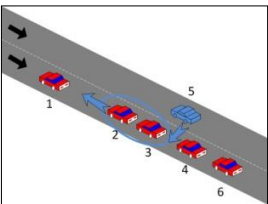
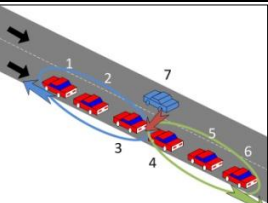
LATERAL SPACE	
	<p>1: <i>MaintainDistanceWithCarInFront</i></p> <p>2: <i>ChangeLine</i></p> <p>3: <i>MaintainSpeed</i></p> <p>5 and all ahead: Speed ≥ 1 <i>Accelerate or MaintainSpeed</i></p> <p>4 and all behind: Speed ≤ 1 <i>Decelerate or MaintainSpeed</i></p>
NOT LATERAL SPACE, AHEAD SPACE	
	<p>1 and all behind: Speed ≤ 2 <i>Decelerate or MaintainSpeed</i></p> <p>2: <i>MaintainDistanceWithCarInFront</i></p> <p>3: <i>MaintainSpeed</i></p> <p>5 and all ahead: Speed ≥ 2 <i>Accelerate or MaintainSpeed</i></p> <p>4: <i>Accelerate</i></p>
NOT LATERAL SPACE, NOT AHEAD SPACE, BEHIND SPACE	
	<p>1 and all behind: Speed < 5 <i>Decelerate or MaintainSpeed</i></p> <p>2 and 3: <i>Decelerate</i></p> <p>4 and all ahead: Speed > 3 <i>Accelerate or MaintainSpeed</i></p> <p>5: Speed ≤ 2 and > 3 <i>Accelerate or Decelerate or MaintainSpeed</i></p>
NOT LATERAL SPACE, NOT AHEAD SPACE, NOT BEHIND SPACE	
	<p>1 and all behind: <i>SoftDecelerate</i></p> <p>4 and all ahead: <i>SoftAccelerate</i></p> <p>7: Speed > 3 and ≤ 4 <i>Accelerate or Decelerate or MaintainSpeed</i></p>

Table 4. Emergency scenarios and corresponding ontology's suggestions. Cars are numbered from 1 to 7 (left side); and react as suggested by the ontology (right side).

Table 4 summarizes different vehicle situations considered and the actions suggested by the ontology. We have evaluated these scenarios with different number of vehicles, travelling along a dual lane motorway (Autovía del Camino-A12, from Pamplona to Estella) observing traffic regulations, and measured the time required to extract the suggestions. We have considered from five to nine cars distributed uniformly among the lanes, due to the fact that decisions are taken for each vehicle and its neighbours (5 vehicles in line occupy approximately 50 meters). The last scenario presented above could be the worst one, in which vehicle number 7 needs to find a free space in the slowest lane, but there is not any gap in it. Therefore,

the other vehicles have to act in consequence in order to create a gap, where the vehicle number 7 could fit. Thus, vehicles from 1 to 3 and all behind (if any) will be suggested to *SoftDecelerate*, while vehicles from 4 to 6 and all ahead (if any) will be suggested to *SoftAccelerate*. In this way, a new gap will be created and vehicle 7 should maintain its speed between the speeds of the vehicles 3 and 4 by *Accelerate*, *Decelerate* or *MaintainSpeed*.

If everything is performed correctly, the scenario will turn into the first one, where vehicle 7 will have a lateral space and with a simple *ChangeLine* the situation would be completely solved. As the system is dynamic, every movement is detected and shared instantaneously. Thus, if a driver acts in a different way than expected, it will be detected and there will be adapted suggestions to it.

VII. CONCLUSIONS

Most of the previous solutions focused on studying the situation of the roads, obtaining information about the traffic congestion and giving some alternative routes to the emergency vehicles if there are traffic jams or slow traffic flow. In most cases information is collected at a central point to take decisions and vehicles are later informed. In this paper, emergency situations are handled in a different way: we propose to integrate an ontology inside each vehicle to provide them with reasoning capabilities and avoid the use of a central point. Our system benefits traffic management in emergency situations with immediate suggestion to drivers where each vehicle is a decision point, reacts considering its neighbouring vehicles, and collaborates with them to reach consensus in real time. In order to provide a complete solution physical layer as well as complete system design has been performed. The behaviour of the wireless channel has been analyzed with deterministic in-house simulation tools, showing the variable nature of the channel. The impact of the topology and morphology on the wireless link leads to variations in the received signal levels and signal to noise ratios observed, which has a direct impact on the overall performance of the system. A robust and flexible ontology has been developed and the complete system has been designed in order to provide the final user a tablet that is connected to a router element that has been specifically designed to constitute a VANET network extended with the ontology reasoning capabilities. The performed test shows inference time lower than 300ms and sufficient throughput for system operation, which can therefore be implemented to enhance Vehicle to Vehicle communication systems.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been supported by the Spanish Government grants: TIN2010-17170, TIN2011-28347-CO2-02, IPT-370000-2010-36.

REFERENCES

- [1] R. Baldessari, et al., Manifesto.
URL http://www.car-2-car.org/fileadmin/downloads/C2C-CC_manifesto_v1.1.pdf
- [2] S. A. Huss, A. Jaeger, H. Stuebing, "simTD: Safe and Intelligent Mobility Field Test Germany; Architecture and Applications for Car-to-Car Communication", 48th ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference (DAC 2011): Workshop on Intra and Inter-Vehicle Networking: Past, Present, and Future, San Diego, 2011.
- [3] Fleetnet, <http://www.fleetnet.co.uk/>.
- [4] SEVECOM, Secure vehicular communication, <http://www.sevecom.org/>.
- [5] C. Gerken, NetWorks on wheels (1998 (accessed 02.11.2010)).
URL <http://www.mindspring.com/~gerken/vehicles/>
- [6] Coopers, <http://www.coopers-ip.eu/index.php?id=project>.
- [7] Ist-Anemone, <http://www.cvisproject.org/en/links/anemone.htm>.
- [8] University Carlos III Madrid, Poseidon Project,
<http://enjambre.it.uc3m.es/~poseidon/index.html>.
- [9] E.I. Europe, "Gst rescue: Improving the response time of emergency services".
- [10] B.K. Mohandas, R. Liscano, O.W.W. Yang, "Vehicle traffic congestion management in vehicular ad-hoc networks", in: LCN, IEEE, 2009.
- [11] S.R. Rizvi, S. Olariu, M.C. Weigle, M.E. Rizvi, "A Novel Approach to Reduce Traffic Chaos in Emergency and Evacuation Scenarios," Vehicular Technology Conference, 2007 (VTC-2007 Fall) IEEE 66th, pp.1937-1941, Sept. 30 2007-Oct. 3 2007.
- [12] Y. Yu, B. Liu, T. Wu, M. Liu, "Flow-based Travel Plan via VANET", *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*, 5, 2011.

- [13] P. Morignot, F. Nashashibi, "An ontology-based approach to relax traffic regulation for autonomous vehicle assistance", 12th IASTED International Conference on Artificial Intelligence and Applications (AIA'13), Austria (2013).
- [14] Y. Dongli, W. Suihua, Z. Ailing, "Traffic Accidents Knowledge Management Based on Ontology", Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery 2009 (FSKD '09), vol.7, pp.447-449, 14-16 Aug. 2009.
- [15] M. Feld, C. Müller, "The automotive ontology: managing knowledge inside the vehicle and sharing it between cars". 3rd International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '11), M. Kranz, G. Weinberg, A. Meschtscherjakov, M. Murer, and D. Wilfinger (Eds.), ACM, New York, NY, USA, pp.: 79-86, 2011.
- [16] A.J. Bermejo, J. Villadangos, J. J. Astrain, A. Cordoba, "Ontology Based Road Traffic Management", Intelligent Distributed Computing VI, G. Fortino et al. eds., SCI 446, pp. 103-108, 2012.
- [17] M. Hulsen, M Zollner, C. Weiss, "Traffic Intersection Situation Description Ontology for Advanced Driver Assistance", IEEE Intelligent Vehicle Symposium 2011, Baden-Baden, Germany, June 5-9, 2011.
- [18] R. Regele, "Using Ontology-based Traffic Models for more efficient Decision Making of Autonomous Vehicles", Fourth International Conference on Autonomic and Autonomous Systems (ICAS 2008), pp.:94-99, IEEE Computer Society, 2008.
- [19] J. Barrachina, P. Garrido, M. Fogue, F.J. Martínez, J.C. Cano, C.T. Calafate, P. Manzoni, "VEACON: A Vehicular Accident Ontology designed to improve safety on the roads", *Journal of Network and Computer Applications*, 35:1891–1900, 2012.
- [20] A. Buchenscheit, F. Schaub, F. Kargl, M. Weber, "A VANET-based Emergency Vehicle Warning System", Proceedings of the First IEEE Vehicular Networking Conference (VNC 2009), IEEE, Tokyo, Japan, 2009.
- [21] G.H. Mohimani, F. Ashtiani, A. Javanmard, M. Hamdi, "Mobility modeling, spatial traffic distribution, and probability of connectivity for sparse and dense vehicular ad hoc networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 58(4):1998–2007, 2009.

- [22] L. Azpilicueta, F. Falcone, J.J. Astrain, J. Villadangos, I.J. García-Zuazola, H. Landaluce, I. Angulo, A. Perallos, "Measurement and modeling of a UHF-RFID system in a metallic closed vehicle". *Microwave and Optical Technology Letters*, 54(9):2126-2130, 2012.
- [23] J.A. Nazábal, P. Iturri-López, L. Azpilicueta, F. Falcone, C. Fernández-Valdivielso, "Performance Analysis of IEEE 802.15.4 Compliant Wireless Devices for Heterogeneous Indoor Home Automation Environments", *International Journal of Antennas and Propagation, Hindawi Publishing Corporation*, 2012.
- [24] C. Forgy, "Rete: A Fast Algorithm for the Many Pattern/Many Object Pattern Match Problem", *Artificial Intelligence*, 19:17-37, 1982.
- [25] A. Herzog, D. Jacobi, A. Buchmann, "A3me - an agent-based middleware approach for mixed mode environments", Proceedings of the 2008 The Second International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies, UBIKOMM '08, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 2008.
- [26] F. J. Martinez, C.-K. Toh, J.-C. Cano, C. T. Calafate, and P. Manzoni. "Emergency Services in Future Intelligent Transportation Systems based on Vehicular Communication Networks", *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 2(2):6-20, 2010.

Análisis del Canal Radioeléctrico en un Entorno Vehicular Complejo

Leire Azpilicueta⁽¹⁾, Peio López⁽¹⁾, Erik Aguirre⁽¹⁾, Uxue Gárate⁽¹⁾, Francisco Falcone⁽¹⁾
leire.azpilicueta@unavarra.es, peio.lopez@unavarra.es, aguirrerik@gmail.com, ugarate@gmail.com,
francisco.falcone@unavarra.es

⁽¹⁾ Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad Pública de Navarra. Campus Arrosadía, 31006, Pamplona

Abstract- The automotive technology has been suffering a growing demand for wireless systems for the data exchange between different system components inside a vehicle. In order to assess and analyze the behavior of the mobile radio channel in the vehicle, an appropriate 3D ray launching in-house code is presented and estimation of received power levels are shown. These results can aid in the adequate planning of the deployment of sensors and actors in the automotive technology. A measurement campaign is used to validate the proposed ray optical model.

I. INTRODUCCIÓN

Dado el gran éxito que han tenido en las últimas décadas los sistemas de comunicación inalámbricos en diferentes entornos y aplicaciones, el concepto de comunicación inalámbrica dentro de un vehículo es importante debido a sus múltiples aplicaciones. Por un lado, una de sus posibles aplicaciones podría incluirse dentro del área de dispositivos inalámbricos multimedia como pueden ser terminales de video para entretenimiento. Por otro lado, dentro del área mecánica, se podrían reducir costes minimizando el uso de cables, como por ejemplo en los vehículos modernos se usan progresivamente cada vez más sensores y pulsadores que funcionan inalámbricamente dentro del vehículo. Para mecanismos de seguridad críticos, como puede ser el freno del automóvil o el sistema de dirección, no se usaría un sistema inalámbrico, por tratarse de dispositivos críticos para la seguridad del conductor y de los ocupantes.

En la literatura se encuentran aplicaciones de sistemas inalámbricos para comunicación intra-vehículos basada en identificación por radiofrecuencia RFID [1], sistemas ZigBee y Bluetooth [2-3]. Sin embargo, es importante tener un método de predicción del canal radioeléctrico adecuado para optimizar la colocación de sensores inalámbricos en el entorno vehicular, y así mejorar el proceso minimizando costes. Para entornos vehiculares, los métodos de predicción de la propagación radioeléctrica más utilizados han sido los métodos deterministas basados en métodos numéricos, como el método de diferencias finitas (FDTD) [4] o el método de los Momentos (MoM). Estos métodos son muy precisos, pero la desventaja es su coste computacional, que puede llegar a ser muy elevado para un entorno intra-vehicular complejo. Como punto medio, están los métodos deterministas basados en técnicas de trazado de rayos [5], en los que se adquiere un compromiso entre precisión y tiempo de simulación. En este trabajo, se va a analizar el comportamiento de canal

radioeléctrico en el interior de un automóvil mediante un algoritmo de lanzamiento de rayos en 3D implementado dentro de nuestro grupo de investigación, para comprobar que la variabilidad y la topología del entorno afectan en la propagación electromagnética, y este análisis de propagación permitirá una configuración óptima de los sensores.

II. ALGORITMO DE LANZADO DE RAYOS EN 3D

Como se ha dicho previamente, el modelo de propagación que se utiliza en este trabajo está basado en el método determinista de lanzamiento de rayos en 3D para analizar el canal radioeléctrico en el interior de un automóvil. El procedimiento básico de este método consiste en lanzar un rayo desde la antena transmisora (Tx) y trazar el rayo en el escenario para ver si choca con algún objeto o si se recibe por alguna antena receptora (Rx). Cuando choca con algún obstáculo, se analizan los fenómenos de la reflexión, transmisión y difracción, dependiendo de la geometría y de las propiedades eléctricas del objeto, teniendo en cuenta la constante dieléctrica del material y la tangente de pérdidas. El algoritmo de lanzamiento de rayos en 3D está implementado en *Matlab*TM. Se pueden colocar varias antenas transmisoras en un escenario, y la potencia transmitida por cada una de ellas se convierte en un número finito de rayos que se lanzan en un ángulo sólido que se puede definir. Los parámetros que se pueden variar en el algoritmo son: la frecuencia de operación, el diagrama de radiación de las antenas, el número de reflexiones, la separación entre ángulos en los rayos lanzados y la dimensión de los cuboides en los que dividimos el escenario.

El modelo de coche desarrollado para su implementación en el algoritmo está basado en el modelo específico de automóvil “*Skoda Octavia*”, con dimensiones 4.57m x 1.6m x 1.46m. Todas las propiedades de los materiales que forman las diferentes partes del vehículo, como son la carrocería (incluido el motor y las ruedas), la parte interior del coche (asientos, salpicadero, puertas), los focos y los cristales de las ventanillas, se han tenido en cuenta, considerando su constante dieléctrica y su tangente de pérdidas para la frecuencia de operación específica utilizada. La Fig. 1 muestra el vehículo considerado para la simulación con las diferentes partes que se han tenido en cuenta. Los diferentes parámetros considerados para la simulación se muestran en la Tabla I.

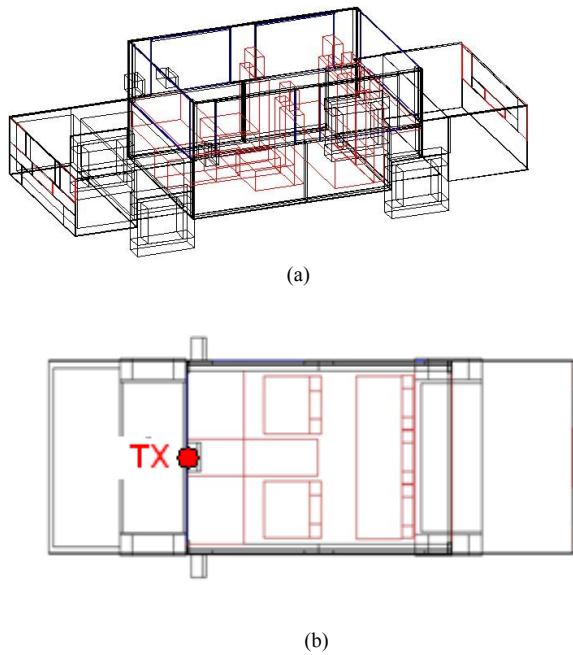


Fig. 1. Modelo de vehículo considerado para la simulación. (a) Vista tridimensional. (b) Vista aérea.

TABLA I
PARÁMETROS ALGORITMO LANZADO DE RAYOS EN 3D

Frecuencia	2.4GHz
Potencia de transmisión	4.5dBm
Ganancia de antenna transmisora	0.87dBi
Resolución angular plano horizontal ($\Delta\Phi$)	1°
Resolución angular plano vertical ($\Delta\theta$)	1°
Reflexiones	6
Resolución de cuboides	5cm x 5cm x 5cm

III. RESULTADOS DE SIMULACIÓN Y MEDIDA

El objetivo de la simulación es comprobar cómo se comporta la señal radioeléctrica dentro del vehículo. Para ello, se ha colocado una antena omnidireccional de 4.5dBm de potencia de transmisión encima del salpicadero a una altura de 1m, como se indica con un punto rojo en la Fig. 1b. La Fig. 2 muestra la estimación de los planos bidimensionales de potencia recibida para diferentes alturas. Se puede observar que para la misma altura de la antena transmisora, la potencia recibida para todos los puntos en el plano es mayor que cuando se considera un cambio de altura para la antena receptora. Asimismo se observa una disminución de potencia notable entre el interior del vehículo y el exterior, debido a los materiales del coche considerados, y el entorno metálico del motor y de la carrocería provocan que la potencia se confine dentro del coche, aunque gran parte también se propaga a través de las ventanillas hacia el exterior.

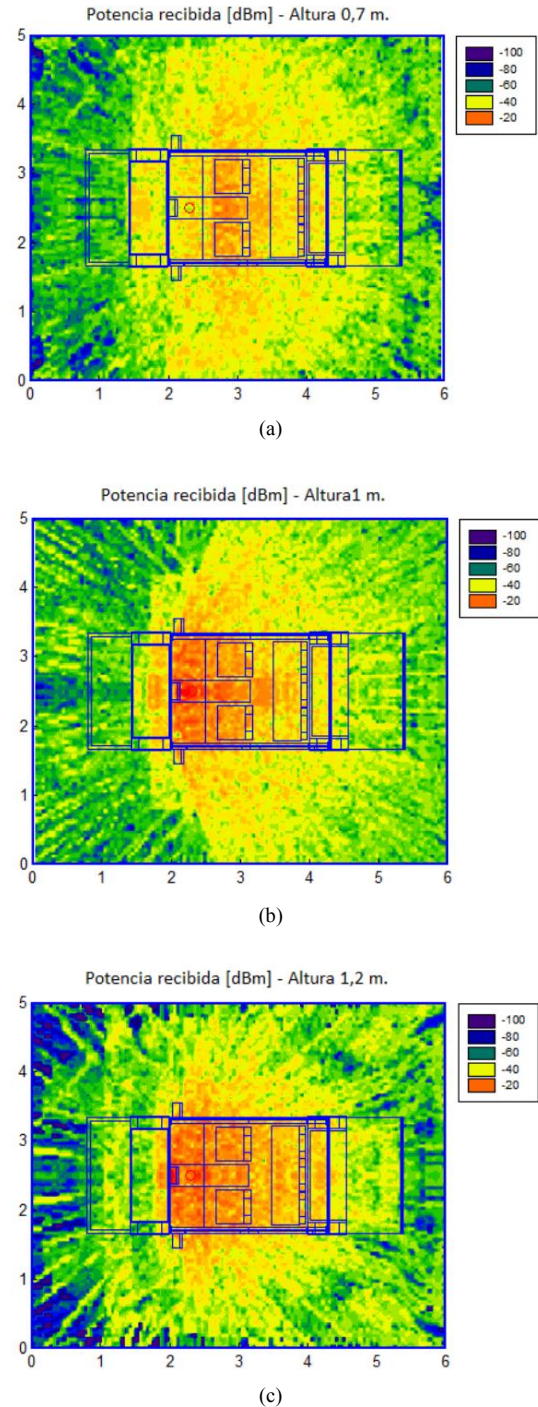


Fig. 2. Estimación de potencia recibida (dBm) para diferentes planos bidimensionales del escenario de simulación (a) Altura de 0.7m (b) Altura de 1m (c) Altura de 1.2m

Para la validación del código de lanzado de rayos en 3D se ha realizado una campaña de medidas en el interior de un automóvil real. Para ello, se ha utilizado un sistema basado en el estándar IEEE 802.15.4 ZigBee, específicamente el CC2530 de Texas Instruments. El diagrama de radiación de las antenas transmisora y receptora es omnidireccional con polarización lineal y 0.82dBi de ganancia. Las medidas se han realizado colocando el transmisor en un punto fijo, que es encima del salpicadero a 1m de altura del suelo, como se puede observar en la Fig. 3. La potencia de transmisión es de

4.5dBm. Para la realización de las medidas se ha utilizado un analizador de espectros portátil (N9912 Field Fox de Agilent).



Fig. 3. Detalle de la antena transmisora en el interior del vehículo en el proceso realización de las medidas.

En el proceso de medida, la antena receptora se ha ido colocando en diferentes puntos del interior del automóvil y se ha medido el valor de potencia recibida con un ancho de banda de 100MHz y frecuencia central de 2.4GHz. Para cada medida se ha tomado un tiempo de 60s y se ha utilizado la función MaxHold del analizador de espectros. En la Fig. 4 se pueden ver los diferentes puntos de medida que se han realizado junto con la posición de la antena transmisora. Los puntos 1, 2, 3, 4 y 8 corresponden a una altura justo encima de los asientos, y los puntos 6 y 7 son en la parte exterior del coche, encima del maletero y encima del motor.

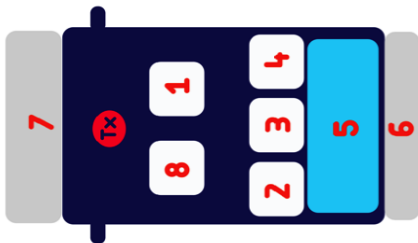


Fig. 4. Puntos de medida en el interior del vehículo.

Para comprobar la influencia de la topología y la morfología de los diferentes elementos dentro del coche, se han dibujado los radiales de potencia a lo largo de las distintas posiciones que se han medido. En la Fig. 5 podemos observar cómo varía la potencia recibida a lo largo del eje X, a lo largo de la línea que incluye las posiciones 8 y 2, la línea central que incluye las posiciones 3,5,6 y 7 y la línea de las posiciones 1 y 4. Se puede observar la existencia de mucha variabilidad en la potencia recibida debido a los diferentes obstáculos y materiales considerados dentro del vehículo, que provocan la propagación multirrayecto, fenómeno muy importante que se debe considerar en estos entornos.

Asimismo, se observa que para la línea central la potencia es algo mayor, debido a la visibilidad directa que tiene con la antena transmisora en casi todos los puntos. Los valores de potencia más elevados son de 2 a 4 metros en el eje X, que corresponde con los puntos más cercanos a la antena transmisora.

En la Fig. 6 podemos observar también los radiales de potencia, pero en este caso a lo largo del eje Y, para la línea que corresponde a los asientos delanteros, y la línea correspondiente a los asientos traseros. Se observa también que la potencia varía en torno a 10dB alrededor de una media de -45dB para los asientos traseros, y alrededor de una media de -35dB para los asientos delanteros.

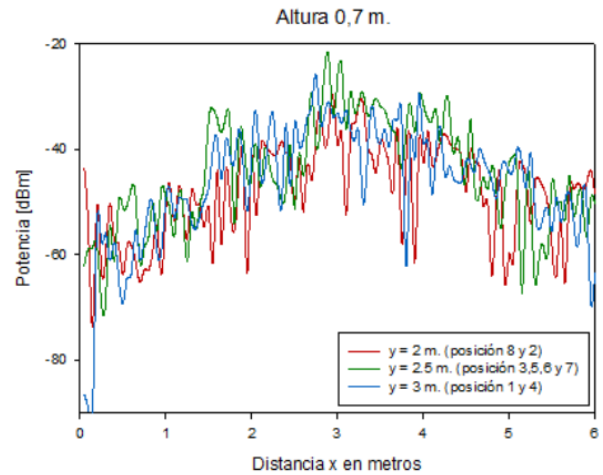


Fig. 5. Estimación de radiales de potencia recibida a lo largo del Eje X para distintas posiciones de Y.

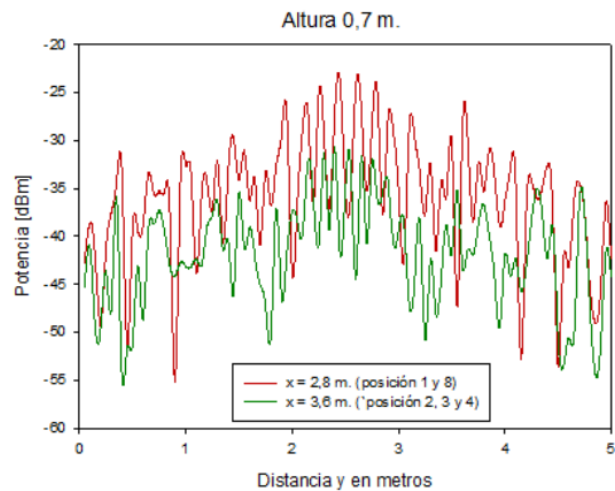


Fig. 6. Estimación de radiales de potencia recibida a lo largo del Eje Y para distintas posiciones de X.

En la Fig. 7 se puede observar la comparación de las medidas realizadas frente a los resultados obtenidos en la simulación para los mismos puntos. Se observa que el error es muy pequeño, en torno a 2dB aproximadamente, con lo que podemos validar el algoritmo de lanzamiento de rayos en 3D.

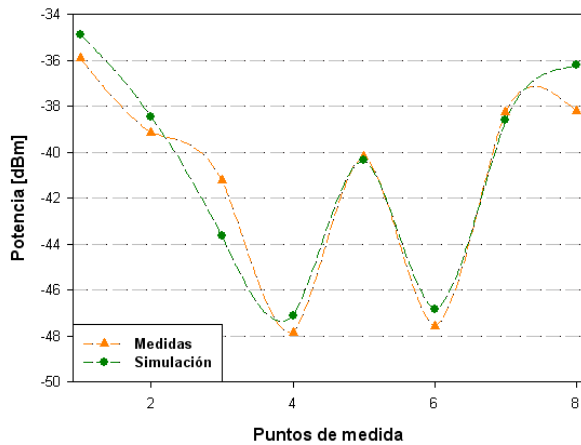


Fig. 7. Comparación Medidas vs Simulación.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado el modelado del canal radioeléctrico para el interior de un automóvil mediante el método determinista de lanzamiento de rayos en 3D. Se ha realizado un modelo de automóvil para introducir en el algoritmo y se ha realizado un análisis radioeléctrico de dicho entorno. Gracias a este análisis es posible la optimización en la colocación de sensores a la hora de colocar una red inalámbrica dentro del coche, ya que la morfología y los diferentes materiales del automóvil juegan un papel muy

importante en la propagación radioeléctrica, tratándose de un entorno complejo donde la propagación multirrayo tiene un papel considerable. Asimismo, se ha validado el algoritmo de lanzamiento de rayos en 3D mediante una campaña de medidas realizadas en el interior del automóvil.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el apoyo ofrecido por el proyecto FASTER, financiado por el Departamento de Innovación del Gobierno de Navarra.

REFERENCIAS

- [1] Ozan K. Tonguz, Hsin-Mu Tsai, Timothy Talty, Andrew McDonald and Cem Saraydar, "RFID Technology for Intra-Car Communications: A new paradigm," in *Vehicular Technology Conference 2006*, pp. 1-6.
- [2] Hsin-Mu Tsai and Ozan K. Tonguz, "Zigbee based Intra-Car Wireless Sensor Networks: a case study," *IEEE Wireless Communications*, vol. 14, n° 6, 2007, pp. 67-77.
- [3] Ruben de Francisco, Li Huang, Guido Dolmans and Harmke de Groot, "Coexistence of ZigBee wireless sensor networks and Bluetooth inside a vehicle," in *IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 2009, pp. 2700-2704.
- [4] J. W. Schuster and R. J. Luebbers, "Comparison of GTD and FDTD predictions for UHF radio wave propagation in a simple outdoor urban environment," *IEEE Antennas and Propag. Society International Symposium*, vol 3, 1997, pp. 2022-2025.
- [5] F. Saez de Adana, G. Blanco, G. Diego, P. Arriaga and M. F. Cátedra, "Propagation Model Based on Ray Tracing for the Design of Personal Communication Systems in Indoor Environments," in *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, vol. 49, n° 6, November 2000, pp. 2105-2112.