



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Proyecto Fin de Carrera  
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

**TÍTULO: Análisis del canal inalámbrico en 60 GHz en un entorno interior mediante el programa Wireless InSite**

**AUTORA:**

Silvia Garay López

**DIRECTOR:**

Juan Pascual García

Cartagena, 5 de octubre de 2016

# Índice general

Capítulo 1. Introducción .....	7
1.1. Motivaciones .....	7
1.2. Objetivos del proyecto .....	8
1.3. Estructura del documento .....	9
Capítulo 2. Análisis de los modelos de propagación en entornos interiores y propiedades eléctricas de los materiales de construcción en la banda de 60 GHz .....	11
2.1. Características de los modelos de entornos interiores .....	11
2.1.1. Modelo “One-slope model” .....	13
2.1.2. Técnica del lanzado de rayos .....	13
2.1.3. Técnica del trazado de rayos. Método de las imágenes .....	15
2.2. Características eléctricas de los materiales de construcción a 60 GHz.....	18
Capítulo 3. Explicación del lanzador de rayos comercial de Wireless Insite .....	20
3.1. Cargar el plano de planta .....	22
3.2. Definición de antenas y formas de onda .....	23
3.3. Creación de los puntos de transmisión y el camino de recepción .....	26
3.4. Definición del área de estudio .....	32
3.5. Ejecución de los cálculos .....	35
3.6. Comparación de medidas .....	35
3.7. Visualización del lanzado de rayos .....	38
3.8. Creación de una red de puntos de recepción en el pasillo .....	40

3. 9. Ejecución del cálculo en el conjunto de receptores .....	43
3.10. Resumen .....	45
Capítulo 4. Aplicación del lanzador de rayos comercial de Wireless Insite en la banda de 60 GHz: comparación con medidas reales .....	46
4.1. Incorporación del diseño 3D.....	46
4.1.1. Creación de la habitación .....	46
4.1.2. Definición de puertas y ventanas.....	50
4.1.3. Definición de techo y suelo.....	53
4.1.4. Creación de los objetos contenidos en la habitación.....	53
4.2. Definición de los materiales .....	57
4.3. Definición de antenas y formas de onda .....	58
4.4. Creación de los puntos de transmisión y recepción.....	61
4.5. Definición del área de estudio .....	67
4.5.1. Modo automático .....	68
4.5.2. Modo manual sin considerar efectos de difracción.....	70
4.5.3. Modo manual considerando una difracción .....	72
4.6. Comparación de simulaciones .....	73
4.7. Visualización del lanzado de rayos .....	75
4. 8. Ejecución de los cálculos en un área de estudio .....	76
4.9. Cálculo de la potencia recibida en un punto .....	77
4.10. Análisis de resultados y comparación con medidas.....	81
Capítulo 5. Conclusiones .....	88
Bibliografía .....	91

# Índice de figuras

Figura 2.1: Técnica de lanzado de rayos. Contribuciones [4].....	14
Figura 2.2: Representación de la esfera de incertidumbre [4].....	15
Figura 2.3: Representación de las contribuciones de los rayos [4] .....	16
Figura 2.4: Imágenes de primer y segundo orden correspondientes a una fuente (S) situada entre dos espejos (A) y (B) [4] .....	17
Figura 3.1: Plano en planta del ejemplo propuesto en el Tutorial.....	21
Figura 3.2: Plano en planta importado.....	23
Figura 3.3: Ventana de Propiedades de onda sinusoidal .....	24
Figura 3.4: Ventana de propiedades de la antena tipo dipolo lineal .....	25
Figura 3.5: Puntos de transmisión (verde) y camino de recepción (rojo) colocados en el tutorial .....	26
Figura 3.6: Ventana de propiedades del transmisor .....	27
Figura 3.7: Ventana de propiedades del transmisor .....	28
Figura 3.8: Ventana de propiedades del layout .....	28
Figura 3.9: Menú editable definición de las alturas del transmisor .....	29
Figura 3.10: Ventana de propiedades del receptor.....	30
Figura 3.11: Ventana de propiedades del receptor.....	31
Figura 3.12: Ventana de propiedades del layout del receptor .....	32
Figura 3.13: Ventana de propiedades del área objeto de estudio .....	33
Figura 3.14: Ventana del menú avanzado de las propiedades del área objeto de estudio ..	34
Figura 3.15: Ventana que muestra el proceso de los cálculos que se están realizando .....	35
Figura 3.16: Comparación de los cálculos de Wireless InSite con las medidas para el receptor de Route A y el transmisor de altura 1.3m .....	36
Figura 3.17: Comparación de los cálculos realizados por Wireless InSite con las medidas tomadas para el receptor Route B con un transmisor a 1.3 m .....	37
Figura 3.18: Comparación de los cálculos realizados por Wireless InSite con las medidas tomadas para el receptor Route A con un transmisor a 1.96 m .....	37

Figura 3.19: Comparación de los cálculos realizados por Wireless InSite con las medidas tomadas para el receptor Route B con un transmisor a 1.96 m .....	38
Figura 3.20: Propagación de las diferentes trayectorias de los rayos en el Tutorial de entornos interiores .....	39
Figura 3.21: Área cubierta por el receptor A.....	41
Figura 3.22: Ventana de propiedades de la cuadrícula A.....	42
Figura 3.23: Ventana de propiedades de la cuadrícula B.....	43
Figura 3.24: Potencia recibida sobre una zona establecida en el receptor .....	44
Figura 4.1. Plano en planta de la habitación contemplada del edificio I+D+I de la UPCT....	47
Figura 4.2. Ventana de propiedades del plano en planta .....	49
Figura 4.3. Editor de planos de Wireless Insite .....	50
Figura 4.4. Ventana de propiedades de la puerta.....	51
Figura 4.5. Menú para la introducción del ancho de una ventana .....	51
Figura 4.6. Ventana de propiedades de las ventanas .....	52
Figura 4.7. Representación del laboratorio con puerta y ventanas en tres dimensiones .....	53
Figura 4.8. Ventana de propiedades de una mesa.....	54
Figura 4.9. Plano en planta de la habitación visto en Wireless Insite.....	55
Figura 4.10. Descripción del laboratorio I+D+I en tres dimensiones .....	56
Figura 4.11. Representación en tres dimensiones con los materiales sólidos .....	56
Figura 4.12: Ventana de propiedades del material .....	58
Figura 4.13: Selección de onda sinusoidal .....	58
Figura 4.14: Ventana de Propiedades de onda sinusoidal .....	59
Figura 4.15: Selección del tipo de antena.....	60
Figura 4.16: Ventana de propiedades de la antena omnidireccional de ganancia 5dBi .....	60
Figura 4.17: Punto de transmisión (verde) y camino de recepción (rojo) colocados en el tutorial .....	61
Figura 4.18: Ventana principal de propiedades del transmisor.....	62
Figura 4.19: Ventana de propiedades del transmisor .....	63
Figura 4.20: Ventana de propiedades del layout del transmisor.....	63
Figura 4.21: Menú editable definición de las coordenadas del transmisor .....	64
Figura 4.22: Ventana principal de propiedades del receptor .....	65
Figura 4.23: Ventana de propiedades del receptor.....	66
Figura 4.24: Ventana de propiedades del área de estudio .....	67
Figura 4.26: Ventana del menú avanzado de las propiedades del área de estudio .....	68
Figura 4.27: Cuadro de diálogo del estado y tiempos de simulación .....	69
Figura 4.28: Ventana del menú avanzado de las propiedades del área objeto de estudio ..	71
Figura 4.29: Gráfica de la potencia recibida .....	74

Figura 4.30: Menú de las diferentes formas de dibujar la potencia .....	74
Figura 4.31: Propagación de las diferentes trayectorias de los rayos en el ejemplo en la banda de 60 GHz.....	75
Figura 4.32: Mapa de cobertura de potencia en la habitación del I+D+I .....	76
Figura 4.33. Cuadro de diálogo para la situación de un punto receptor .....	77
Figura 4.34. Menú Layered Properties .....	78
Figura 4.35. Menú para la edición de puntos.....	78
Figura 4.36. Situación del punto P1 sobre el plano de la habitación .....	79
Figura 4.37. Situación de los puntos en 2D a comparar con las medidas en el laboratorio .	79
Figura 4.37. Situación de los puntos en 3D a comparar con las medidas en el laboratorio .	80
Figura 4.38. Obtención de la potencia recibida en el punto P1 .....	81
Figura 4.39. Cobertura de potencia con el modo manual considerando una difracción .....	82
Figura 4.40. Diagrama de radiación de la antena en 2D .....	83
Figura 4.41. Diagrama de radiación de la antena en 3D .....	83
Figura 4.42. Resultados para la potencia recibida en función de la distancia para el modo manual sin difracciones .....	84
Figura 4.43. Resultados para la potencia recibida en función de la distancia para el modo manual con 1 difracción .....	85
Figura 4.44. Resultados para la potencia recibida en función de la distancia para el modo automático .....	85

# Índice de tablas

Tabla 2.1: Propiedades de los materiales de construcción a 60 GHz [3] .....	18
Tabla 3.1: Propiedades de los materiales en el Tutorial para entornos interiores .....	20
Tabla 4.1. Medidas de la habitación I+D+I y sus elementos .....	48
Tabla 4.2. Resumen de los modos de simulación .....	81
Tabla 4.3. Comparativa de medidas con los diferentes modos de simulación y las medidas tomadas empíricamente .....	87

# Capítulo 1. Introducción

## 1.1. Motivaciones

El uso de las redes inalámbricas es hoy en día una alternativa en todo tipo de organizaciones para ser competitivos a pesar de presentar algunos inconvenientes. La integración de los dispositivos móviles, Internet y la conectividad inalámbrica ofrece una gran oportunidad para ganar en calidad de vida para todos [1].

El uso de redes inalámbricas ofrece gran cantidad de ventajas sobre las redes cableadas, cuyo despliegue es difícil y cuya practicidad es limitada a la hora de prestar servicios de banda ancha en entornos interiores.

Los sistemas de acceso inalámbrico se definen como conexiones de radiocomunicaciones de usuario final para redes centrales bien sean privadas o públicas. Las tecnologías utilizadas hoy en día para realizar el acceso inalámbrico incluyen sistemas celulares, sistemas de telecomunicaciones sin cables y sistemas de redes inalámbricas de área local. Los avances tecnológicos y el acceso competitivo están impulsando la revolución hacia la infraestructura de acceso inalámbrico [1]. Una red inalámbrica hace lo mismo que una red cableada, pero sin la necesidad de cables.

Hablaremos ahora de las ventajas que ofrece una red inalámbrica. Para comenzar, tiene una instalación simple, robusta y confiable. Es escalable y muy práctica. A todas estas ventajas añadiremos la que supone el ahorro en el mantenimiento de una red de estas características, su coste es, claramente mucho más reducido que el de una red cableada.



Otra peculiaridad de este tipo de redes es que son fáciles de configurar para el usuario. Sin embargo, lo más importante es que ofrecen movilidad. Esta característica, que no ofrecen las redes cableadas, aporta al usuario gran comodidad y es una ventaja fundamental para entornos interiores tales como empresas, edificios públicos y viviendas.

## **1.2. Objetivos del proyecto**

El presente proyecto tiene como objetivo la aplicación del método de lanzamiento de rayos para la simulación del canal en 60 GHz en un entorno de interiores.

El método del trazado de rayos está basado en la obtención de imágenes que permiten evadir las paredes y los obstáculos del entorno interior. Consiste en que de cada imagen que se genera, se traza un rayo que conforma una réplica de la señal transmitida. El estudio de todas las réplicas posibilita tanto el cálculo de coberturas como el estudio en profundidad del canal. Por otro lado, tenemos el método del lanzamiento de rayos, que se trata de la alternativa por excelencia a la teoría de las imágenes. Los requisitos computacionales del lanzamiento de rayos son muy superiores a los del trazado de rayos, pero al considerar el primero el número de rayos y la distancia entre transmisor y receptor como principales parámetros, proporcionará unos resultados muy exactos.

En primer lugar, se ha estudiado el software sobre lanzamiento de rayos Wireless Insite que proporciona la empresa REMCOM. Se desarrolla un tutorial para un caso sencillo en entornos interiores a las frecuencias de 900 MHz y 1800 MHz. Tras esto, se han realizado diferentes simulaciones en la banda de los 60 GHz para aplicar el lanzador comercial de REMCOM a casos reales. Por tanto, cabe destacar que el objetivo principal es el estudio del canal radioeléctrico en esta banda con la ayuda del simulador Wireless Insite.

La principal característica de las comunicaciones en la banda de 60 GHz es que a dicha frecuencia, la atmósfera es capaz de atenuar en gran medida la energía electromagnética, por tanto, como a 60 GHz tiene lugar la resonancia del oxígeno, será ésta la principal ventaja en el caso de entornos interiores.

Las características de la banda de los 60 GHz son numerosas. Una de ellas es que la velocidad de transmisión es mucho más elevada que para frecuencias inferiores, de hecho, hasta 10 veces más rápida, ya que es posible emplear un ancho de banda muy grande. Esta característica es de sumo interés para los sistemas móviles actuales que requieren

anchos de banda adicionales a los ya reservados. Otras dos ventajas que aporta el gran ancho de banda disponible es que al ser tan amplio facilita el uso de esquemas de modulación de alto orden que podrán ser utilizados para transmitir gran cantidad de datos y que las antenas que trabajan a 60 GHz son muy directivas y de un tamaño mucho menor, de forma que las antenas de 6 GHz miden alrededor de los tres metros, mientras que las de 60 GHz apenas ocuparán 30 centímetros.

El programa Wireless Insite nos permitirá la obtención de la potencia recibida por un receptor en diferentes puntos del interior de una vivienda, empresa o cualquier entorno interior. Además, se han comparado los resultados que nos proporcionan las simulaciones realizadas con medidas realizadas por el grupo de investigación SiCoMo de la Universidad Politécnica de Cartagena para observar el grado de similitud que existe entre ambos. Si existen grandes coincidencias será señal de que la herramienta podrá ser utilizada para caracterizar el canal móvil en zonas interiores de una forma eficiente.

### **1.3. Estructura del documento**

Además del capítulo de introducción, este documento contiene otros cuatro capítulos estructurados de la siguiente forma:

- **Capítulo 2, Análisis de los métodos de propagación en entornos interiores y propiedades eléctricas de los materiales de construcción a 60 GHz.** Este capítulo describe los modos de propagación del método de las imágenes y el lanzamiento de rayos. Además, contiene una descripción de las propiedades de materiales como el yeso y el cristal, habitualmente utilizados en las construcciones, a la frecuencia de 60 GHz.
- **Capítulo 3, Explicación del lanzador de rayos comercial de Wireless Insite.** Este capítulo se centra en describir el lanzador de rayos que nos proporciona la herramienta software Wireless InSite de REMCOM. Se ha redactado una guía de usuario en castellano e incluye simulaciones y resultados del ejemplo del tutorial del propio programa.
- **Capítulo 4, Aplicación del lanzador de rayos comercial de Wireless Insite en la banda de 60 GHz.** En este capítulo se recopila una serie de simulaciones a la frecuencia de 60 GHz con la herramienta Wireless Insite en lugares en los cuales se

cuenta con medidas reales realizadas por el laboratorio SiComo de la Universidad Politécnica de Cartagena. Se realizan estas simulaciones con el fin de poder comparar la fiabilidad de la herramienta en dicha banda con la realidad.

- **Capítulo 5, Conclusiones.** En este último capítulo se resumen los pasos para la realización de la memoria, así como los ejes de mejora y carencias del programa. Además, se hace un pequeño resumen sobre los tiempos empleados en las diferentes simulaciones descritas en los capítulos 3 y 4.
- **Bibliografía.**

# Capítulo 2. Análisis de los modelos de propagación en entornos interiores y propiedades eléctricas de los materiales de construcción en la banda de 60 GHz

Este capítulo describe el método de las imágenes y el lanzamiento de rayos. Además, contiene una descripción de las propiedades de materiales como el yeso y el cristal, habitualmente utilizados en las construcciones, a la frecuencia de 60 GHz.

## **2.1. Características de los modelos de entornos interiores**

Lo primero que haremos será hacer un recorrido por las características del entorno indoor (interior). Daremos una visión general sobre las distintas formas de modelar los procesos que ocurren en la propagación de señales de radiofrecuencia [2], centrándonos en el interior de los edificios (entornos INDOOR).

Como en cualquier transmisión, la señal emitida por el emisor experimentará múltiples transformaciones a lo largo del camino recorrido hasta el receptor. Esto es, al receptor sólo le llegará una pequeña parte. Además, el camino entre el emisor y el receptor puede adoptar múltiples formas debido a elementos del entorno como paredes o a diferentes obstáculos [2]. Esto dificulta la predicción de la señal recibida en un punto determinado o el análisis del canal de radio. Los modelos de propagación se han enfocado tradicionalmente en predecir la potencia de señal recibida y el perfil de retardo de potencia (Power Delay Profile, PDP).

Es sencillo deducir que en interiores el entorno la propagación multicamino es mucho más influyente que la distancia entre antenas debido a los obstáculos con los que puede contar la zona que será objeto de estudio. Los muebles y las diversas estructuras que componen las habitaciones provocan que los procesos de difusión y difracción sean más importantes que en entornos abierto. Esto implica una mayor dificultad en la caracterización del canal móvil en un entorno indoor [3]. Si la distancia entre antenas es pequeña, habrá menor retardo entre ecos y menor ensanchamiento temporal [4]. Además, la baja velocidad de los usuarios (personas) hace que el canal varíe lentamente, sin embargo, cuando lo hace, dicha variación es grande. El efecto Doppler puede considerarse despreciable.

Dependiendo de la construcción del edificio y su diseño, la señal normalmente se propaga a lo largo de pasillo y en zonas abiertas. En algunos casos, la señal transmitida puede tener una trayectoria directa hasta el receptor (Line of Sight LOS) por ejemplo: almacenes, suelos de fábrica, salas de conferencia y estadios [3]. En la mayoría de los casos este rayo directo suele estar obstruido. Por otro lado, en el entorno existen interferencias electromagnéticas provenientes de los equipos electrónicos de los edificios si éstos son hospitales, oficinas, laboratorios o industrias, o entre los propios terminales móviles si hablamos de hogares [4].

Para describir las características de un entorno indoor, tenemos disponibles varios modelos de propagación. Todos ellos asumen que la propagación de las réplicas se debe a los mecanismos de propagación en espacio libre, reflexión, difracción y difusión. Existen diferentes modelos de propagación para describir las características en un entorno indoor, basados en los diferentes mecanismos de propagación: propagación en espacio libre, reflexión, difracción y difusión. Un modelo de propagación se define como un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar las características radio un canal dado. Se pueden clasificar en empíricos, semi-empíricos, deterministas y semi-deterministas [3],[5].

Los modelos empíricos describen el canal móvil a través de ecuaciones y tablas. Son simples y rápidos. Además, no requieren que se reproduzca fielmente el entorno. Sin embargo, habrá que aplicarlos a entornos muy similares a aquellos en los que se tomaron medidas [3].

### 2.1.1. Modelo “One-slope model”

Se trata de un modelo empírico de banda estrecha. Ajusta la pendiente de pérdidas con el logaritmo de la distancia siguiendo la siguiente ecuación:

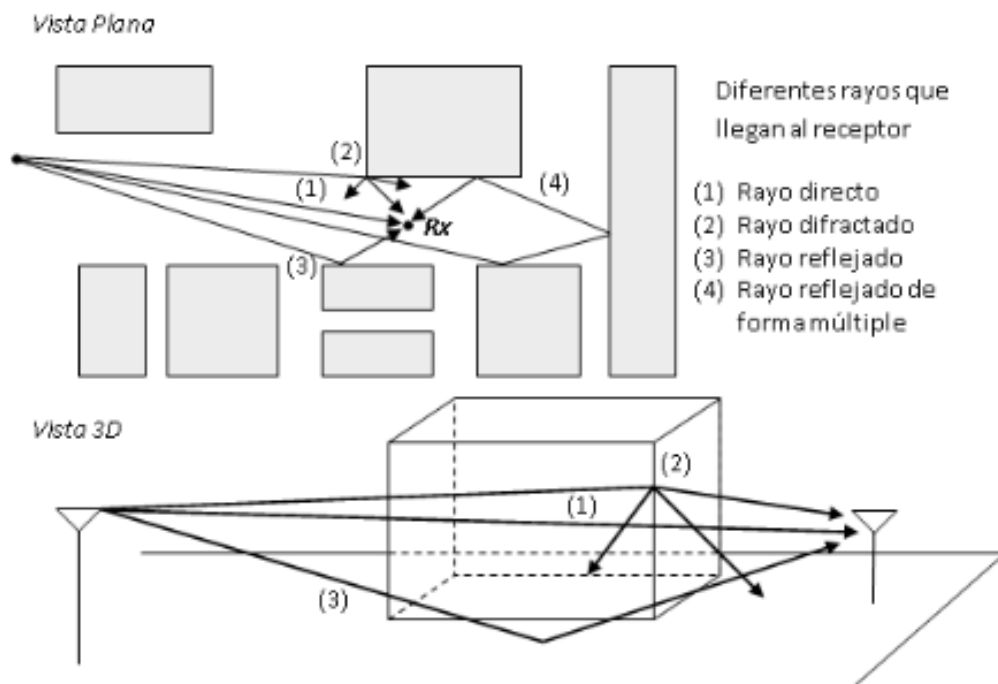
$$L = L_0 + 10n \log (d) \quad (1)$$

- L: pérdidas
- $L_0$ : pérdidas de propagación a una distancia de un metro
- n: pendiente que se calcula con la campaña de medidas.

Hay que resaltar que la pendiente será en general mayor que la del espacio libre. Además, los parámetros anteriormente mencionados dependen del tipo de materiales del edificio y del entorno en el que se miden, es decir, pasillos, despachos, objetos, etc. [4]

### 2.1.2. Técnica del lanzado de rayos

En la técnica del lanzado de rayos, las ondas son consideradas, como el propio nombre de la técnica indica, como rayos. Tiene su origen en simuladores de rayos ópticos para gráficos por ordenador. Se trata de un modelo determinista y es aplicable en 2D, 2.5D (plano horizontal más la reflexión del suelo) y 3D. Esta técnica cuenta con las contribuciones del rayo directo, rayo reflejado tanto en paredes como en el suelo y rayo difractado (simple y doble) [4]. Podemos observar las diferentes contribuciones en la Figura 2.1.



**Figura 2.1: Técnica de lanzamiento de rayos. Contribuciones [4]**

Esta técnica consiste en lanzar desde el transmisor un número finito de rayos y dejar que éstos se reflejen hasta llegar al receptor. Se considerará una esfera de incertidumbre en el receptor que determinará si un rayo lo alcanza o no. Estas esferas receptoras describen cada una de las zonas que reciben únicamente un rayo. Un rayo contará como recibido si su trayectoria intercepta el círculo de recepción.

Para la construcción del círculo de recepción es necesaria la definición del denominado radio de impacto [3]: si este radio es demasiado grande se podrán recibir dos rayos y si es muy pequeño es posible que ninguno de los rayos alcance el receptor. Se puede observar en la Figura 2.2.

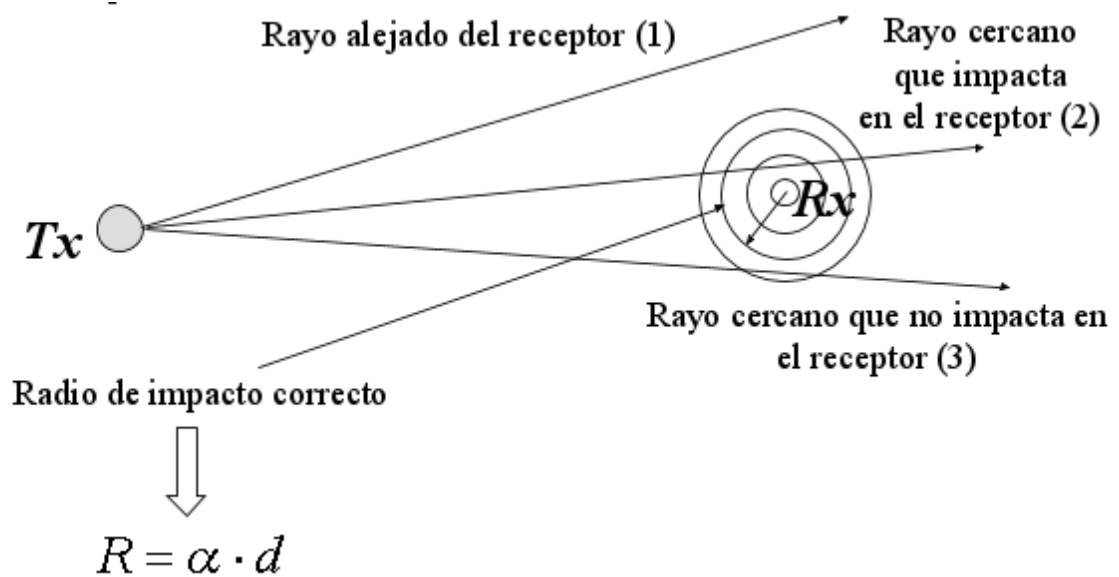


Figura 2.2: Representación de la esfera de incertidumbre [4]

### 2.1.3. Técnica del trazado de rayos. Método de las imágenes

Este método es vital para analizar el trazador de rayos. Consiste en calcular y analizar las imágenes del receptor en las paredes, suelos, mobiliario y demás elementos del entorno en general, es decir, consiste en considerar que las imágenes sustituyen a los elementos. Por tanto, la respuesta total será la suma de los rayos de todas las imágenes. Las imágenes o fuentes virtuales tienen una situación y valor tal que permiten la sustitución del plano debido a que se cumplen las mismas condiciones de contorno [4].

Cabe destacar que la presencia de cualquier obstáculo altera de forma significativa la respuesta del sistema, especialmente si se encuentra cercano al elemento radiante. Además, parte de la energía dirigida hacia los obstáculos se transmite mediante reflexión. Esta cantidad de energía depende de la geometría y de los parámetros de los materiales [3],[6].

Normalmente, es el suelo el obstáculo que más comúnmente encontramos [3],[6]. Además, el suelo es un buen conductor por encima de cierta frecuencia y para



simplificar el análisis se puede asumir que es un conductor eléctrico perfecto, orientado horizontalmente e infinito en extensión [3].

Para analizar el comportamiento de un elemento radiante próximo a un plano conductor infinito se introducirán fuentes virtuales, las llamadas imágenes, que permitirán evaluar los rayos reflejados. Como indica su nombre, esta fuente no es real, sino imaginaria y su combinación con las reales dan lugar a un nuevo sistema equivalente que reemplazaría al original [3],[6].

Se asume que un dipolo vertical está situado a una distancia 'h' sobre un conductor perfecto, plano e infinito, tal y como muestra la Figura 3.3.

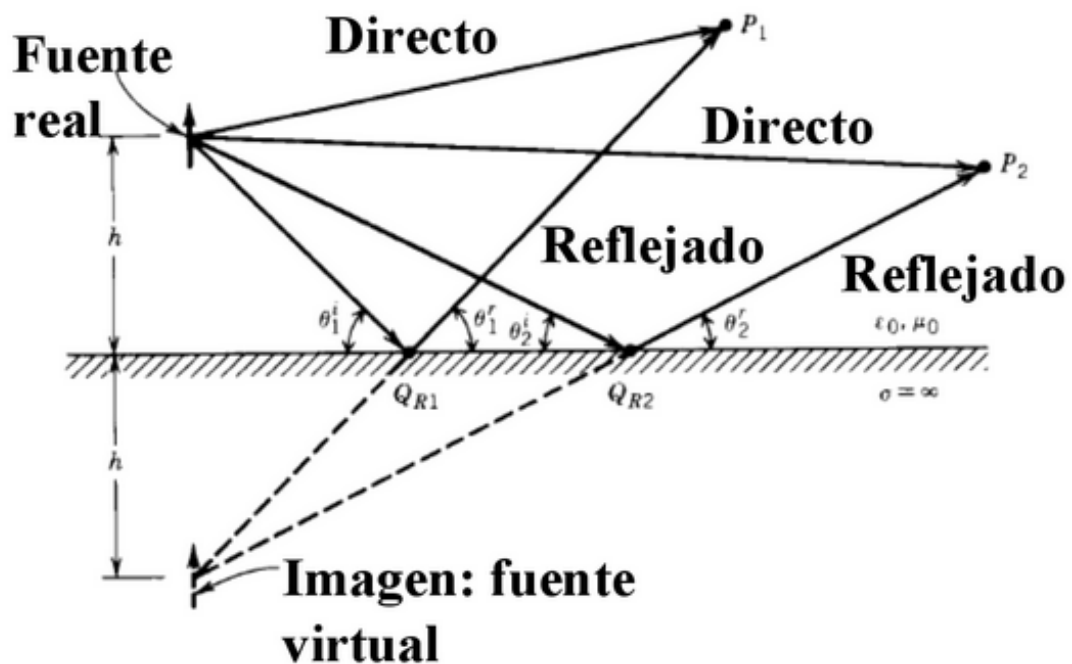
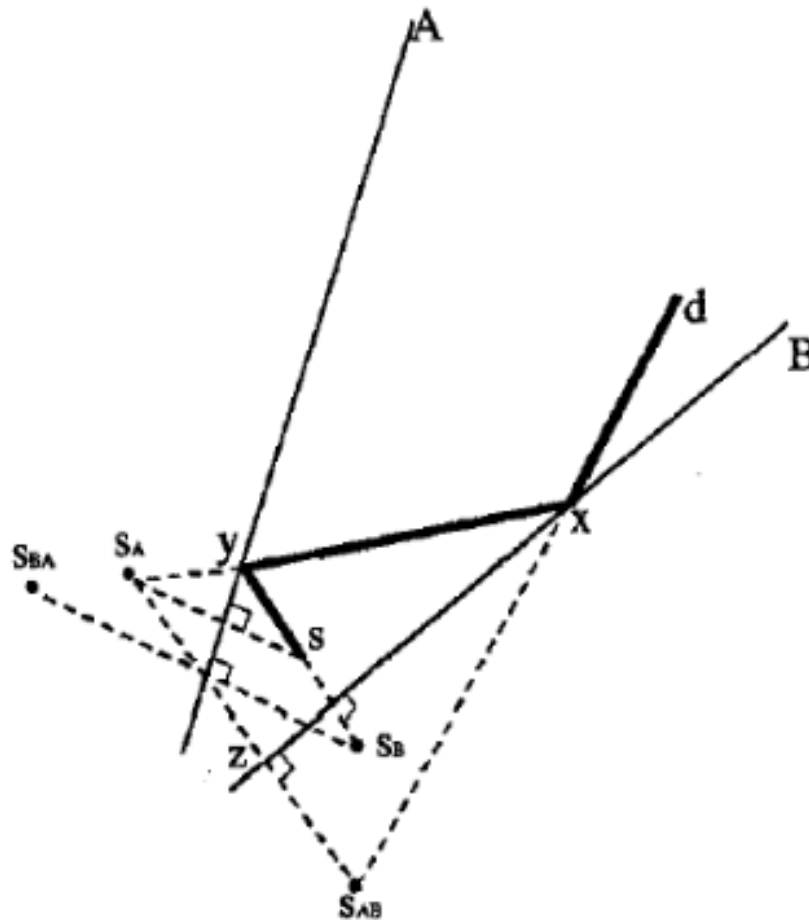


Figura 2.3: Representación de las contribuciones de los rayos [4]

La cantidad de energía reflejada depende generalmente de los parámetros del material donde incide la onda [3].

A modo de conclusión, esta teoría genera imágenes de todas las fuentes en todos los planos que pudiera tener el sistema. De esta forma se obtienen N imágenes de primer orden si existen N planos a considerar con una única fuente. Hasta ahora se ha hecho referencia únicamente al cálculo de la imagen de primer orden de la fuente respecto a un plano de interés, que es aquella que se forma implicando a la fuente original y real

con dicho plano, sobre el cual se producirá la reflexión del rayo que viajará de dicha fuente hasta el receptor. Es importante resaltar que se trata de la reflexión ya que con las imágenes de primer orden sólo se puede predecir el cálculo de esos rayos, como se ve en la Figura 2.4. [3][6]



**Figura 2.4: Imágenes de primer y segundo orden correspondientes a una fuente (S) situada entre dos espejos (A) y (B) [4]**

En este caso tenemos dos imágenes de primer orden de la fuente original,  $S_A$  y  $S_B$ . De segundo orden, se observan otras dos  $S_{AB}$  y  $S_{BA}$ . A la vista de esto, se puede decir que las imágenes de orden superior, en realidad son imágenes de otras imágenes.

Es fácil deducir que para  $N$  planos y una única fuente transmisora se tendrán  $N(N-1)$  imágenes de segundo orden,  $N(N-1)(N-1)$  de tercer orden y así sucesivamente.

El método de las imágenes es un método determinista. Es eficiente debido a muchas circunstancias, pero es conveniente utilizarlo en entornos simples principalmente, ya que si existen muchos obstáculos es posible que el coste computacional del algoritmo sea muy alto.

## 2.2. Características eléctricas de los materiales de construcción a 60 GHz

Es de vital importancia caracterizar los materiales que estarán presentes en los entornos de interior. El estudio de las características dieléctricas de los materiales en radiofrecuencia ha sido ampliamente desarrollada en la actualidad. En concreto, para la planificación de los sistemas de comunicaciones móviles, se requiere un amplio conocimiento sobre el entorno donde se va a producir la propagación radioeléctrica.

Los modelos de trazado y lanzamiento de rayos asumen que los fenómenos de propagación en la banda de microondas pueden estudiarse a partir de modelos básicos basados en la óptica geométrica. [3]

Para cada material se definen los parámetros de permitividad relativa, conductividad y atenuación por unidad de longitud. Además, también es importante el espesor de los materiales para hallar la atenuación total de la onda que atraviesa el material. El más importante es la permitividad relativa de los materiales de construcción. Puede llegar a ocurrir que una caracterización eléctrica incorrecta nos lleve a una simulación errónea.

Se recogen las características eléctricas de los materiales más comunes empleados en la construcción, ya que serán los utilizados en entornos interiores, en la Tabla 2.1 que se muestra a continuación:

	<b>Permitividad compleja</b>	<b>Conductividad [S/m]</b>	<b>Atenuación [dB/cm]</b>
<b>Madera</b>	1.54 - 0.096j	0.32	4.22
<b>Yeso</b>	2.81 - 0.046j	0.15	6.67
<b>Cemento</b>	6.5 - 0.43j	1.43	42.28
<b>Cristal</b>	6.94 - 0.176j	0.59	6.05

**Tabla 2.1: Propiedades de los materiales de construcción a 60 GHz [3]**

Como se puede observar en la tabla, los materiales más empleados en la construcción son la madera, el yeso, el cemento, el cristal y el metal, éste último sobre todo en apliques para sujeción de lejas o focos de luz en techos. Estos materiales suelen tener una permitividad eléctrica muy baja debido a que son materiales muy secos.

## Capítulo 3. Explicación del lanzador de rayos comercial de Wireless Insite

Este tutorial examina algunas de las características de la versión 2.8.1 de Wireless Insite, herramienta de REMCOM [7], para realizar predicciones sobre la propagación en interiores. El escenario está basado en el ejemplo presentado en [8] y proporciona una comparación directa sobre las mediciones. Se facilitan los datos sobre los materiales utilizados en el ejemplo que se mostrará a continuación en la Tabla 3.1 y, la geometría que describe totalmente el lugar, en la Figura 3.1.

	<b>900 MHz</b>	<b>1800 MHz</b>
<b>Madera (Wood)</b>	$\epsilon_r = 3.0$	$\epsilon_r = 3.0$
<b>Hormigón armado (RC Wall)</b>	$\epsilon_r = 6.1 - j1.20$	$\epsilon_r = 6.2 - j0.69$
<b>Ladrillo (Brick Wall)</b>	$\epsilon_r = 5.1 - j0.20$	$\epsilon_r = 5.2 - j0.28$
<b>Estructura metálica (Metal Structure)</b>	$\epsilon_r = 1.0 - 2e8$	$\epsilon_r = 1.0 - j1e8$
<b>Techo o suelo (Ceiling/Floor)</b>	$\epsilon_r = 10.0 - j1.20$	$\epsilon_r = 7.9 - j0.89$

**Tabla 3.1: Propiedades de los materiales en el Tutorial para entornos interiores**

No se cuenta con dimensiones sobre la separación y el espesor de las paredes, por lo que se estimaron a partir del plano mostrado en la Figura 3.1.

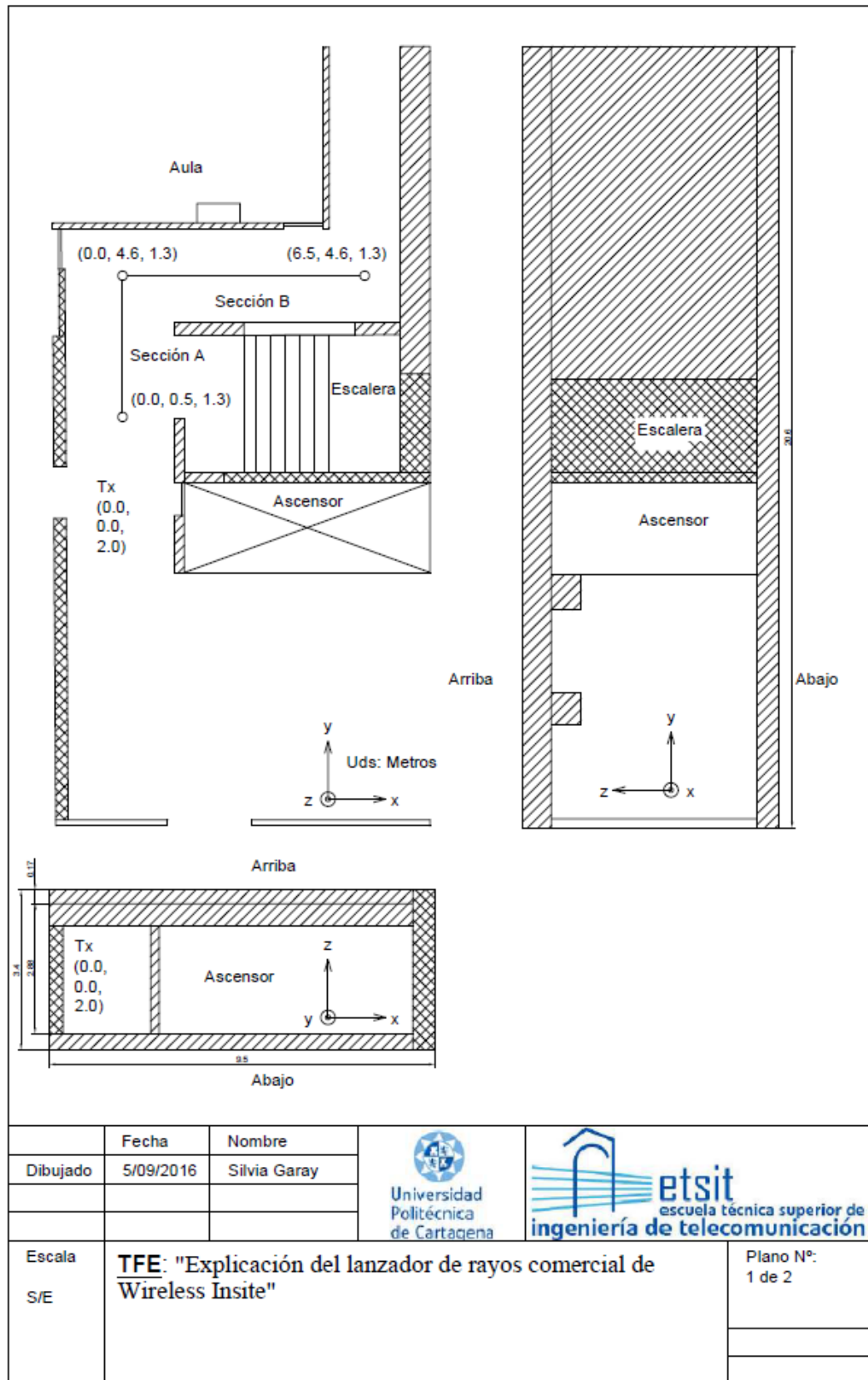





Figura 3.1: Plano en planta del ejemplo propuesto en el Tutorial

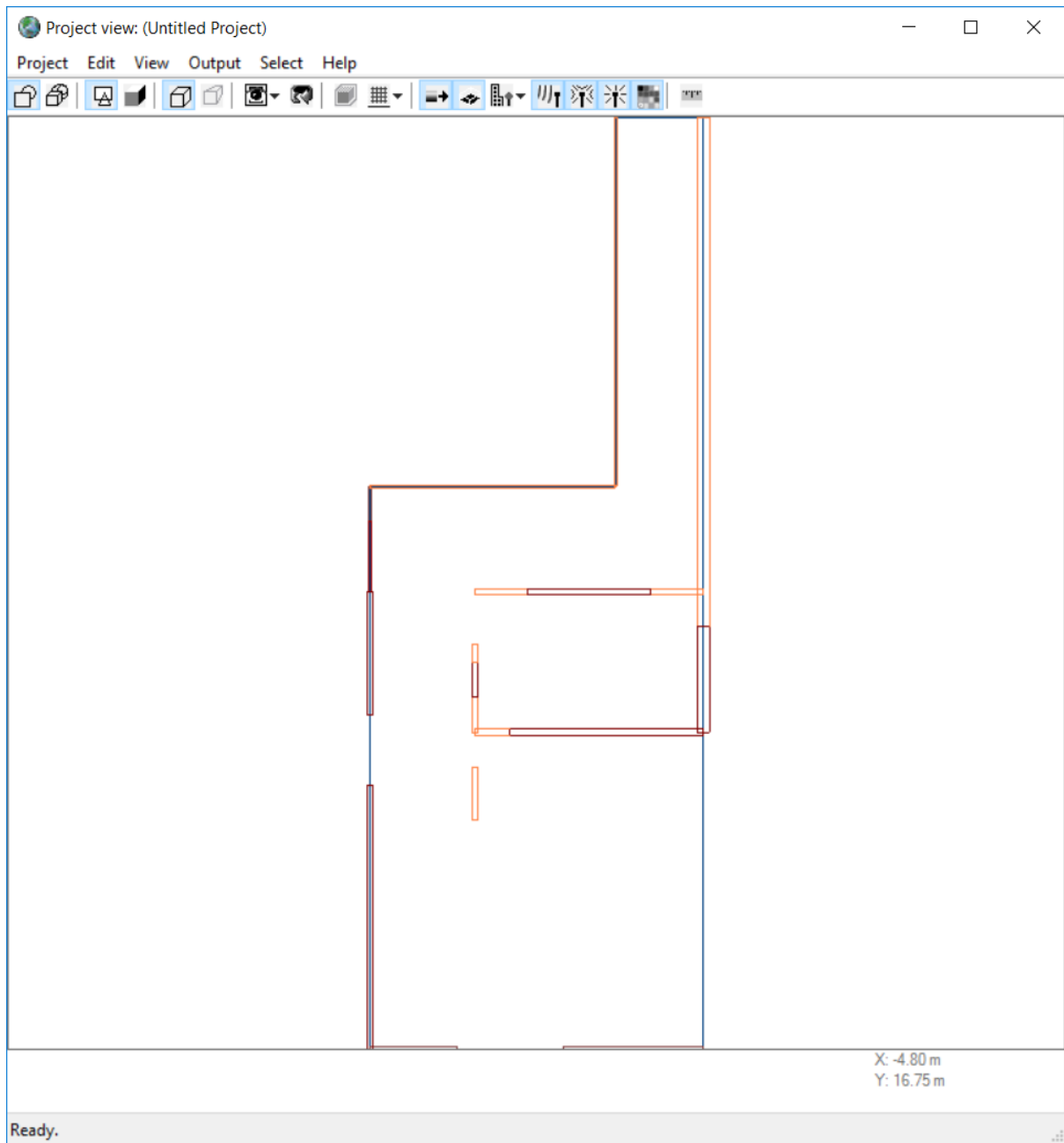
### 3.1. Cargar el plano de planta

Debido a la complejidad del plano de planta utilizado en este ejemplo, importaremos uno de la propia librería de Wireless Insite que cuente con los materiales apropiados. Se verá en el capítulo 4 cómo crear un espacio concreto, información que se ha obtenido de [9].

1. Para empezar, se creará un nuevo proyecto.
2. El archivo del plano lo podemos encontrar en *Proyecto* → *Abrir* → *Características* → *Plano de Planta*. (*Project* → *Open* → *Feature* → *Floor Plan*). En una instalación normal, el archivo estará ubicado en:


```
tutorials_location\Indoor_Tutorial\IndoorFloorPlan.flp
```

Cuando se representa el plano en planta que se ha mostrado en la Figura 3.1 en tres dimensiones con el modo de cuerpos sólidos con la herramienta ( 3D  SOLID BODY) en el visor del proyecto ( PROJECT VIEW), dicho plano se verá como muestra la Figura 3.2.



**Figura 3.2: Plano en planta importado**

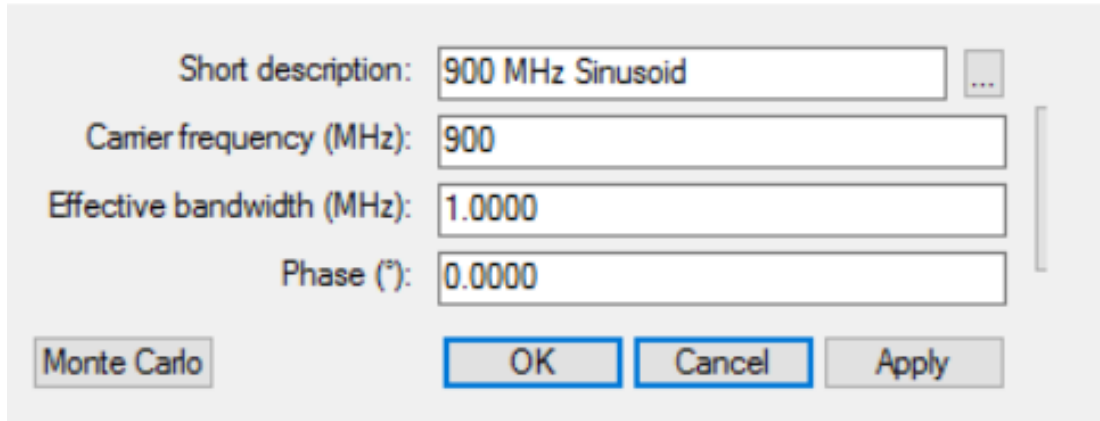
### **3.2. Definición de antenas y formas de onda**

En primer lugar, hay que crear la banda estrecha de 900 MHz en el menú correspondiente para formas de onda de tipo sinusoidal (  Sinusoid waveform).



1. Seleccionar *Proyecto* → *Nuevo* → *Formas de onda* (*Project* → *New* → *Waveform*) y elegir *Sinusoidal* (*Sinusoid*). La ventana de Propiedades de onda Sinusoidal (*SINUSOID PROPERTIES*) que aparece es la mostrada en la Figura 3.3.

### Sinusoid properties



Short description: 900 MHz Sinusoid

Carrier frequency (MHz): 900

Effective bandwidth (MHz): 1.0000

Phase (°): 0.0000

Monte Carlo OK Cancel Apply

**Figura 3.3: Ventana de Propiedades de onda sinusoidal**

1. En la caja del menú *Short Description*, que contiene una breve descripción de la banda que vamos a añadir, introduciremos una onda sinusoidal de 900 MHz (“900 MHz Sinusoid”).
2. En la caja del menú de *Frecuencia de la onda portadora* (*Carrier frequency*), introduciremos “900”. Se puede observar en la Figura 3.3. que nos pide el valor en MHz.
3. En la caja del menú *Ancho de banda efectivo* (*Effective bandwidth*), también definido en MHz, introduciremos el valor “1”.
4. Comprobamos que el valor de la *Fase* (*Phase*) está fijado en “0”.
5. Hacemos clic en OK para cerrar el diálogo.

Ahora que hay una forma de onda definida en el proyecto, daremos paso a la selección de una antena de tipo dipolo verticalmente polarizada (*Linear Dipole antenna*). Sólo es necesario cargar la antena ya que está definida en la herramienta. Para ello, deberemos seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionamos *Proyecto* → *Nuevo* → *Antena* (*Project* → *New* → *Antenna*) y elegimos *Dipolo Lineal* (*Linear dipole*). La ventana de propiedades de la antena de tipo dipolo lineal (LINEAR DIPOLE ANTENNA PROPERTIES) que aparecerá será la que podemos observar en la Figura 3.4.

#### Linear dipole antenna properties

Short description: Vertical Linear Dipole

Automatic

Waveform: 900 MHz Sinusoid

Maximum gain (dBi):  Auto

Polarization: Vertical

Length (m): 1.0000

Receiver Threshold (dBm): -0.166

Transmission line loss (dB): 0.0000

VSWR: 1.00

Temperature (K): 293.00



Edit array

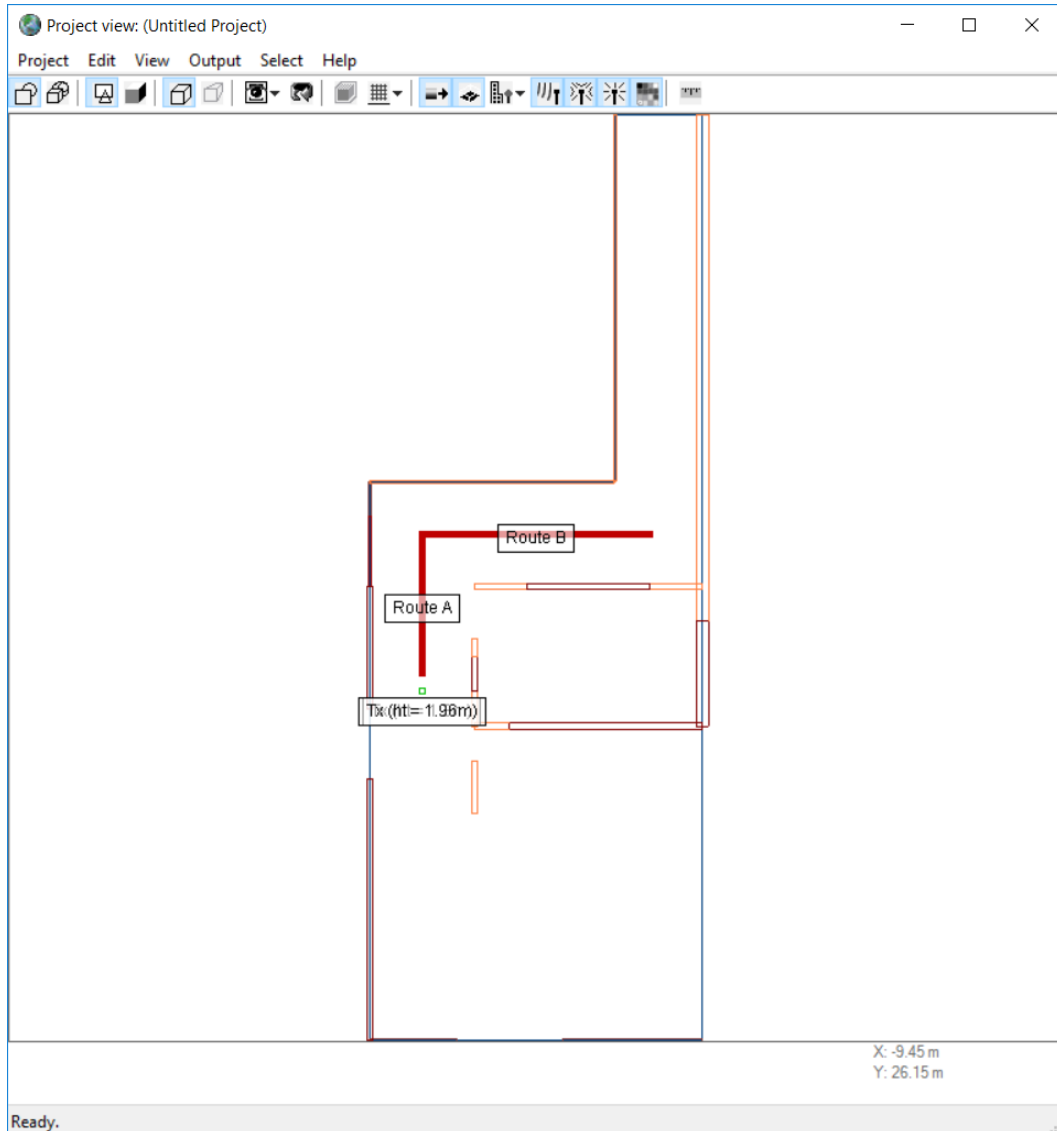
OK Cancel Apply

**Figura 3.4: Ventana de propiedades de la antena tipo dipolo lineal**

1. En el campo referente a la *Descripción breve* (*Short Description*), seleccionaremos *Dipolo Lineal Vertical* (*Vertical Linear Dipole*).
2. Elegir "900 MHz Sinusoid" como forma de onda, en el menú (*Waveform*).
3. Seleccionaremos la opción "Vertical" en el menú editable referente a *Polarización* (*Polarization*).
4. Introduciremos "0.166" m como *Longitud* (*Length*).
5. Hacemos clic en OK para cerrar la ventana.

### 3.3. Creación de los puntos de transmisión y el camino de recepción

Una vez introducidos el plano, la antena y las formas de onda, estamos en condiciones de situar el transmisor (  TRANSMITTER) y el receptor (  RECEIVER), tal y como se muestra en la Figura 3.5.



**Figura 3.5: Puntos de transmisión (verde) y camino de recepción (rojo) colocados en el tutorial**

Para crear los puntos de transmisión (  TRANSMITTER) seguiremos los siguientes pasos:

1. Pinchamos en *Proyecto* → *Nuevo* → *Fijar transmisor* → *Puntos* (*Project* → *New* → *Transmitter Set* → *Points*).

2. Situaremos el punto en el medio del suelo en una zona de pasillo y hacer clic en *Finalizar (Finish)*, o bien pulsar botón derecho para cerrar el diálogo.
3. La ventana de Propiedades del transmisor (TRANSMITTER PROPERTIES) que aparecerá, será como la mostrada en la Figura 3.6.

Tx/Rx properties

Short description: Tx (ht = 1.3m) ...

Coordinate system: Cartesian

Zone:

Ellipsoid: WGS-84

Origin longitude:  dec  dms 0  E  W

Origin latitude:  dec  dms 0  N  S

Elevations relative to: Terrain

Show origin when active

Rotation (°): 0.00

Activate transmitter:  Transmitter Properties

Activate receiver:  Receiver Properties

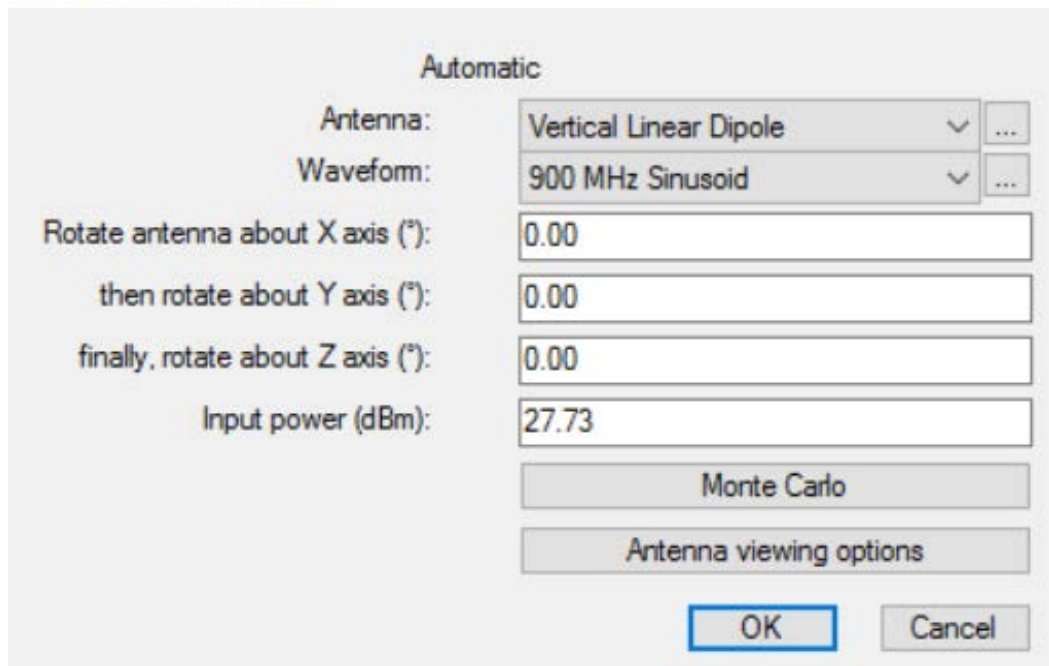
Layout Properties

OK Cancel Apply

**Figura 3.6: Ventana de propiedades del transmisor**

1. Introduciremos el valor "Tx (ht = 1.3m)" en el campo (*Short Description*).
2. Introduciremos "0" para los dos valores de *Longitud original (Origin longitude)* y *Latitud original (Origin latitude)*. Tras esto, pinchamos en TRANSMITTER PROPERTIES y se abrirá una ventana similar a la que aparece en la Figura 3.7.

### Transmitter properties



Automatic

Antenna: Vertical Linear Dipole

Waveform: 900 MHz Sinusoid

Rotate antenna about X axis (°): 0.00

then rotate about Y axis (°): 0.00

finally, rotate about Z axis (°): 0.00

Input power (dBm): 27.73

Monte Carlo

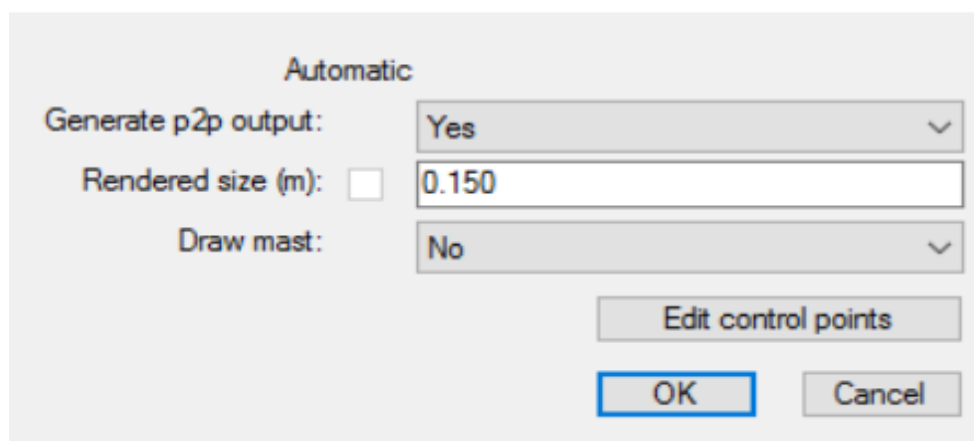
Antenna viewing options

OK Cancel

**Figura 3.7: Ventana de propiedades del transmisor**

1. Seleccionaremos “Dipolo Lineal Vertical” (*Vertical Linear Dipole*) como *Antena* (*Antenna*), el cual se ha creado anteriormente.
2. Introducimos como valor de potencia de entrada 27.73 dBm en la caja editable *Potencia de entrada* (*Input Power*) y pinchamos en OK.
3. Finalmente, pinchamos en LAYOUT PROPERTIES y aparecerá una ventana como la que se muestra en la Figura 3.8.

### Tx/Rx layout properties



Automatic

Generate p2p output: Yes

Rendered size (m):  0.150

Draw mast: No

Edit control points

OK Cancel

**Figura 3.8: Ventana de propiedades del layout**


1. Hacemos clic en el menú de edición del control de puntos (EDIT CONTROL POINTS), doble clic sobre el punto y fijar  $X = 1.5\text{m}$ ,  $Y = 10\text{m}$  y  $Z = 1.3\text{m}$ . El menú editable será similar al de la Figura 3.9.


Edit vertex


X (m):	<input type="text" value="1.5"/>
Y (m):	<input type="text" value="10"/>
Z (m):	<input type="text" value="1.3"/>

Apply as a translation

**Figura 3.9: Menú editable definición de las alturas del transmisor**

1. Hacemos clic en OK para finalizar la creación del punto de localización del transmisor (  TRANSMITTER).

Para crear un transmisor (  TRANSMITTER) adicional mediante duplicado del transmisor anterior Tx (ht =1.3m):

1. En la ventana principal (  MAIN WINDOW), iremos a la pestaña de *Transmisores* (*Transmitters*) y haremos clic en la entrada de Tx (ht =1.3m) y pulsaremos el botón derecho situados sobre ella.
2. Seleccionamos *Duplicar* (*Duplicate*) sobre el menú que aparece.
3. Hacemos doble clic en la entrada de Copia de Tx (Copy of Tx) (ht = 1.3m).
4. Aparecerá la misma ventana de *Propiedades del transmisor* (TRANSMITTER PROPERTIES) que se mostró en la Figura 3.6.
5. Introducimos “Tx (ht = 1.96m)” en la descripción.
6. Hacemos clic en el menú de edición de puntos de control (EDIT CONTROL POINTS) y doble clic sobre el punto. A continuación, fijaremos  $X = 1.5\text{m}$ ,  $Y = 10\text{m}$  y  $Z = 1.96\text{m}$ .
7. Hacemos clic en OK para salir del menú de *Vista y Edición de puntos* (*View\Edit Vertices window*).

8. Hacemos clic en OK para salir de la ventana de propiedades (*Transmitter Properties*).

Ahora crearemos un camino de recepción (Route of receivers), el cual ha sido creado a partir de dos conjuntos. Para capturar el desvanecimiento rápido a la frecuencia de 900 MHz, la distancia al receptor se ha hecho más pequeña que los valores por defecto.

1. Hacemos clic en *Proyecto* → *Nuevo* → *Fijar Receptores* → *Ruta* (*Project* → *New* → *Receiver Set* → *Route*).
2. Hacemos clic en el sitio exacto donde se va a situar el transmisor, y volvemos a hacer clic otra vez para emplazar el punto final que marcará el final del pasillo. Tras esto, haremos clic en el botón derecho para finalizar.
3. Aparecerá una ventana de Propiedades del Receptor (RECEIVER PROPERTIES). Será como la mostrada en la Figura 3.10.

Tx/Rx properties

Short description: Route A

Coordinate system: Cartesian

Zone:

Ellipsoid: WGS-84

Origin longitude:  dec   E  W

Origin latitude:  dec   N  S

Elevations relative to: Sealevel

Show origin when active

Rotation (°): 0.00

Activate transmitter:  Transmitter Properties

Activate receiver:  Receiver Properties

Layout Properties

(Project ID = 3)

**Figura 3.10: Ventana de propiedades del receptor**

1. Seleccionamos la *Ruta A* (“Route A”) en la *Short Description*
2. Introducimos “0” para los dos valores de Longitud y Latitud de origen (Origin longitude, Origin latitude). Valores que vendrán expresado en decimal.
3. Cambiamos de ELEVATION RELATIVE a SEALEVEL (TERRAIN por defecto)
4. Pinchamos en RECEIVER PROPERTIES.

#### Receiver properties

Automatic

Antenna: Vertical Linear Dipole

Waveform: 900 MHz Sinusoid

Rotate antenna about X axis (°): 0.00

then rotate about Y axis (°): 0.00

finally, rotate about Z axis (°): 0.00

Use bounding box: No

Bounding box length (m):  Auto

Collection surface radius (m):  Auto

Noise figure (dB): 3.000

Antenna viewing options

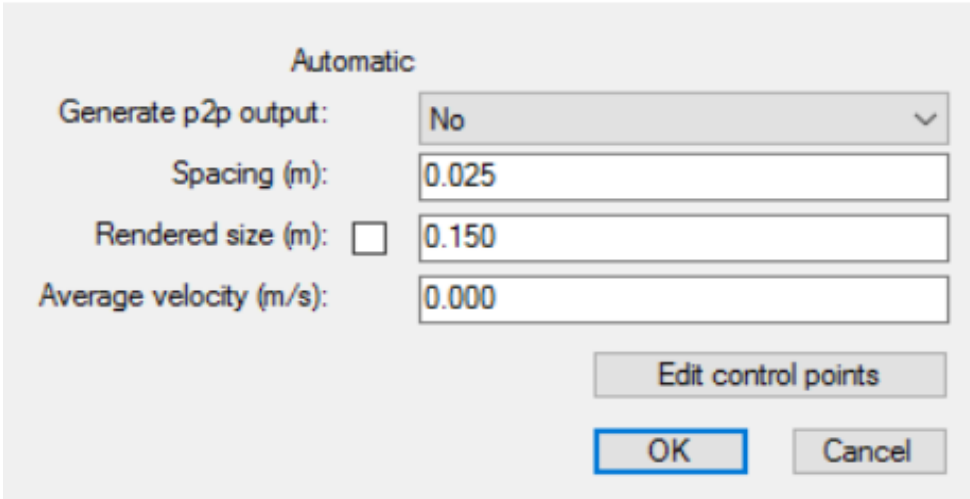
OK Cancel

**Figura 3.11: Ventana de propiedades del receptor**

1. Seleccionaremos como *antena* (*Antenna*) el *Dipolo Lineal Vertical* (“Vertical Linear Dipole”), el cual hemos utilizado anteriormente.
2. Pincharemos en LAYOUT PROPERTIES.
3. Introduciremos “0.025” m para el espaciado (*Spacing*). Quitamos el tick de auto en RENDERED SIZE y cambiamos su valor 0.150. Aparecerá algo similar a lo que se muestra en la Figura 3.12.



### Tx/Rx layout properties



Automatic

Generate p2p output: No

Spacing (m): 0.025

Rendered size (m):  0.150

Average velocity (m/s): 0.000

Edit control points

OK Cancel

**Figura 3.12: Ventana de propiedades del layout del receptor**

1. Hacemos clic en el menú de edición de puntos de control (EDIT CONTROL POINTS).
  - a. Para el primer punto, se establece:  $X = 1.5$  m,  $Y = 10.5$  m, y  $Z = 1.3$  m.
  - b. Para el segundo punto, se establece:  $X = 1.5$  m,  $Y = 14.5$  m, y  $Z = 1.3$  m.
2. Finalmente, hacemos clic en OK para finalizar la creación del primer camino (Route).

Siguiendo el mismo procedimiento, se crea el segundo recorrido "Route B", que se extiende desde el final del camino A ("Route A") hasta el final del pasillo. El primer punto de control está localizado en (1.5 m, 14.5 m, 1.3 m), y el segundo está emplazado en (8 m, 14.5 m, 1.3 m).

### 3.4. Definición del área de estudio

Ahora crearemos el área que será objeto de estudio (STUDY AREA) que encierra toda la planta mostrada en la Figura 3.1.

1. Seleccionaremos Proyecto → Nuevo → Área de estudio.

2. Seleccionamos *Ajuste de las características (Fit to features)* y hacemos clic en comenzar (BEGIN). Aparecerá la ventana de propiedades del área de estudio (STUDY AREA PROPERTIES Window), como la mostrada en la Figura 3.13.

Study area properties

Short description: IndoorArea1

Coordinate system: Cartesian

Zone:

Ellipsoid: WGS-84

Origin longitude:  dec  dms 0  E  W

Origin latitude:  dec  dms 0  N  S

Elevations relative to: Terrain

Automatic

Propagation model: Full 3-D

Ray spacing (\*):  0.2

Number of reflections:  3

Number of transmissions:  2

Number of diffractions:  0

Raytracing method: SBR

Allowed interactions...

Partitioning and Queuing

Advanced... Edit control points... Edit boundary

OK Cancel

**Figura 3.13: Ventana de propiedades del área objeto de estudio**

1. Introducimos "IndoorArea1" como en el menú *Descripción Corta (Short Description)*.
2. Seleccionamos el modo "Full 3-D" como *Modelo de Propagación (Propagation Model)*.
3. Quitamos la selección automática (*Automatic*) de la caja *Espaciado de rayos (Ray Spacing)* e introducimos el valor "0.2".
4. Quitamos la selección automática (*Automatic*) del campo correspondiente al *Número de reflexiones (Number of reflections)* y establecemos su valor en "3".
5. Quitamos la selección automática (*Automatic*) del campo referente al *Número de transmisiones (Number of transmissions)* y fijamos su valor en "2".

6. Quitamos la selección automática (*Automatic*) del campo donde indica el *Número de difracciones (Number of diffractions)* e introducimos "0".
7. Hacemos clic en el botón de *Avanzado (Advanced)* y aparecerá la ventana mostrada en la Figura 3.14:
  - a. Eliminaremos la selección *automática (Automatic)* de la caja *Umbral de pérdidas debidas a la trayectoria (Path loss threshold)* e introduciremos "-60" dB.
  - b. Eliminaremos la selección *automática (Automatic)* de la caja (Sum complex electric fields) y fijaremos la opción "*Todo (All)*" y hacer clic en OK.

#### Advanced model parameters



Automatic	
Ray spacing (m):	<input checked="" type="checkbox"/> Auto
Reflections before first diffraction:	<input checked="" type="checkbox"/> Auto
Reflections after last diffraction:	<input checked="" type="checkbox"/> Auto
Reflections between diffractions:	<input checked="" type="checkbox"/> Auto
Transmissions before first diffraction:	<input checked="" type="checkbox"/> Auto
Transmissions after last diffraction:	<input checked="" type="checkbox"/> Auto
Transmissions between diffractions:	<input checked="" type="checkbox"/> Auto
Path loss threshold (dB):	<input type="checkbox"/> -60.00
Sum complex electric fields:	<input type="checkbox"/> All
Ray tracing acceleration:	<input checked="" type="checkbox"/> Octree


OK Cancel

**Figura 3.14: Ventana del menú avanzado de las propiedades del área objeto de estudio**

8. Finalmente, hacemos clic en OK para finalizar la creación del área de estudio (STUDY AREA).

### 3.5. Ejecución de los cálculos

Para comenzar con los cálculos, presionaremos el botón Ejecutar (  RUN) del menú de la ventana principal (  MAIN WINDOW) y seleccionaremos *Nuevo (New)*. Si el proyecto no ha sido guardado anteriormente, Wireless InSite le pedirá hacerlo.

Cuando los cálculos comiencen, se abrirá una ventana (  CALCULATION LOG) que proporciona información sobre el progreso de los cálculos que se están realizando. Se muestra un ejemplo en la Figura 3.15.

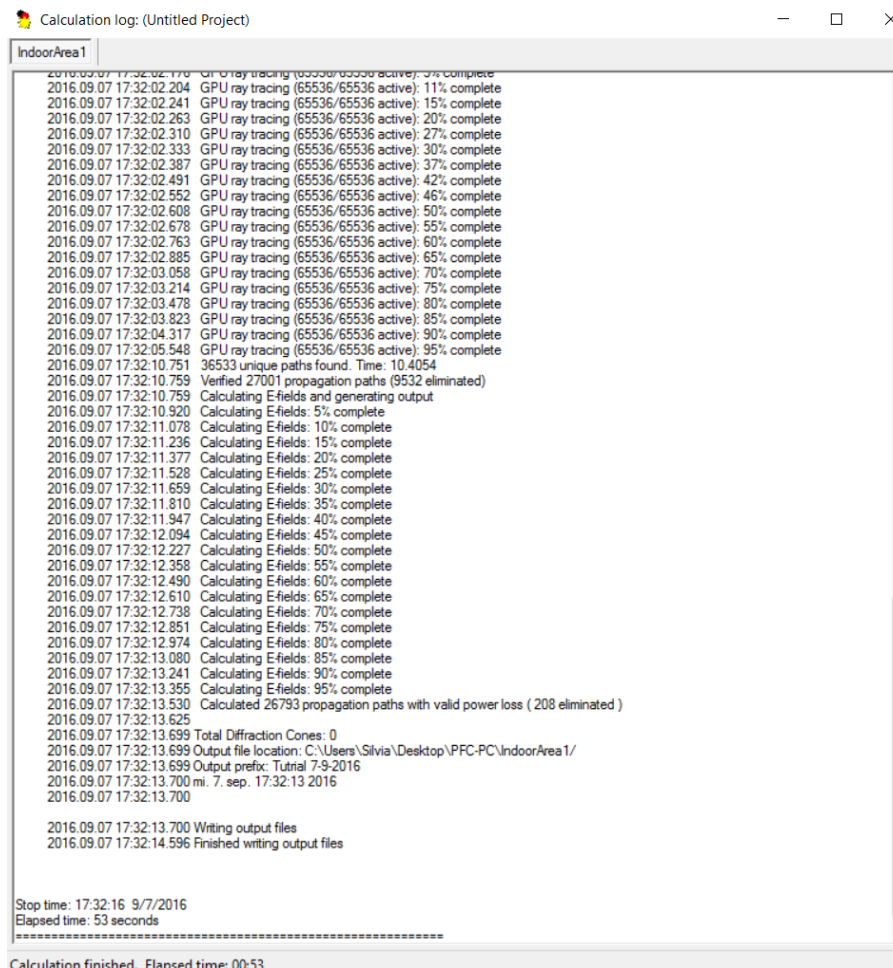



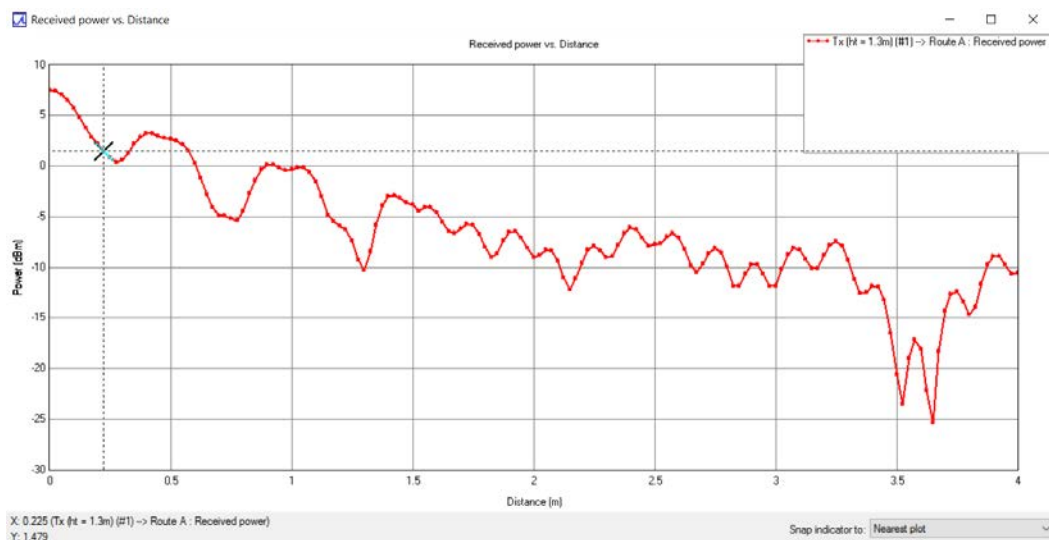
Figura 3.15: Ventana que muestra el proceso de los cálculos que se están realizando

### 3.6. Comparación de medidas

Los resultados obtenidos se pueden leer manualmente en las figuras como y son escritos en un archivo de texto con la extensión .plt.

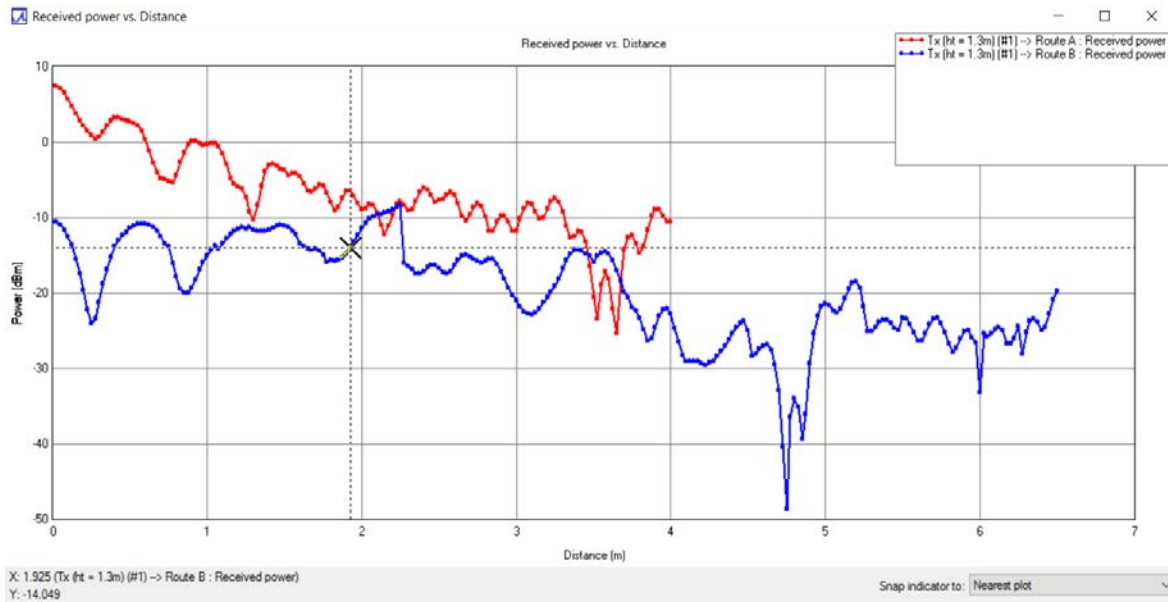
1. Debajo del botón de *Salida* (  OUTPUT), profundizamos sobre el Área: *IndoorArea1* → *Punto a multipunto* → *Potencia Recibida* (*IndoorArea1* → *Point to multipoint* → *Received power*).
2. Fijaremos la altura del transmisor en 1.3m Tx ( $ht = 1.3m$ ).
3. Haremos clic sobre el *camino A* (*Route A*) y seleccionar *Dibujar* (*Plot*).
4. Seleccionamos la distancia sobre eje-x (x-axis) y presionamos OK. Aparecerá el receptor de potencia.
5. Para importar los datos obtenidos, haremos clic en el dibujo y seleccionar *Importar* (*Import*) → *Dibujo* (*Plot*).
6. Abrir el dibujo. Lo podemos encontrar en la siguiente localización, dentro del tutorial: `tutorials_location\Indoor_Tutorial\measureddata\fig11ameasured.plt`.

La gráfica debería ser similar a la que se muestra en la Figura 3.16.



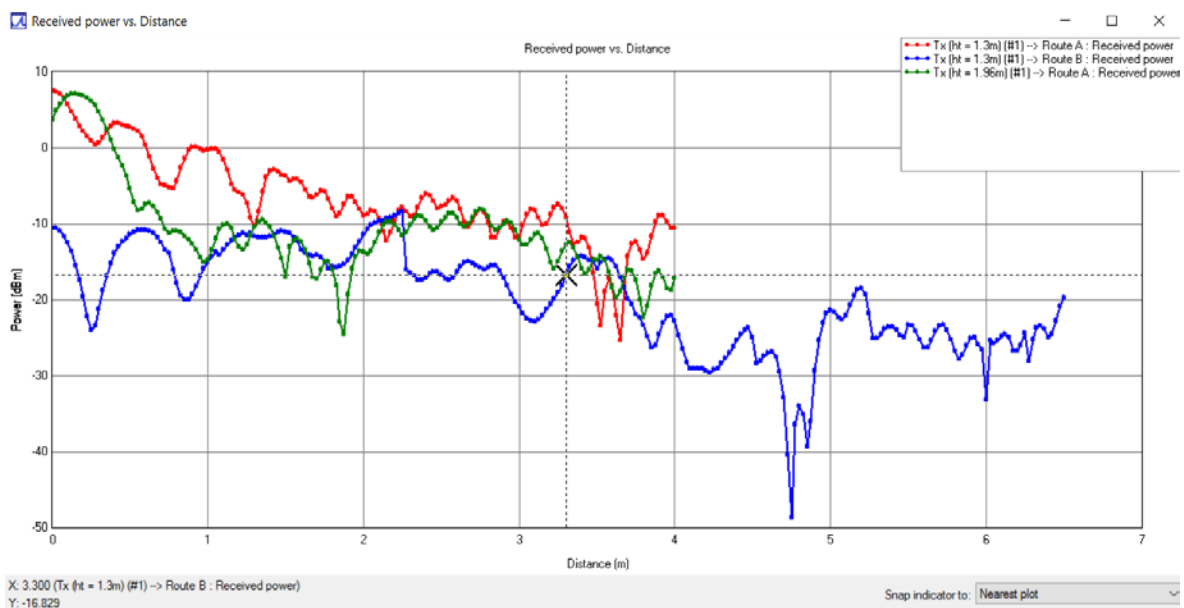
**Figura 3.16: Comparación de los cálculos de Wireless InSite con las medidas para el receptor de Route A y el transmisor de altura 1.3m**

Siguiendo el mismo procedimiento, se puede crear una gráfica del receptor de potencia en Tx ( $ht = 1.3 m$ ) para la ruta B (*Route B*) usando los datos medidos y que han sido almacenados en el archivo `fig11bmeasured.plt`. La gráfica debería ser similar a la de la Figura 3.17.

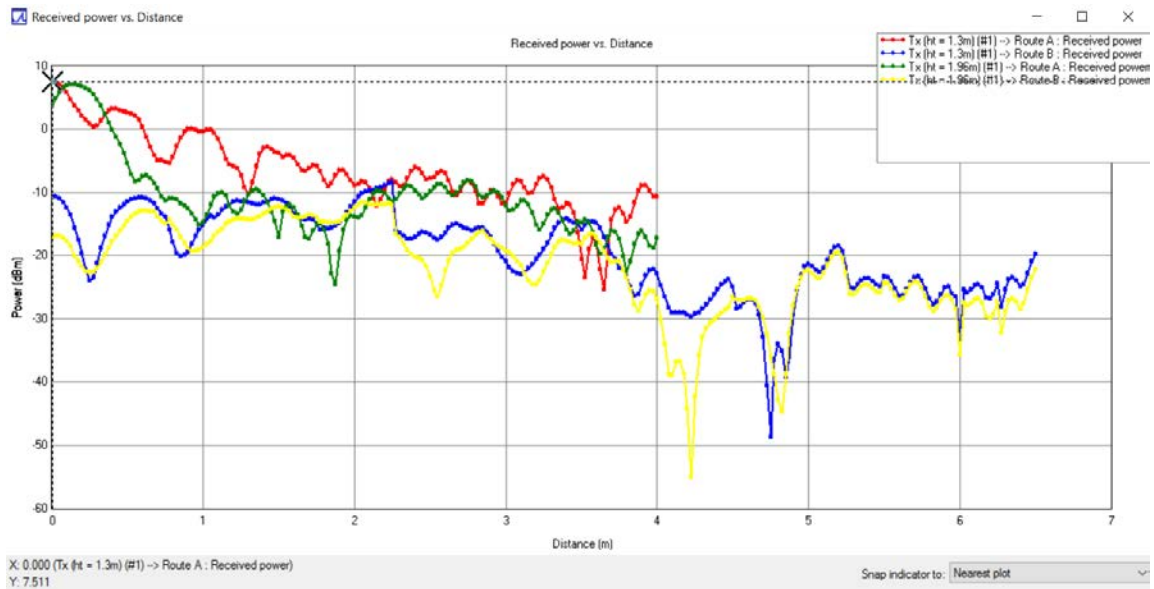


**Figura 3.17: Comparación de los cálculos realizados por Wireless InSite con las medidas tomadas para el receptor Route B con un transmisor a 1.3 m**

Las Figuras 3.13 y 3.14 son una réplica de las anteriores, habiéndose dibujado la potencia recibida a una distancia del transmisor Tx ( $ht = 1.96$ ) para ambas rutas, A y B respectivamente. Los datos obtenidos con los que se ha pintado la Figura 3.18 están localizados en el archivo `fig13bmeasured.plt` y los referentes a la Figura 3.19, en el archivo que le corresponde, `fig14bmeasured.plt`.



**Figura 3.18: Comparación de los cálculos realizados por Wireless InSite con las medidas tomadas para el receptor Route A con un transmisor a 1.96 m**



**Figura 3.19: Comparación de los cálculos realizados por Wireless InSite con las medidas tomadas para el receptor Route B con un transmisor a 1.96 m**


Las figuras 3.16 y 3.19 muestran gran similitud entre las predicciones realizadas por Wireless InSite y las medidas tomadas. Se puede observar que dichas medidas se representan mediante las curvas verde y azul. Wireless InSite no reproduce exactamente el desvanecimiento rápido que se produce en las medidas, pero esto es debido a localización de las paredes no es exacta en el plano introducido en el simulador y a que el espesor no está recogido explícitamente sobre el papel. Sin embargo, incluso sin una geometría precisa, Wireless InSite replica los niveles de señal y las tendencias generales acerca de las mediciones.

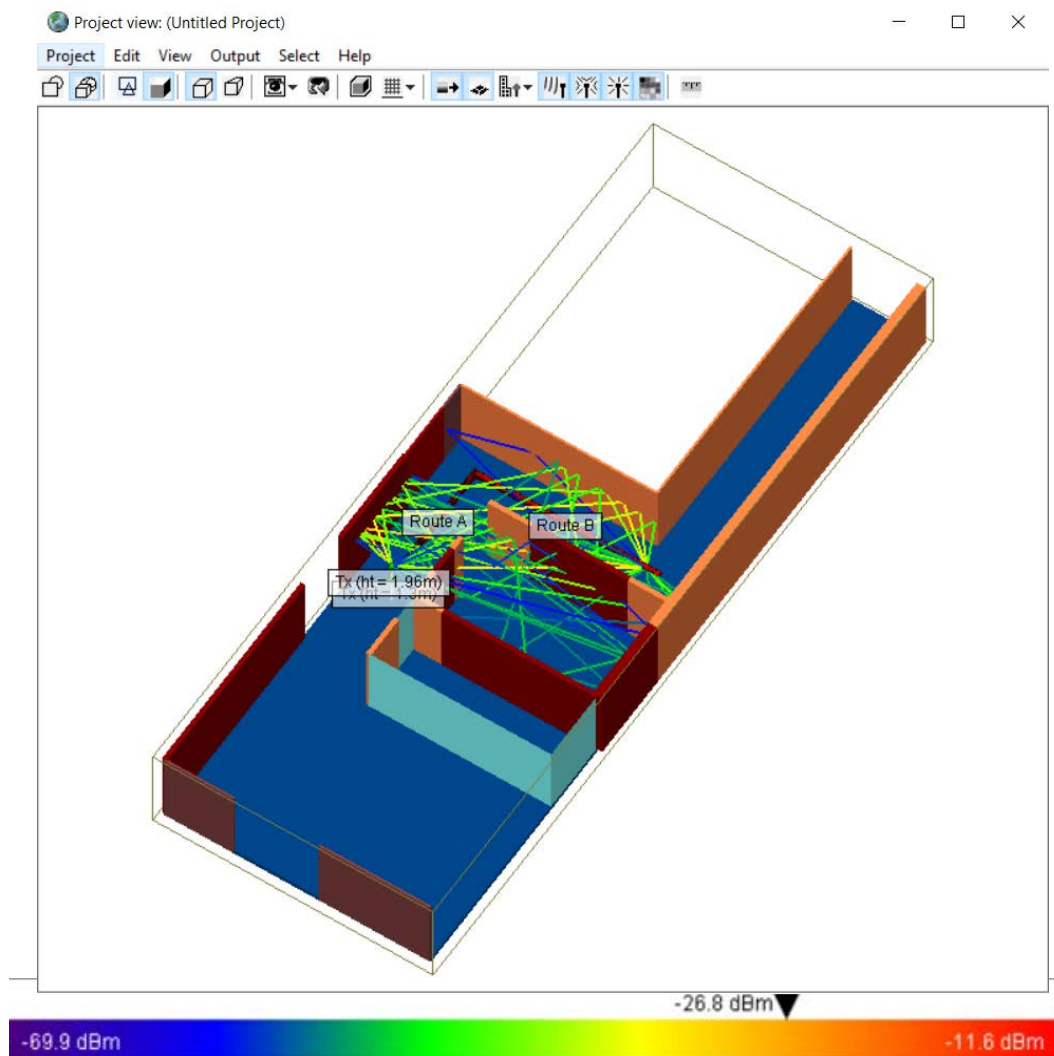
### 3.7. Visualización del lanzamiento de rayos

Los diferentes caminos que siguen los rayos entre el par transmisor/receptor se muestran en la Figura 3.20. Dichos caminos entre el transmisor, en verde, (TRANSMITTER) y el receptor, en rojo, (RECEIVER) se pueden observar siguiendo los pasos que se detallan a continuación:

1. Presionamos el botón de salida (OUTPUT) y seguiremos seleccionando en área: *IndoorArea1* → *Punto a multipunto* → *Caminos de propagación (IndoorArea1 → Point to multipoint* → *PROPAGATION PATHS* -> Tx (ht =1.96 m)). A continuación, hacemos clic en la ruta B (Route B) y seleccionaremos la opción *Cargar (Load)*.





2. Ampliamos Route B, desplazamos hacia abajo y localizaremos la entrada #246 para el receptor. Activaremos 15 trayectorias (*Paths*).
3. Haremos clic en la entrada para #246 para el receptor activando 15 trayectorias (*paths*) y seleccionaremos *Ver todas las trayectorias (View all paths)*. El visor del proyecto (  PROYECT VIEW) debería ser similar a la mostrada en la Figura 3.20.









**Figura 3.20: Propagación de las diferentes trayectorias de los rayos en el Tutorial de entornos interiores**




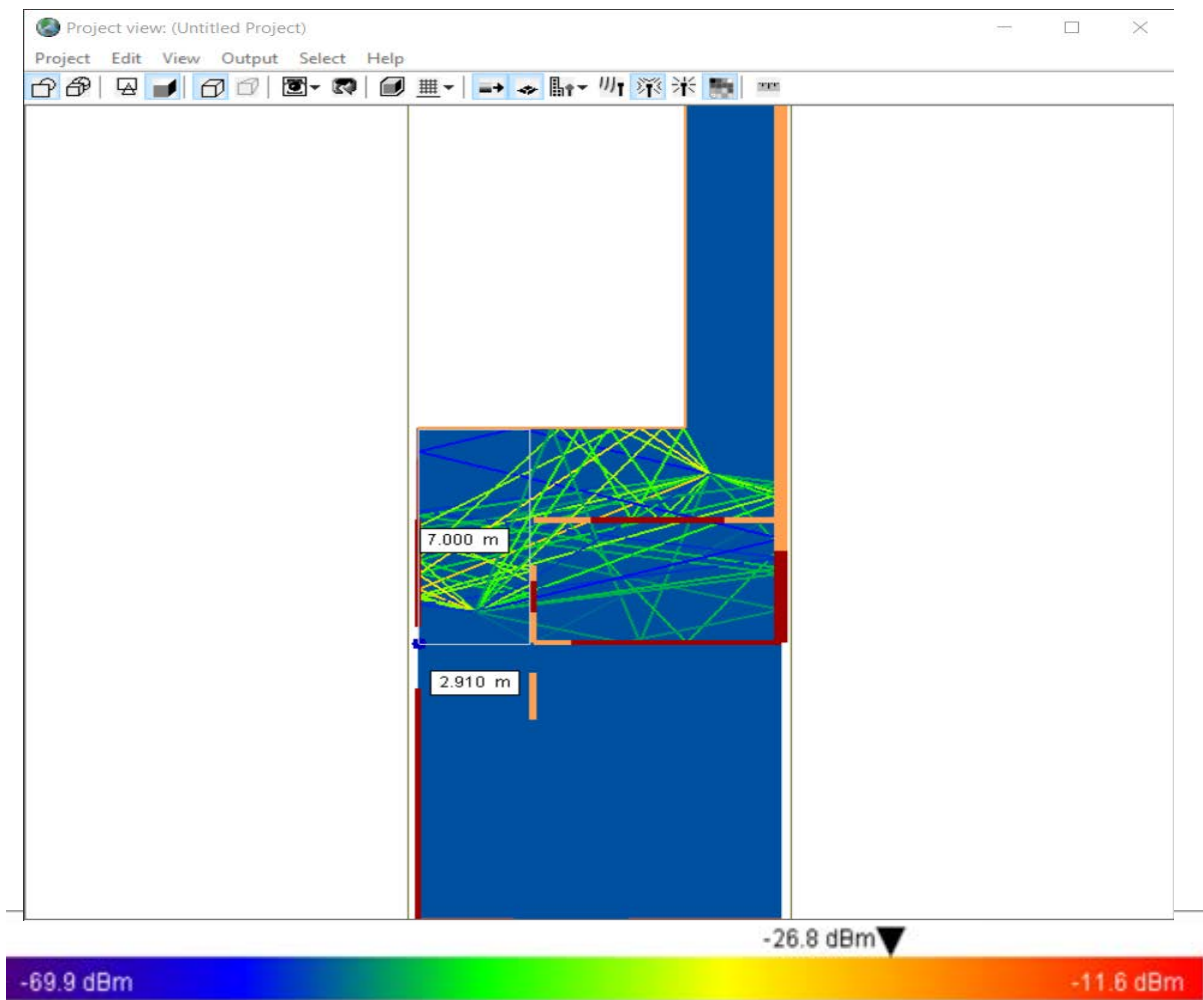
### 3.8. Creación de una red de puntos de recepción en el pasillo

La red de puntos del receptor ( *Receiver Grids*) permite al usuario observar la potencia recibida en zonas extensas y reconocer rápidamente cualquier efecto de desvanecimiento rápido que pueda estar presente en el plano en planta ( FLOOR PLAN) de la Figura 3.1.

Para preparar el cálculo con la red de receptores ( Grid), primero habrá que inhabilitar el receptor, pulsando el botón ( Routes). A continuación, hacer clic en cada trayectoria de la tabla de receptores ( RECEIVERS) y desmarcar las dos casillas Visible (Visible) y Activo (Active). Adicionalmente, deshabilitar el transmisor cuyo valor de altura se había establecido en  $height = 1.3$  m pulsando el botón ( TRANSMITTER) y desactivando las opciones Visible (Visible) y Activo (Active).

Para este ejemplo, se han creado dos redes de receptores ( Grids) para proporcionar la suficiente cobertura sobre las trayectorias en forma de L del receptor. Se requieren al menos 5 receptores por longitud de onda, sin embargo, utilizar 10 receptores por longitud de onda es una opción claramente mejor. Dada una longitud de onda ( WAVEFORM) de 900 MHz, con un espacio de 0.03 m es totalmente apropiado.

1. Seleccionamos *Proyecto* → *Nuevo* → *Punto del receptor* → *Cuadrícula XY* (*Project* → *New* → *Receiver Set* → *XY Grid*).
2. Iniciaremos la cuadrícula en el visor del proyecto ( PROJECT VIEW) haciendo clic en una de las esquinas del diseño que se muestra en dicha cuadrícula y arrastraremos hasta la esquina contraria para crear el área de cobertura mostrada en la Figura 3.21.



**Figura 3.21: Área cubierta por el receptor A**

3. La ventana de propiedades del receptor (RECEIVER PROPERTIES) que aparecerá será como la mostrada en la Figura 3.22.

## Tx/Rx properties

Short description: Cuadrícula A (GridA) ...

Coordinate system: Cartesian

Zone:

Ellipsoid: WGS-84

Origin longitude:  dec   E  
 dms  W

Origin latitude:  dec   N  
 dms  S

Elevations relative to: Terrain

Show origin when active

Rotation (°):

Activate transmitter:  Transmitter Properties

Activate receiver:  Receiver Properties

Layout Properties

OK Cancel Apply

**Figura 3.22: Ventana de propiedades de la cuadrícula A**

4. Introduciremos *Cuadrícula A (GridA)* en el campo *Short Description*.
5. Introducimos 0 en los dos valores de longitud y latitud.
6. Introduciremos el valor 0.03 en cuadro de espaciado (Spacing) el cual viene definido en metros.
7. Haremos clic en el menú para editar los puntos de control (EDIT CONTROL POINTS) y fijar los valores que nos piden en  $Z = 1.3$  m para elegir la altura del transmisor.  $X=0.18$   $Y=9$ .
8. Hacemos clic en OK para finalizar la creación de la cuadrícula referente al receptor A.

A continuación, crear la cuadrícula referente al receptor B, la cual cubre el área que se muestra en la Figura 3.18, siguiendo el mismo procedimiento. Ambas cuadrículas son

directamente adyacentes.

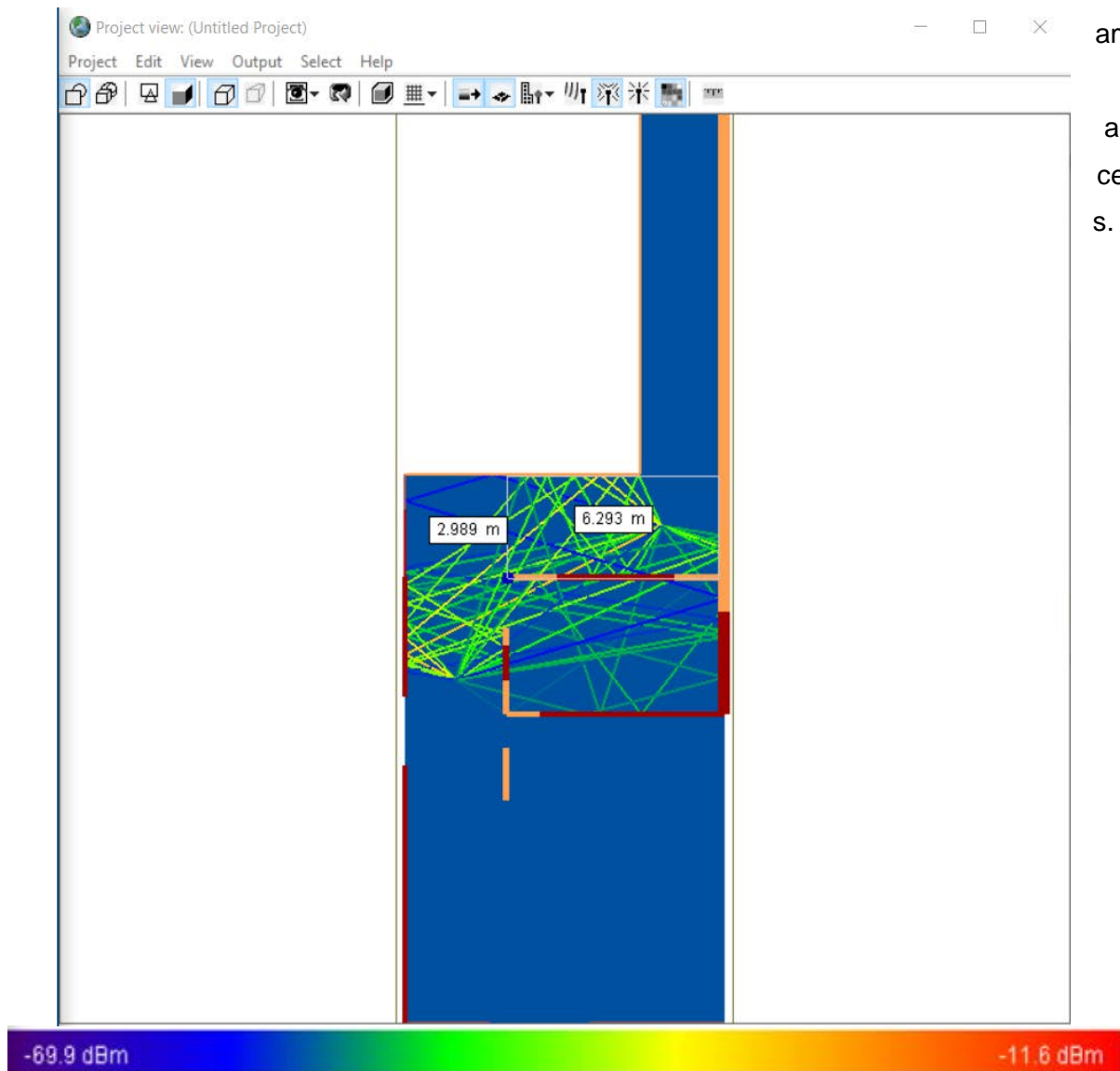








Figura 3.23: Esquema del entorno

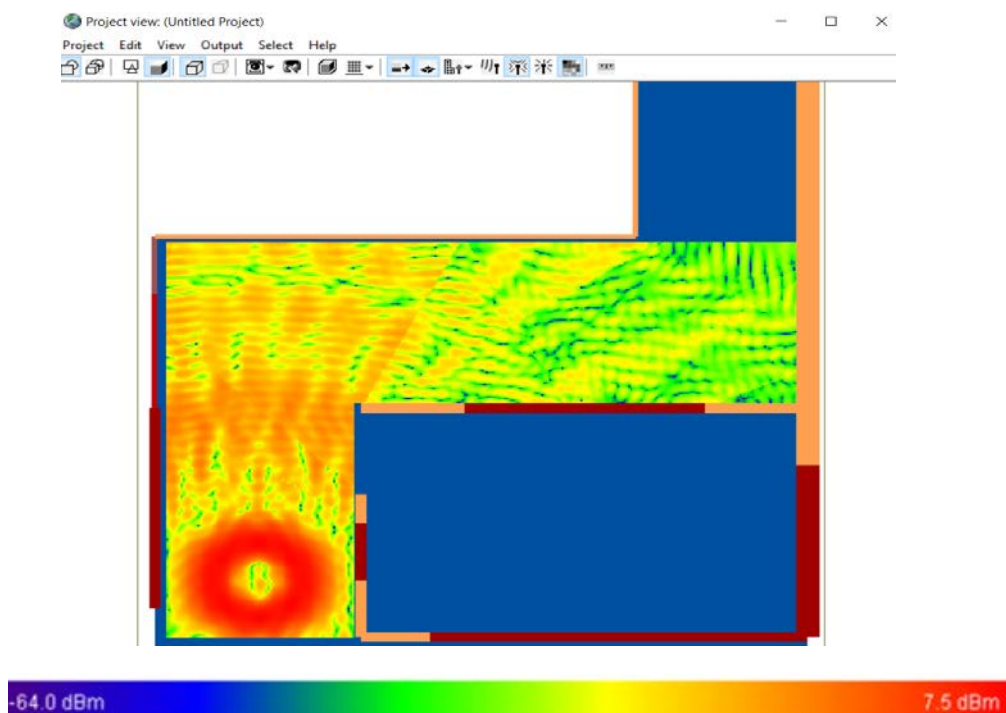
### 3. 9. Ejecución del cálculo en el conjunto de receptores

En este apartado se va a realizar un nuevo cálculo de la zona del receptor de cuadrícula fijo activo (📶) y después usar el siguiente procedimiento para obtener los resultados en ambas zonas.

1. Seleccionaremos la salida (  OUTPUT) en la ventana principal (  MAIN WINDOW) y extenderemos el menú del área de estudio definida anteriormente.
2. Para ver la potencia recibida, habrá que seguir los siguientes pasos: *Punto a multipunto* → *Potencia recibida* → *Tx (ht = 1.96 m)*, (*Point to multipoint* → *Received power* → *Tx (ht = 1.96 m)*) y seleccionaremos *Ver (View)* en el menú referido a la zona A (Grid A). Cada punto fijado en el receptor se mostrará con el color correspondiente a la potencia recibida en cada uno de ellos.

> Para ver los resultados más claramente, se puede cerrar la visibilidad de los receptores y transmisores haciendo clic en el receptor (  RECEIVER) y en el transmisor (  TRANSMITTER) en los iconos que hay en la parte de arriba del visor del proyecto (  PROJECT VIEW).

3. En el visor del proyecto (  PROJECT VIEW), haremos clic en la escala de colores y elegir en el menú de contexto el rango de colores (Range options). La figura 3.24 muestra la potencia recibida a lo largo de todo el pasillo.



**Figura 3.24: Potencia recibida sobre una zona establecida en el receptor**

La figura 3.24 muestra que la potencia recibida puede variar mucho en pequeñas distancias debido a las interferencias constructivas o destructivas entre los rayos que alcanzan la localización del receptor (RECEIVER).

Las ubicaciones relativas para las antenas, transmisores (TRANSMITTERS) y receptores (RECEIVERS) determina la longitud del camino del rayo hasta el punto y, además, deben ser precisos de acuerdo al cálculo realizado por Wireless InSite para calcular los efectos de desvanecimiento rápido correctamente.

### **3.10. Resumen**

Las figuras que se incluyen en este ejemplo indican la capacidad de la herramienta Wireless InSite de REMCOM para organizar, controlar y mostrar todos los datos necesarios para un cálculo de radiopropagación.

# Capítulo 4. Aplicación del lanzador de rayos comercial de Wireless Insite en la banda de 60 GHz: comparación con medidas reales

## 4.1. Incorporación del diseño 3D

### 4.1.1. Creación de la habitación

Wireless Insite permite al usuario crear un entorno interior personalizado, especificar las ubicaciones y las alturas de las paredes, techos, suelos, ventanas, puertas y el resto de objetos que puede contener una habitación. Además, permite cambiar el material de cada uno de los elementos presentes en el entorno, así como cambiar las propiedades del material para reflejar con precisión el entorno real. Este editor también proporciona un método para modificar planos de planta ya existentes. [10]

El plano de la habitación que se va a contemplar en las simulaciones y pruebas llevadas a cabo en el desarrollo de este capítulo se muestra en la Figura 4.1.

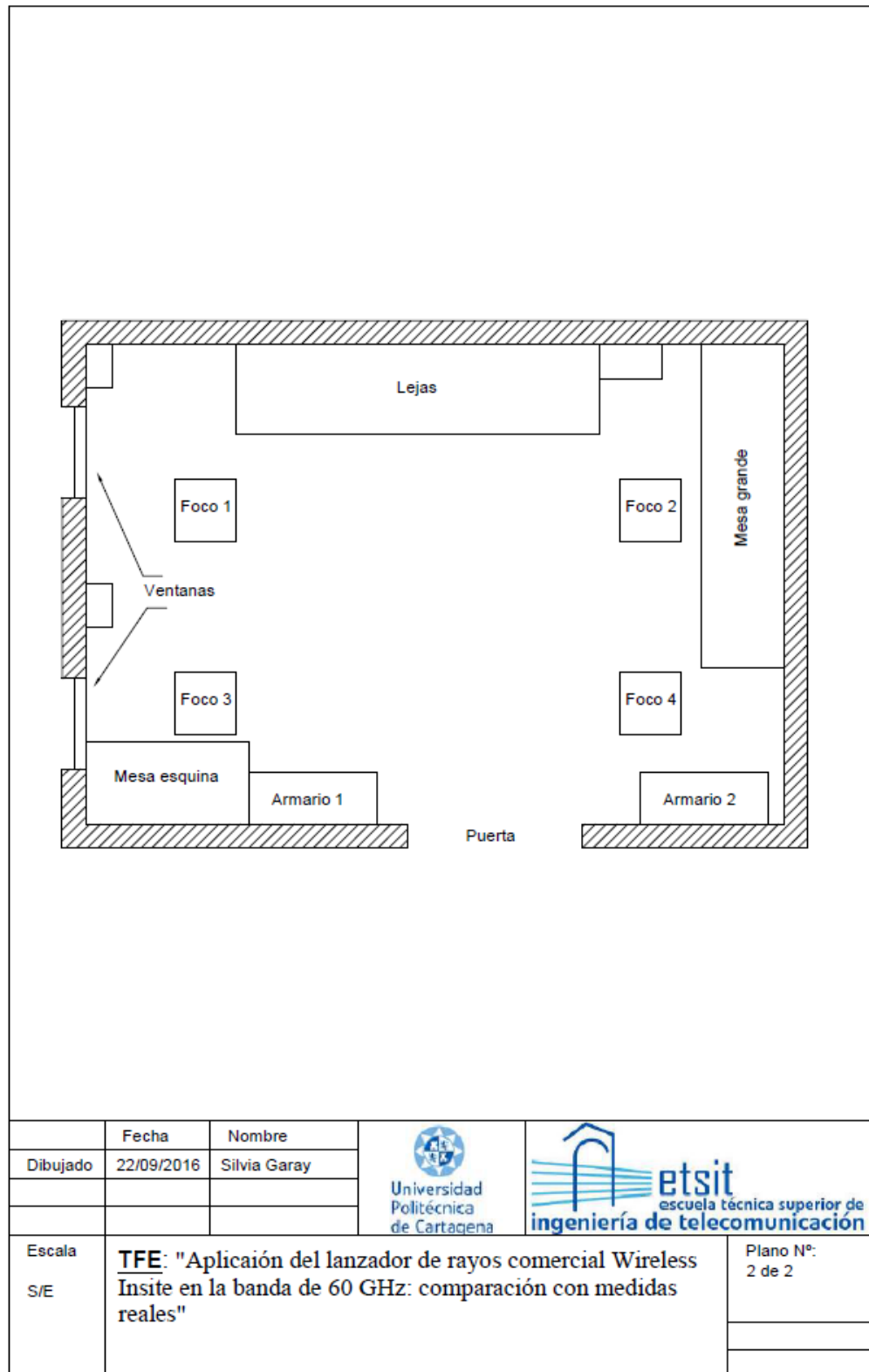


Figura 4.1. Plano en planta de la habitación contemplada del edificio I+D+I de la UPCT



1. Para empezar, habrá que crear un nuevo proyecto. En la Tabla 4.1. podemos observar las medidas de la habitación y de cada uno de los elementos que están contenidos en ella, así como puertas y ventanas.

	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
Habitación IDI	6,40	4,44	2,60
Puerta	1,60	-	2,10
Ventanas	-	0,83	1,90
Columna 1	0,30	0,55	2,60
Columna 2	0,30	0,40	2,60
Columna 3	0,56	0,30	2,60
Armario 1	1,19	0,50	2,03
Armario 2	1,19	0,50	2,03
Mesa Esquina	1,50	0,75	0,05
Mesa Grande	0,75	3,00	0,05
Aplicador Mesa Grande	0,15	0,10	3,00
Leja Baja	3,30	0,75	0,05
Aplicador Leja Baja	3,00	0,15	0,10
Leja Alta 1	1,45	0,53	0,05
Leja Alta 2	1,70	0,53	0,05
Aplicador Leja Alta	3,30	0,15	0,10
Aplicadores	0,05	0,15	0,86
Focos	0,57	0,57	-

**Tabla 4.1. Medidas de la habitación I+D+I y sus elementos**

2. Podemos comenzar a crear el plano en planta seleccionando *Proyecto* → *Nuevo* → *Características* → *Plano de Planta*. (*Project* → *New* → *Feature* → *Floor Plan*).

Aparecerá una ventana como la que se muestra en la Figura 4.2.

3. En dicha ventana escribiremos el nombre que elijamos, en nuestro caso, “Habitación IDI” ya que se trata de una maqueta de un laboratorio del edificio I+D+I de la Universidad.

Feature Properties

<- Parent Child ->

(Project: Untitled Project) (Floor plan group)

Short description: Habitación IDI ...

Coordinate system: Cartesian

Zone:

Ellipsoid: WGS-84

Origin longitude:  dec  dms 0  E  W

Origin latitude:  dec  dms 0  N  S

Elevations relative to: Terrain

Show origin when active

Maximum values (x,y,z): (6.40179, 4.4238, 2.6) (m)

Minimum values (x,y,z): (-0.00160166, -0.0145716, 0) (m)

Structure-groups: 1

Structures: 1

Sub-structures: 1

Faces: 17

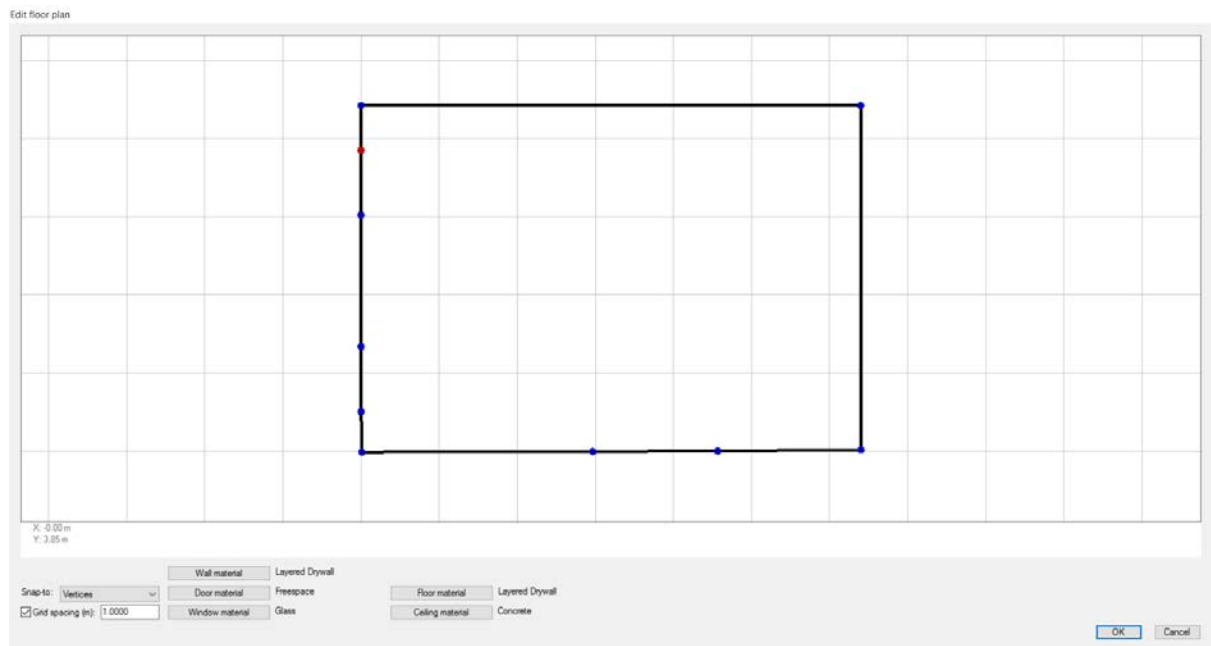
<- Previous Next ->

(Structure: Columna 1)

OK Cancel Apply

Figura 4.2. Ventana de propiedades del plano en planta

4. A continuación, habrá que dibujar el plano sobre la plantilla. Para ello, abriremos el editor y dibujaremos el contorno con el ratón, tal y como se muestra en la Figura 4.3.



**Figura 4.3. Editor de planos de Wireless Insite**

5. Una vez estemos dentro del editor, pulsaremos botón derecho y en el menú desplegable seleccionaremos *Nueva* → *Pared* (*New* → *Wall(s)*).

6. Tras esto, nos dejará indicar el principio y final de las paredes pinchando con el ratón en el editor.

7. Al finalizar, pulsaremos el botón derecho y quedará el contorno de la habitación descrito como se muestra en la Figura 4.3.

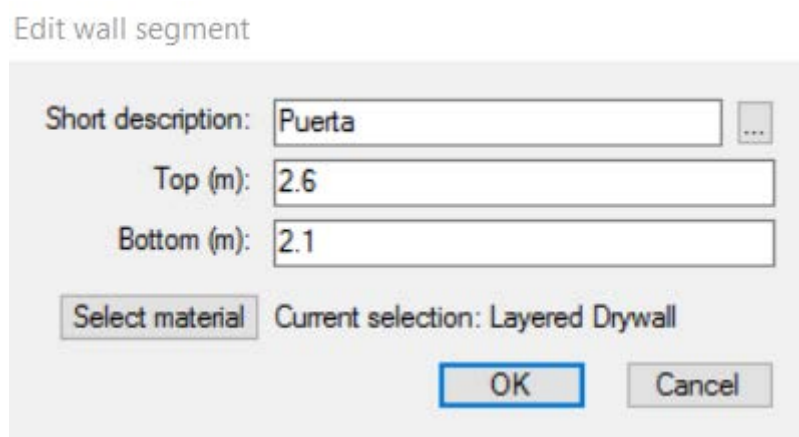
Las medidas de la habitación se pueden observar en la Tabla 4.1.

### **4.1.2. Definición de puertas y ventanas**

En este apartado se definirán las puertas y las ventanas de la habitación. Tenemos que tener en cuenta que las puertas se considerarán como espacios libres y las ventanas como cristales de 3 centímetros. Esta propiedad, al igual que las propiedades dieléctricas del mismo se definirán en la ventana de propiedades que se verá más adelante.

Para definir la puerta, seguiremos los siguientes pasos:

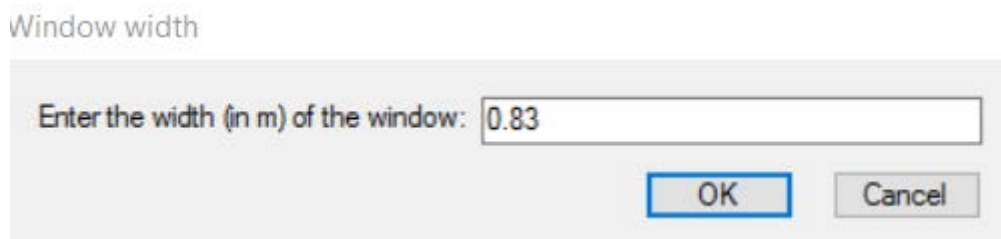
1. Situados en el editor, pulsaremos botón derecho y *Nueva* → *Puerta* (*New* → *Doorway*) para crearla. Se abrirá una ventana automáticamente que nos pide el ancho de la misma. Una vez metamos el valor de la anchura, nos dejará situarla sobre el Floor Plan.
2. Definiremos en la ventana que se abre automáticamente los valores de la altura (se ve en el campo Bottom) y la altura del techo. Se puede ver en la Figura 4.4.



**Figura 4.4. Ventana de propiedades de la puerta**

Esta imagen quiere decir que, el techo está situado a 2.6 m sobre el suelo y que entre 0 y 2.1 m habrá una puerta, que será considerada como espacio libre.

3. De nuevo situados en el editor, damos paso a la creación de las ventanas. Del mismo modo, marcaremos las posiciones de inicio y final en la ventana que aparece en la Figura 4.5, introduciendo la anchura.

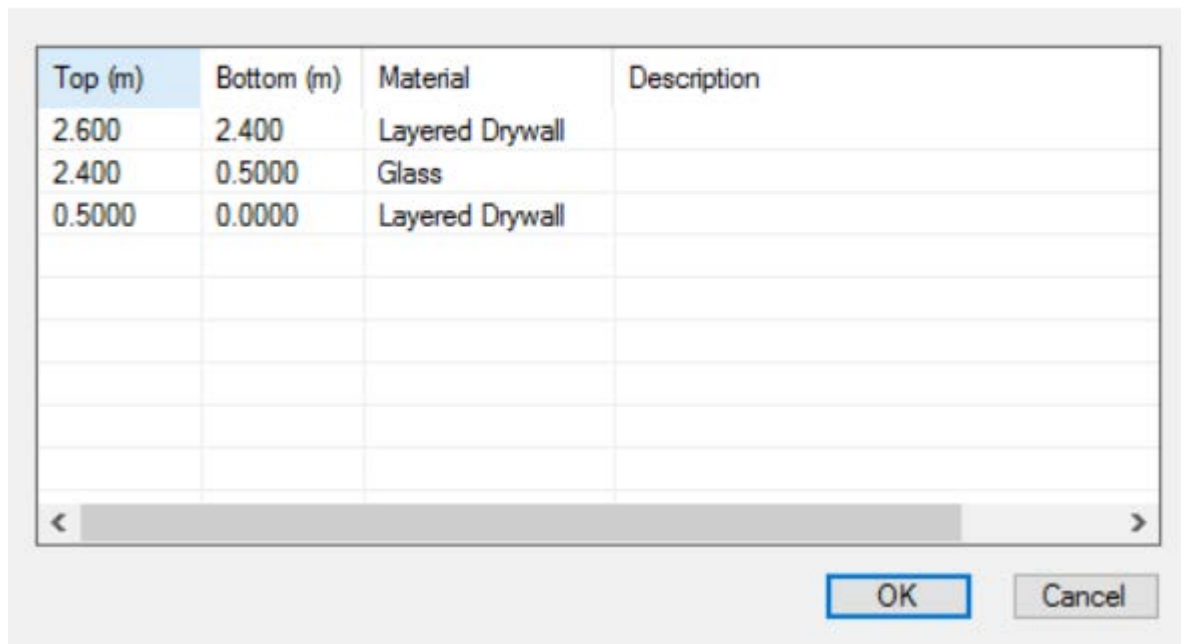


**Figura 4.5. Menú para la introducción del ancho de una ventana**

4. Pinchamos en OK y aparecerá la ventana de propiedades que se muestra en la Figura 4.6.

5. Modificaremos los valores de los campos para las anchuras y las posiciones inicial y final de la altura.

Edit wall profile



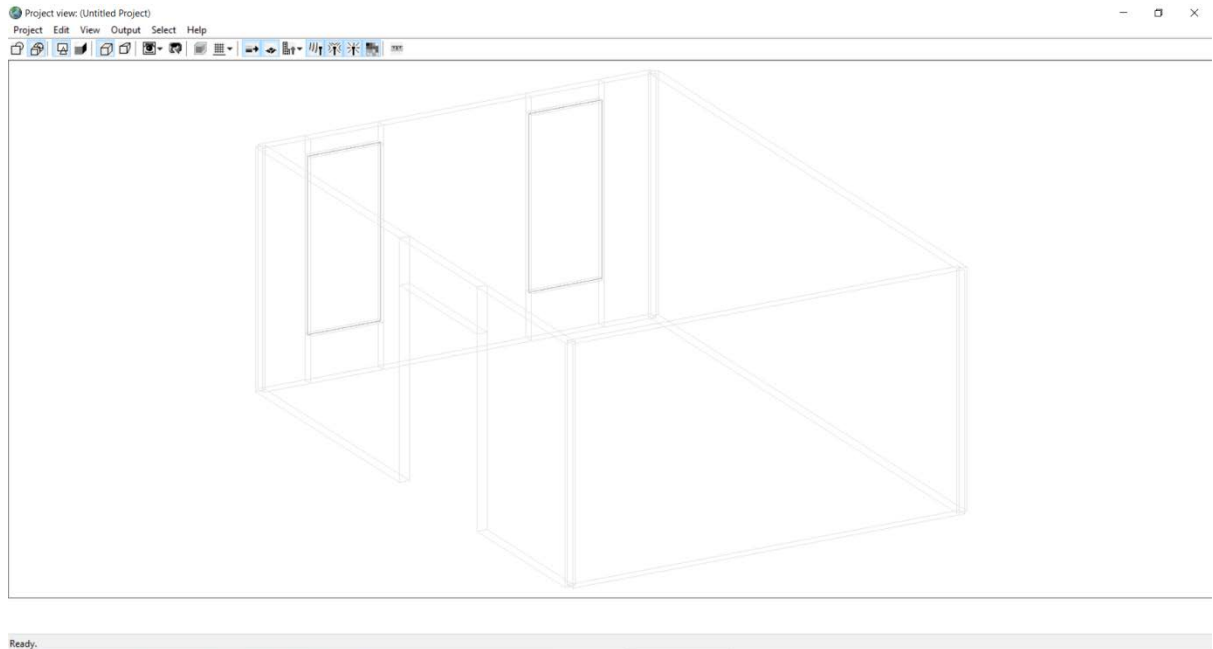
Top (m)	Bottom (m)	Material	Description
2.600	2.400	Layered Drywall	
2.400	0.5000	Glass	
0.5000	0.0000	Layered Drywall	

**Figura 4.6. Ventana de propiedades de las ventanas**

Podemos observar en la Figura 4.6 que para definir una ventana considera que existe una pared de ladrillo debajo de la ventana y encima. El trozo que ocupa la ventana, lo considera de cristal. Esas son las medidas que nos pide el menú editable. Si queremos cambiar los puntos, podemos hacer doble clic sobre la línea a editar e introducir los valores correspondientes.

Como podemos observar, la forma de definir ambas es casi idéntica. Sólo se diferencia en que al incluir una puerta, nos pedirá únicamente el valor de la altura máxima y al definir una ventana también será necesario establecer el valor de la altura mínima.

Una vez tengamos las puertas y ventanas podemos ver que la representación en tres dimensiones de la habitación quedará tal y como se muestra en la Figura 4.7.



**Figura 4.7. Representación del laboratorio con puerta y ventanas en tres dimensiones**

### 4.1.3. Definición de techo y suelo

Es importante que una vez tengamos el entorno definido, tendremos que incluir el techo y suelo. Ambos se describen de la misma manera, la única diferencia será que para definir el techo, nos pedirá la altura a la que estará situado. En nuestro caso concreto, el suelo se considerará del mismo material que las paredes, cemento, mientras que el techo será considerado de yeso.

1. Dentro del editor, pulsaremos *New* → *floor* (*Nuevo* → *suelo*) y seleccionaremos todo el contorno de la habitación.
2. Del mismo modo, pulsaremos *New* → *ceiling* (*Nuevo* → *techo*) y de nuevo seleccionaremos todo el contorno de la habitación.

### 4.1.4. Creación de los objetos contenidos en la habitación

Para la simulación y estudio del comportamiento de la antena en el laboratorio, es importante que definamos todos los objetos contenidos en él de la forma más similar a la realidad posible. Esto es, tener en cuenta dimensiones, materiales de los que están compuestos y situación en el espacio. En nuestro caso, se han incluido columnas,

mesas, apliques metálicos, focos de iluminación y estanterías. Se ha considerado que las columnas son del mismo material que las paredes, las mesas y estanterías de madera y los focos metálicos.

Vamos a describir el proceso para incluir una mesa, ya que para ello se ha tenido que crear también el nuevo material del que estaba compuesta, la madera, no contemplada en el programa por defecto.

1. Iremos a la ventana principal del programa (Main) y seleccionamos *Project* → *New* → *Features* → *Object* (*Proyecto* → *Nuevo* → *Medida* → *Objeto*).
2. Se abrirá automáticamente la vista en planta (Floor plan) para que la situemos.
3. Se dibujará de igual modo que hicimos con las paredes y al finalizar, saldrá la ventana de propiedades que se muestra en la Figura 4.8.

Feature Properties

<- Parent Child ->

(Project: Untitled Project) (Object group)

Short description:  ...

Coordinate system:  ▾

Zone:

Ellipsoid:  ▾

Origin longitude:  dec   E  W  S

Origin latitude:  dec   N  S

Elevations relative to:  ▾

Show origin when active

Maximum values (x,y,z): (1.49971, 0.760006, 0.77) (m)

Minimum values (x,y,z): (0.00201726, 0.00167835, 0.72) (m)

Structure-groups:

Structures:

Sub-structures:

Faces:

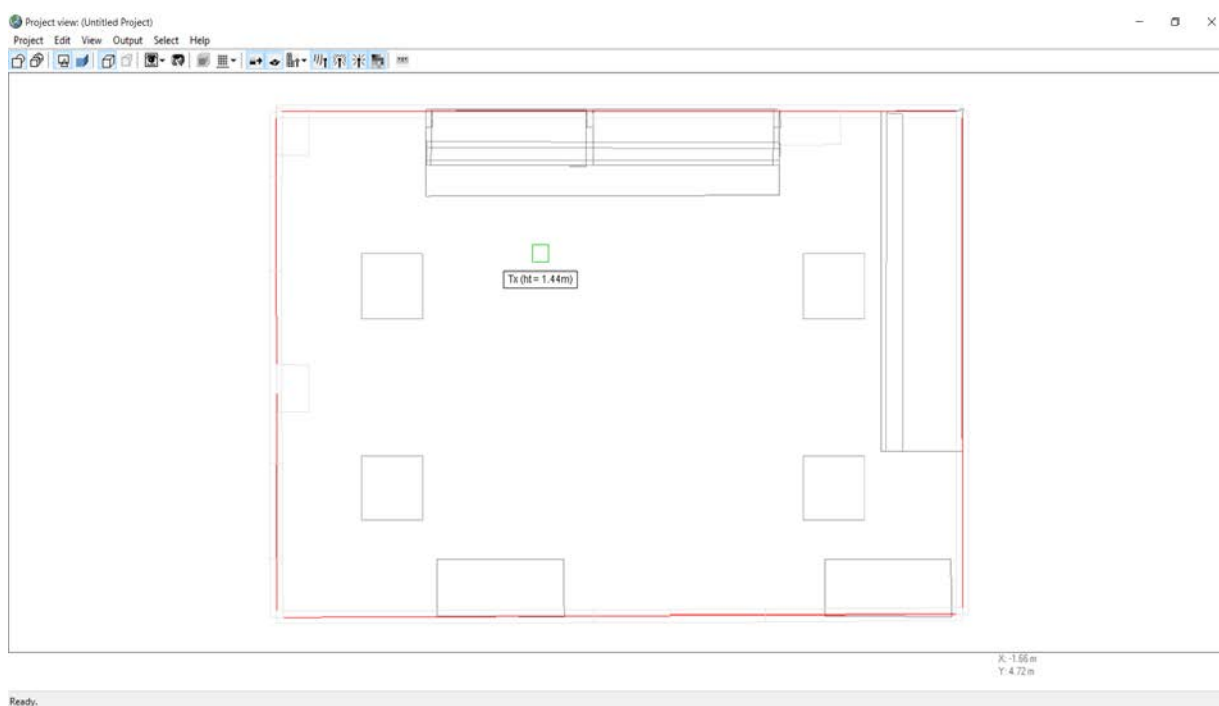
<- Previous Next ->

(Structure: Columna 2)

Figura 4.8. Ventana de propiedades de una mesa

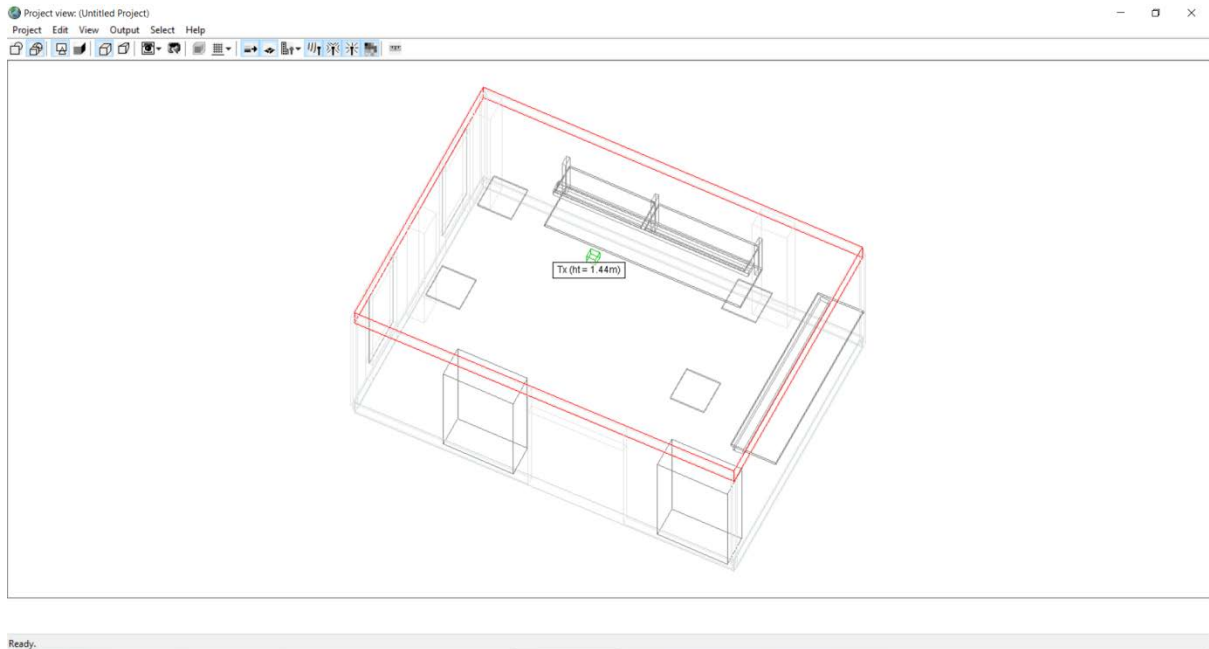
Es importante seleccionar el material de cada objeto en el editor de planta antes de dibujarlo ya que después no se podrá modificar y para cualquier cambio habrá que volver a crearlo de nuevo.

Finalmente, una vez tenemos todos los objetos definidos, podemos observar que el plano en planta de la habitación completa que nos ha servido como entorno de estudio se puede observar en la Figura 4.9. La representación en tres dimensiones se puede observar en la Figura 4.10.





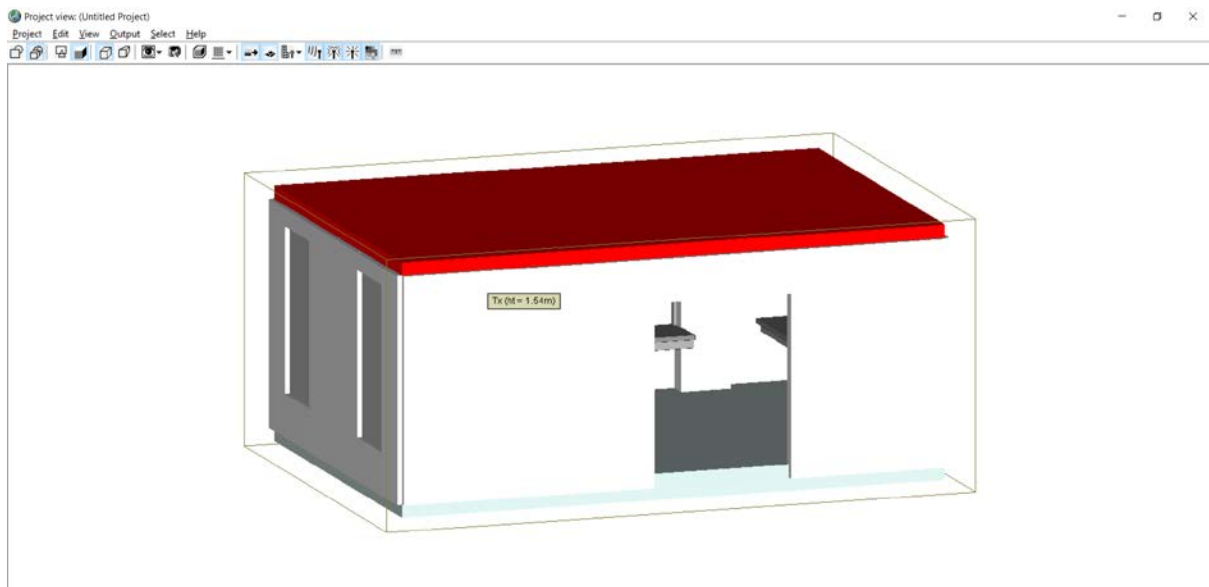
**Figura 4.9. Plano en planta de la habitación visto en Wireless Insite**





**Figura 4.10. Descripción del laboratorio I+D+I en tres dimensiones**

Si se quiere observar con el modo de cuerpos sólidos de la herramienta (  SOLID BODY) en el visor del proyecto (  PROJECT VIEW), dicho plano se verá como muestra la Figura 4.11.



**Figura 4.11. Representación en tres dimensiones con los materiales sólidos**

## 4.2. Definición de los materiales

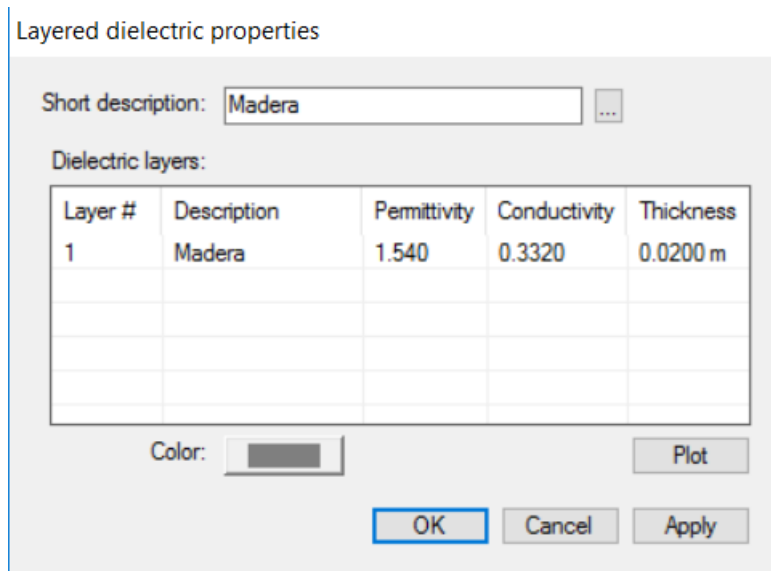
En radiopropagación es muy importante el material del que está compuesto un objeto para poder realizar el estudio de cómo afecta dicho objeto a la propagación de una onda. En Wireless Insite, las propiedades de un material se denominan colectivamente como “Tipos de materiales” (material types) e incluyen las propiedades electromagnéticas de éstos. Los coeficientes de reflexión y transmisión caracterizan directamente un material y, sin embargo, el coeficiente de difracción se determina indirectamente.

En algunos tipos de material el espesor afecta en gran medida. Wireless Insite proporciona herramientas que permiten al usuario asignar fácilmente un material a un objeto. También se pueden crear materiales nuevos y guardar en la base de datos de materiales para su uso en futuros proyectos. En la Tabla 2.1 se muestran las propiedades a la frecuencia de 60 GHz de los materiales que se van a emplear en la aplicación a esta banda.

En el caso de la madera, debido a que tenía propiedades distintas a las que aparecían en el programa se ha tenido que definir un nuevo material. Aprovecharemos la explicación de la creación de este nuevo material para conocer la forma en la que se cambiarán las propiedades del resto.

El material que vamos a crear será la madera, ya que no estaba definida por defecto en el programa.

1. Comenzaremos por situarnos en la ventana principal (MAIN WINDOW) y seleccionamos *Proyecto* → *Nuevo* → *Material* (*Project* → *New* → *Material*).
2. Aparecerá la ventana de las propiedades del material que se muestra en la Figura 4.12.
3. En la descripción corta llamaremos al material “Madera”.
4. En el campo *permittivity* se incluirá el valor de la permitividad eléctrica.
5. Campo *conductivity*, el de la conductividad.
6. Y, en el campo *thickness* el espesor del material que estamos definiendo.

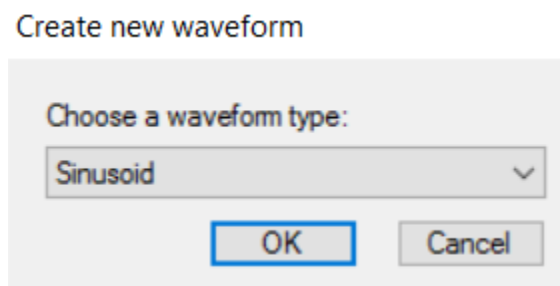


**Figura 4.12: Ventana de propiedades del material**

### 4.3. Definición de antenas y formas de onda

En primer lugar, hay que crear la banda en la que vamos a simular que es la de 60 GHz. Para ello, entraremos en el menú para formas de onda de tipo sinusoidal (Sinusoid waveform) y seguir los pasos que se indican a continuación:

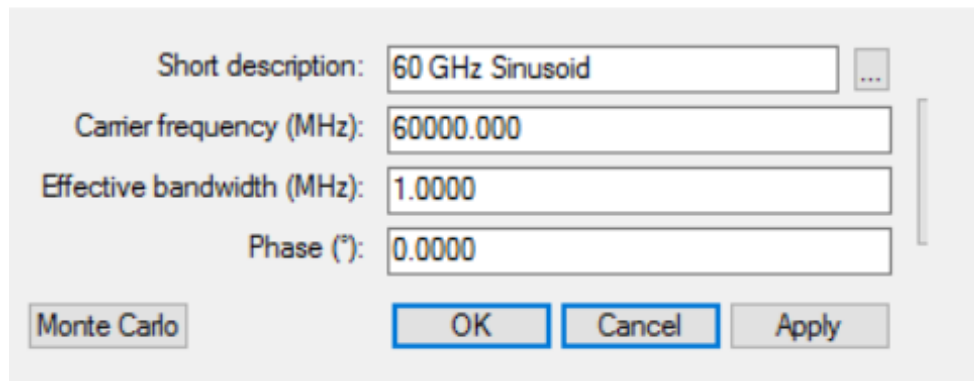
1. Seleccionaremos *Proyecto* → *Nuevo* → *Formas de onda* (*Project* → *New* → *Waveform*) y elegiremos *Sinusoidal* (*Sinusoid*). Aparecerá la ventana que se muestra en la Figura 4.13. y haremos clic en Ok una vez seleccionemos la sinusoidal.



**Figura 4.13: Selección de onda sinusoidal**

1. Una vez aceptemos, la ventana de Propiedades de onda Sinusoidal (SINUSOID PROPERTIES) que aparece es la mostrada en la Figura 4.14.

### Sinusoid properties



Short description: 60 GHz Sinusoid

Carrier frequency (MHz): 60000.000

Effective bandwidth (MHz): 1.0000

Phase (°): 0.0000

Monte Carlo OK Cancel Apply

**Figura 4.14: Ventana de Propiedades de onda sinusoidal**

1. En la caja del menú de *Descripción Corta (Short Description)*, introduciremos la descripción 60 GHz Sinusoid. Hay que tener en cuenta que esta descripción es únicamente el nombre y no afectará para nada.
2. En la caja del menú de *Frecuencia de la onda portadora (Carrier frequency)*, introduciremos "60.000". Se puede observar en la Figura 4.14 que nos pide el valor en MHz, por tanto, 60 GHz, corresponden a 60.000 MHz.
3. En la caja del menú *Ancho de banda efectivo (Effective bandwidth)*, también definido en MHz, introduciremos el valor "1".
4. Comprobamos que el valor de la *Fase (Phase)* está fijado en "0".
5. Hacemos clic en OK para cerrar el diálogo.

Una vez tengamos definida la banda de trabajo, daremos paso a la selección de la antena. Se ha utilizado, para comparar las simulaciones con las medidas tomadas en el laboratorio, una antena omnidireccional de ganancia 5 dBi similar a las empleadas en las medidas. Sólo es necesario cargar la antena ya que está definida en la herramienta. Para ello, deberemos seguir los siguientes pasos:

1. Seleccionamos *Proyecto → Nuevo → Antena (Project → New → Antenna)* y elegimos antena omnidireccional (*Omnidirectional*).

## Create new antenna

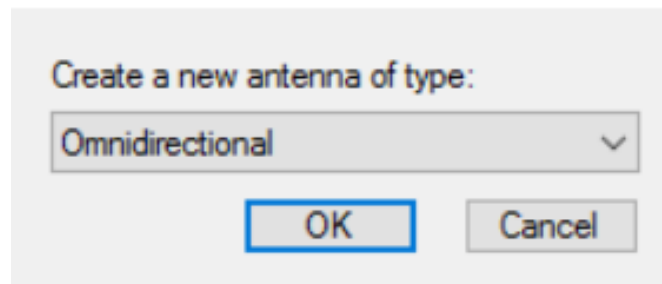


Figura 4.15: Selección del tipo de antena

Una vez hacemos clic en OK, la ventana de propiedades de la antena omnidireccional (OMNIDIRECTIONAL ANTENNA PROPERTIES) que aparecerá será la que podemos observar en la Figura 4.16.

### Omnidirectional antenna properties

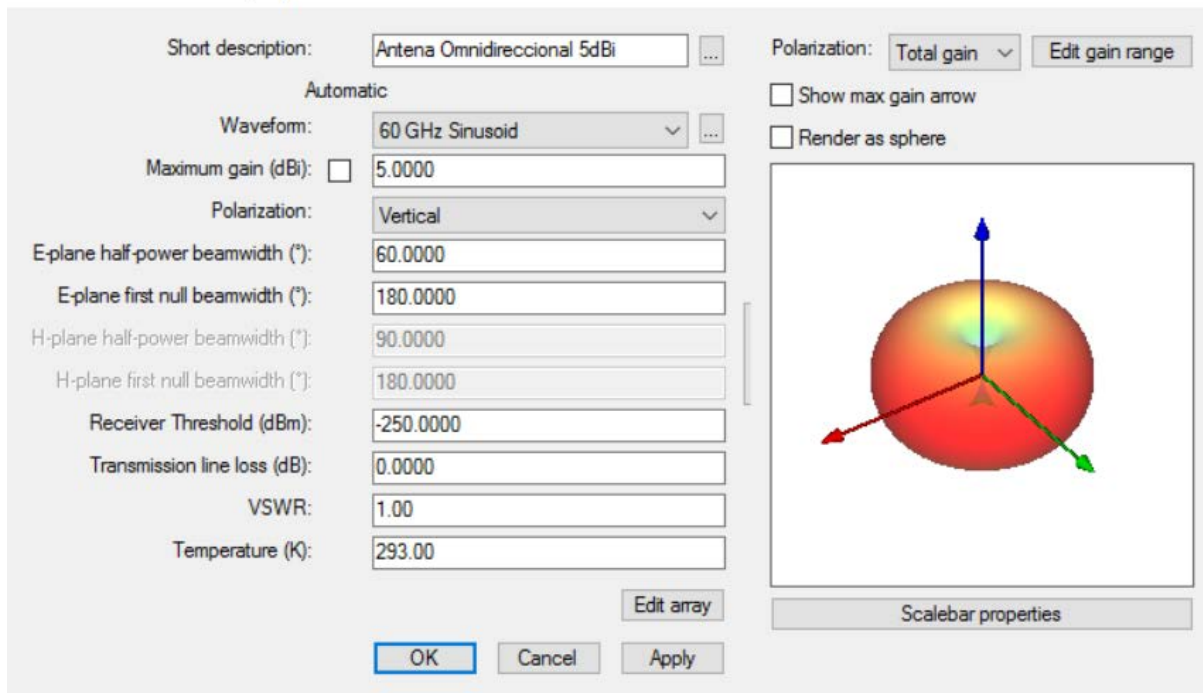


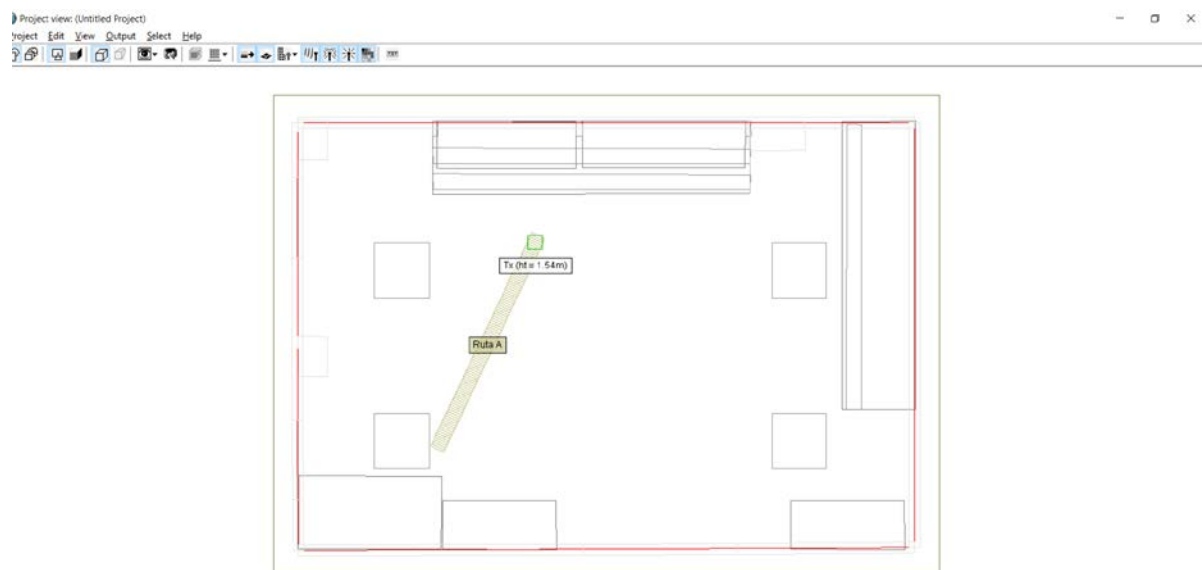
Figura 4.16: Ventana de propiedades de la antena omnidireccional de ganancia 5dBi

1. En el campo *Short Description* que nos indica, la llamaremos "Antena Omnidireccional 5dBi".
2. Elegir "60 GHz Sinusoid" como forma de onda, en el menú (*Waveform*).
3. Seleccionar la opción "Vertical" en el menú editable referente a *Polarización* (*Polarization*).

4. En el campo E-plane half-power beamwidth introduciremos el valor de  $60^\circ$  para que sea una antena como las utilizadas para realizar las medidas en el laboratorio.
5. Hacemos clic en OK para cerrar la ventana.

#### 4.4. Creación de los puntos de transmisión y recepción

Una vez introducidos el plano, la antena y las formas de onda, estamos en condiciones de situar el transmisor (TRANSMITTER) y el receptor (RECEIVER), tal y como se muestra en la Figura 4.17.



**Figura 4.17: Punto de transmisión (verde) y camino de recepción (rojo) colocados en el tutorial**

Para crear los puntos de transmisión (TRANSMITTER) seguiremos los siguientes pasos:

1. Pincharemos en *Proyecto* → *Nuevo* → *Conjunto Transmisor* → *Puntos (Project* → *New* → *Transmitter Set* → *Points*).

### Tx/Rx properties

Short description: Tx (ht = 1.54m) ...

Coordinate system: Cartesian

Zone:

Ellipsoid: WGS-84

Origin longitude:  dec   E  W  dms

Origin latitude:  dec   N  S  dms

Elevations relative to: Terrain

Show origin when active

Rotation (°): 0.00

Activate transmitter:  Transmitter Properties

Activate receiver:  Receiver Properties

Layout Properties

(Project ID = 1)

**Figura 4.18: Ventana principal de propiedades del transmisor**

2. Introduciremos el valor "Tx (ht = 1.54m)" en el campo *Short Description*.
3. Introduciremos "0" para los dos valores de *Longitud original (Origin longitude)* y *Latitud original (Origin latitude)*.
4. Para introducir la banda de 60 GHz y la antena omnidireccional de ganancia 5dBi como transmisor será la que se muestra en la Figura 4.19. Esta ventana aparecerá una vez pulsamos en Propiedades del Transmisor (TRANSMITTER PROPERTIES).

## Transmitter properties

Automatic

Antenna: Antena Omnidireccional 5dBi

Waveform: 60 GHz Sinusoid

Rotate antenna about X axis (°): 0.00

then rotate about Y axis (°): 0.00

finally, rotate about Z axis (°): 0.00

Input power (dBm): 0.0000

Monte Carlo

Antenna viewing options

OK Cancel

**Figura 4.19: Ventana de propiedades del transmisor**

5. Una vez volvamos a la ventana principal de propiedades del transmisor, pincharemos en Layout Properties y aparecerá la Figura 4.20.

## Tx/Rx layout properties

Automatic

Generate p2p output: No

Spacing (m): 0.025000

Rendered size (m):  0.150

Average velocity (m/s): 0.000

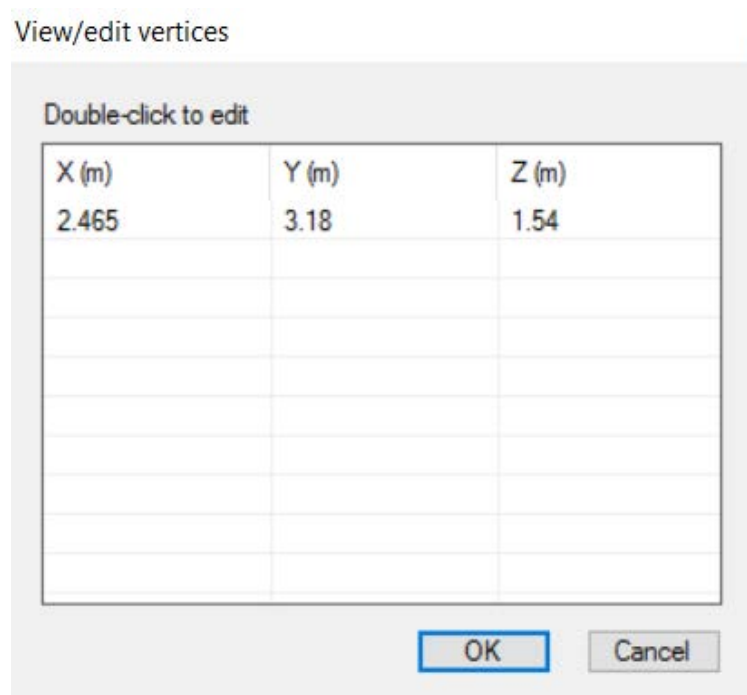
Edit control points

OK Cancel


**Figura 4.20: Ventana de propiedades del layout del transmisor**



6. Hacemos clic en el menú de edición del control de puntos (EDIT CONTROL POINTS), doble clic sobre el punto y fijamos las coordenadas del punto.



**Figura 4.21: Menú editable definición de las coordenadas del transmisor**

7. Hacemos clic en OK para finalizar la situación del transmisor (  TRANSMITTER).

Ahora crearemos el receptor.

8. Hacemos clic en *Proyecto* → *Nuevo* → *Conjunto de receptores* → *Trayectoria* (*Project* → *New* → *Receiver Set* → *Route*) y aparecerá la ventana que se muestra en la Figura 4.22.

### Tx/Rx properties

Short description: Ruta A

Coordinate system: Cartesian

Zone:

Ellipsoid: WGS-84

Origin longitude:  dec  dms 0  E  W

Origin latitude:  dec  dms 0  N  S

Elevations relative to: Sealevel

Show origin when active

Rotation (°): 0.00

Activate transmitter:  Transmitter Properties

Activate receiver:  Receiver Properties

Layout Properties

(Project ID = 2) OK Cancel Apply

**Figura 4.22: Ventana principal de propiedades del receptor**

9. Seleccionamos "Ruta A" que hemos creado anteriormente.
10. Introducimos "0" para los dos valores de Longitud y Latitud de origen (Origin longitude, Origin latitude).
11. Dejamos el valor ELEVATION RELATIVE que sale por defecto (TERRAIN).
12. Pinchando en Propiedades del Receptor (RECEIVER PROPERTIES) aparecerá una ventana como la mostrada en la Figura 4.23.

## Receiver properties

Automatic

Antenna: Antena Omnidireccional 5dBi

Waveform: 60 GHz Sinusoid

Rotate antenna about X axis (°): 0.00

then rotate about Y axis (°): 0.00

finally, rotate about Z axis (°): 0.00

Use bounding box: No

Bounding box length (m):  Auto

Collection surface radius (m):  Auto

Noise figure (dB): 3.000

Antenna viewing options

OK Cancel

**Figura 4.23: Ventana de propiedades del receptor**

Una vez llegados a este punto, tendremos que cambiar o revisar que se cumplan los parámetros que aparecen en la imagen.

1. En la ventana principal de Propiedades del Receptor, pincharemos en LAYOUT PROPERTIES.
2. Introduciremos "0.025" m para el espaciado (*Spacing*). Quitamos el tick de auto en RENDERED SIZE y cambiamos su valor 0.150.

Se ha utilizado el valor de 0.025m para el espaciado ya que es suficiente para observar la evolución de la potencia en 60 GHz ya que sólo estamos interesados en la potencia recibida en una serie de puntos separados. Si se hubiera querido hacer un estudio del desvanecimiento en pequeña escala en 60 GHz, como la longitud de onda tiene un valor de 5mm, haría falta un espaciado de  $\lambda/2$ .

Para editar los valores de los puntos del receptor, por si es necesario:

1. Hacemos clic en el menú de Edición de puntos de control (EDIT CONTROL POINTS) y establecemos los valores de las coordenadas: X, Y, Z.
2. Finalmente, hacemos clic en OK para finalizar la creación de la primera ruta (Route).

## 4.5. Definición del área de estudio

Ahora crearemos el área que será objeto de estudio (STUDY AREA) que encierra toda la habitación del laboratorio I+D+I de la Universidad Politécnica de Cartagena.

1. *Seleccionaremos Proyecto → Nuevo → Área de estudio.*
2. Seleccionamos *Ajustar las características (Fit to features)* y hacer clic en comenzar (BEGIN). Aparecerá la ventana de propiedades del área de estudio (STUDY AREA PROPERTIES Window), como la mostrada en la Figura 4.24.

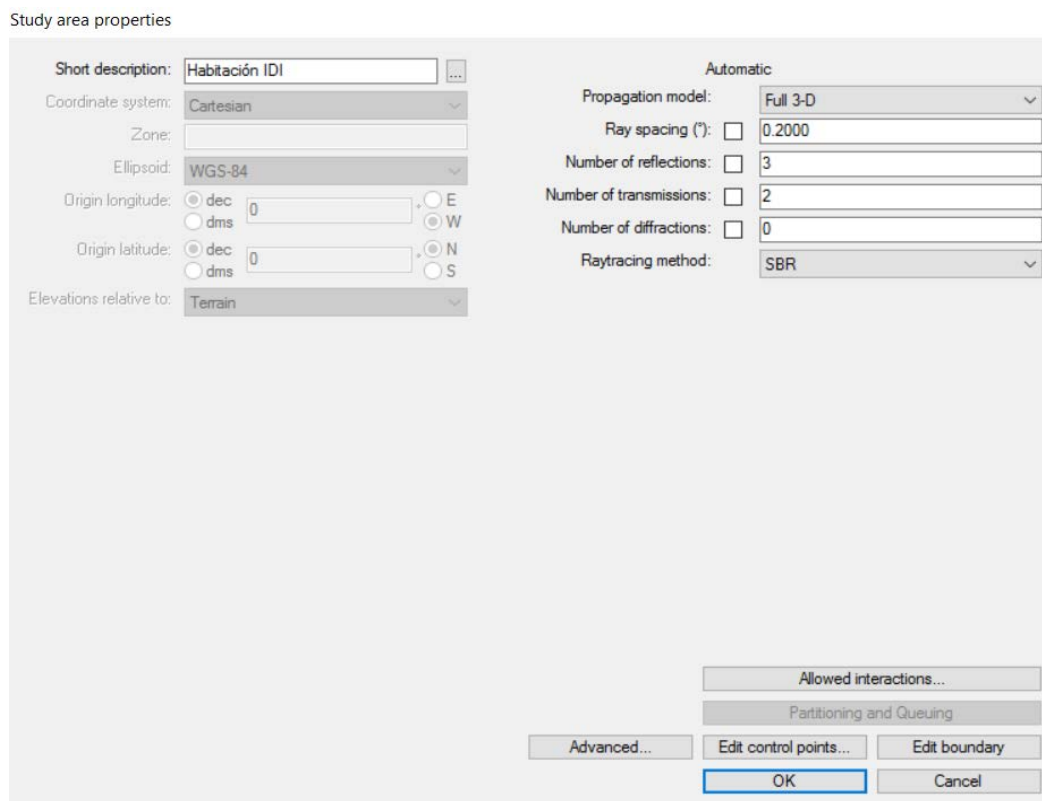


Figura 4.24: Ventana de propiedades del área de estudio

3. Introducimos “*Habitación IDI*” como descripción.
4. Seleccionamos el modo “Full 3-D” como *Modelo de Propagación* para todos los casos que vamos a estudiar.

Llegados a este punto, se van a hacer distintas simulaciones, probando algunos modos diferentes que nos ofrece Wireless Insite. Separamos cada uno de ellos para analizar similitudes y diferencias.

### 4.5.1. Modo automático

Para simular en modo automático, es decir, el que da los valores que considera por defecto, simplemente tenemos que dejar marcadas todas las casillas del menú *Automatic*. Quedaría la pantalla como la que se muestra en la Figura 4.26.

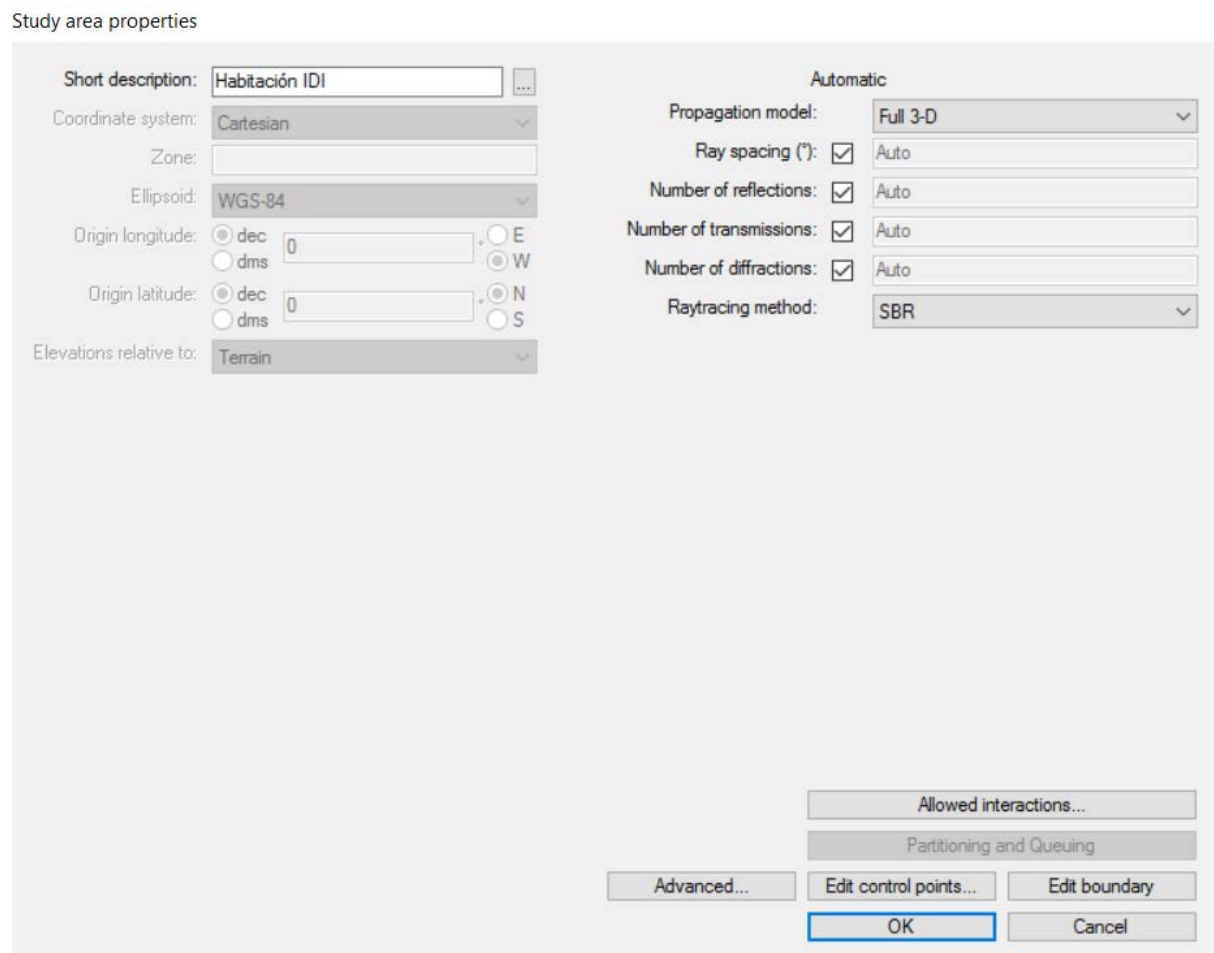
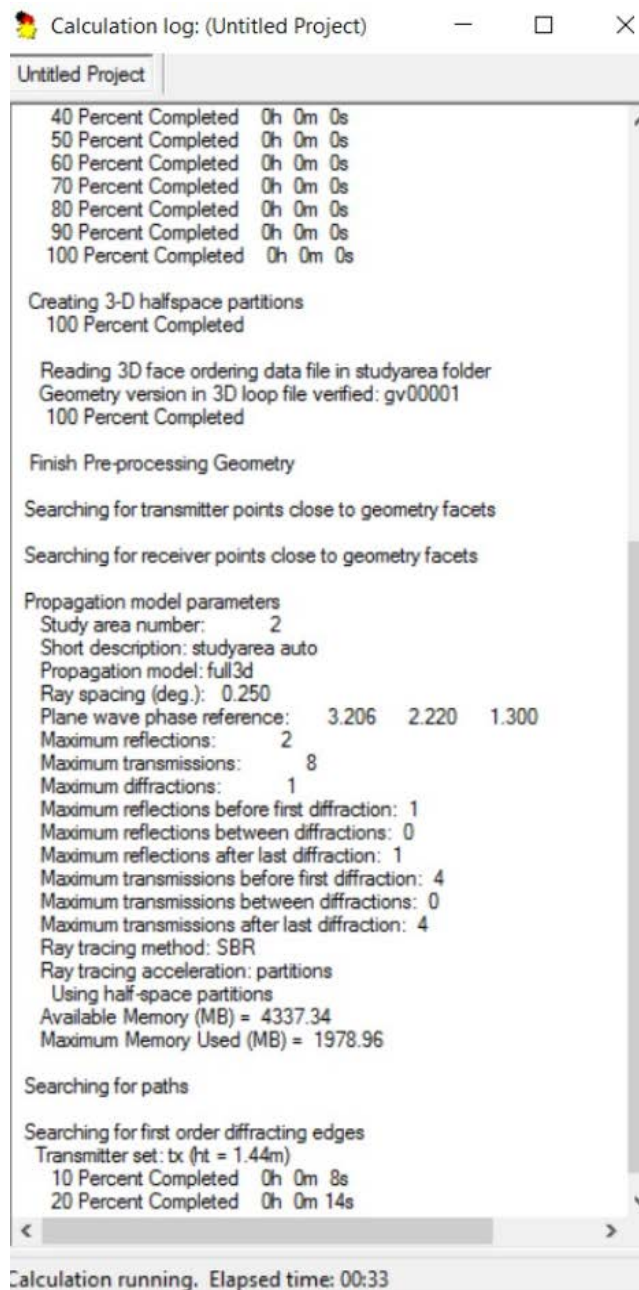


Figura 4.26: Ventana del menú avanzado de las propiedades del área de estudio

Lo que realmente nos importa es saber qué valores por defecto supone Wireless Insite al simular con el modo automático. Dichos valores se obtienen en la ventana de *Calculation Log*, la cual podemos observar en la Figura 4.27.



**Figura 4.27: Cuadro de diálogo del estado y tiempos de simulación**

Se puede observar que los principales parámetros toman los siguientes valores:

- Espaciado entre rayos: 0.25
- Número de reflexiones: 2
- Número de transmisiones: 8
- Número de difracciones: 1

También tenemos los siguientes rayos tal como se observa en la Figura 4.27:

- Una reflexión y luego una difracción
- Una difracción tras una reflexión
- Difracción y 4 transmisiones como máximo
- 4 transmisiones como máximo y luego una difracción.

#### **4.5.2. Modo manual sin considerar efectos de difracción**

Para simular en modo manual, se han quitado las selecciones de las casillas automáticas de la siguiente forma:

1. Quitamos la selección automática de la caja *Espaciado de rayos (Ray Spacing)* e introducimos el valor "0.2".
2. Quitamos la selección automática del campo correspondiente al Número de reflexiones y establecer su valor en "3".
3. Quitamos la selección automática del campo referente al Número de transmisiones (Number of transmissions) y fijar su valor en "2".
4. Quitamos la selección automática del campo donde indica el *Número de difracciones (Number of diffractions)* e introducir "0".

Se puede observar que quedaría tal y como se observa en la Figura 4.24.

5. Hacemos clic en el botón de *Avanzado (Advanced)* y aparecerá la ventana mostrada en la Figura 4.28:
  - a. Eliminaremos la selección *automática (Automatic)* de la caja *Umbral de pérdidas debidas a la trayectoria (Path loss threshold)* e introducir "-60" dB.
  - b. Eliminaremos la selección *automática (Automatic)* de la caja referente a los campos eléctricos para fijar la opción "*Todo (All)*" y hacer clic en OK.

### Advanced model parameters

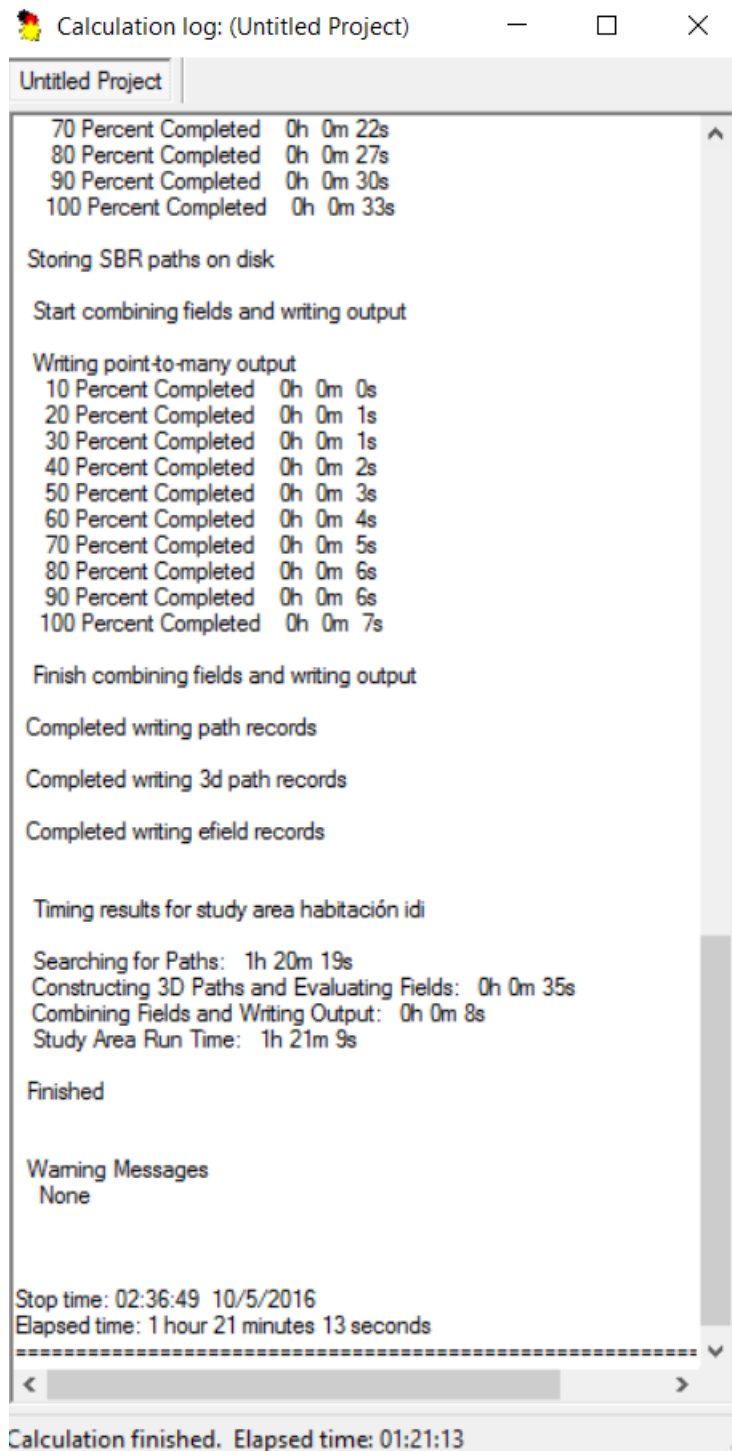
Automatic	
Ray spacing (m):	<input checked="" type="checkbox"/> Auto
Reflections before first diffraction:	<input checked="" type="checkbox"/> Auto
Reflections after last diffraction:	<input checked="" type="checkbox"/> Auto
Reflections between diffractions:	<input checked="" type="checkbox"/> Auto
Transmissions before first diffraction:	<input checked="" type="checkbox"/> Auto
Transmissions after last diffraction:	<input checked="" type="checkbox"/> Auto
Transmissions between diffractions:	<input checked="" type="checkbox"/> Auto
Path loss threshold (dB):	<input type="checkbox"/> -60.00
Sum complex electric fields:	<input type="checkbox"/> All
Ray tracing acceleration:	<input checked="" type="checkbox"/> Octree

OK Cancel

**Figura 4.28: Ventana del menú avanzado de las propiedades del área objeto de estudio**

Finalmente, hacemos clic en OK para finalizar la creación del área que será objeto de estudio (STUDY AREA).





**Figura 4.28b: Ventana cálculo de simulación en modo manual sin considerar difracciones**

### 4.5.3. Modo manual considerando una difracción

Para simular en modo manual considerando una difracción, seguiremos exactamente los mismos pasos que para el caso sin difracciones explicado en el punto 4.5.2. La


única diferencia será el punto 4, en el que en este caso tendremos que introducir el valor “1” en el campo Número de difracciones.

Por tanto, los valores de los parámetros en este caso quedarían de la siguiente forma:

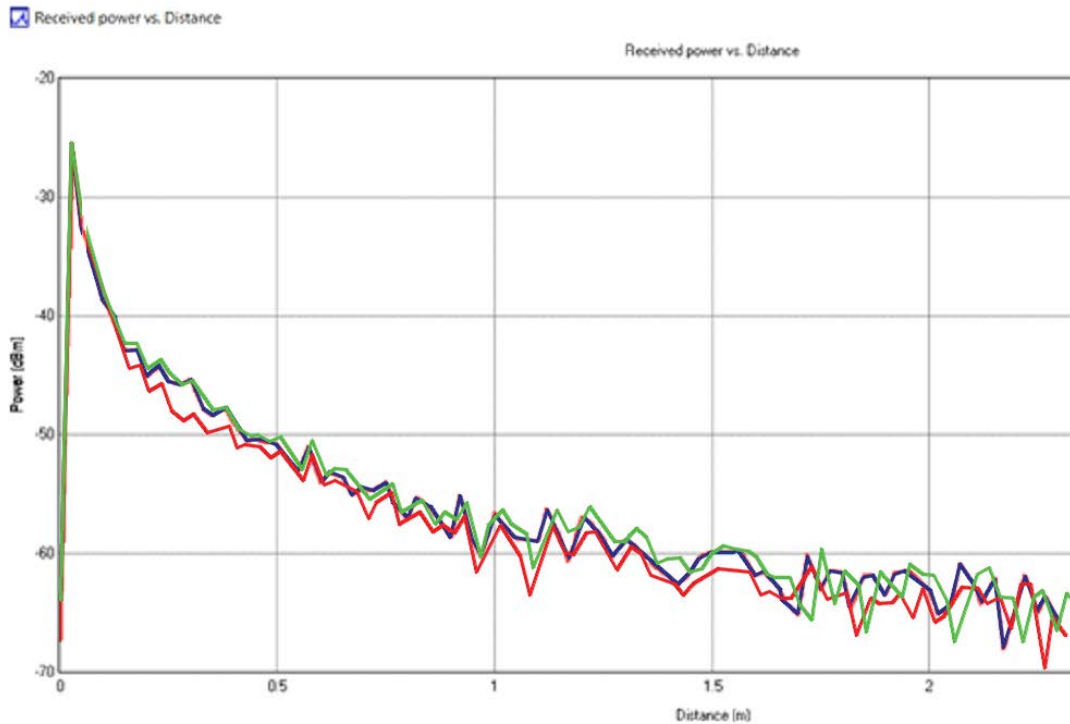
- Espaciado entre rayos: 0.2
- Número de reflexiones: 3
- Número de transmisiones: 2
- Número de difracciones: 1

## 4.6. Comparación de simulaciones

Podemos ver los resultados obtenidos siguiendo los pasos que se detallan a continuación:

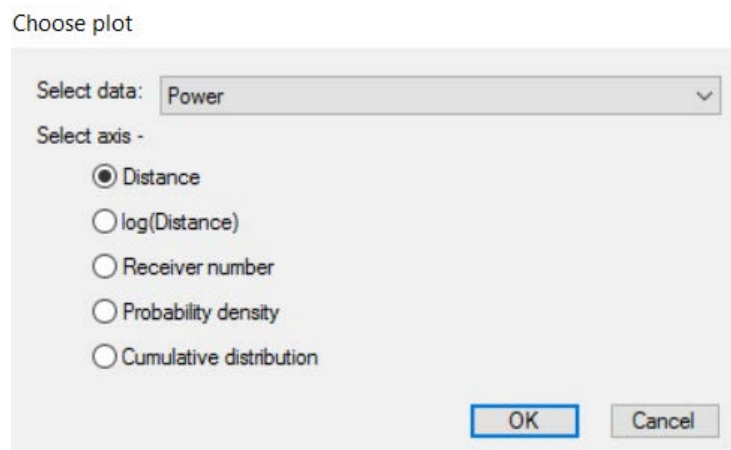
1. Debajo del botón de *Salida* (  OUTPUT), profundizamos sobre el Área: *HabitacionIdi* → *Punto a multipunto* → *Potencia Recibida (IndoorArea1* → *Point to multipoint* → *Received power*).
2. Haremos clic sobre la *RutaA* y seleccionar *Dibujar (Plot)*.
3. Seleccionamos la distancia sobre eje-x (x-axis) y presionamos OK. Aparecerá el receptor de potencia.
4. Para importar los datos obtenidos, haremos clic en el dibujo y seleccionar *Importar (Import)* → *Dibujo (Plot)*.

El dibujo se abrirá automáticamente y será el que aparece en la Figura 4.29.





**Figura 4.29: Comparativa de la potencia recibida en cada uno de los 3 modos de simulación. Modo automático (rojo), modo manual sin considerar difracciones (azul) y modo manual considerando 1 difracción (verde)**


Siguiendo el mismo procedimiento, se pueden obtener la potencia en otras escalas. Todas las opciones se pueden ver en el menú que aparece en la Figura 4.30.

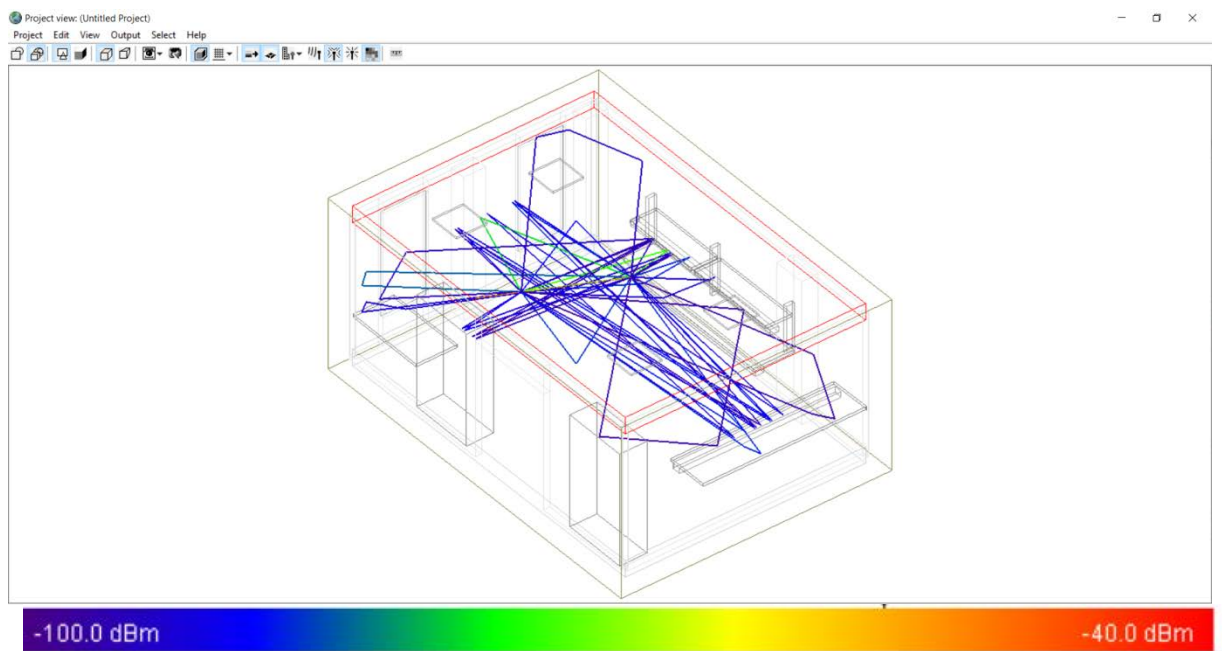


**Figura 4.30: Menú de las diferentes formas de dibujar la potencia**

## 4.7. Visualización del lanzamiento de rayos

Los diferentes caminos que siguen los rayos entre el par transmisor/receptor se muestran en la Figura 4.31. Dichos caminos entre el transmisor, en verde, (  TRANSMITTER) y el receptor, en rojo, (  RECEIVER) se pueden observar siguiendo los pasos que se detallan a continuación:

1. Presionaremos el botón de salida (  OUTPUT) y seguiremos seleccionando en Area: HabitaciónIdi → Punto a multipunto → Propagación de rayos (HabitacionIdi → Point to multipoint → Propagation Paths → Tx (ht =1.54 m). A continuación, haremos clic en Ruta A y seleccionaremos la opción Cargar (Load).
2. Si ampliamos la Ruta A, y nos desplazamos hacia abajo, podemos activar todas las trayectorias y una de las simulaciones que se ha llevado a cabo. Hacemos clic en una de las entradas y seleccionamos ver todas las trayectorias (View all paths). La visualización de lo que acabamos de hacer debería ser la mostrada en la Figura 4.31.



**Figura 4.31: Propagación de las diferentes trayectorias de los rayos en el ejemplo en la banda de 60 GHz**

## 4. 8. Ejecución de los cálculos en un área de estudio

Para realizar un nuevo cálculo, hay que tener el receptor activo (📶) y después usar el siguiente procedimiento para obtener los resultados en ambas zonas:

1. Seleccionaremos la salida (➡️ OUTPUT) en la ventana principal (🌐 MAIN WINDOW) y extenderemos el menú del área de estudio definida anteriormente.
2. Para ver la potencia recibida, habrá que seguir los siguientes pasos: *Punto a multipunto* → *Potencia recibida* → *Tx (ht = 1.54 m)*, (*Point to multipoint* → *Received power* → *Tx (ht = 1.54 m)*) y seleccionaremos *Ver (View)* en el menú referido a la Cuadrícula A (Grid A). El resultado se puede observar en la Figura 4.32.

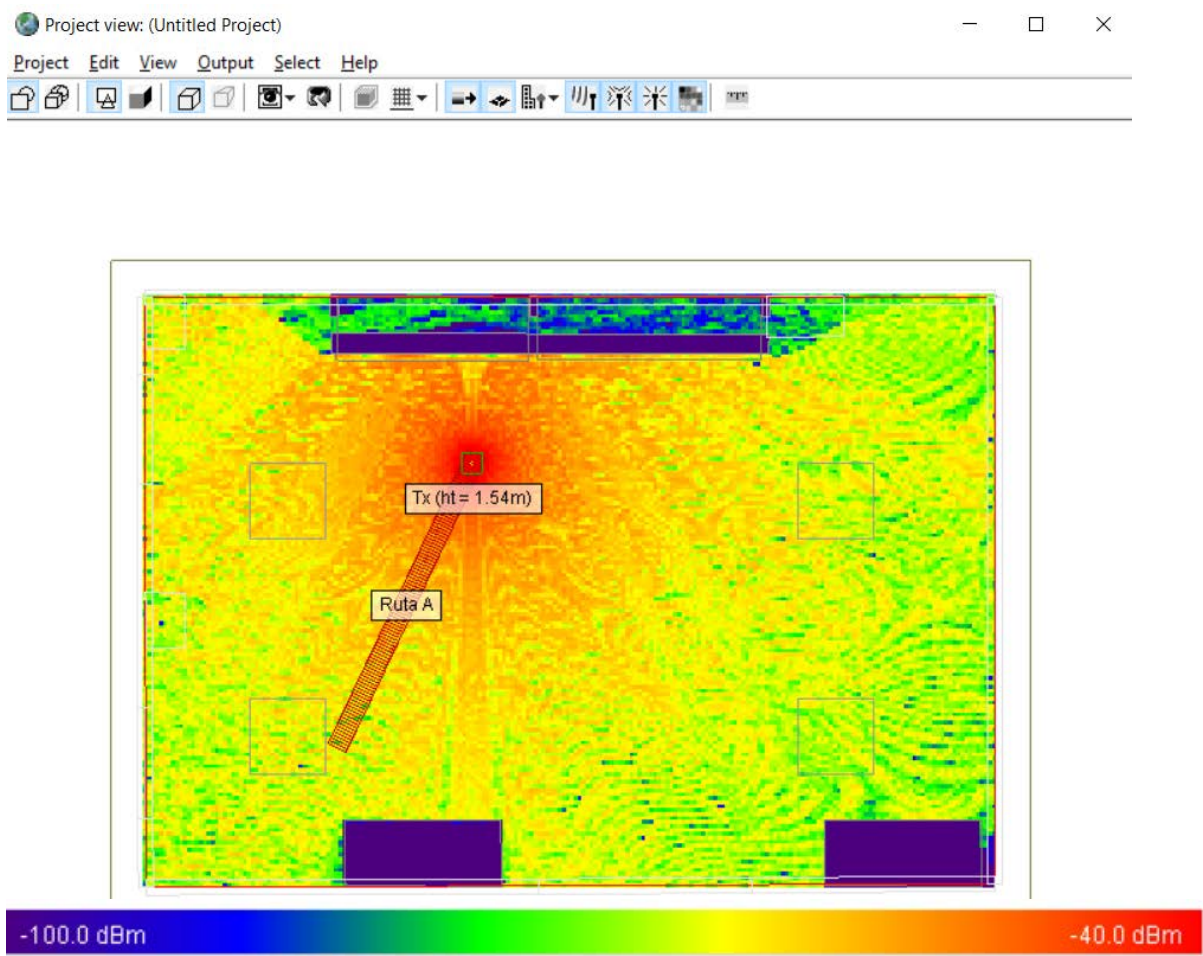
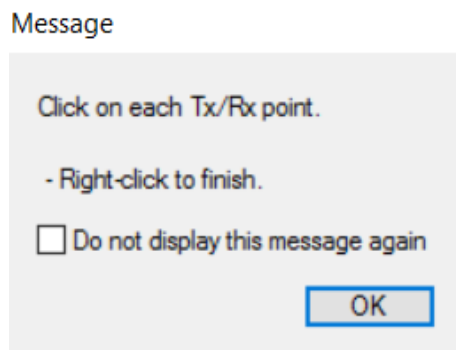


Figura 4.32: Mapa de cobertura de potencia en la habitación del I+D+I

## 4.9. Cálculo de la potencia recibida en un punto

Calcular la potencia en un punto se hace prácticamente de la misma forma que en la habitación completa. Seguiremos los siguientes pasos:

1. En la ventana principal, seleccionaremos Proyecto → Nuevo → Situar Receptor → Puntos (*Project* → *New* → *Receiver Set* → *Points*). Aparecerá la ventana que se muestra en la Figura 4.33 que nos indica que pinchemos en un punto del plano en planta (Floor Plan) para situar el punto. Pincharemos en el botón derecho para establecerlo en cualquier lugar de la habitación.



**Figura 4.33. Cuadro de diálogo para la situación de un punto receptor**

2. Una vez pulsemos el botón derecho al situar el punto sobre el plano del editor, aparecerá automáticamente la ventana de propiedades del punto P1, similar a la que apareció cuando situamos el receptor.
3. Tras esto, pulsamos en el botón Layered Properties para fijar la situación exacta del punto P1 y que coincida con el punto 1 de las medidas empíricas tomadas en el laboratorio.

#### Tx/Rx layout properties

Automatic

Generate p2p output: Yes

Rendered size (m):  0.150

Draw mast: No

Edit control points

OK Cancel

**Figura 4.34. Menú Layered Properties**

4. En el sistema de coordenadas que hemos utilizado para Wireless Insite, dicho punto será  $X = 3.67$ ,  $Y = 1.26$ ,  $Z = 1.24$ . Se puede observar la ventana de EDIT CONTROL POINTS en la Figura 4.34.

#### View/edit vertices

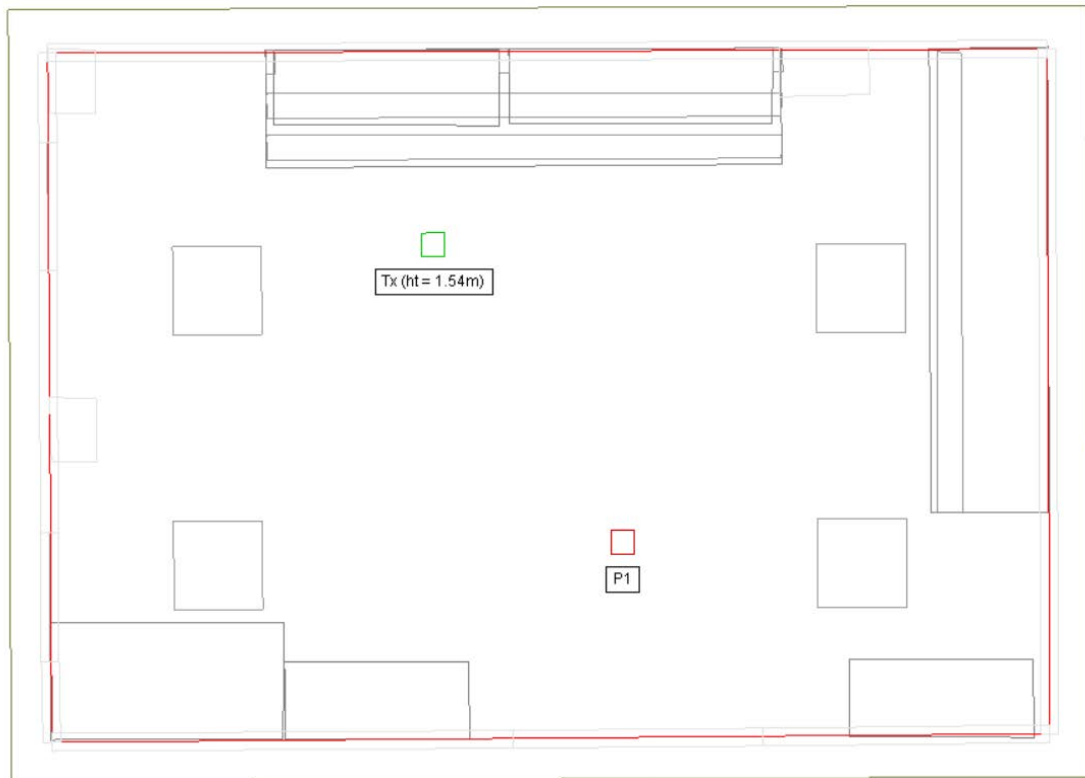
Double-click to edit

X (m)	Y (m)	Z (m)
3.67	1.26	1.44

OK Cancel

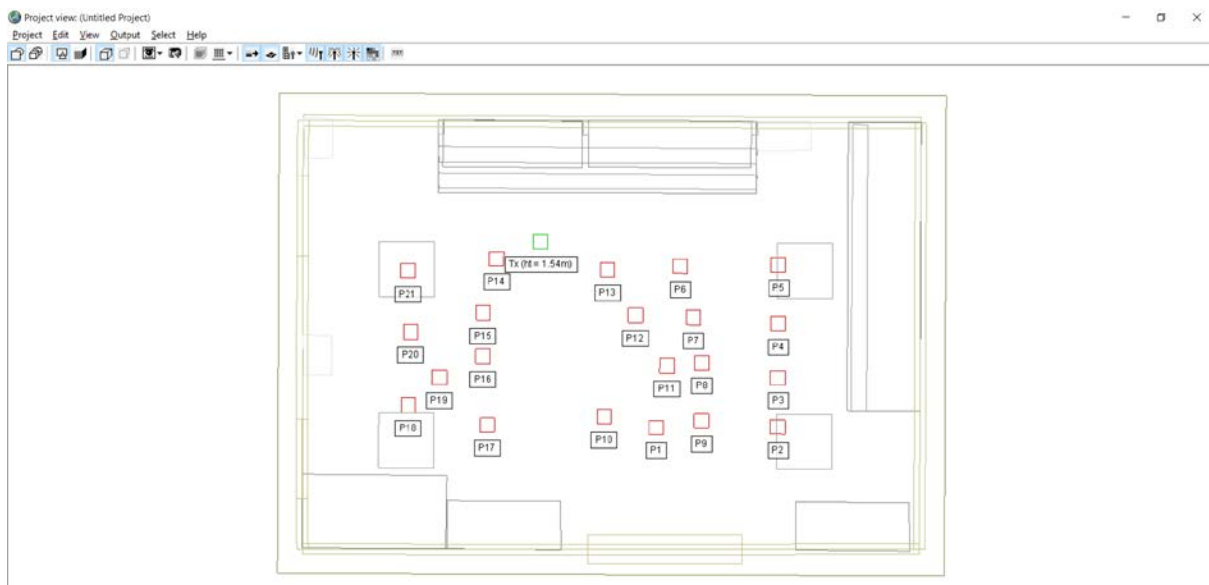
**Figura 4.35. Menú para la edición de puntos**

Si nos vamos ahora al Floor Plan sale el punto situado en el lugar que muestra la Figura 4.36.



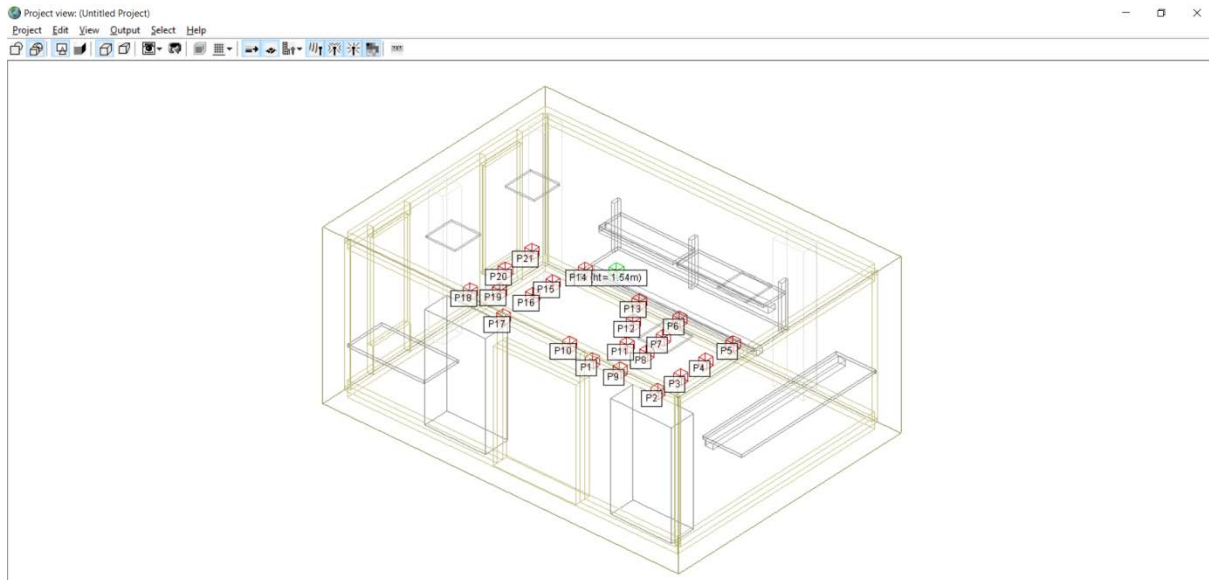
**Figura 4.36. Situación del punto P1 sobre el plano de la habitación**

Del mismo modo, se hará con los 20 puntos restantes en los que se midió la potencia recibida. Para hacernos una idea de la localización de cada uno de ellos, adjuntamos la Figura 4.37 para verlos en dos dimensiones y la Figura 4.38 para verlos en 3D.



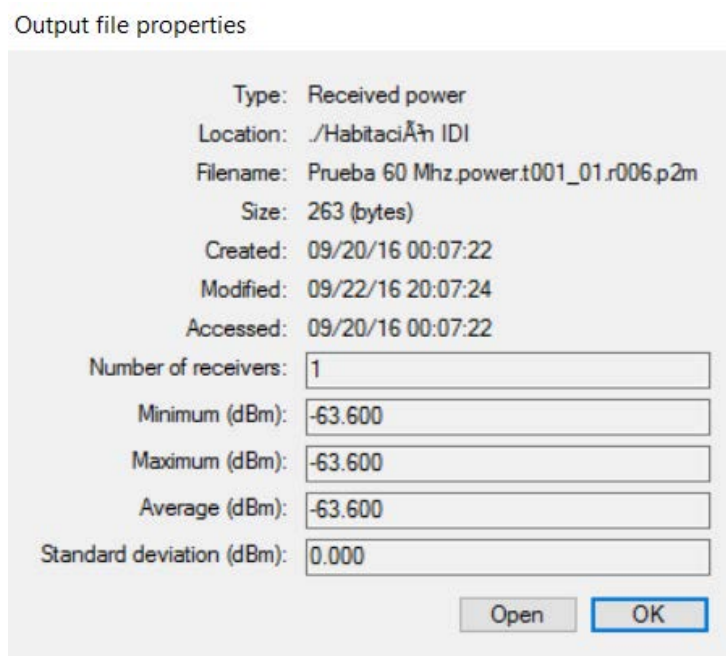
**Figura 4.37. Situación de los puntos en 2D a comparar con las medidas en el laboratorio**





**Figura 4.37. Situación de los puntos en 3D a comparar con las medidas en el laboratorio**

5. Volviendo a la ventana principal de Wireless Insite y seleccionando la pestaña de Study Area, pinchamos en Habitación IDI, saldrá la ventana de propiedades del área de estudio y seleccionaremos uno de los modos que se han explicado en el punto 4.8 de este mismo capítulo.
6. Una vez introducido el modo de simulación, nos vamos a la pestaña Study Areas de nuevo y pinchamos sobre *Habitación IDI* → *Botón derecho* → *Run* para obtener los resultados buscados de potencia.
7. Cuando el cálculo finalice, podemos ir a la pestaña OUTPUTS y expandir los menús: *Habitación IDI* → *Points to multipoint* → *Received Power* → *Tx (1.54m)* → *P1* → *botón derecho*. Una vez hemos seguido todos estos pasos, la potencia recibida en ese punto se puede observar en la Figura 4.38.



**Figura 4.38. Obtención de la potencia recibida en el punto P1**

#### **4.10. Análisis de resultados y comparación con medidas**

En este apartado se van a analizar los resultados que se han obtenido en las distintas simulaciones.

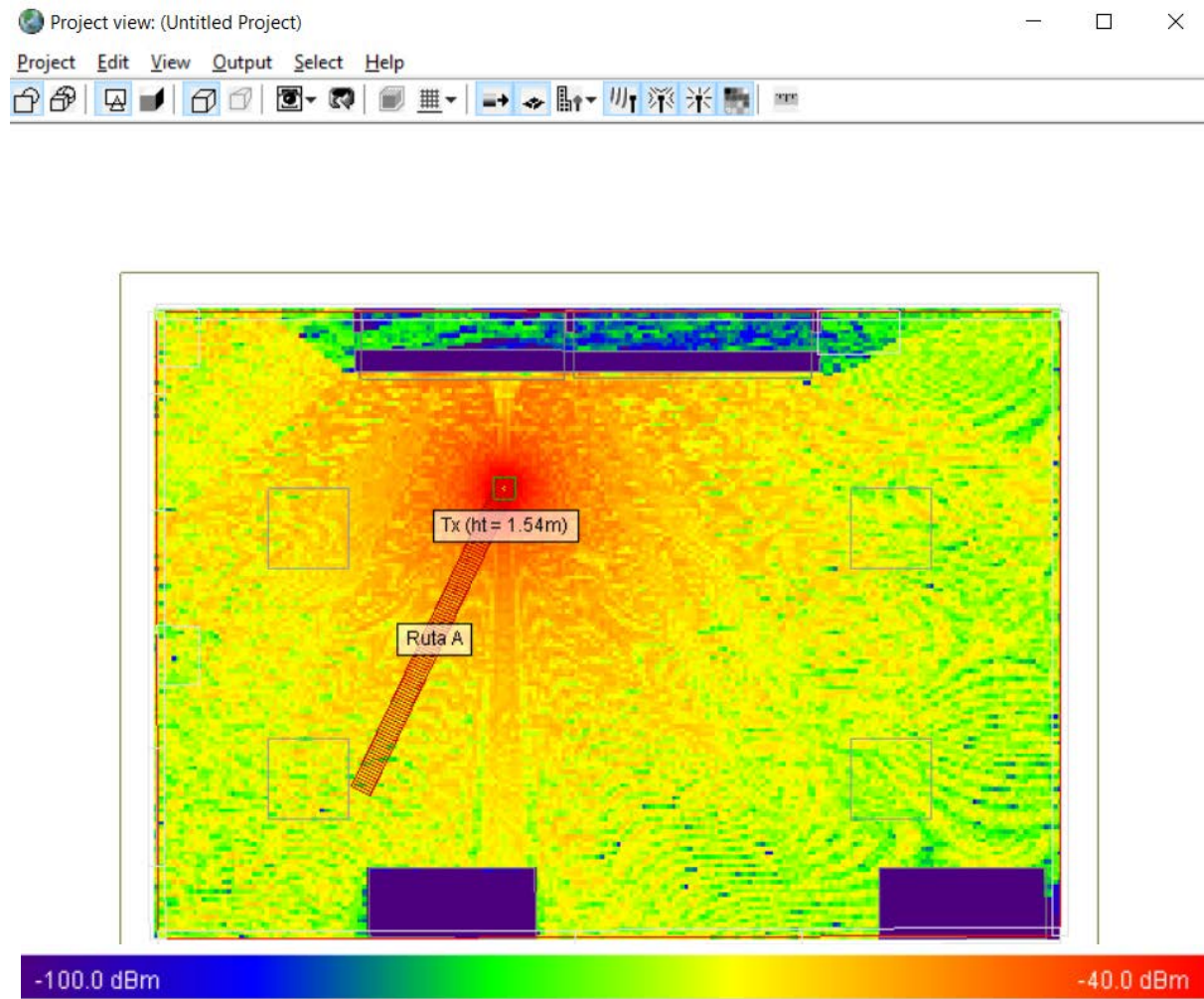
En primer lugar, se obtuvo la cobertura de potencia de una habitación en la que se situaba una antena transmisora omnidireccional de ganancia 5 dBi. De las simulaciones se obtuvieron las gráficas de potencia recibida con respecto a la distancia, los mapas de cobertura de potencia y las trayectorias de los rayos.

Haremos un recopilatorio de los valores que tienen en cuenta los tres modos utilizados. Se pueden ver dichos valores en la Tabla 4.2.

	Espaciado entre rayos	Nº reflexiones	Nº transmisiones	Nº difracciones
Automático	0.25	2	8	1
Manual Dif = 0	0.2	3	2	0
Manual Dif = 1	0.2	3	2	1

**Tabla 4.2. Resumen de los modos de simulación**

La figura 4.39 muestra la cobertura de potencia en la habitación para el modo manual considerando una difracción.

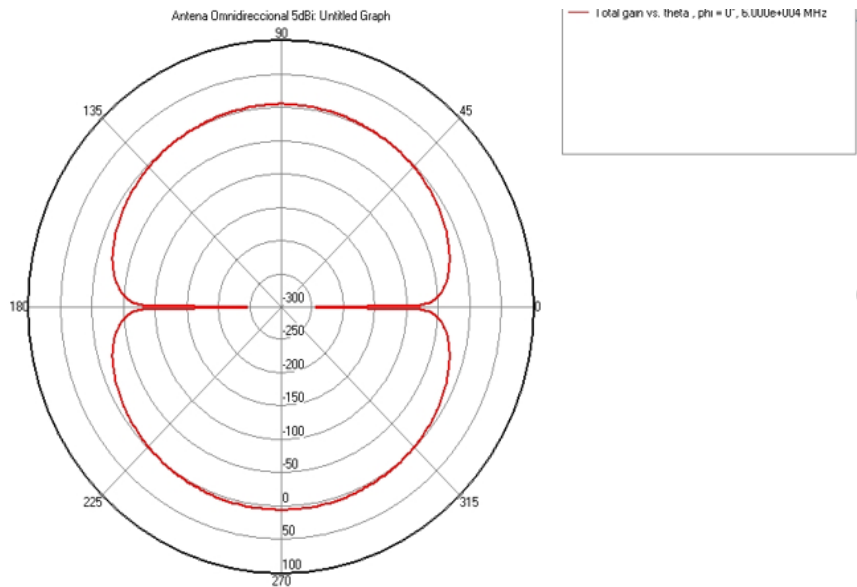


**Figura 4.39. Cobertura de potencia con el modo manual considerando una difracción**

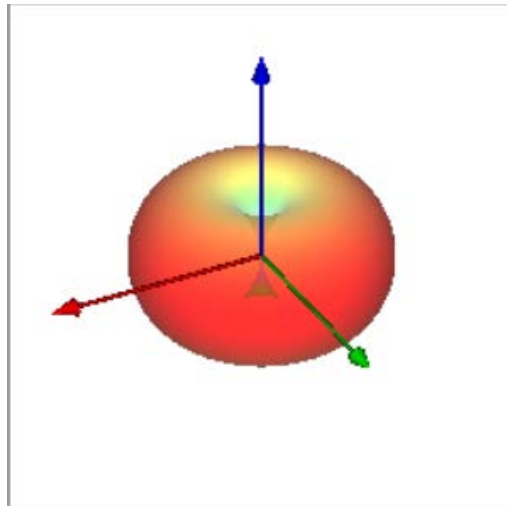
Se puede observar que las zonas naranjas suponen potencias entre los -40 dBm y los -55 dBm y amarillas corresponden a potencias entre los -71 dBm y los -58 dBm. También encontramos unas pequeñas zonas azules, en torno a los -100 dBm. Estas zonas donde el desvanecimiento es mayor se encuentran alrededor de las estanterías y las mesas del laboratorio. Esta diferencia se debe a que son puntos situados dentro de las puertas de los armarios por lo que las réplicas (ondas) que alcanzan esos puntos sufren una atenuación considerable. Asimismo, en la Figura 4.39 se observa que en los puntos situados dentro de los armarios sufren una atenuación todavía mayor debido a que las réplicas atraviesan las puertas y paredes de los armarios para alcanzar los mencionados puntos.

Hay que tener en cuenta que aparecen estos resultados ya que la antena utilizada ha sido una antena omnidireccional de ganancia 5 dBi y con ancho de haz de 60°. La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una

dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena. Dicho esto, podemos observar el diagrama de radiación en dos dimensiones de la antena utilizada en la Figura 4.40 y en tres dimensiones en la Figura 4.41.



**Figura 4.40. Diagrama de radiación de la antena en 2D**



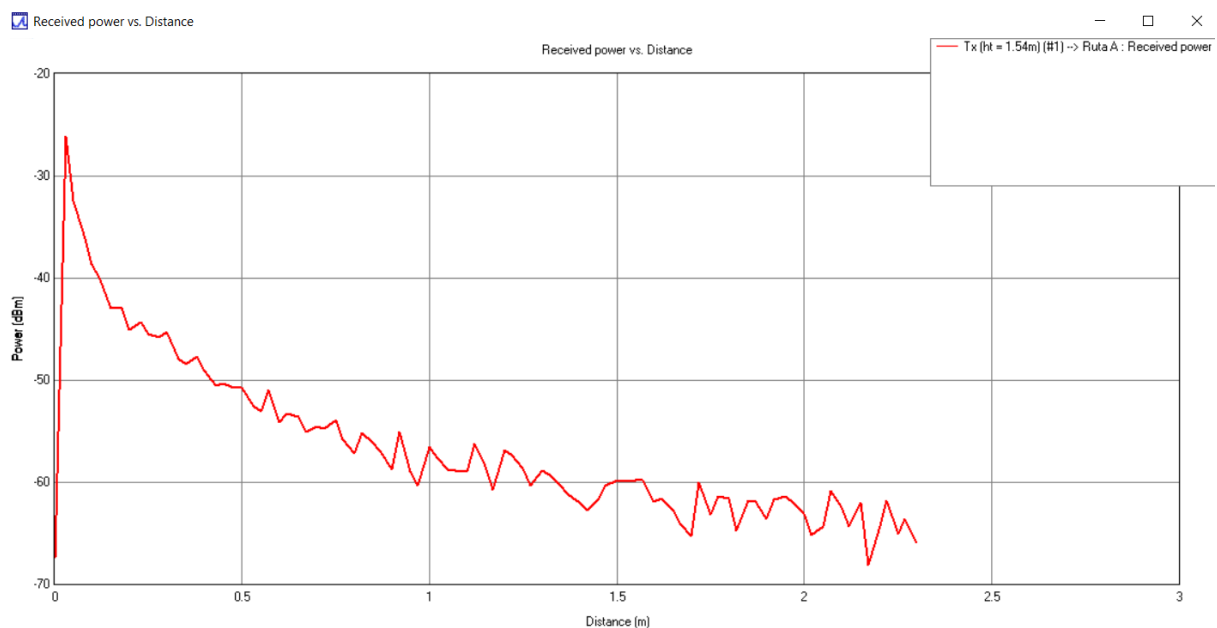
**Figura 4.41. Diagrama de radiación de la antena en 3D**

Con respecto a la cobertura de potencia no se muestran imágenes de ésta calculada con la simulación de otros modos ya que las diferencias son inapreciables. Esto también se debe a la homogeneidad al radiar de la antena. La potencia recibida en todos los puntos de la habitación es muy similar y con la escala que aparece en el programa no es fácil obtener la potencia en cada punto a simple vista en una imagen como la mostrada en la Figura 4.39. Sin embargo, más adelante, calcularemos la potencia en un punto y es ahí donde podremos

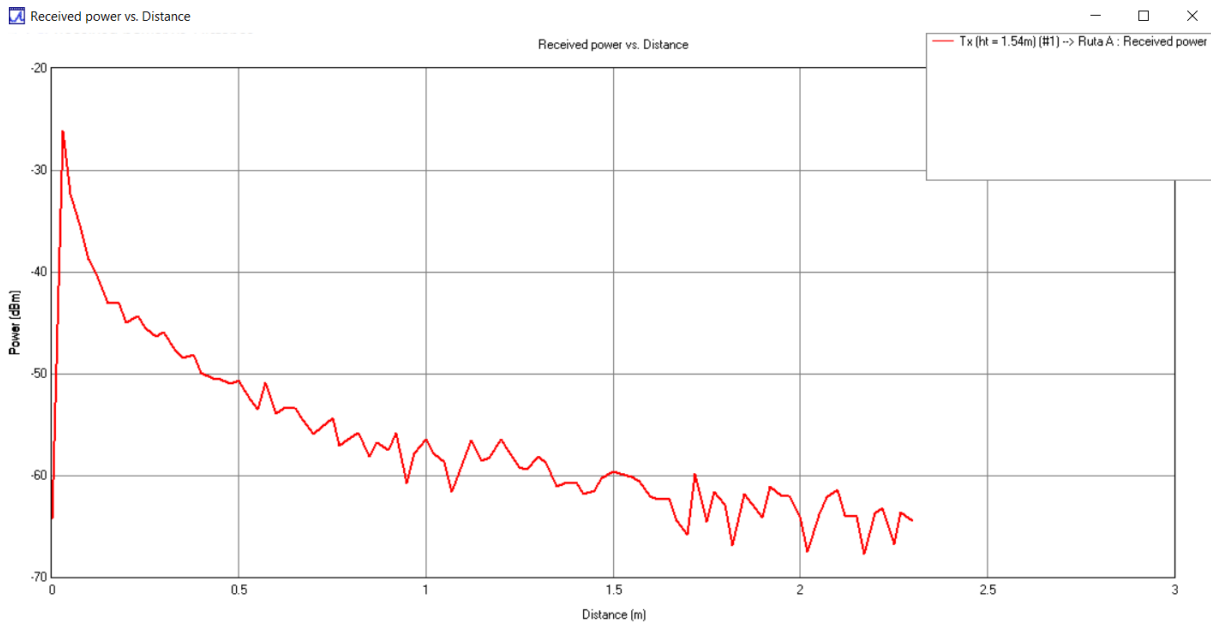
observar las diferencias entre los diferentes modos y analizar a qué se deben dichas diferencias.

La Figura 4.42 muestra que la potencia recibida puede variar mucho en pequeñas distancias debido a las interferencias constructivas o destructivas entre los rayos que alcanzan la localización del receptor.

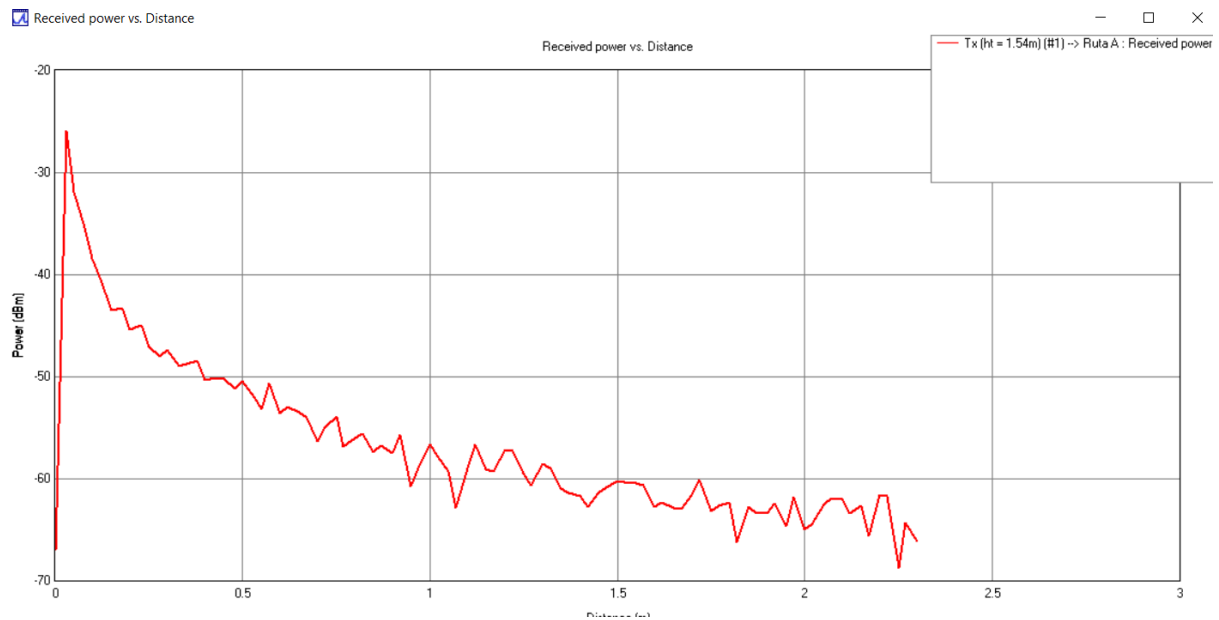
Las ubicaciones relativas de las paredes, transmisores y receptores determina la longitud del camino del rayo hasta el punto y, además, deben ser precisos de acuerdo al cálculo realizado por Wireless InSite para calcular los efectos de desvanecimiento rápido correctamente.



**Figura 4.42. Resultados para la potencia recibida en función de la distancia para el modo manual sin difracciones**



**Figura 4.43. Resultados para la potencia recibida en función de la distancia para el modo manual con 1 difracción**



**Figura 4.44. Resultados para la potencia recibida en función de la distancia para el modo automático**

Se puede observar que no hay grandes diferencias entre las gráficas ya que las medidas de potencia simuladas en todos los modos son muy similares, como veremos a continuación. Todas ellas oscilan entre los -71 dBm y los -50 dBm.

Por último, se han tomado medidas de potencia en 21 puntos y se han comparado con las medidas que ya se habían obtenido empíricamente en el laboratorio. Todos estos valores se recogen en la Tabla 4.3.

Cabe considerar que la altura a la que se han situado todos los puntos objeto de medida es a 1.44 metros del suelo. En la Figura 4.37 se puede observar la situación de todos ellos.

Los valores de potencia obtenidos en los 21 puntos que se tenían como referencia se reflejan en dBm en la Tabla 4.3. Se puede observar que la última columna corresponde a los valores obtenidos empíricamente en el laboratorio.

Rx (z = 1,44)			Potencia (dBm) Dif = 0	Potencia (dBm) Dif = 1	Potencia (dBm) Dif = AUTO	Medición laboratorio
	x	y				
P1	3,67	1,26	-64,04	-63,60	-63,60	-62,49
P2	4,93	1,27	-71,38	-71,98	-71,98	-68,31
P3	4,93	1,78	-71,59	-71,19	-71,90	-66,79
P4	4,93	2,34	-69,64	-71,43	-71,43	-66,92
P5	4,93	2,95	-65,06	-65,06	-64,95	-66,21
P6	3,91	2,93	-62,47	-61,09	-61,09	-65,39
P7	4,05	2,40	-64,63	-65,67	-65,67	-67,90
P8	4,14	1,93	-66,59	-66,71	-66,70	-68,94
P9	4,14	1,33	-66,41	-62,85	-62,81	-69,33
P10	3,13	1,37	-65,64	-64,37	-64,36	-65,73
P11	3,78	1,90	-64,43	-62,38	-62,38	-59,51
P12	3,45	2,41	-57,28	-57,89	-57,71	-57,35
P13	3,16	2,89	-57,63	-56,22	-56,24	-55,84
P14	2,01	3,00	-51,78	-51,65	-51,67	-62,39
P15	1,87	2,44	-57,33	-57,32	-57,32	-62,51
P16	1,87	1,99	-58,41	-57,88	-57,86	-61,38
P17	1,92	1,28	-66,38	-67,56	-67,56	-63,38

P18	1,10	1,47	-63,91	-63,81	-64,75	-66,32
P19	1,42	1,77	-65,40	-64,49	-64,56	-63,21
P20	1,12	2,24	-60,25	-60,42	-60,42	-61,60
P21	1,09	2,87	-59,85	-60,37	-60,37	-64,91

**Tabla 4.3. Comparativa de medidas con los diferentes modos de simulación y las medidas tomadas empíricamente**

Las diferencias entre las diversas simulaciones son mínimas. Esto muestra que las difracciones contribuyen en poca medida a la potencia final aunque sean contribuciones que haya que tener en cuenta en el cálculo de la dispersión temporal. Esto es debido a que todas las posiciones son de visión directa o LoS ("Line of Sight") por lo que la mayor parte de la potencia recibida corresponde al rayo directo. Las diferencias con las medidas son reducidas, prueba de que el escenario ha sido bien definido. Las pequeñas diferencias encontradas se deben con cierta seguridad a la diferencia entre el diagrama de radiación utilizado en las simulaciones y el diagrama de radiación de la antena utilizado en las medidas; aunque se disponía de este diagrama de radiación no ha sido posible insertarlo en las simulaciones de Wireless InSite; en futuros trabajos se incluirá el diagrama de radiación real contribuyendo a la mejora de la precisión.



## Capítulo 5. Conclusiones

En este último capítulo de la memoria se van a describir las diferentes fases de su realización, tiempos empleados en las simulaciones, así como las dificultades encontradas y las líneas de mejora futuras para Wireless Insite.

En primer lugar, se hizo un informe previo en el que se describían las características de diversos simuladores en entornos de interior. Tras analizar las características de cada uno de ellos se optó por analizar la herramienta Wireless Insite que nos proporciona la empresa REMCOM.

Una vez elegida la herramienta con la que íbamos a trabajar, se hizo un análisis y estudio de los diferentes modos de propagación que se daban en interiores. Esto sirvió para comprender los cálculos realizados por el lanzador de rayos, que es el método de propagación que utiliza el software.

Después de chequear la guía de usuario y el ejemplo para entornos indoor que nos proporcionaba, se dio paso a simular el ejemplo en la banda estrecha de 900 MHz y completar un manual en castellano del mismo, pudiéndose comprobar que se obtenían los mismos resultados que aparecían en el manual descrito en inglés.

Una vez dominado el entorno del programa y gracias a la simulación del ejemplo, se dio paso al análisis del canal inalámbrico en 60 GHz en un entorno interior real. Este entorno se corresponde con un laboratorio del edificio I+D+I en el que se habían realizado medidas empíricas, con la posterior comparación entre los resultados que ofrecía el programa y las medidas reales.

Todo esto ha servido para comprobar que el lanzador de Wireless Insite en modo 3D y para entornos interiores se muestra como una herramienta muy precisa a la hora de medir las pérdidas introducidas por el canal.

Las tareas que han resultado más difíciles han sido las de insertar el diseño de la habitación real o insertar los diferentes objetos según un origen de coordenadas nuevo, ya que hubo que hacer la conversión de coordenadas. Al inicio el programa puede resultar algo complicado, también debido a la existencia de dos ventanas, la principal y la del visor de proyecto. Sin embargo, con la práctica se descubre que se trata de un programa bastante intuitivo en el que se puede modificar prácticamente todo de una manera fácil y sencilla.

Los tiempos de simulación que ha empleado Wireless Insite han sido dispares, dependiendo también de los cálculos a realizar. Para la obtención de las trayectorias de los rayos los tiempos oscilaron en todas las simulaciones entre los 50 y 58 segundos.

Por el contrario, para el cálculo de la cobertura de potencia de la habitación al completo, el tiempo empleado oscilaba entre los 47 minutos para el ejemplo en 900 MHz hasta las 3 horas y 3 minutos para el cálculo manual con una difracción para la simulación en 60 GHz. En esta banda, el modo automático fue el que menos empleó para mostrar resultados, con un tiempo de simulación de 1 hora y 31 minutos. Para el modo manual sin tener en cuenta difracciones se necesitaron 2 horas y 47 minutos.

También se pudo observar que para el cálculo en los 21 puntos en los que se habían tomado medidas en el laboratorio, se necesitaron tan solo 1 minuto y 30 segundos para el cálculo en modo manual sin difracciones, 19 minutos y 23 segundos para el modo automático y 28 minutos y 43 segundos para el cálculo manual con una difracción.

Como conclusión, se pueden proponer diversas mejoras en el entorno como la traducción del programa al castellano, proporcionar mayor facilidad para el diseño de entornos reales, por ejemplo, ofrecer un editor similar al de AutoCad u ofrecer la posibilidad de cambiar el material de un objeto ya introducido en una habitación. Se observó que si una vez incluías el elemento si no se indicaba el material correcto, no había posibilidad de modificarlo, teniéndose que eliminar y volver a crearlo.

Por otro lado, sabiendo que es complicado ya que se trata de una herramienta muy potente, sería interesante reducir la cantidad de recursos hardware que consume. Además, sería de mucha ayuda la posibilidad de obtener un diagrama de radiación real de la antena, así como la realización de un estudio más completo del número de réplicas.

Por último, es de agradecer a REMCOM la gran ayuda que ofrecido en líneas generales. Cuentan con un servicio técnico muy competente, con un tiempo de respuesta muy bajo y con una buena predisposición para ayudar, llegándose incluso a interesar por el objeto de este trabajo.

## Bibliografía

- [1] Las redes inalámbricas, más ventajas que desventajas. Jesús Ramírez Sánchez, José Vicente Díaz Martínez. Universidad de Veracruz. 2008.
- [2] “Modelos de propagación en interiores. Radiopropagación Indoor”, autor desconocido. Universidad de Sevilla.
- [3] “Estudio del canal a 60 GHz en entornos interiores mediante una herramienta de trazado de rayos”, Francisco Sevilla, noviembre 2011
- [4] Apuntes de “Comunicaciones Móviles”. Lección 1.6. Modelos de propagación, Juan Pascual García, J.M. Molina García - Pardo, Domingo Pardo Quiles, Leandro Juan Llácer.
- [5] “Caracterización del Canal Móvil”, Juan Pascual García, J.M. Molina García-Pardo, Leandro Juan LLácer. Universidad Politécnica de Cartagena, 2010.
- [6] “Técnica del trazado de rayos. Trazado de rayos”, autor desconocido. Universidad de Sevilla.
- [7] Página web de la herramienta: <http://www.remcom.com/wireless-insite>.
- [8] Manual de Wireless Insite 2.7.1. User's Guide.
- [9] Wireless InSite Reference Manual
- [10] Wireless Insite Reference Manual
- [11] “Design of a 60GHz Channel Sounder and Initial Measurements”, Technical University of Cartagena, Group SiCoMo (SPAIN).