



**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Telecomunicaciones**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

*“Localización de dispositivos móviles usando el nivel de intensidad de la señal recibida (RSSI)”*

**Autor: Hector Alejandro Hoyo Mondeja**

**Tutor: Dr. Vitalio Alfonso Reguera**

**Santa Clara**

**2012**

**"Año 54 de la Revolución"**

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Eléctrica**

**Departamento de Telecomunicaciones**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

*“Localización de dispositivos móviles usando el nivel de intensidad de la señal recibida (RSSI)”*

**Autor: Hector Alejandro Hoyo Mondeja**

e-mail: [hhoyo@uclv.edu.cu](mailto:hhoyo@uclv.edu.cu)

**Tutor: Dr. Vitalio Alfonso Reguera**

Departamento de Telecomunicaciones

Facultad de Ingeniería Eléctrica

e-mail: [vitalio@uclv.edu.cu](mailto:vitalio@uclv.edu.cu)

**Santa Clara**

**2012**

**"Año 54 de la Revolución"**



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

---

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

---

Firma del Tutor

---

Firma del Jefe de Departamento  
donde se defiende el trabajo

---

Firma del Responsable de  
Información Científico-Técnica

## **PENSAMIENTO**

*El hombre crece tanto, que ya se sale de su mundo e influye en el otro.*

*José Martí.*

## **DEDICATORIA**

*A mi madre, que aunque ya no está, estoy seguro que vería realizado su sueño.*

## AGRADECIMIENTOS

A mi tía Nayma, a mi papá Hector y a todo el resto de la familia por apoyarme siempre durante estos cinco años.

A mi tutor, Dr. Vitalio Alfonso Reguera, por la dedicación que tuvo, el apoyo incondicional que me dio en todo momento y su ejemplo como profesor.

A mi novia Lianet, por la paciencia que siempre tuvo.

A Maylet y a Alexander, por el apoyo que me dieron.

A Elio y a Odalis por la gran ayuda que me brindaron con el Internet.

A mis compañeros de aula, en especial a Raykel, José Antonio, Yadir, Frank, Jorge Rafael y Damián Bartumeu por ser amigos en todo momento.

A todo aquel que de una forma u otra puso un granito de arena para la realización de este trabajo:

Muchas Gracias.

## TAREA TÉCNICA

- Estudiar los métodos existentes para la localización en redes inalámbricas.
- Determinar cuáles son las principales prestaciones y utilidades de estos sistemas.
- Analizar cómo varían estos sistemas en función de la tecnología o infraestructura empleada.
- Determinar cuáles serán las posibles situaciones que pondrán en peligro la robustez y confiabilidad del sistema a diseñar.
- Diseñar un sistema de localización para redes inalámbricas basadas en infraestructura.
- Validar el sistema propuesto.

---

Firma del Autor

---

Firma del Tutor

## RESUMEN

Debido a la ineficiencia que presentan los sistemas de posicionamiento global (ej. GPS, por sus siglas en inglés) para la localización de dispositivos móviles en interiores, han surgido distintas técnicas de localización para este tipo de entorno con el propósito de suplir esta carencia, una ellas se basa en el indicador de intensidad de la señal recibida (RSSI) procedente de los puntos de acceso (APs, por sus siglas en inglés) que conforman la infraestructura de la red inalámbrica. El presente trabajo tiene como objetivo fundamental diseñar un sistema de localización utilizando la tecnología anteriormente mencionada que se pueda implementar en cualquier lugar donde exista una red inalámbrica basada en infraestructura.

Para cumplir el objetivo anterior se hizo un estudio de las diversas tecnologías empleadas para este fin. Para estimar la posición de los usuarios móviles se desarrolló un conjunto de funciones en MATLAB basada en los métodos de los K vecinos más cercanos (KNN, por sus siglas en inglés) y una variación ponderada de este método (WKNN).

El sistema fue probado de forma práctica en las áreas del primer piso de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas (UCLV). Los resultados permitieron ver la efectividad del sistema y la alta dependencia de la intensidad de la señal con el entorno.

## TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
TAREA TÉCNICA .....	iv
RESUMEN .....	v
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	3
1.1 Tecnologías para la localización.....	4
1.1.1 Identificador por radiofrecuencia (RFID).....	5
1.1.2 Localización usando telefonía móvil .....	5
1.1.3 Localización por Infrarrojos .....	6
1.1.4 Bluetooth.....	6
1.1.5 UWB (Ultra Wideband).....	6
1.1.6 Zig-Bee .....	7
1.1.7 802.11 .....	7
1.2 Técnicas de localización usando 802.11 .....	7
1.2.1 ToA.....	8
1.2.2 AoA.....	9
1.2.3 RSSI.....	10
1.3 Métodos de estimación de la localización basados en RSSI .....	11
1.3.1 Triangulación.....	11
1.3.2 Reconocimiento de patrones.....	12

1.3.3	Método KNN .....	13
1.3.4	Método WKNN.....	14
1.4	Refinamiento de la localización.....	16
1.4.1	Filtros de Kalman.....	16
1.4.2	Algoritmos de Monte Carlo .....	17
1.4.3	Modelos Ocultos de Markov (HMM).....	17
1.7	Conclusiones del capítulo .....	17
CAPÍTULO 2 HERRAMIENTAS Y MÉTODOS .....		19
2.1	Diagrama operacional .....	19
2.1	Software de detección de APs .....	20
2.1.1	Requerimientos del sistema .....	22
2.2	Obtención de la dirección MAC y la RSSI.....	22
2.2.1	Diferentes comandos y su descripción.....	22
Tabla 2.1. Comandos y descripción.....		23
2.3	Proceso de estimación de la posición .....	24
2.3.1	Mapeo del área.....	24
2.3.2	Otra forma de mapear el área.....	24
2.4	Estimando la posición.....	26
2.5	Conclusiones del capítulo .....	28
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		29
3.1	Resultados de las muestras.....	29
3.2	Estimación de la posición.....	30
3.3	Comparación entre ambos métodos.....	32
3.3.1	Mapas de intensidad de potencia .....	33

3.4	Análisis de la señal según los mapas de intensidad de potencia.....	35
3.4.1	Absorciones y multitrayecto .....	36
3.4.2	Modelización de la pérdida de potencia .....	36
3.4.3	Propagación en Interiores .....	37
3.5	Conclusiones del capítulo .....	38
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		39
Conclusiones .....		39
Recomendaciones .....		40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		41
ANEXOS .....		43
Anexo I	Función <i>getrssi</i> .....	43
Anexo II	Función <i>saverssi</i> .....	44
Anexo III	Función <i>clearrssi</i> .....	44
Anexo IV	Función <i>ordersample</i> .....	45
Anexo V	Función <i>estimatepos</i> .....	45
Anexo VI	Función <i>intensitymap</i> .....	46
Anexo VII	Función <i>getsamples</i> .....	47
Glosario de términos .....		53



## INTRODUCCIÓN

La localización en interiores es un área de vital importancia en el campo de la computación ubicua. Las aplicaciones de localización tienen gran interés en ambientes como el turismo, los hospitales, grandes almacenes donde la ubicación de personas u objetos permite el ahorro energético, ofrecer servicios de emergencia así como personalizar el ambiente de los usuarios.

En la actualidad, la tecnología inalámbrica se está imponiendo como la vía de acceso más utilizada en las comunicaciones; debido a que la infraestructura de las redes Wi-Fi (Wireless Fidelity) es madura y se encuentra en funcionamiento en muchos entornos, se opta por utilizarla en este tipo de localizaciones.

En los últimos años las aplicaciones de localización en sentido general han estado basadas fundamentalmente en sistemas de posicionamiento global, pero si se quisiera implementar un sistema de localización en interiores estas tecnologías no suelen ser muy efectivas por el margen de error que ofrecen. Para este caso se pueden utilizar diferentes técnicas de localización, como por ejemplo, localización según el tiempo de arribo de la señal (ToA, por sus siglas en inglés), diferencia del tiempo de arribo (DToA, por sus siglas en inglés), ángulo de arribo (AoA, por sus siglas en inglés) e indicador del nivel de intensidad de la señal recibida (RSSI) de las cuales, en esta investigación se escoge esta última para implementar un sistema de localización en cualquier lugar donde exista una infraestructura de red inalámbrica.

En interiores la señal electromagnética sufre determinadas variaciones en su intensidad en dependencia de los objetos presentes en el ambiente; por ejemplo, al traspasar paredes le ocurren fenómenos conocidos como la refracción y la difracción, que estos provocan que su intensidad se debilite, incluso hasta la interacción de la señal con las personas hace que esta varíe. Por esto es necesario hacer un estudio detallado del sistema y del lugar donde se vaya a implementar para tratar de elegir uno de los métodos de estimación que se pueden utilizar, por lo que nuestro problema científico es:

¿Qué método utilizar para determinar en tiempo real la ubicación de usuarios móviles en entornos cerrados con óptima exactitud y fiabilidad?

Para solucionar este problema se planteó el siguiente objetivo general:

Diseñar un sistema que permita la localización de dispositivos móviles en redes inalámbricas basadas en infraestructura.

Como objetivos específicos del trabajo están:

- Identificar e implementar algoritmos para la localización de dispositivos móviles en redes inalámbricas basadas en infraestructura.
- Validar los resultados obtenidos en pruebas experimentales.

El informe de la investigación tendrá la siguiente estructura: introducción, capitulario, conclusiones, referencias bibliográficas, anexos y glosario.

En el **Capítulo 1** se hace una revisión bibliográfica del tema y se detallan las principales técnicas y tecnologías utilizadas para la localización.

En el **Capítulo 2** se abordará todo lo relacionado con el software utilizado para obtener la lista de APs existentes y con ello la dirección MAC de cada uno y la RSSI que nos ofrece, además, se explicará la forma de obtener el mapeo del área, el proceso de estimación de la posición y los métodos empleados para esto. .

En el **Capítulo 3** se exponen los resultados de la aplicación, también se hace una comparación entre los dos métodos empleados para la localización y se discuten los motivos por los cuales la señal presenta fluctuaciones.

Las siguientes secciones completan la estructura del trabajo: **Conclusiones, Recomendaciones, Referencias bibliográfica, Anexos y Glosario.**

## CAPÍTULO 1. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

En 1997 fue aprobado el estándar 802.11, que regula la transmisión de datos de forma inalámbrica para interconexión entre ordenadores. Gracias a todos estos estándares, pero sobre todo a raíz del éxito del 802.11b y su sucesor el 802.11g, ahora es posible la conexión a Internet por parte de innumerables dispositivos (ver Figura 1.1) [1], comenzando con los ordenadores personales y continuando con otros más pequeños como los portátiles y los Asistentes Personales Digitales (PDAs, por sus siglas en inglés), e incluso dispositivos del tamaño de un teléfono móvil.

En la actualidad es casi imposible encontrar un ordenador portátil o un PDA sin una tarjeta de red inalámbrica y hay otros dispositivos que las incluyen, aunque todavía se debería reducir aún más el tamaño de las tarjetas Wi-Fi si se quiere incluir en cualquier aparato que pueda recibir o enviar datos.

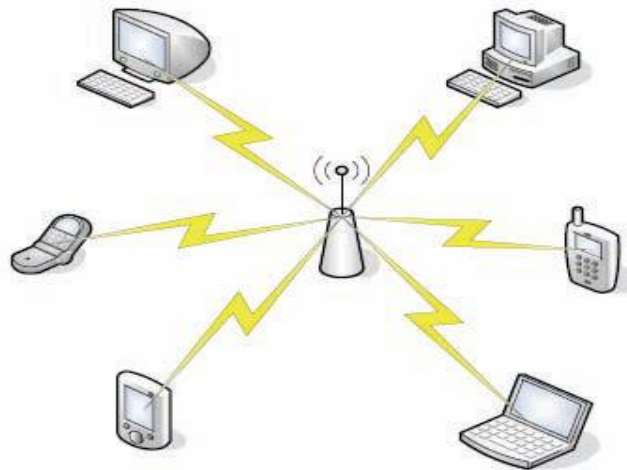


Figura 1.1: Ejemplo de red inalámbrica

Sin embargo, la transmisión de datos no es la única aplicación posible de los dispositivos que siguen los estándares 802.11; también se puede aprovechar la infraestructura ya existente que permite la transmisión y recepción sin cables para la creación de un servicio de posicionamiento en interiores.

### **1.1 Tecnologías para la localización**

Existen técnicas de localización en dependencia de la aplicación que se quiera, por ejemplo, para localizaciones en exteriores una de las tecnologías que se emplea es el GPS, la cual basa su funcionamiento en el uso de satélites.

En este trabajo se tratarán las redes basadas en infraestructuras que son las que conforman, por ejemplo, los dispositivos de una red Wi-Fi. En interiores no es recomendable utilizar sistemas de posicionamiento global porque dan un margen de error considerablemente grande. Para ello existen diferentes técnicas para la localización en interiores. Aquí se tratarán las siguientes:

- *RFID*
- *Localización usando telefonía móvil*
- *Localización por Infrarrojos*
- *Bluetooth*
- *UWB (Ultra Wideband)*
- *Zig-Bee*
- *802.11*

### **1.1.1 Identificador por radiofrecuencia (RFID)**

Este sistema se basa en etiquetas de radiofrecuencia que contienen una antena emisora/receptora que al ser excitada por un transmisor emite una señal. Así, un usuario que se quisiera localizar en un edificio tendría cerca de él un número de etiquetas de radiofrecuencia. El propio usuario tendría un lector de etiquetas RFID y leyendo las etiquetas cercanas puede llegar a localizarse.

Como resumen, la localización por RFID es una alternativa válida, aunque sin embargo es muy cara por la gran cantidad de lectores RFID que se necesitarán para la localización correcta, ya que el alcance de estas señales es muy reducido y una planta es tan grande comparada con el mismo que se necesitarían cientos de lectores para una localización lo más libre de errores como fuera posible [2].

### **1.1.2 Localización usando telefonía móvil**

Otra alternativa posible, que además no necesitaría ningún hardware adicional, pasaría por el uso de un teléfono móvil, y de hecho ya hay operadoras de telefonía móvil que ofrecen la opción de localización vía móvil a sus abonados. Sin embargo, la falta de exactitud sitúa a esta tecnología en clara desventaja respecto a las otras, ya que los sistemas de localización de este tipo no pueden dar precisiones mejores que 50 metros, por lo que no sirven en interiores. Esto es debido a que la localización con el del Sistema Global para las Comunicaciones Móviles (GSM, por sus siglas en inglés) se basa en la detección de la célula a la que está conectada el móvil, y en zonas urbanas la exactitud es de decenas de metros, sin embargo, en las zonas rurales, donde se necesitan menos células para dar servicio a menor población, esta exactitud es mejor.

Por tanto, ésta es una clara desventaja de la tecnología GSM que hace totalmente inapropiado su uso para la localización en interiores.

### **1.1.3 Localización por Infrarrojos**

La localización por infrarrojos se puede desechar en un primer momento para la localización en interiores por ser de corto alcance (unos dos metros) y porque, además, se requieren enlaces con Línea Visual (LoS, por sus siglas en inglés). Por su corto alcance habría que incluir una cantidad enorme de emisores de infrarrojos, y aún así serían imposibles de detectar ciertas localizaciones por el problema de LoS [1].

### **1.1.4 Bluetooth**

Aquí, el cliente miraría qué dispositivos Bluetooth hay al alcance y procedería por triangulación a ver su localización [1]. La ventaja es que es una tecnología barata, pero el alcance es demasiado corto y se necesitarán muchos dispositivos para cubrir una planta. El error cometido puede estar en torno a 1,5 metros, lo cual no está mal para un interior. El mayor inconveniente que tiene Bluetooth es que el indicador de RSSI no es preciso, por lo que no se puede usar y por ello, si se encuentra un dispositivo cercano, hay que asumir que se está en su entorno pero no se puede estimar el grado de cercanía o lejanía.

### **1.1.5 UWB (Ultra Wideband)**

La tecnología UWB parece una buena candidata para la localización en interiores [1]. Permite altísimas velocidades de transmisión y rangos elevados, y parece un candidato perfecto para hacer sistemas de localización en interiores, pero no sólo, realmente su aplicabilidad parece enorme en un gran número de campos.

La exactitud alcanzada con este sistema es de un metro con lo que quedan patentes sus posibilidades en nuestro ámbito, pero el mayor inconveniente es que no está regulado de tal forma que se pueda usar libremente a escala masiva, como sucede con el Wi-Fi. En cambio, su ventaja principal con respecto a la localización en interiores usando Wi-Fi es su mayor robustez ante cambios del entorno (puertas, paredes, presencia o movimientos de personas, etc.).

Sus posibilidades de futuro no se encuentran realmente en el campo de la localización, sino que más bien pasan por ser un sustituto del Bus Serie Universal (USB, por sus siglas en inglés) para conseguir que todos los dispositivos se conecten entre sí sin cables.

### 1.1.6 Zig-Bee

Esta tecnología es, a juicio de Galo Nuño [3], la mejor en la actualidad junto con Wi-Fi para la localización en interiores. Sin embargo, su alcance es más reducido aún que en Wi-Fi y la señal fluctúa de igual manera cuando cambian las condiciones de la planta, o con el movimiento de personas. La ventaja principal de esta tecnología es su bajo coste y baja potencia de emisión, pero su bajo ancho de banda hace que su utilidad sea reducida y por esta razón es posible que la localización usando Wi-Fi sea en el futuro próximo más importante que con Zig-Bee.

### 1.1.7 802.11

La comunicación típica en el protocolo 802.11 sigue un modelo centralizado. Por tanto, una red consta de uno o varios puntos de acceso y multitud de clientes conectados a uno de los puntos de acceso. Cada punto de acceso emite periódicamente una baliza o *beacon* para hacer notar su presencia a los usuarios (representados por tarjetas de red inalámbricas), los cuales de este modo pueden saber en todo momento qué redes inalámbricas hay disponibles en su entorno.

La señal Wi-Fi puede atravesar muros con cierta dificultad por lo que su uso principal es para lo que se denomina: Red de Área Local Inalámbrica (WLAN, por sus siglas en inglés), que incluye acceso a Internet a nivel doméstico y acceso a la red de área local a velocidades más reducidas que las que se pueden conseguir vía cable (*Ethernet*).

## 1.2 Técnicas de localización usando 802.11

Una vez que se han expuesto las posibles tecnologías que permiten llevar a cabo la localización en interiores, se describen las razones por las cuales, frente a todas estas alternativas, se eligió la transmisión inalámbrica siguiendo el protocolo 802.11:

- Posee una arquitectura madura y de gran fiabilidad en la transmisión de datos.

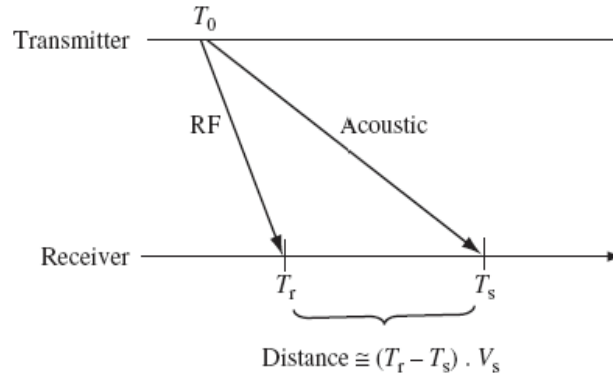
- Puede atravesar con relativa facilidad las paredes, por lo que no es necesario el uso de innumerables puntos de acceso, sino que se puede decir que se necesitarán entre 2 y 3 APs para cubrir totalmente una planta de en torno a 200 ó 250 metros cuadrados.
- La tecnología utilizada es actualmente el estándar más común para comunicaciones locales inalámbricas, por lo cual hay disponibilidad alta de estos dispositivos y son de precios reducidos.
- Para el funcionamiento del sistema de localización, no es necesario agregar ningún hardware adicional a los dispositivos ya existentes.

Hay diversas técnicas de localización que usan la tecnología 802.11; a continuación se va a describir cada una de ellas y se explicará cuál se ha elegido en este proyecto y por qué.

### 1.2.1 ToA

La técnica ToA se basa en el hecho de que una señal electromagnética tarda un tiempo en llegar de emisor a receptor. Hay una relación lineal entre tiempo de propagación y distancia recorrida, y por ello, mediante técnicas de triangulación se puede inferir la distancia entre emisor y receptor.

Adicionalmente, está la técnica DToA, similar pero que hace uso de dos señales, cada una con velocidades de propagación diferentes. La primera de ellas es una señal de radio que tiene un tiempo de propagación  $T_R$ ; la segunda, en cambio, es una señal acústica cuyo tiempo de propagación se expresa como  $T_s$ . En la figura se muestra el cálculo de la distancia al receptor en DToA.



**Figura 1.2:** Cálculo de la distancia entre transmisor y receptor en DTToA

Como la distancia que tarda en llegar una señal de radio de un transmisor a un receptor situado a pocos metros es muy pequeña, se acerca a un tiempo 0. Por ello, se observa cuánto tiempo más ha tardado la recepción de la señal, y multiplicándolo por la velocidad de propagación de esta tendremos una medida bastante correcta de la distancia.

La ventaja del DTToA respecto del ToA es que al medir primero el tiempo de forma relativa frente a la medida absoluta del ToA se puede disminuir el error porque se puede usar una resolución temporal mayor.

### 1.2.2 AoA

Las técnicas AoA son comunes en el procesamiento de señales con arreglos. En lugar del uso de una sola antena, se despliegan varias antenas de forma que se pueda inferir el ángulo de llegada de la señal. Después de esto, la estimación de la localización se basa en la triangulación de estos ángulos. Aunque el sistema es bastante preciso, también es verdad que los dispositivos 802.11 no incluyen arreglos de antenas, sino una, o como mucho dos, y por esta razón no se puede implementar un sistema de localización basado en AoA sin hardware adicional.

En realidad, la técnica del ángulo de llegada es efectiva sólo cuando no hay multitrayecto porque en caso de haberlos se puede pensar que la señal viene de otro lugar al medir el ángulo de una señal reflejada. Por ello, normalmente se necesita LoS para estimar el ángulo de un terminal móvil (TM) hacia una antena emisora.

Al necesitarse LoS, las técnicas AoA son más adecuadas para entornos muy despejados como pueden ser los rurales, y son muy sensibles a variaciones de orientación de la antena emisora provocadas por el viento o tormentas, porque miden el ángulo de forma absoluta.

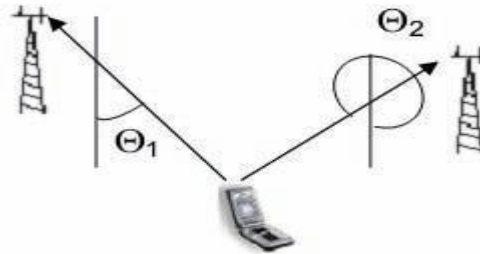


Figura 1.3: Sistema de localización por ángulo de llegada

### 1.2.3 RSSI

Esta técnica usa la atenuación de la señal recibida para inferir la localización del terminal móvil. En base a esta atenuación se puede estimar la distancia que separa al TM de cada punto de acceso, pero la relación distancia / potencia de señal recibida no es muy clara al haber multitrayecto, reflexiones, difracciones, etc. como ya se ha explicado anteriormente. Sin embargo, ésta es la solución que se ha elegido por ser la más simple conceptualmente y la más barata de las tres, al no necesitar ningún hardware adicional.

En caso de haber elegido hacer una localización tipo ToA se tendría que dotar de un reloj muy preciso a los dispositivos, y en el caso de AoA se debería disponer de muchas antenas en cada transmisor.

Además del inconveniente fundamental ya explicado, también hay desafíos adicionales, como la construcción de un mapa radio lo más fiable como sea posible o la variabilidad de la RSSI en función del uso de distintos tipos de antenas, fabricantes, o incluso del nivel de carga de la batería del dispositivo.

De forma general la predicción de la RSSI [4] en un escenario dado teniendo en cuenta:

- La disminución de la señal generada por los obstáculos de la edificación.
- La influencia del material de construcción del escenario en la atenuación del RSSI.

➤ La separación entre el punto de acceso y cada uno de los usuarios móviles.

En síntesis se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{RSSI} = P_{\text{ap}} - (L_{\text{fs}} + L_{\text{t}} + L_{\text{tx}}) \quad (1.1)$$

Donde,

$P_{\text{ap}}$  = Potencia emitida por el Access Point.

$L_{\text{fs}}$  = Pérdida por espacio libre.

$L_{\text{t}}$  = Pérdida por transmisión (obstáculos).

$L_{\text{tx}}$  = Pérdida por transmisión hasta el punto de recepción.

### 1.3 Métodos de estimación de la localización basados en RSSI

Puesto que la localización basada en el protocolo 802.11 con las lecturas de potencia de señal recibida es factible, ya se han desarrollado algunos prototipos de sistemas de localización que usan dos tipos de técnicas diferentes:

Localización por triangulación y localización por reconocimiento de patrones.

#### 1.3.1 Triangulación

Los métodos de triangulación funcionan de forma similar a los mencionados ToA y DToA, ya que asimilan potencia recibida (tiempo, en el caso de ToA) a distancia. Sin embargo, al no ser precisa esta relación en interiores, se obtienen unos métodos poco precisos.

La localización se basa en la suposición de que las antenas generan un patrón de radiación en forma de esfera con centro en la propia antena. Con cuatro de estas esferas, cada una de ellas con un radio estimado en base a la potencia recibida de cada una de estas cuatro antenas, obtenemos la estimación de la localización al intersecar las cuatro esferas.

Esto parte de la suposición de que se haga uso de una antena con patrón de radiación esférico. Sin embargo, las antenas reales no pueden generar un patrón de radiación esférico, y por ello se usan antenas omnidireccionales.

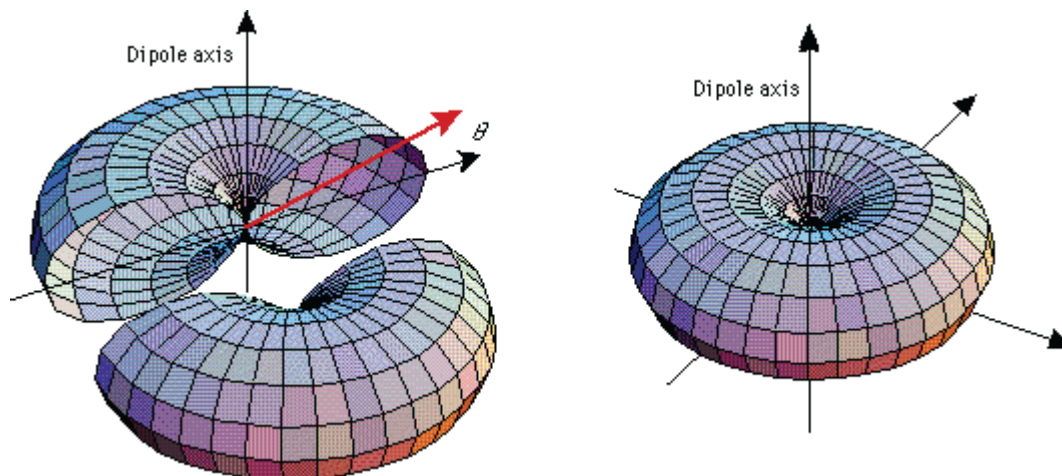


Figura 1.4: Patrón de radiación de antena omnidireccional

Lo más habitual es que los puntos de acceso tengan instaladas por defecto antenas omnidireccionales. Como no se consigue con éstas un patrón esférico, pero sí que se puede controlar el plano donde se coloca el donut, el plano se pone paralelo a la horizontal, con lo que la aproximación anterior es válida si el terminal móvil se sitúa en la misma planta que el AP o en sus proximidades.

Por último, el inconveniente de este enfoque es que al tratar RSS como distancia no tienen en cuenta las paredes, mobiliario, suelos, etc. por lo que no se consideran muy apropiados para nuestro caso.

### 1.3.2 Reconocimiento de patrones

Las técnicas de reconocimiento de patrones, o *fingerprinting*, intentan encajar el vector de potencias recibidas (RSS) procedente de varios puntos de acceso, con una muestra de calibración sin necesidad de usar algoritmos geométricos. Para su uso, primero hay que obtener un radio mapa patrón, que en este caso es una base de datos con 1) posiciones en el edificio y 2) niveles RSS de cada punto de acceso en esas posiciones. La RSS se puede calcular de forma teórica, con el uso de un modelo de predicción de potencias, o bien se puede obtener de forma práctica viendo en cada punto de interés la potencia recibida [5].

La ventaja de este método frente a la triangulación es que los cálculos son más reducidos, y a diferencia del anterior, la discretización del entorno hace que no sea posible obtener una

localización que no se haya definido; en cambio, en la triangulación se puede localizar en cualquier punto del espacio por no haberse discretizado la planta.

El grado de discretización de la planta es importante, ya que cuanto más se parta el espacio de la planta, mayor es el grado de exactitud, y para conseguirlo, se necesita mayor tiempo de cómputo y de almacenamiento, pero también será menor el error cometido.

Los cálculos que permiten la estimación de la localización en los algoritmos de reconocimiento de patrones son sencillos y cambian según sea el método a emplear, pero se basan en, dado un vector de potencias, encontrar la localización que tenga el vector de potencias más parecido. El reto mayor de estos algoritmos es diferenciar entre dos posiciones con parecidos vectores de potencias.

### 1.3.3 Método KNN

El método de los KNN es uno de los algoritmos más ampliamente estudiados en toda la literatura dentro de los clasificadores estadísticos no paramétricos [6].

Un objeto es clasificado por mayoría de votos de sus vecinos, y es asignado a la clase más común. El parámetro  $k$  identifica cuántos vecinos se utilizan para la decisión y es un número típicamente pequeño. Si  $k = 1$ , entonces el objeto se asigna simplemente a la clase de su vecino más cercano. En reconocimiento de patrones, el algoritmo KNN es usado como método de clasificación de objetos basado en un entrenamiento.

La fase de entrenamiento del algoritmo consiste en almacenar los vectores característicos con los atributos y las etiquetas de clase ( $y^i = [y_1, y_2, \dots, y_d]$ ,  $d$  son los atributos e  $i$  la clase a la que pertenecen). En la fase de clasificación, la evaluación del elemento (del que no se conoce su clase) es representada por un vector. Se calcula la distancia entre los vectores almacenados y el nuevo vector, y se seleccionan los  $k$  elementos más cercanos. El vector distancia que se utiliza es

$$d(x, y^i) = \frac{1}{d} \left( \sum_{k=1}^d \frac{1}{w_k} |x_k - y_k^i|^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (1.2)$$

$p$  indica que la distancia que se va a utilizar para encontrar a los vecinos más cercanos es la distancia Manhattan si  $p=1$  y la distancia euclidiana si  $p=2$ . El término  $w_k$  se utiliza para darle preponderancia a ciertos atributos que tienen mayor peso a la hora de decidir. Dado el ejemplo a clasificar y las  $k$  vecinos más cercanos entonces el elemento es clasificado teniendo en cuenta si pertenece a una clase discreta o una clase continua.

Caso discreto: se asigna el valor más común entre los vecinos cercanos:

$$f: R^n \rightarrow V, V = \{v_1, \dots, v_s\}$$

$$\tilde{f}_{(x)} = \arg_{v \in V} \max \sum_{i=1}^k \delta(v, f(x_i)) \quad (1.3)$$

Donde  $\delta(a, b) = 1$  si  $a = b$ , y  $\delta(a, b) = 0$  si  $a \neq b$

Caso continuo: valor medio de entre los  $k$  vecinos más cercanos:

$$f: R^n \rightarrow R$$

$$\tilde{f}_{(x)} = \frac{\sum_{i=1}^k f(x_i)}{k} \quad (1.4)$$

Para la estimación de una posición  $\mathbf{i}$  utilizan un promedio de las coordenadas (espacio físico) de los  $k$  vecinos más cercanos al vector de potencia recibido

$X = [x_1, x_2, \dots, x_d]$  en el espacio de la potencia recibida.

#### 1.3.4 Método WKNN

WKNN consiste en una variación del método anterior mediante un peso que se introduce para ponderar la contribución de cada vecino de acuerdo a la distancia entre él y el ejemplar a ser clasificado ( $x_q$ ), dando mayor peso a los vecinos más cercanos. Por ejemplo se puede ponderar el voto de cada vecino de acuerdo al cuadrado inverso de sus distancias.

Caso discreto:

$$\tilde{f}_{(x)} = \arg_{v \in V} \max \sum_{i=1}^k w_i \delta(v, f(x_i)) \quad (1.5)$$

Caso continuo:

$$\tilde{f}_{(x)} = \frac{\sum_{i=1}^k w_i f(x_i)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad (1.6)$$

Donde

$$w_i = \frac{1}{d(x_q, x_i)^2} \quad (1.7)$$

De esta manera no hay riesgo de permitir a todos los ejemplos de entrenamiento contribuir a la clasificación de  $x_q$  si se escoge un número grande de vecinos, ya que al ser muy distantes no tendrían peso asociado. La desventaja de considerar todos los ejemplos sería su lenta respuesta (método global). Se quiere siempre tener un método local en el que solo los vecinos más cercanos son considerados.

El peso no sólo puede ser una función del inverso cuadrado de la distancia, también se utilizan funciones exponenciales negativas de la distancia o funciones de Kernel para eliminar la indefinición que sufren las funciones inversas para una distancia igual a cero.

En otras ocasiones se le suma un valor muy pequeño a la distancia tratando de eliminar un peso infinito para una distancia de valor cero. Como  $f(x_i)$  que se utiliza en la localización es la coordenada física entonces la función que nos ofrece las coordenadas en base a la distancia a los diferentes puntos del espacio RSS es:

$$l_i = \frac{\sum_{j=1}^k \frac{1}{d(x, y^j) + d_o} l_j}{\sum_{j=1}^k \frac{1}{d(x, y^j) + d_o}} \quad (1.8)$$

Esta mejora es muy efectiva en muchos problemas prácticos. Es robusto ante los ruidos de datos y efectivo en conjuntos de datos grandes. Se puede ver que al tomar promedios ponderados de los  $k$  vecinos más cercanos el algoritmo puede evitar el impacto de ejemplos con ruido aislados y se suaviza la curva de estimación.

#### **1.4 Refinamiento de la localización**

Un sistema de localización basado en Wi-Fi no tendrá un buen rendimiento en términos de error cometido si sólo se basa en la determinación de la RSS de los distintos puntos de acceso en cada momento. Esto se debe a los multitrayectos, difracciones y reflexiones de la señal, que son completamente impredecibles. Por ello, incluso cuando el TM está estacionario se registrarán variaciones en la RSS que pueden ser hasta de 10dBm en valor absoluto, y más aún, distintas tarjetas de red darán distintas medidas de potencia en el mismo momento porque cada una tiene antenas de ganancias diferentes.

Por ello, lo más habitual es que los sistemas de localización traten de emplear algoritmos para mejorar la localización obtenida en un nivel inferior y adecuarla más al comportamiento de la señal. Hay diferentes algoritmos para refinar la localización en base a múltiples estimaciones de la localización en momentos consecutivos. Estos parten de la base que un usuario va a estar la mayoría de su tiempo quieto, y también explotan el hecho de que cuando una persona deja de estar en una habitación por haberse movido a otra, estas dos habitaciones han de ser contiguas si el tiempo transcurrido entre las muestras es muy corto.

##### **1.4.1 Filtros de Kalman**

Los filtros de Kalman, al igual que los filtros de partículas, son capaces de calcular la distribución de probabilidad a posteriori en tiempo real. Resuelve la estimación de distribución de probabilidad a posteriori sobre todos los posibles mapas y posiciones del terminal móvil, en función de las observaciones y acciones almacenadas, fusionando la nueva observación con la estimación anterior. El inconveniente que presentan es el coste computacional [7].

### **1.4.2 Algoritmos de Monte Carlo**

El sistema de localización de Monte Carlo es una forma del filtro de Bayes dentro del contexto de la localización. Emplea un filtro de partículas para mantener una distribución de probabilidad sobre todas las posibles posiciones. Dicha probabilidad asociada con cada posición, se interpreta como el grado de confianza de que el terminal se encuentre en dicha posición en un momento determinado. Esta distribución de confianza se actualiza en respuesta a una nueva observación del sensor.

### **1.4.3 Modelos Ocultos de Markov (HMM)**

El algoritmo basado en HMM presenta un conjunto de estados, correspondientes a las posiciones del TM y observaciones que se modelan de la misma manera que en los filtros de Kalman, pero además se añade una matriz de probabilidad de transición que indica la probabilidad de pasar de un estado a otro [8]. Esta matriz se inicializa suponiendo que dicha probabilidad es mayor entre estados adyacentes ya que representa el movimiento de un usuario que se desplaza de forma lenta. Asimismo, en el contexto de la localización, se pueden modelizar con este modelo de forma muy natural las paredes y puertas, ya que entre dos habitaciones no comunicadas entre sí por estar separadas por una pared, la probabilidad de transición será 0, mientras que la probabilidad de ir de una habitación a otra, las cuales estén separadas por una puerta, será no nula.

## **1.7 Conclusiones del capítulo**

Luego de hacer una revisión bibliográfica sobre los sistemas de localización basados en infraestructura y fundamentalmente en la localización según el nivel de intensidad de la señal recibida se puede concluir de que:

La tecnología Wi-fi es la más fuerte candidata si se quiere implementar un sistema de localización basado en infraestructura empleando la RSSI por ser la más utilizada dentro de las tecnologías inalámbricas.

Dentro de las técnicas de localización usando 802.11 emplear la de RSSI es la más factible en cuanto a economía se trata pues resulta la más barata y para su implementación no requiere de ningún hardware adicional.

Como método de estimación de la localización basado en la RSSI el de reconocimiento de patrones es más eficiente que el de triangulación dado que el segundo es poco fiable cuando la localización se quiere dentro de habitaciones.

Si se quiere mejorar la localización obtenida en un nivel inferior y adecuarla más al comportamiento de la señal existen diferentes algoritmos que proporcionan un refinamiento en la ubicación del terminal móvil

## CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se abordará todo lo relacionado con el software utilizado para obtener la lista de APs existentes y con ello la dirección MAC de cada uno y la RSSI que nos ofrece, que concretamente es el parámetro que interesa para estimar la posición del usuario móvil. Además, se explicará la forma de obtener el mapeo del área, el proceso de estimación de la posición y los métodos empleados para esto.

### 2.1 Diagrama operacional

A continuación se muestra un diagrama en el cual se puede comprender de forma general el proceso de estimación de la posición.

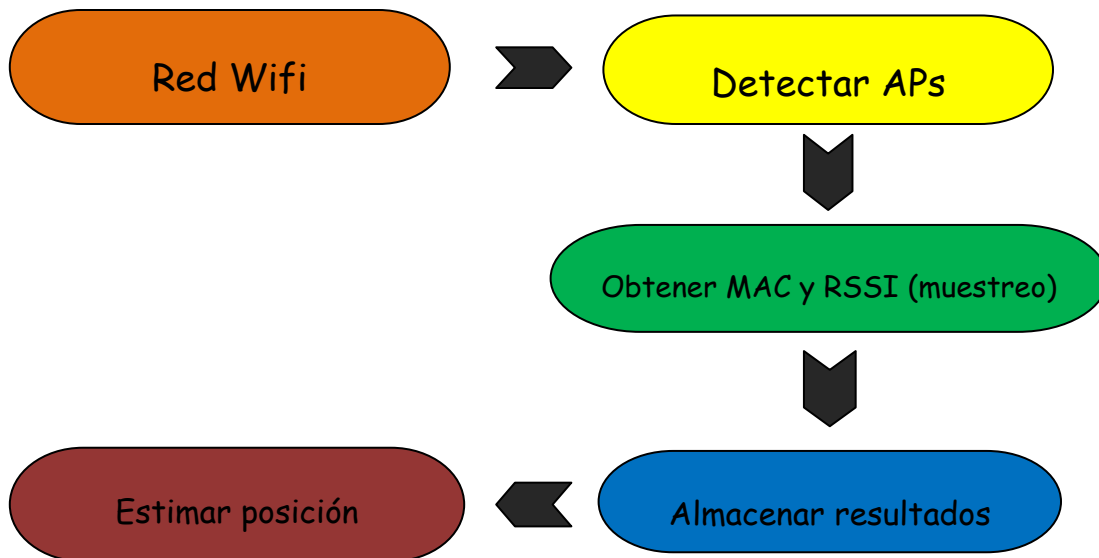


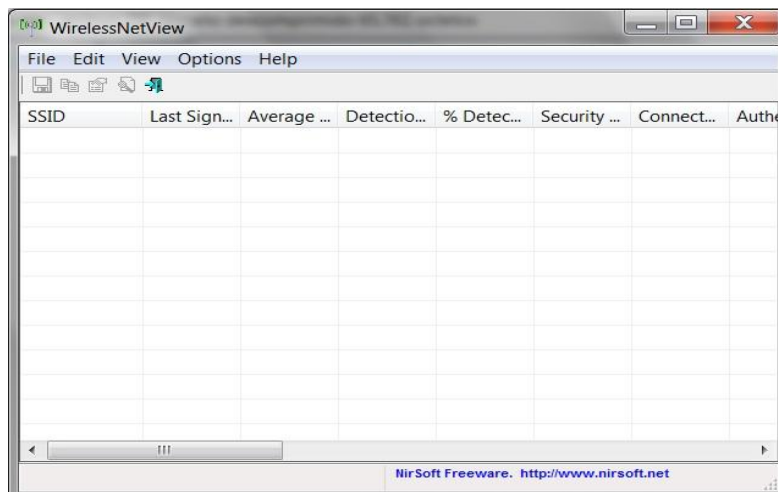
Figura 2.1: Diagrama operacional

En las secciones siguientes se detalla cómo lograr cada paso mostrado en el diagrama anterior.

## 2.1 Software de detección de APs

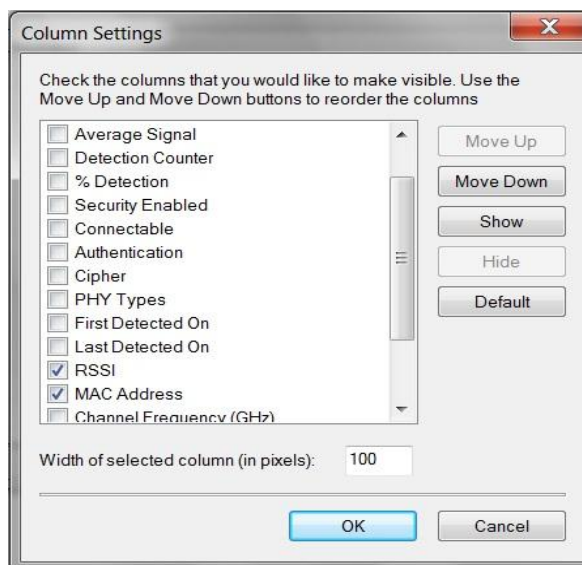
Para obtener la lista de APs y sus respectivos parámetros se utilizará el software WirelessNetView v1.40 [9], el cual es una aplicación pequeña pero brinda una información bastante amplia sobre todas las redes inalámbricas que están disponibles. Dentro de la información que brinda están:

- *SSID*
- *Last Signal Quality*
- *Average Signal Quality*
- *Detection Counter*
- *Authentication Algorithm*
- *Cipher Algorithm*
- *MAC Address*
- *RSSI*
- *Channel Frequency*
- *Channel Number*
- *Maximum speed*



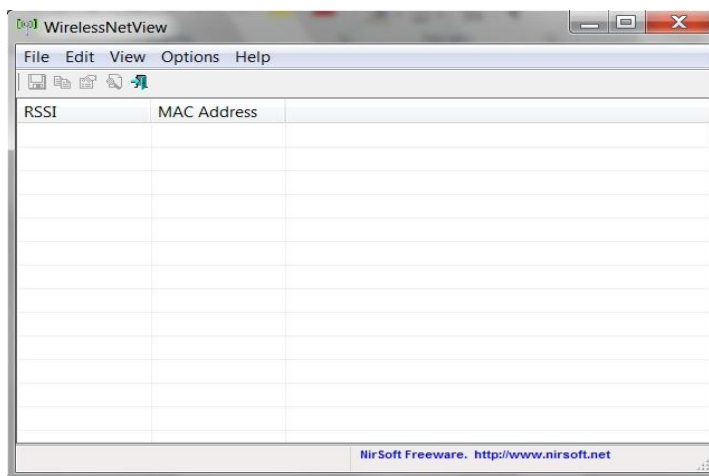
**Figura 2.2:** Ventana de WirelessNetView

Esta versión 1.40 (última que ha salido hasta el momento) tiene la particularidad de que el usuario tiene la opción de seleccionar los parámetros que desee conocer, esto se hace desplegando *view* en la barra de herramientas del software y haciendo clic en *choose columns*. La ventana se muestra de la siguiente forma:



**Figura 2.3:** Ventana de selección de parámetros

En este caso se aprecia que los parámetros seleccionados son RSSI y MAC Address, luego de esto la ventana del software queda de la siguiente forma:



**Figura 2.4:** Ventana de WirelessNetView con parámetros seleccionados

### 2.1.1 Requerimientos del sistema

Para la comunicación inalámbrica es necesaria una tarjeta NIC o un adaptador de red inalámbrico. Este software no tiene restricciones en Sistemas Operativos, por lo que es aplicable en Windows 7, Windows Vista, o Windows XP con SP2/SP3. Para Windows XP con SP2, es recomendable instalar la actualización de Windows: KB918997.

## 2.2 Obtención de la dirección MAC y la RSSI

Para proceder a tomar la dirección MAC de cada AP y su RSSI correspondiente se va a emplear como herramienta el software MATLAB, que mediante un comando se invoca al software WirelessNetView y este a su vez obtiene la información de la dirección MAC y de la RSSI y los guarda en un archivo .txt que se le ha llamado “data”. Luego mediante otro comando se pueden ver los datos obtenidos. Estos comandos se muestran en el sub epígrafe siguiente.

### 2.2.1 Diferentes comandos y su descripción

A continuación se muestra una tabla con los diferentes comandos que se pueden utilizar para la obtención de los datos y su descripción [9].

Tabla 2.1. Comandos y descripción

<i>Comandos</i>	<i>Descripción</i>
<code>/stext &lt;Filename&gt;</code>	Salva la lista de redes inalámbricas en un archivo .txt.
<code>/stab &lt;Filename&gt;</code>	Salva la lista de redes inalámbricas en .txt delimitadas por etiquetas.
<code>/scomma &lt;Filename&gt;</code>	Salva la lista de redes inalámbricas en .txt separadas por coma.
<code>/stabular &lt;Filename&gt;</code>	Salva la lista de redes inalámbricas en .txt por etiquetas.
<code>/shtml &lt;Filename&gt;</code>	Salva la lista de redes inalámbricas en archivo HTML (Horizontal).
<code>/sverhtml &lt;Filename&gt;</code>	Salva la lista de redes inalámbricas en archivo HTML (Vertical).
<code>/sxml &lt;Filename&gt;</code>	Salva la lista de redes inalámbricas en archivo XML.
<code>/nosort</code>	Salva la lista de redes inalámbricas sin un modo especificado.

En este caso se utilizó el tercer comando de la tabla (`/scomma <Filename>`) para obtener los datos.

El comando desde MATLAB para llamar a `WirelessNetView` y que realice la obtención de los datos es:

```
system('WirelessNetView /scomma data.txt');
```

*(Puede verse su implementación en el anexo I)*

Para ver los datos obtenidos de la medición se emplean los siguientes comandos:

```
fid = fopen('data.txt');
data = textscan(fid, '%d16 %s', 'delimiter', ',');
fclose(fid);
```

*(Ver anexo I)*

### 2.3 Proceso de estimación de la posición

Es importante destacar que todas las funciones utilizadas para estimar la posición están desarrolladas en MATLAB.

Con la tecnología RSSI para estimar la posición primero es necesario hacer un mapeo del área donde se vaya a implementar la aplicación, esto es, tomar mediciones RSSI por toda el área para crear tipo una base de datos, a este tipo de mediciones se le llaman: *mediciones estáticas*. Después de tener todas las mediciones se procede a estimar la posición.

#### 2.3.1 Mapeo del área

Se seleccionó para implementar la aplicación el primer piso de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, fue seleccionado este por ser el área donde más APs hay, y esto a la hora de estimar la posición es beneficioso.

Para facilitar el trabajo en el momento de hacer el mapeo se ha creado una función a la que le llamó: “*saverssi*” (ver anexo II). Esta función lo que hace es que a medida que se van realizando mediciones las va guardando en un fichero (llamado: “*mediciones. mat*”) en el orden que se tomaron.

El comando para realizar esto es el siguiente: *position = [position; actualposition];* (Ver anexo II).

Las variables que se le pasan a este comando son las coordenadas (x ; y) del punto donde se vaya a efectuar la medición.

#### 2.3.2 Otra forma de mapear el área

Se ha creado otra forma de tomar las muestras que resulta más práctica. Para ello se ha hecho un fichero llamado “*getsamples*” el cual es una interfaz gráfica que permite insertarle el esquema del área en formato .jpg o .bmp y desde ahí mismo tomar las muestras, además tiene la opción de seleccionar la escala, introducir el punto donde se

quiera efectuar la medición, seleccionar el número de muestras que se quieran tomar en un punto y el intervalo entre ellas; también tiene la opción de borrar alguna muestra si se desea o todas. Por otra parte, para conocer el error de estimación de la posición, tiene la opción de colocarle dentro del mapa un marcador con la posición que usted está realmente, así cuando estime la posición le da el error en metros.

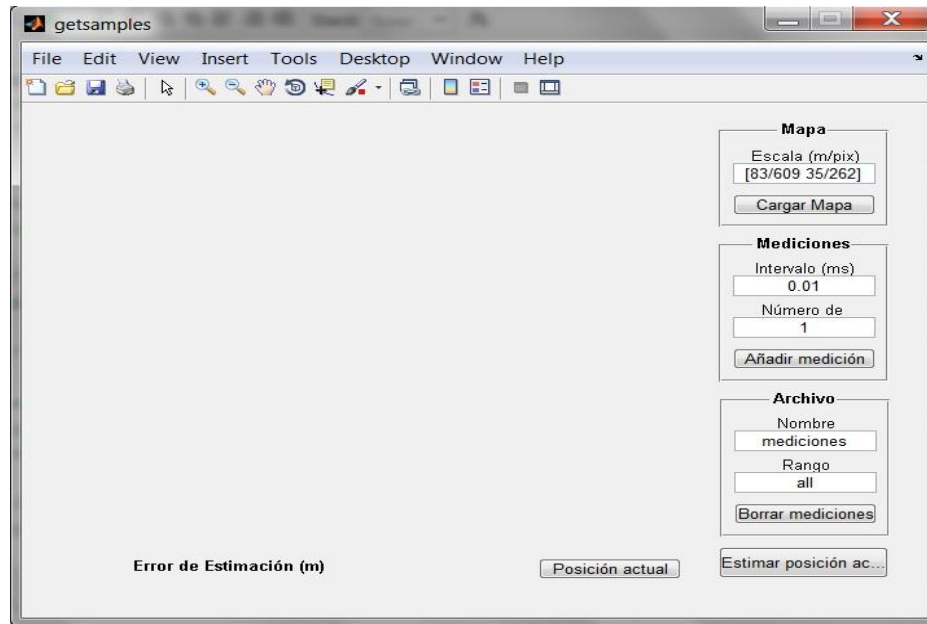


Figura 2.5: Interfaz gráfica

La escala se especifica de la siguiente manera: Una vez llevado el esquema a la interfaz, se dividen los metros reales que tiene el área por el eje de las ``x`` entre la cantidad de píxeles que tiene la imagen por ese mismo eje, luego por el eje de las ``y`` se hace lo mismo y esos dos valores son los que se ponen en la escala.

A continuación se muestra el esquema confeccionado del primer piso de la (FIE).

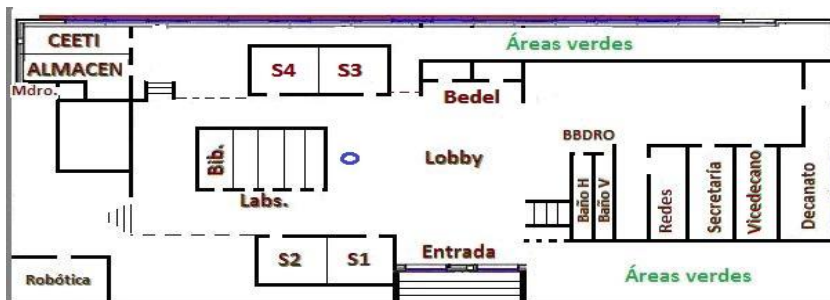


Figura 2.6: Vista superior del primer piso de la FIE

El siguiente esquema muestra cómo queda insertado el mapa del primer piso en la interfaz gráfica, además se muestran algunos puntos dentro del esquema como ejemplos para realizar alguna medición.

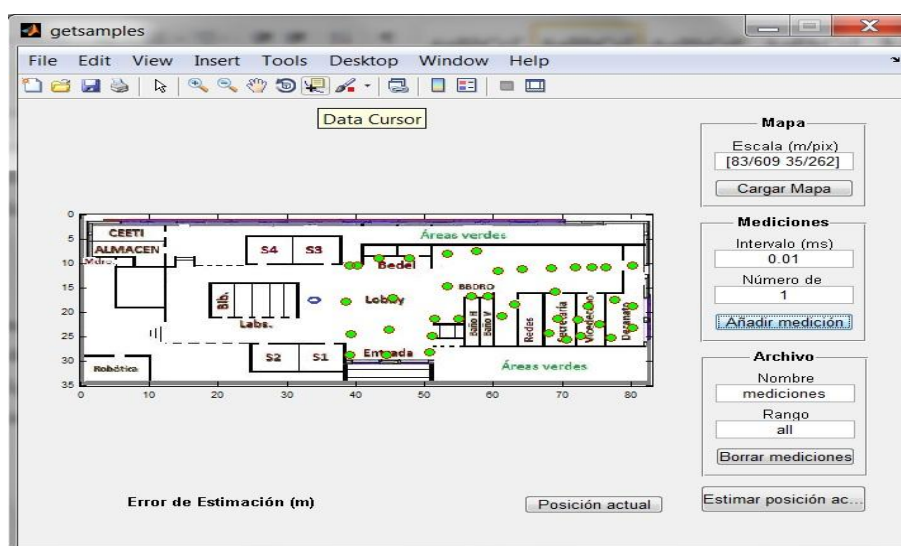


Figura 2.7: Esquema dentro de la interfaz

Como se puede observar hay varias muestras dentro del mapa representadas con un punto verde. Para tomar las muestras se hace clic en el botón 'data cursor' que está oprimido en la figura 12, luego se sitúa en el mapa el lugar que se quiera muestrear y se hace clic en el botón 'añadir medición'. Los valores tomados se irán guardando automáticamente.

## 2.4 Estimando la posición

Hay infinidad de métodos para estimar la localización de un móvil basándose en la (RSSI). Las técnicas de localización que usan medidas de RSSI se introducen en las secciones 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3 y 1.3.4 y se describe cada una.

En primer lugar, hay que ver cuál de los métodos es más adecuado para el caso concreto de nuestro Sistema de Localización. Como ya se comentaba en la sección 1.3.1, los métodos de triangulación asimilan potencia de señal recibida a distancia: es decir, obtenido un vector de potencias se halla la posición exacta del TM. Sin embargo, en realidad esto no es posible, sobre todo porque los multitrayectos hacen que la misma señal llegue a la antena receptora en varias ocasiones y no siempre se recibe con la misma potencia.

Es evidente que las variaciones de la potencia de señal también son un inconveniente grave para los métodos de reconocimiento de patrones.

Para estimar la posición se necesita un vector de potencias y una matriz de calibración, y al final de esta etapa se obtiene un vector de tantos elementos como localizaciones se hayan definido.

La localización donde es más probable que se sitúe el TM móvil a localizar es aquella en la que el nivel instantáneo de potencia recibida se parece más de forma global a un elemento del conjunto de vectores de potencias que se ha calculado previamente en la etapa de medición estática.

En este trabajo para estimar la posición se han decidido implementar los métodos KNN y WKNN descritos en las secciones 1.3.3 y 1.3.4 respectivamente. Fueron escogidos por ser métodos que ya han sido probados en otros sistemas, su implementación no es compleja y el coste computacional es bajo.

Ambos métodos se han hecho aplicando el caso continuo, el cual estima la posición hallando el valor medio de los  $k$  vecinos más cercanos, solo que el método WKNN introduce un peso para ponderar la contribución de cada vecino de acuerdo a la distancia entre él y el ejemplar a ser clasificado. (*El código de los dos métodos se puede ver en el anexo V*).

Cuando se tengan todas las muestras del área, para estimar una posición dada se hace lo siguiente:

- En la interfaz gráfica se presiona el botón *`estimar posición actual`*.
- Luego aparecerá una ventana para que se seleccione el método que se quiera (KNN o WKNN).

- Después saldrá una ventana para seleccionar la norma y el número de vecinos, que por defecto la norma es 2 y el número de vecinos es 5.

## **2.5 Conclusiones del capítulo**

Luego de finalizar el capítulo se pueden arribar a las siguientes conclusiones:

- Las principales características de un sistema de localización son: robustez, calibración, fiabilidad, tiempo de cómputo y exactitud.
- Con el empleo del software WirelessNetView y a través de las distintas funciones desarrolladas en MATLAB, se hizo posible hacer el mapeo del área escogida de forma exitosa.
- Para que la estimación de la posición sea lo más exacta posible es necesario tomar la mayor cantidad de muestras en la etapa de medición estática.

## CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se tratarán los resultados de la implementación del sistema de localización con los métodos utilizados.

Primeramente se mostrarán los resultados de las muestras tomadas, luego se hará una comparación de la veracidad de ambos métodos en cuanto a la estimación de la posición y el análisis de cada uno, también se verán las causas por las que la localización no es totalmente exacta.

### 3.1 Resultados de las muestras

Las muestras fueron tomadas en el primer piso de la FIE tratando de que cubrieran las áreas más frecuentadas por los profesores y estudiantes y jugando con el alcance de los APs en los lugares de más difícil acceso para la señal.

A continuación se muestra el mapa con los distintos puntos de medición.

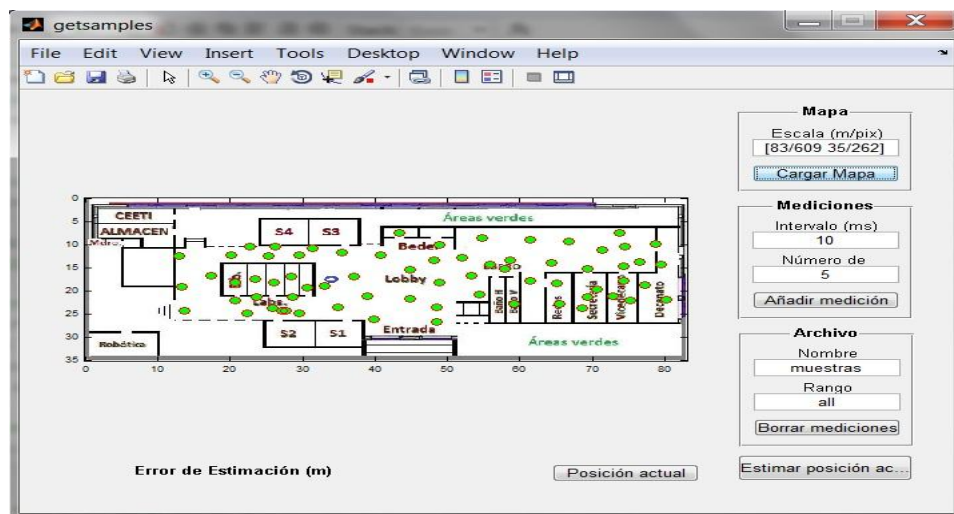


Figura 3.1: Muestras tomadas en el primer piso de FIE

En total fueron tomadas 68 muestras, en cada punto de estos se tomaron cinco muestras con un intervalo de 10ms entre ellas y cada uno almacena las direcciones MAC de los APs visibles en ese lugar, la posición real en metros donde se tomó la muestra y el valor de RSSI correspondiente a cada AP se da como el promedio de las cinco muestras tomadas.

### 3.2 Estimación de la posición

Para estimar la posición como ya se ha mencionado en los capítulos anteriores fueron utilizados los métodos KNN y WKNN.

La aplicación fue probada en dos lugares diferentes de la Facultad, uno de estos fue la secretaría y el otro en el lobby. Se eligieron estos dos para comprobar la efectividad ambos métodos ya que en la secretaría existe un AP y en el lobby no, a este le llega la señal de los APs vecinos del área.

En cada uno de los lugares se hicieron quince pruebas con ambos métodos para al final establecer comparación entre los dos y llegar a conclusiones.

A continuación se muestran cuatro ejemplos de las pruebas realizadas en la secretaría (dos con cada método). En las imágenes se puede apreciar el error cometido en cada prueba, el marcador representado por un cuadrado indica la posición real donde se encuentra el usuario y el marcador representado por una estrella indica la posición estimada, la distancia entre estos dos sería el error.

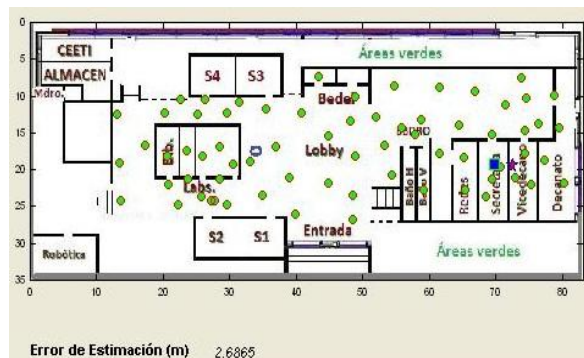


Figura 3.2: Secretaría 1 KNN

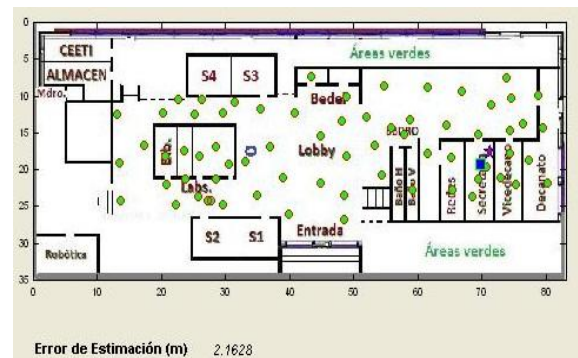


Figura 3.3: Secretaría 1 WKNN

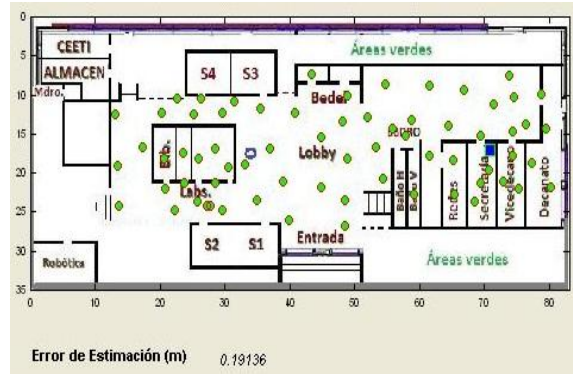
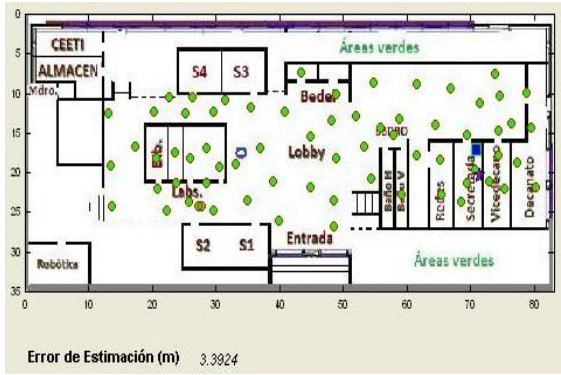


Figura 3.4: Secretaría 2 KNN

Figura 3.5: Secretaría 2 WKNN

Como se puede apreciar la estimación de la posición en ambos casos y con ambos métodos cae dentro del área de la secretaría, lo que significa que la estimación de la posición fue satisfactoria.

A continuación se muestran dos pruebas realizadas con ambos métodos en el lobby.

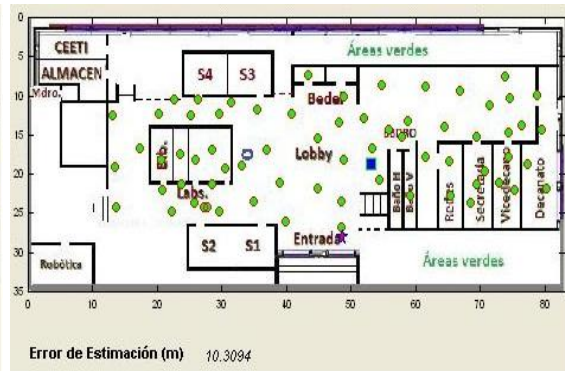
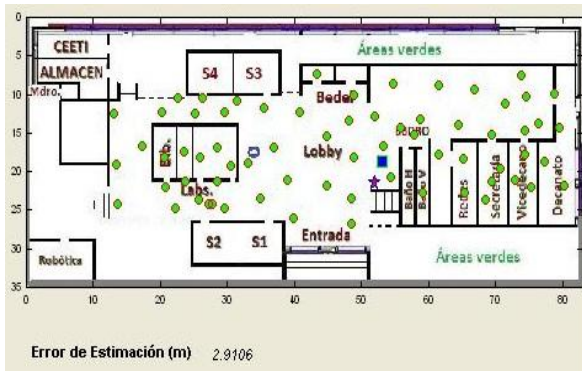


Figura 3.6: Lobby 1 KNN

Figura 3.7: Lobby 1 WKNN

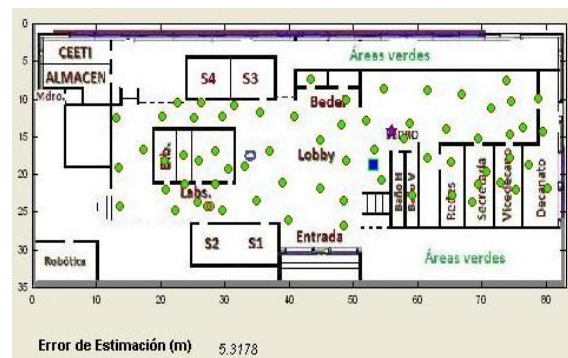
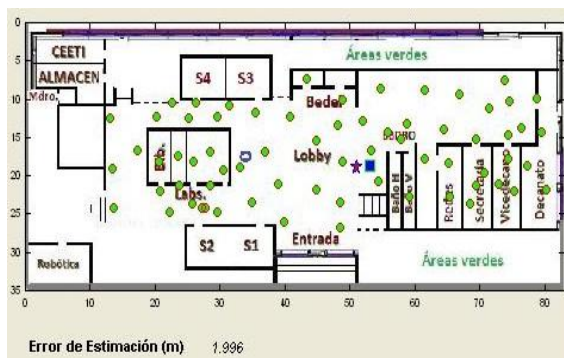


Figura 3.8: Lobby 2 KNN

Figura 3.9: Lobby 2 WKNN

En este caso también se observa que en las dos pruebas la estimación cae dentro del lobby.

### 3.3 Comparación entre ambos métodos

A continuación se muestra una tabla donde se expone el resultado de las quince pruebas realizadas en cada uno de los lugares.

Tabla 3.1. Datos comparativos de las pruebas hechas en el lobby y en la secretaría.

Mediciones	<u>LOBBY</u>		<u>SECRETARÍA</u>	
	Error KNN (m)	Error WKNN (m)	Error KNN (m)	Error WKNN (m)
1	7.8592	19.72	2.6865	2.1628
2	3.7133	16.7568	2.1628	3.8901
3	16.7568	9.3294	3.8901	3.155
4	2.9106	10.3094	2.6401	3.1545
5	17.02	2.9106	3.7679	3.4072
6	17.02	11.07	2.8613	2.8613
7	1.996	5.3178	3.5004	1.9114
8	6.564	17.47	2.4307	2.1864
9	3.676	6.564	1.5783	1.5783
10	3.676	17.47	1.9127	3.3924
11	9.8178	10.7406	3.4857	0.1914
12	3.676	15.456	0.1732	0.1733
13	3.676	8.3267	1.0377	1.8796
14	3.3581	5.564	2.9831	2.9648
15	9.8178	9.3886	1.665	1.183
Error medio	<b>7.44</b>	<b>11.09</b>	<b>2.45</b>	<b>2.27</b>
Desviación estándar	<b>5.48</b>	<b>5.16</b>	<b>1.05</b>	<b>1.14</b>

En la tabla anterior se observa que para el caso de la secretaría ambos métodos arrojan similares resultados con una adecuada exactitud, pero para el caso del lobby las localizaciones más precisas se obtienen con el método KNN.

Dentro de la secretaría hay un AP y es obvio que los valores de intensidad de la señal en ese local sean casi siempre los mismos, de ahí que el error promedio en ambos métodos sea similar.

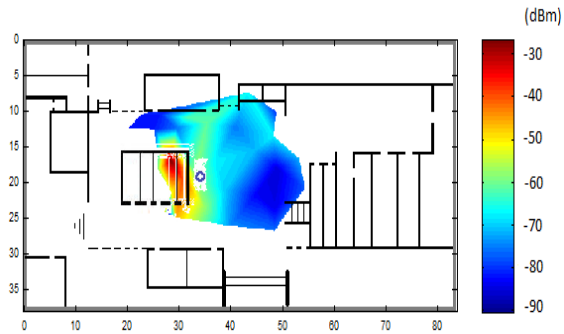
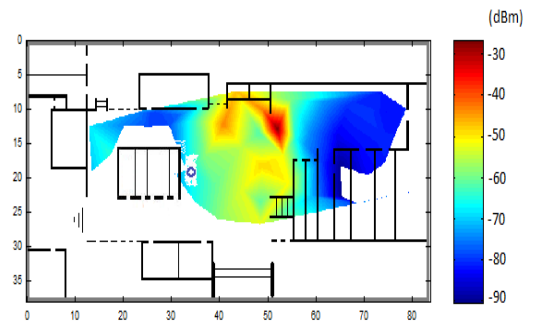
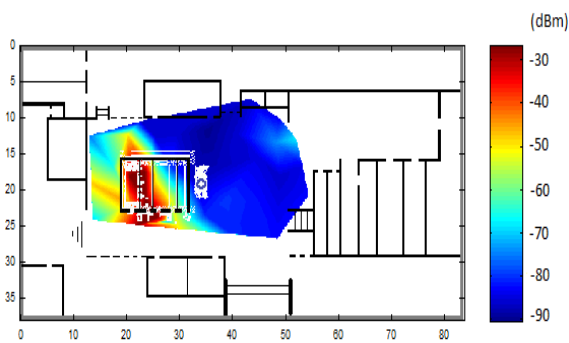
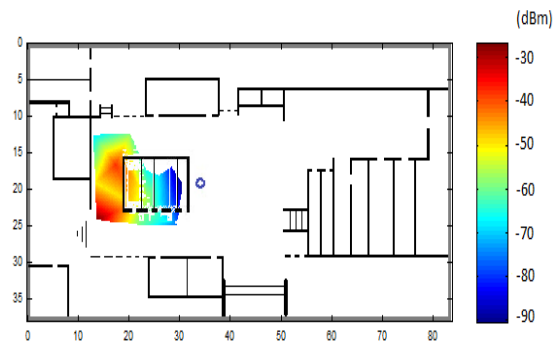
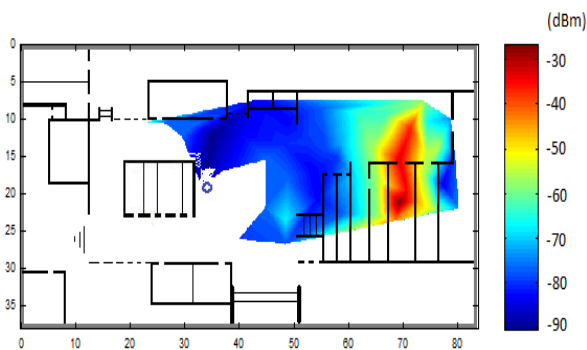
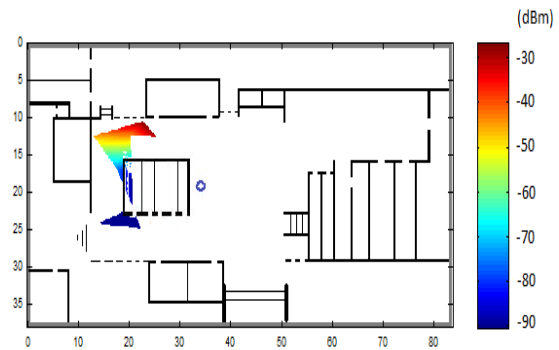
En el caso del lobby, la mejor efectividad del método KNN es debido a que en esa área las muestras tomadas están más espaciadas que en la secretaría y la distancia va a ser mayor, como es de suponer esto no es favorable para el método WKNN, por otra parte, en las figuras 3.10, 3.11, 3.12 y 3.14 se observa que en el punto donde se realizaron las pruebas de estimación llega la señal desde cuatro APs distintos. Esta señal llega con un nivel de intensidad diferente de cada AP e incluso pueden existir momentos en que la señal de uno de estos APs no llegue al punto de prueba producto de la estructura del área y de las condiciones del entorno.

De forma general, ambos métodos son efectivos en una zona donde el nivel de intensidad de la señal es bueno. En el caso donde la señal se pierda y existan fluctuaciones, el mapeo del área debe cubrir gran parte de esta para que la estimación de la posición sea lo más exacta posible.

### **3.3.1 Mapas de intensidad de potencia**

En esta sección se muestran los mapas de intensidad de potencia correspondientes a cada uno de los APs visibles en el primer piso de la FIE.

Para tener una mejor visualización, al mapa se le han eliminado los nombres de los locales. El valor de -30dBm en la escala corresponde a la mayor intensidad y -90dBm a la menor intensidad.

**Figura 3.10: AP Laboratorio 104****Figura 3.11: AP Bedel****Figura 3.12: AP Laboratorio 107****Figura 3.13: AP Robótica****Figura 3.14: AP Secretaría****Figura 3.15: AP CEETI**

Los mapas de intensidad fueron hechos según las muestras tomadas en la etapa de medición estática. Se puede apreciar que hay zonas en que varios APs cubren un mismo lugar, esto

da pie a que en un mismo punto se tomen varias mediciones y ninguna sea igual, es por eso que lograr estimar una posición de manera exacta es casi imposible, donde más se acerca es en un área pequeña que contenga un AP como en el caso de la secretaría.

Los niveles de referencia de la señal para la comunicación son los siguientes:

- 80dBm: Es la señal mínima aceptable.
- 70dBm: Es una señal buena.
- 60dbm hasta -40dbm: Es una señal idónea.
- 0dBm: sería una señal ideal.

### **3.4 Análisis de la señal según los mapas de intensidad de potencia**

En las figuras de la 3.10 a la 3.15 se puede apreciar que la señal electromagnética no sigue una distribución informe, sino que esta es totalmente irregular, esto es debido a las condiciones del medio ambiente y a los medios por los que se propaga (el aire, las paredes, puertas, etc.).

El principal problema de emplear el estándar Wi-Fi para interiores está en la falta de un modelo de propagación universal que permita estimar el nivel de señal recibido en cada posición del entorno ya que la señal se propaga a lo largo de multitud de caminos de forma impredecible.

A medida que la señal se propaga a través del entorno sufre una dispersión de diferentes formas. Desafortunadamente, la frecuencia de 2,4GHz es la de resonancia del agua, de tal forma que las personas, animales y plantas absorben las ondas de radio en esta banda de frecuencias donde trabaja el estándar Wi-Fi. Además, pueden aparecer interferencias si otro dispositivo genera señales de radio en la misma frecuencia y con un valor de potencia comparable a la señal de Wi-Fi transmitida.

Debido a la reflexión, refracción, difracción y absorción de las ondas de radio por las estructuras y personas dentro de los edificios, la señal transmitida a menudo llega al receptor por más de un camino, resultando el fenómeno conocido como multitrayecto.

### 3.4.1 Absorciones y multitrayecto

La señal inalámbrica se propaga principalmente por el aire, pero en algunos momentos tendrá que propagarse por otros medios. Cada vez que la onda se topa con un obstáculo, se produce una pérdida de potencia de  $\gamma^d$ , donde  $\gamma$  es una constante que depende de las propiedades físicas del medio y de la frecuencia de la señal que se propaga por el medio, y  $d$  es la distancia recorrida en ese medio [10].

En las figuras 3.10, 3.11, 3.12, y 3.14 se observa que la señal llega al lobby desde APs distintos, obviamente en un punto donde la señal llegue de varios APs se van a tomar mediciones que nunca serán iguales, esto es porque al haber multitrayecto, la señal en un punto oscila en el tiempo alrededor de su valor medio. La señal recibida se suele modelizar como una combinación de efectos a gran escala y efectos a pequeña escala. Los efectos o desvanecimiento a gran escala son la atenuación debida a las paredes y mobiliario, y se suele modelizar como una distribución log-normal, sin embargo, al medirse la potencia en unidades logarítmicas la distribución es en realidad una normal. Los efectos o desvanecimiento a pequeña escala son más sutiles, y se refieren a las fluctuaciones debidas al multitrayecto.

### 3.4.2 Modelización de la pérdida de potencia

Un modelo simple que se puede realizar para modelizar la pérdida de potencia de la señal inalámbrica es, según [11]:

$$P_L[dB] = P_{Lo}[dB] + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (3.1)$$

Siendo  $P_L$  la pérdida a una distancia  $d$  del transmisor,  $P_{Lo}$  es la pérdida a una distancia  $d_0$ ,  $n$  es un valor que depende del entorno (del material del edificio, los muebles que hay en él, personas, etc.) y por último  $X_\sigma$  representa un valor aleatorio en dB, que sigue una distribución normal con desviación típica de  $\sigma$  dB. La variable  $n$  suele tener un valor entre 1,8 y 2,6, y  $\sigma$  suele tener un valor de 1,5 a 7,2.

Un ejemplo de esto se puede encontrar en la figura 3.10 donde se pone de manifiesto la pérdida de potencia cuando la señal atraviesa los límites del laboratorio 104. Allí se observa que la señal dentro del 104 mantiene unos niveles de potencia bastante estables y cuando traspasa las paredes el nivel de intensidad decrece considerablemente.

Una cuestión importante, además de ver el valor óptimo de  $n$  para cada entorno, sería ver si  $\sigma$  ha de ser constante o es mejor hacerlo variable con la distancia. Esto es porque el multitrayecto es mucho más evidente cuando el receptor está cerca del transmisor, ya que los multitrayectos aún tienen un valor apreciable cuando la potencia de la señal es elevada. Los desvanecimientos de pequeña escala no son importantes para este trabajo ya que al evolucionar con el tiempo solo nos importa la media de la potencia de señal recibida, y en ella los desvanecimientos de pequeña escala tienen una media de 0 porque a largo plazo tienden a anularse todos los frentes de onda secundarios más débiles.

### 3.4.3 Propagación en Interiores

Como se ha explicado en el punto anterior, los desvanecimientos de pequeña escala tratan de explicar la propagación de la señal inalámbrica desde el punto de vista de la cobertura de la planta o la colocación óptima del usuario móvil. Sin embargo, para estudiar únicamente los sistemas de localización no necesitamos saber cómo se va a comportar la señal en todo momento, sino *solamente* cuál va a ser ese comportamiento en promedio.

Un estudio muy completo de la propagación de la señal inalámbrica se puede encontrar en, [12] y en el mismo se destacan las siguientes conclusiones:

- La presencia de un usuario cerca de la antena receptora tiene una influencia significativa en la propagación de la señal inalámbrica. De acuerdo con [12], modifica la media de la señal alrededor de  $\pm 1\text{dB}$ , mientras que la desviación típica se incrementa  $2\text{dB}$ . Por otro lado, según [12], la orientación del usuario causa una variación de hasta  $\pm 5\text{dB}$  en la media de la señal inalámbrica. El cuerpo humano posee un 70% de agua, la cual tiene una frecuencia de resonancia de  $2,4\text{GHz}$ . Esto quiere decir que parte de la RSS es absorbida por el cuerpo humano y por tanto atenúa la señal inalámbrica, hasta  $9,32\text{dB}$  según [12].

- Aunque puede bastar con dos puntos de acceso para establecer un sistema de localización con pocas localizaciones, en nuestros resultados hemos visto que el funcionamiento comienza a ser aceptable para un sistema de localización cuando existen alrededor de 3 puntos de acceso. Es altamente recomendable que el número de puntos de acceso sea mayor, porque así se podrían emplear con mayor fiabilidad los métodos de estimación de la posición.

### 3.5 Conclusiones del capítulo

Luego de haber puesto en práctica el sistema se arriban a las siguientes conclusiones:

- Para que el sistema de localización sea lo más fiable posible, en la etapa de medición estática se deben tomar la mayor cantidad de muestras posibles.
- Los métodos KNN y WKNN son una buena opción para estimar la posición en un sistema de localización utilizando la tecnología RSSI.
- La señal inalámbrica es muy sensible a las condiciones del medio, por lo que es muy difícil que en un mismo punto se tomen mediciones iguales.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

La realización de este trabajo nos permitió arribar a las siguientes conclusiones:

- Se diseñó un sistema práctico basado en mediciones de RSSI que permite la localización de dispositivos móviles en redes inalámbricas basadas en infraestructura.
- La implantación del sistema requiere de un estudio previo de la propagación de la señal inalámbrica, ya que debido a las fluctuaciones de esta, es muy difícil que la estimación de la posición sea de manera exacta.
- Los métodos KNN y WKNN, utilizados para estimar la posición, son métodos cuya exactitud y precisión dependen de las condiciones del entorno y de la estructura del área de interés.
- Las pruebas experimentales realizadas permitieron validar el sistema de localización verificándose que en áreas con un adecuado nivel de intensidad de la señal se puede ubicar a los terminales con una exactitud media de 1.05m, mientras que en áreas donde el nivel de intensidad de la señal es pobre, la exactitud media con que se ubica a los terminales es de 5.48m.

### **Recomendaciones**

Para continuar desarrollando los temas de esta investigación se recomienda:

- Extender la aplicación del sistema a otras áreas de la universidad, de manera que este pueda formar parte de los servicios que se ofrecen en la misma.
- Implementar otros algoritmos de localización y comparar los resultados con los de este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tabernilla, L. D.-A. 2007. Sistema de Localización en Interiores. Universidad Politécnica de Madrid.
- [2] Romero, L. M. 2009. Estudio Experimental de los Errores de Posicionamiento en Interiores Mediante Redes Inalámbricas Ad-Hoc. Universidad Politécnica de Madrid.
- [3] Tadakamadla, Sh., (2006). Indoor Local Positioning System for ZigBee, based on RSSI. Tesis de Maestría, Department of Information Technology and Media, Mid Sweden University.
- [4] Gualdrón, O. P., S; De Luque, L; Díaz, I Y Vázquez, S 2006. Una herramienta para la predicción de la Intensidad de la Señal Recibida (RSSI) para Wireless LAN 802.11b. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada.
- [5] Nuño Barrau, G. y J.M. Páez Borrallo, (2006a). “A New Location Estimation System for Wireless Networks Based on Linear Discriminant Functions and Hidden Markov Models” en EURASIP Journal on Applied Signal Processing, Volume 2006, pp. 1-17.
- [6] Borges, A. G. 2010. Evaluación de algoritmos de estimación de la posición en interiores. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba.
- [7] Nebot, E. 2002. Simultaneous Localization and Mapping Summer School. Australian Centre for Field Robotics, University of Sydney, Australia.
- [8] Páez-Borrallo, J. M.; Nuño Barrau, G. Y. 2006. Algoritmos para localización en interiores mediante WLAN comerciales basados en funciones discriminantes lineales y modelos ocultos de Markov. Tesis Doctoral ETSI Telecomunicación, Madrid.
- [9] Nir Sofer 2008. WirelessNetView.

- Disponible en: <http://www.nirsoft.net>
- [10] Jorgen Bach Andersen, T. R., y Yoshida S. , 1995. Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels. IEEE Communications Magazine.
- [11] Sklar B. 1997, “Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communications Systems: I. Characterization” IEEE Communications Magazine, vol. 35, no. 7, pp. 90-100.
- [12] Kaemarungsi, K., Krishnamurthy, P. 2004, “Properties of Indoor Received Signal Strength for WLAN Location Fingerprinting”, IEEE Mobiquitous , pp. 14-23, Boston, MA.

## ANEXOS

### Anexo I Función *getrssi*

```
function [rssi, macAddress] = getrssi(nSamples, period)

    %[status, data] = system('type data.txt');
    macAddress = {};
    rssi = {};
    for k = 1:nSamples
        % Ejecutar el programa de captura de los valores de RSSI
        system('.\Programa\WirelessNetView /scomma data.txt');
        % Leer los datos del fichero "data.txt"
        fid = fopen('data.txt');
        data = textscan(fid, '%d16 %s', 'delimiter', ',');
        fclose(fid);
        % Dirección MAC de los APs visibles
        theseMacAddress = data{2};
        % valores de RSSI para los APs visibles
        theseRssi = data{1};
        % Cantidad de APs detectados
        nMacAddress = numel(data{2});
        for m = 1:nMacAddress
            theseMacAddress_m = theseMacAddress{m};
            theseRssi_m = theseRssi(m);
            flag = false;

            for n = 1:numel(macAddress)
                if strcmp(theseMacAddress_m, macAddress{n})
                    flag = true;
                    idx = n;
                    break;
                end
            end

            if flag == false
                macAddress = [macAddress, theseMacAddress_m];
                rssi = [rssi, theseRssi_m];
            else
                rssi{idx} = [rssi{idx}, theseRssi_m];
            end
        end
    end
    pause(period);
```

```

end

nMacAddress = numel(macAddress);
cellrssi = rssi;
rssi = zeros(1, nMacAddress);
for m = 1:nMacAddress
    rssi(m) = mean(cellrssi{m});
end

```

## Anexo II Función *saverssi*

```

function saverssi(actualposition, nSamples, interval)
%SAVERSSI Guarda valores de RSSI recibidos de diferentes APs.

load mediciones macAddress positions rssi
positions = [positions; actualposition];
[actualRssi, actualMacAddress] = getrssi(nSamples, interval);
% Hacer corresponder el orden de las muestras con el orden de las
% direcciones MAC
[newMacAddress, newRssi, orderedRssi] = ordersample(macAddress, ...
                                                    actualMacAddress, ...
                                                    actualRssi);

macAddress = [macAddress, newMacAddress];
rssi = [rssi, -Inf*ones( size(rssi, 1), numel(newRssi) )];
rssi = [rssi; [orderedRssi, newRssi] ];
save mediciones macAddress positions rssi

```

## Anexo III Función *clearrssi*

```

function clearrssi(range)

load mediciones macAddress positions rssi
if strcmp(range, 'all')
    positions = [];
    rssi = [];
    macAddress = {};
    save mediciones macAddress positions rssi
else
    positions(range, :) = [];
    rssi(range, :) = [];
    save mediciones macAddress positions rssi
end

```

## Anexo IV Función *ordersample*

```
function [newMacAddress, newRssi, orderedRssi] = ordersample(macAddress,
...
actualMacAddress, actualRssi)

    nActualMacAddress = numel(actualMacAddress);

orderedRssi = -Inf*ones(1, numel(macAddress));
newRssi = [];
newMacAddress = {};
for k = 1:nActualMacAddress
    actualMacAddress_k = actualMacAddress{k};
    actualRssi_k = actualRssi(k);
    flag = false;

    for m = 1:numel(macAddress)
        macAddress_m = macAddress{m};
        if strcmp(actualMacAddress_k, macAddress_m)
            flag = true;
            idx = m;
            break;
        end
    end

    if flag == true
        orderedRssi(idx) = actualRssi_k;
    else
        newMacAddress = [newMacAddress, actualMacAddress_k];
        newRssi = [newRssi, actualRssi_k];
    end
end
end
```

## Anexo V Función *estimatepos*

```
function actualPos = estimatepos1(getSamplesOptions, algorithmOptions)

actualPos = [];
load mediciones macAddress positions rssi
[validFlag, emptyFlag] = checksamples(macAddress, positions, rssi);

if ~validFlag
    return;
end

if emptyFlag
    msg = {'Para estimar la posición es necesario tener almacenada más de
una muestra'};
    msgbox(msg, 'Error', 'error', 'modal')
    return;
end
end
```

```

nSamples = getSamplesOptions.nSamples;
interval = getSamplesOptions.interval;
[actualRssi, actualMacAddress] = getrssi(nSamples, interval);
% Hacer corresponder el orden de las muestras con el orden de las
% direcciones MAC
[newMacAddress, newRssi, actualRssi] = ordersample(macAddress, ...
                                                  actualMacAddress, ...
                                                  actualRssi);

% dBm --> mW
rssi = 10.^(rssi/10);
actualRssi = 10.^(actualRssi/10);

[nRssiSamples, nMacAddress] = size(rssi);
actualRssi = actualRssi(ones(nRssiSamples, 1), :);
switch algoritmoOptions.method
    case 'knn'
        p = algoritmoOptions.powerNorm;
        k = algoritmoOptions.kNeighbors;
        k = min(k, size(rssi, 1));
        distance = (1/nMacAddress)*sum( abs(actualRssi - rssi).^p ,2).^p;
        [distance, idx] = sort(distance);
        kBestSamples = positions( idx(1:k), :);
        actualPos = mean( kBestSamples );
    case 'wknn'
        p = algoritmoOptions.powerNorm;
        k = algoritmoOptions.kNeighbors;
        k = min(k, size(rssi, 1));
        distance = (1/nMacAddress)*sum( abs(actualRssi - rssi).^p ,2).^p;
        [distance, idx] = sort(distance);
        kBestSamples = positions( idx(1:k), :);
        weights = 1./( distance(1:k).^2 + eps);
        weightsSum = sum(weights);
        weights = weights( :, ones(1, 2) );
        actualPos = sum(weights.*kBestSamples, 1)./weightsSum;
end

```

## Anexo VI Función *intensitymap*

```

function intensitymap(I, scale, AP, cmapname, nomap)

imSize = size(I);

xmax = imSize(2)*scale;
ymax = imSize(1)*scale;

load mediciones3105 positions rssi
rssi(rssi > 0) = -rssi(rssi > 0);

x = linspace(0, xmax, imSize(2));

```

```

y = linspace(0, ymax, imSize(1));

[X,Y] = meshgrid(x, y);
RSSI = griddata(positions(:, 1), positions(:, 2), rssi(:, AP), X,Y);
RSSI(RSSI == -Inf) = NaN;

minRSSI = min( RSSI(:) );
maxRSSI = max( RSSI(:) );

if nomap == true
    imagesc([0, xmax], [0 ymax], RSSI)
    axis image
    colormap(cmapname);
else
    cmap = colormap(cmapname);
    nCmapLevels = size(cmap, 1);

    slope = (nCmapLevels - 1)/(maxRSSI - minRSSI);

    normRSSI = round( slope*RSSI + 1 - slope*minRSSI);
    normRSSI(normRSSI < 1) = 1;
    normRSSI(normRSSI > nCmapLevels) = nCmapLevels;

    rgbRSSI = ind2rgb(normRSSI, cmap);
    Idx = ~isnan(normRSSI);
    rgbRSSI = uint8(255*rgbRSSI);

    Idx = Idx & ( I(:, :, 1) == 255 ) & ( I(:, :, 2) == 255 ) & ( I(:, :,
3) == 255 );
    Idx = Idx(:, :, ones(1, 1, 3) );

    I(Idx) = rgbRSSI(Idx);

    image([0, xmax], [0 ymax], I);
    axis image
end

colorbar
set(gcf, 'Color', 'w');
set(gca, 'FontSize', 6)

```

## Anexo VII Función *getsamples*

```

function varargout = getsamples(varargin)
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @getsamples_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @getsamples_OutputFcn, ...

```

```

        'gui_LayoutFcn', [] , ...
        'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

%=====
%
% --- Executes just before getsamples is made visible.
function getsamples_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
%#ok<*INUSL>
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin    command line arguments to getsamples (see VARARGIN)

% Choose default command line output for getsamples
handles.output = hObject;

% Internal variables initialization
handles.ismaploaded = false;
handles.image = [];
handles.filename = get(handles.filename_edit, 'String');
handles.realActualPos = [];
handles.estimateActualPos = [];
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes getsamples wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

%=====
%
% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = getsamples_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)

varargout{1} = handles.output;

%=====
%
function setscale_edit_Callback(hObject, eventdata, handles) %#ok<*DEFNU>

updatemap(handles);

%=====
%
% --- Executes on button press in loadmap_pushbutton.

```

```

function loadmap_pushbutton_Callback(hObject, eventdata, handles)

[FileName, PathName] = uigetfile({'*.jpg'; '*.bmp'});
I = imread( [PathName, FileName]);
handles.ismaploaded = true;
handles.image = I;
updatemap(handles);
guidata(handles.figure1, handles);

%=====
%--- Executes on button press in addsample_pushbutton.
function addsample_pushbutton_Callback(hObject, eventdata, handles)

dcm_obj = datacursormode(handles.figure1);
info_struct = getCursorInfo(dcm_obj);
if ~isfield(info_struct, 'Position')
    msgbox('Debes introducir un punto antes', 'Ayuda', 'help', 'modal')
    return;
else
    pos = info_struct.Position;
    nSamples = str2double( get(handles.nSamples_edit, 'String') );
    interval = str2double( get(handles.interval_edit, 'String') );
    if isnan(nSamples) || isnan(interval)
        msgbox('El número de muestras y el intravallo de captura deben ser
números reales', 'Error', 'error', 'modal')
    else
        nSamples = round(real(nSamples));
        interval = real(interval)/1e3;
        saverssi([pos(1), pos(2)], nSamples, interval);
        updatemap(handles);
    end
end

%=====
%--- Executes on button press in clear_pushbutton.
function clear_pushbutton_Callback(hObject, eventdata, handles)

str = get(handles.range_edit, 'String');
if strcmp(str, 'all')
    range = str;
else
    range = eval(str);
end
clearrrssi(range);
updatemap(handles);

%=====
%--- Executes on button press in estimatepos_pushbutton.
function estimatepos_pushbutton_Callback(hObject, eventdata, handles)

if ~handles.ismaploaded
    msgbox('Debes cargar un mapa antes', 'Ayuda', 'help', 'modal')

```

```

    return;
end

[Selection,ok] = listdlg('PromptString','Método:',...
                        'SelectionMode','single',...
                        'ListString',{'KNN','WKNN'});

if ~isempty(ok)

    nSamples = str2double( get(handles.nSamples_edit, 'String') );
    interval = str2double( get(handles.interval_edit, 'String') );

    if isnan(nSamples) || isnan(interval)
        msgbox('El número de muestras y el intravalado de captura deben ser
números reales', 'Error', 'error', 'modal')
    else
        getSamplesOptions.nSamples = round(real(nSamples));
        getSamplesOptions.interval = real(interval)/1e3;
    end

    actualPos = [];
    switch Selection
        case 1
            algorithmOptions.method = 'knn';
            prompt = {'Norma:','Número de vecinos:'};
            dlg_title = 'Parámetros del algoritmo';
            num_lines = 1;
            def = {'2','5'};
            answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,def);
            p = str2double(answer{1});
            k = str2double(answer{2});
            if ( ~isnan(p) ) && ( ~isnan(k) ) && isreal(k) && isreal(p)
                algorithmOptions.powerNorm = p;
                algorithmOptions.kNeighbors = round(k);
                actualPos = estimatepos1(getSamplesOptions,
algorithmOptions);
            else
                msgbox('El número de muestras y el intravalado de captura
deben ser números reales', 'Error', 'error', 'modal')
            end

        case 2
            algorithmOptions.method = 'wknn';
            prompt = {'Norma:','Número de vecinos:'};
            dlg_title = 'Parámetros del algoritmo';
            num_lines = 1;
            def = {'2','5'};
            answer = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,def);
            p = str2double(answer{1});
            k = str2double(answer{2});
            if ( ~isnan(p) ) && ( ~isnan(k) ) && isreal(k) && isreal(p)
                algorithmOptions.powerNorm = p;
                algorithmOptions.kNeighbors = round(k);
                actualPos = estimatepos1(getSamplesOptions,
algorithmOptions);
            else

```

```

        msgbox('La norma y la cantidad de vecinos deben ser
números reales', 'Error', 'error', 'modal')
    end

end

if ~isempty(actualPos)

    axes(handles.axes)
    XLim = get(gca, 'XLim');
    YLim = get(gca, 'YLim');
    isValid = ( actualPos(1) >= XLim(1) ) && ...
              ( actualPos(1) <= XLim(2) ) && ...
              ( actualPos(2) >= YLim(1) ) && ...
              ( actualPos(2) <= YLim(2) );

    if ~isValid
        msgbox('La posición estimada está fuera de los límites del
mapa actual', 'Advertencia', 'warn', 'modal');
        return;
    else
        handles.estimateActualPos = actualPos;

        updatemap(handles);

        if ~isempty( handles.realActualPos )
            error = sqrt( sum( (handles.realActualPos - actualPos).^2
) );
            set(handles.error_text, 'String', num2str(error));
        end
    end
end
end

guidata(handles.figure1, handles);

%=====
==
function filename_edit_Callback(hObject, eventdata, handles)

handles.filename = get(hObject, 'String');
updatemap(handles);
guidata(handles.figure1, handles);
%=====
==

function updatemap(handles)

if ~isempty(handles.image)
    iSize = size(handles.image);
    scale = str2num( get(handles.setscale_edit, 'String') );
    xScale = scale(1); yScale = scale(2);
    xMax = xScale*iSize(2);
    yMax = yScale*iSize(1);

```

```

axes(handles.axes)
set(gca, 'Visible', 'on');
image([0, xMax], [0 yMax], handles.image);
axis image
set(gca, 'FontSize', 6)
end

load(handles.filename, 'positions')
if ~isempty(positions)
    hold on
    plot(positions(:, 1), positions(:, 2), 'o', 'MarkerFace', 'g', ...
        'MarkerEdge', 'r', ...
        'MarkerSize', 5);

    hold off
end

if ~isempty(handles.estimateActualPos)
    pos = handles.estimateActualPos;
    hold on
    plot(pos(1), pos(2), 'p', 'MarkerFace', 'r', ...
        'MarkerEdge', 'b', ...
        'MarkerSize', 8);

    hold off
end

if ~isempty(handles.realActualPos)
    pos = handles.realActualPos;
    hold on
    plot(pos(1), pos(2), 's', 'MarkerFace', 'b', ...
        'MarkerEdge', 'g', ...
        'MarkerSize', 8);

    hold off
end

%=====
% --- Executes on button press in actualpos_pushbutton.
function actualpos_pushbutton_Callback(hObject, eventdata, handles)

dcm_obj = datacursormode(handles.figure1);
info_struct = getCursorInfo(dcm_obj);
if ~isfield(info_struct, 'Position')
    msgbox('Debes introducir un punto antes', 'Ayuda', 'help', 'modal')
    return;
else
    handles.realActualPos = info_struct.Position;
    updatemap(handles);
end

guidata(handles.figure1, handles);

```

## Glosario de términos

**AoA:** *Angle of Arrival* (Ángulo de llegada)

**AP:** *Access Point* (Punto de acceso)

**FIE:** Facultad de Ingeniería Eléctrica

**GPS:** *Global Positioning System* (Sistema de posicionamiento global)

**HMM:** *Hidden Markov Models* (Modelos ocultos de Markov)

**KNN:** *k-Nearest Neighbors* (k vecinos más cercanos)

**LAN:** *Local Area Network* (Red de área local)

**LoS:** *Line of Sight* (Línea de visión directa)

**NIC:** *Network Interface Card* (Tarjeta de interfaz de red)

**RFID:** *Radio Frequency Identification* (Identificación por radiofrecuencia)

**RSS:** *Received Signal Strength* (Potencia de señal recibida)

**TM:** Terminal Móvil

**ToA:** *Time of Arrival* (Tiempo de llegada)

**UWB:** *Ultra WideBand* (Gran ancho de banda)

**Wi-Fi:** *Wireless Fidelity* (Fidelidad inalámbrica)

**WKNN:** *Weighted k-Nearest Neighbors* (k vecinos más cercanos con peso)

**WLAN:** *Wireless LAN* (LAN inalámbrica)

