



**Universidad  
Zaragoza**

## Proyecto Fin de Carrera

DESARROLLO DE APLICACIONES MÓVILES PARA  
LA LOCALIZACIÓN DE DISPOSITIVOS MÓVILES  
CON SISTEMA OPERATIVO ANDROID EN  
ENTORNOS DE INTERIOR DE CENTROS  
COMERCIALES MEDIANTE TECNOLOGÍA WIFI

Autor

José Luis Fernández Giménez

Director  
Jorge Moliné Gómez

Ponente  
Antonio Valdovinos Bardají

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2017



# DESARROLLO DE APLICACIONES MÓVILES PARA LA LOCALIZACIÓN DE DISPOSITIVOS MÓVILES CON SISTEMA OPERATIVO ANDROID EN ENTORNOS DE INTERIOR DE CENTROS COMERCIALES MEDIANTE TECNOLOGÍA WIFI

## Resumen

En esta Memoria se describe el Proyecto Fin de Carrera que he realizado, y que complementa a otro realizado en la Universidad de Zaragoza, cuyo contenido se basa en el ofrecimiento de servicios a clientes en entornos interiores mediante tecnología UWB y conexión a Internet, pero que requiere de la localización de dispositivos móviles en dichos entornos.

El conocimiento de la posición del usuario sirve como base para el desarrollo de aplicaciones móviles que pueden proporcionar gran variedad de servicios tanto para estos usuarios como para los operadores móviles o para las empresas gestoras de los edificios en los que se realice la localización. Dentro de los sistemas de localización en interiores, resultan de especial interés aquellos basados en la tecnología Wi-Fi, dada la importante extensión que ha experimentado en los últimos años, lo que permite su utilización en gran cantidad de edificios tanto públicos (museos, hospitales, colegios, universidades, edificios administrativos, ...) como privados (centros comerciales, clínicas privadas, ...). En el caso de este Proyecto, se han tomado como referencia los centros comerciales, ya que el Proyecto al que complementa se centra en este tipo de recintos. La localización del dispositivo móvil se basa en estimar su posición en un punto de entre los registrados en un mapa radio creado previamente, método conocido como Fingerprinting y que más tarde se explicará.

En esta línea, este trabajo tiene como objetivo principal la creación de dos aplicaciones para dispositivos móviles basadas en el sistema operativo Android, común hoy en día en la mayoría de dispositivos móviles. La primera aplicación se encarga de la creación del mapa radio, que no es sino una base de datos de posibles puntos de localización que se utilizará en la segunda aplicación para el cálculo y estimación de la posición del dispositivo móvil dentro del recinto estudiado. El escenario tomado como referencia para el Proyecto es la planta baja del Centro Comercial Augusta de Zaragoza.

Tras la realización de las aplicaciones se ha hecho un estudio del funcionamiento de ambas. Además, se han tenido en cuenta posibles mejoras del sistema y futuras líneas de actuación, tanto en su comercialización y mejora, como en el desarrollo de nuevas aplicaciones derivadas de él.



## *Agradecimientos*

*Quiero dar mi más sincero agradecimiento a Jorge; en primer lugar, por ofrecerme la posibilidad de realizar este proyecto fin de carrera y, en segundo lugar, por haberme dirigido en él, por su disponibilidad y confianza. Del mismo modo, quisiera agradecer la colaboración y consejos ofrecidos por Toni; con su ayuda he conseguido finalizar mi trabajo y poder mostrarlo a todo aquél que desee verlo.*

*En general, a todos aquellos profesores, alumnos y ex-alumnos de la Escuela de Ingeniería con quienes he compartido estos años de carrera.*

*Deseo expresar mi muy especial agradecimiento a mis familiares y amigos por su apoyo en los buenos y malos momentos, su inquebrantable confianza y su ánimo.*

*Por último, gracias a Eva por estar a mi lado. Al fin y al cabo, es ella quien ha soportado la carga emocional que he puesto en este trabajo siempre animándome a mirar hacia delante.*



# Índice de Contenidos

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
1.1 MOTIVACIÓN Y CONTEXTO.....	7
1.2 OBJETIVOS Y ALCANCE.....	9
1.3 ESTRUCTURA DEL PROYECTO .....	10
1.3.1 Plan de trabajo .....	10
1.3.2 Documentación del proyecto.....	11
<b>CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>14</b>
2.1 INTRODUCCIÓN .....	14
2.2 SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN .....	14
2.2.1 Tecnologías inalámbricas para localización en interiores.....	17
2.2.2 Técnicas matemáticas para localización en interiores basada en redes inalámbricas .....	21
2.2.3 Métodos de predicción para localización basada en fingerprinting .....	28
<b>CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA Y DECISIONES .....</b>	<b>30</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	30
3.2 ANÁLISIS DE REQUISITOS DEL SISTEMA .....	30
3.3 HERRAMIENTAS UTILIZADAS .....	33
3.4 DISEÑO DEL SISTEMA.....	33
3.4.1 Diseño del mapa radio .....	34
3.4.2 Diseño del posicionador .....	38
3.5 DIAGRAMA FINAL DEL SISTEMA .....	41
3.6 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LAS APLICACIONES.....	43
3.6.1 Descripción general de las aplicaciones. ....	43
3.6.2 Descripción detallada de la aplicación GeneradorMapaPotencias. ....	43
3.6.3 Flujo de datos en la aplicación GeneradorMapaPotencias. ....	49
3.6.4 Descripción detallada de la aplicación Posicionador. ....	52
3.6.5 Flujo de datos en la aplicación Posicionador. ....	54
<b>CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DEL SISTEMA Y PRUEBAS .....</b>	<b>56</b>
4.1 INTRODUCCIÓN .....	56
4.2 PRUEBAS, ERRORES Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA .....	57
4.3 ESTUDIO DE RESULTADOS PARA LAS PRUEBAS DEL SISTEMA.....	61
4.3.1 Primera prueba. ....	61
4.3.2 Segunda prueba.....	64
4.3.3 Conclusiones de las pruebas de validación.....	66
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>67</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	67
5.2 FUTURAS MEJORAS .....	68
5.3 CONSIDERACIONES PERSONALES .....	69
<b>CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>71</b>
<b>CAPÍTULO 7. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS .....</b>	<b>72</b>
7.1 ÍNDICE DE FIGURAS .....	72
7.2 ÍNDICE DE TABLAS .....	72

<b>ANEXO A. MANUAL DE USUARIO DE LAS APLICACIONES. ....</b>	<b>75</b>
A.1 APLICACIÓN GENERADORMAPAPOTENCIAS .....	75
<i>A.1.1 Pantalla principal.....</i>	<i>75</i>
<i>A.1.2 Selección de recinto y planta .....</i>	<i>76</i>
<i>A.1.3 Nueva medición .....</i>	<i>77</i>
<i>Inicio de un nuevo mapa radio .....</i>	<i>77</i>
<i>Continuación de un mapa radio ya existente .....</i>	<i>80</i>
<i>A.1.4 Visualizar medición .....</i>	<i>81</i>
<i>Cambio a visualización en modo mapa .....</i>	<i>82</i>
A.2 APLICACIÓN POSICIONADOR.....	83
<i>A.2.1 Pantalla principal.....</i>	<i>83</i>
A.3 INTERACCIÓN ENTRE USUARIO Y APLICACIÓN .....	86
A.4 ÍNDICE DE FIGURAS .....	90



## Capítulo 1. Introducción

Este Proyecto pertenece a la titulación de Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad de Zaragoza, y consiste en la localización de dispositivos móviles en entornos de interior de centros comerciales.

### 1.1 Motivación y contexto

Este trabajo viene motivado por otro proyecto realizado con anterioridad en la Universidad de Zaragoza [1], consistente en la implementación de un demostrador de servicios basados en localización en el escenario de un centro comercial. Dicho proyecto cubrió el desarrollo de las aplicaciones cliente y servidor de dicho demostrador, para integrarlas con un sistema de localización UWB y con UMTS/HSDPA como tecnología de acceso.

Actualmente existe una creciente demanda de aplicaciones, muchas de ellas basadas en localización (Location Based Applications o LBA), sistemas que ofrecen un servicio personalizado a cada usuario basándose en su posición geográfica. Una importante característica de estos servicios debe ser la obtención de la posición en tiempo real. También puede ser de gran utilidad el uso directo de la localización en lugares públicos como hospitales, museos, centros comerciales, aeropuertos, estaciones, así como en edificios privados, donde se requiera la obtención de la posición concreta de personas u objetos, como, por ejemplo, en fábricas, almacenes, colegios, residencias de la tercera edad u otros similares. Motivos tanto comerciales como de seguridad pueden requerir estas soluciones en dichos lugares, teniendo en cuenta que también pueden resultar útiles para mejorar la gestión de recursos radio por la propia red de acceso celular.

Hoy en día, la tecnología de localización más extendida es GPS, que trabaja con las señales recibidas de diferentes satélites pero, ya que éstas no se reciben con suficiente potencia en entornos interiores, se han de utilizar otras tecnologías, como UWB, Bluetooth, WLAN o RFID, entre otras. De entre todas ellas, la seleccionada para este proyecto es WLAN o Wi-Fi. El bajo coste y la facilidad de implantación de los puntos de acceso que conforman una red Wi-Fi en la actualidad, hacen que su presencia en todo tipo de edificios sea cada vez mayor. De entre todas las técnicas de localización posibles mediante la utilización de dicha tecnología, nos centraremos en "fingerprinting", que no es sino la creación de un mapa de puntos (conocido

como mapa radio), cada uno de los cuales posee una huella única de potencias recibidas de los diferentes puntos de acceso.

Las complicaciones derivadas del uso de la tecnología Wi-Fi y de la técnica fingerprinting provienen, especialmente, de las características de la propagación en interiores, que provocan aleatoriedad en la señal de potencia recibida por el dispositivo móvil en cada momento, además de las pérdidas de propagación sufridas en interiores debido a la arquitectura de los edificios y a la cantidad de objetos y personas presentes en las cercanías del dispositivo en algunos momentos del día según el lugar de su utilización.

## **1.2 Objetivos y alcance**

En relación al contexto detallado anteriormente, el principal objetivo de este proyecto fin de carrera es la creación de una aplicación (o la combinación de dos aplicaciones) para dispositivos móviles, basadas en el sistema operativo Android, cuyo objetivo es poder localizar un dispositivo móvil en el interior de un edificio, donde sistemas como el GPS no son fiables o no son capaces de proporcionar la posición con una cierta exactitud, para proceder posteriormente a la evaluación del funcionamiento del sistema completo, mediante la realización de una serie de pruebas en un entorno concreto y el análisis de los resultados obtenidos, con el fin de comprobar dicho funcionamiento.

Para la realización de este trabajo se seleccionará una tecnología disponible y un método de localización asociado a ella de entre los existentes. Dicha tecnología habrá de tener un coste bajo y una cierta facilidad de implementación, pues el sistema ha de ser accesible para cualquier usuario y operador del servicio.

El sistema habrá de ser escalable y modificable, para poder ser extendido o modificado en cualquier momento, siendo así adaptable a las posibles condiciones cambiantes del escenario. Además, deberá poder ser implementado para cualquier escenario interior que cumpla las especificaciones del proyecto y de la tecnología requeridas, aunque para la demostración y pruebas se tome uno en particular.

Como objetivo secundario, se han de conseguir unos ciertos niveles de precisión (puntos estimados de localización del usuario coincidentes o próximos al real en cada momento), aunque el objetivo principal es la creación de las aplicaciones y la demostración de su funcionamiento.

## 1.3 Estructura del proyecto

### 1.3.1 Plan de trabajo

El plan de trabajo seguido se estructura de la siguiente manera:

- Estudio del estado del Arte y selección de la tecnología y modelo de trabajo considerados más adecuados, de entre los existentes, y que cumplan los requisitos estipulados.
- Diseño de la primera aplicación llamada *GeneradorMapaPotencias*, cuyo objetivo final será la creación de un fichero en formato XML para el almacenamiento de los datos necesarios para el correcto funcionamiento de la segunda aplicación. *GeneradorMapaPotencias* es invisible para el usuario, quien desconocerá su existencia y únicamente dispondrá de la otra aplicación y los ficheros XML necesarios, por lo que contiene la mayor complejidad de diseño. Se intentará que un técnico encargado de la creación del mapa radio pueda realizar correctamente y de la forma más sencilla posible su trabajo. Como funcionalidades añadidas, deberá permitir:
  - La existencia de un menú que permita la selección del centro comercial y de la planta de los que se quieren tomar medidas, aunque sólo se encuentre disponible el mapa del recinto sobre el que se trabaja.
  - La posibilidad de almacenar los datos registrados hasta el momento en un fichero en formato XML y la continuación de la creación del mapa radio en otra sesión, cuando sea necesario, a partir del estado actual.
  - La posibilidad de visualizar los datos guardados hasta el momento en las diferentes sesiones de medida, tanto en formato texto, como en formato gráfico.
  - La visualización de una imagen con el plano de la planta sobre la que se esté trabajando.
  - Una cierta flexibilidad en el código y la existencia de un menú en la aplicación para la adición de nuevas opciones y funcionalidades en el futuro.
- Diseño de la segunda aplicación llamada *Posicionador*, cuyo objetivo es la decisión del punto estimado de localización del usuario y su dispositivo móvil, en tiempo lo más real posible, de entre la lista de

puntos del mapa radio creado en la aplicación anterior para el recinto y planta seleccionados. Posicionador estará disponible para el usuario final, así como los ficheros XML creados por la primera aplicación. Es por ello que se pretende que sea lo más sencilla posible de utilizar y muestre los resultados deseados de manera clara y fácil de comprender. Como funcionalidades añadidas, deberá permitir:

- La visualización en todo momento de una imagen con el plano de la planta en la que se encuentra el usuario y la posición estimada del usuario, que aparecerá indicada mediante un círculo de color azul cada cierto intervalo de tiempo que se detallará posteriormente.
- La posibilidad de evaluar la precisión de la decisión de localización estimada mediante tres opciones que aparecerán en un menú cada vez que se renueve el cálculo de la posición. (Esta opción aparece en la aplicación para la realización de una evaluación del funcionamiento de ésta durante la realización del proyecto, pero no estará disponible para el usuario).
- Evaluación y validación del sistema completo formado por ambas aplicaciones, en base a su funcionamiento como localizador.
- Análisis de posibles mejoras del sistema, incluyendo la posibilidad de modificar la aplicación para que, en lugar de estimar y mostrar la posición del usuario, simplemente entregue el resultado a otra aplicación o forme parte de ella para la prestación de servicios que engloben estas tareas y otras diferentes.
- Realización de la memoria del Proyecto, con la documentación de todas las tareas anteriores, y un anexo con el manual de usuario.

### ***1.3.2 Documentación del proyecto***

La documentación aportada en este Proyecto Fin de Carrera está formada por la actual memoria y su anexo. La estructuración del trabajo se ha realizado de la siguiente manera:

- Capítulo 1. Introducción:
  - En él se explican el contexto y los objetivos del proyecto y, de manera resumida, la forma en que éste se va a estructurar.

- Capítulo 2. Estado del Arte:

- Primero se procede a revisar las tecnologías inalámbricas disponibles actualmente para la localización de dispositivos móviles en interiores.
- A continuación, se presentan las técnicas matemáticas más importantes utilizadas en sistemas de localización en interiores basados en redes inalámbricas.
- Por último, se exponen los métodos de predicción posibles para, en concreto, la utilización de la técnica de fingerprinting con la tecnología Wi-Fi.

- Capítulo 3: Diseño del sistema y decisiones:

- En primer lugar, se hace un análisis de los requisitos que deberá cumplir el sistema.
- En segundo lugar, se presentan las herramientas utilizadas en el proyecto.
- A continuación, se hace una exposición de las principales necesidades a cubrir con este sistema de dos aplicaciones, así como de las alternativas que se consideran para dar solución a los problemas que han ido surgiendo y las decisiones tomadas al respecto.
- Después, se presenta un diagrama completo del sistema ya finalizado.
- Por último, se expone una descripción más detallada del flujo de los datos a través de las clases del código de las aplicaciones. Se ha intentado mantener el orden natural a seguir durante el funcionamiento del sistema y se adjuntan diagramas para una mejor comprensión de las explicaciones.

- Capítulo 4: Evaluación del sistema y pruebas:

- Para comenzar este capítulo, se explica de manera resumida el conjunto de las diferentes pruebas que se han realizado y se comentan las que se han considerado más explicativas e interesantes de todas las que se han realizado, con los errores que han surgido en ellas, conllevando todo ello la mejora y rectificación de algunos segmentos de código de ambas aplicaciones, de cara al funcionamiento final del sistema.
- Estudio de resultados, donde se muestran con más detalle las dos pruebas finales más representativas, con el fin de avalar el

funcionamiento de las dos aplicaciones, que es el objetivo de este trabajo.

- Capítulo 5: Conclusiones:
  - En este último capítulo de la memoria se ha querido realizar una relación de futuras mejoras que se han pensado más interesantes y una serie de consideraciones personales, en las que se ha ofrecido un toque más subjetivo del trabajo realizado.
- Capítulo 6: Bibliografía.
- Capítulo 7. Índice de figuras y tablas.
  
- Anexo: En él se desarrollan de manera más amplia las explicaciones sobre el funcionamiento de las dos aplicaciones. Dicho anexo incluye un manual de usuario, donde se explica el correcto manejo de las aplicaciones.
  - Anexo A: Manual de usuario de las aplicaciones: en este anexo se realiza una explicación a modo de manual de instrucciones del funcionamiento de la aplicación encargada de la creación del mapa radio, GeneradorMapaPotencias, así como de la aplicación Posicionador para la estimación de la posición del usuario. Ambos manuales se han estructurado en función de cada uno de los botones que se pueden pulsar o de las opciones posibles a seleccionar de los menús y se adjuntan imágenes de las diferentes pantallas que van apareciendo según se seleccionan unas opciones u otras. Se ha intentado seguir el orden natural del funcionamiento de la aplicación y se adjuntan diagramas para un mejor entendimiento.

## **Capítulo 2. Estado del Arte**

### **2.1 Introducción**

Este capítulo se va a centrar en la investigación de los sistemas existentes de localización, concretamente en entornos de interior, incluyendo las tecnologías existentes para ello, así como también las técnicas de estimación de la posición utilizadas para la tecnología Wi-Fi, en la que nos centraremos.

### **2.2 Sistemas de localización**

Los sistemas basados en localización (LBS o Location Based Services) han sufrido un importante aumento y juegan un gran papel en la vida actual, dado que prácticamente todo el mundo posee algún dispositivo móvil. Además de para las aplicaciones de mapeo y navegación, la información de localización también puede ser usada para redes sociales u otros usos relacionados con el ocio y el entretenimiento. A modo de ejemplo, se prevé que la cuota de mercado de LBS en 2018 en Norteamérica alcance los 3800 millones de dólares [2].

Los escenarios de localización de LBS pueden dividirse en dos categorías: localización en exteriores o en interiores. Para la localización en exteriores, GPS (Global Positioning System) es el estándar utilizado. GPS utiliza un sistema de satélites que proporciona cobertura global y precisión en un área de 1 a 5 metros. Este sistema es fácil de escalar y el coste de un chip transmisor y receptor de GPS es bajo. Sin embargo, GPS sólo trabaja en áreas abiertas, ya que su señal puede ser bloqueada por edificios, bosques densos y otro tipo de obstáculos físicos. Por tanto, GPS no funciona correctamente en entornos de interior, en los que está fundamentado este proyecto [2].

Los servicios basados en localización en interiores no son solamente una extensión de la localización en exteriores. Pueden funcionar para escenarios específicos y mejorar la calidad de vida así como estimular el mercado. Estos servicios se pueden utilizar para navegar en grandes centros comerciales, algunos de los cuales pueden tener cientos de tiendas.



Un sistema de mapeo y navegación en interiores podría facilitar la localización de la posición de los usuarios y ayudarles a encontrar el mejor camino hacia la tienda que deseen o a servicios como aseos o cambiadores para bebés. La información de localización también puede resultar útil para personas invidentes, guiándolas por el recinto y diciéndoles en qué lugar del edificio se encuentran. Otro escenario importante en cuanto a localización es un incendio o una emergencia, donde estos sistemas serían de gran ayuda a los equipos de evacuación para encontrar a las personas que pudiera haber dentro del edificio o a éstas para salir de él lo antes posible [2].

En la última década se han realizado muchas investigaciones acerca de este tema y se han propuesto diferentes sistemas de localización en interiores, pero los más estudiados son los basados en wireless, y con ellos vamos a desarrollar este trabajo.

La arquitectura de los sistemas de localización en interiores basados en wireless requieren dos elementos: las estaciones que emiten la señal wireless y el dispositivo de usuario que la recibe. A diferencia de los entornos exteriores, en los interiores la propagación de la señal puede ser influenciada por reflexiones, scattering y difracción, principalmente. La potencia de la señal se ve debilitada por multicamino o por zonas de sombra. Los muros, muebles e, incluso, la gente que camina por el recinto van a cambiar la propagación de la onda e introducirán variaciones en la señal recibida por el usuario.

En la localización en interiores, hay varios criterios a tener en cuenta [2]:

- **Exactitud:** indica la fiabilidad del sistema y con qué probabilidad ofrecerá una estimación correcta de la posición.
- **Precisión:** similar a la exactitud, pero mientras aquélla utiliza la media del error de distancia, la precisión hace uso de la derivada del error de distancia. La precisión de diferentes métodos puede variar entre 20 cm y 5 m.
- **Disponibilidad:** es el porcentaje de tiempo en el que el sistema de localización está activo, considerando los requisitos de precisión, cobertura, ... Puede considerarse bajo por debajo del 95% y alto por encima del 99% del tiempo.
- **Cobertura:** se refiere al área cubierta por la localización exacta. Diferentes tecnologías wireless con diferentes rangos de señal podrían necesitar más dispositivos para cubrir un mismo área.
- **Intervalo de actualización:** indica la frecuencia con la que la información de localización se actualiza y se refleja en un mayor o

menor consumo de energía. Una solución para reducir el consumo de energía pasa por incrementar el intervalo de actualización.

- **Coste computacional:** importante criterio, cuyo crecimiento deriva en un consecuente aumento de consumo de potencia en el dispositivo del usuario, que es donde se realizan habitualmente los cálculos.
- **Infraestructura:** la construcción de infraestructura adicional para la implementación del sistema desemboca en un coste económico. Reutilizar la ya existente, si es posible, es una medida a tener en cuenta.
- **Computación offline:** algunos métodos de localización en interiores requieren computación offline que necesita de trabajo intensivo y tiempo de despliegue. A mayores requisitos del sistema, el coste para implementarlo se incrementa, al igual que el coste de mantenimiento. La computación offline también implica recalibración cada cierto tiempo para mantener la exactitud del sistema.
- **Tiempo de localización:** puede variar según el método utilizado. Para métodos que localizan objetos inmóviles, este tiempo será muy pequeño, al contrario que el necesario para localizar objetos en movimiento.
- **Coste económico:** incluye los costes de instalación, mantenimiento, componentes de la infraestructura y dispositivos móviles, así como también la energía requerida para el funcionamiento del sistema.

### ***2.2.1 Tecnologías inalámbricas para localización en interiores***

Las tecnologías wireless más importantes son las que se enumeran a continuación [2] y [3]:

- **FM:** utilizada para emisiones de radio, en la mayoría de las regiones se usa entre 87,5 y 108 MHz de frecuencia. Se ve menos afectada por las inclemencias del tiempo y por los obstáculos, como los muros, y no requiere infraestructura adicional para la localización en interiores. Los receptores de FM son baratos y tienen un menor consumo de potencia que los de otras tecnologías. Sin embargo, las estaciones emisoras se encuentran muy lejos y la longitud de onda de la señal es muy grande (en torno a 3m), lo que implica que la fuerza de la señal FM no sufre cambios significativos en pequeñas distancias, por lo que no es útil para localizar en áreas de pequeño tamaño, como el interior de un edificio. Dado que los emisores de FM utilizan FDMA (acceso múltiple por división de frecuencia) para compartir el espectro, múltiples señales podrían ser usadas para reducir el error introducido por una señal monocal.
- **GSM/WCDMA/LTE:** se utiliza en redes de comunicación móviles. Las frecuencias a las que opera son diferentes según la región, aunque, en España, se encuentran en las bandas de 900 MHz y 1800 MHz para GSM, 900 MHz y 2100 MHz para WCDMA y 800 MHz, 1500 MHz, 1800 MHz y 2600 MHz para LTE. Como estas redes ya tienen cobertura en la mayoría de los edificios, no hay necesidad de infraestructura adicional, pero, por la naturaleza de su protocolo, no están pensadas para usarse en localización en interiores.
- **Wi-Fi:** una de las tecnologías wireless más utilizadas. Sigue una serie de estándares IEEE 802.11. Utiliza dos bandas exentas de licencia: 2,4 GHz y 5 GHz, ésta última con muy pocas interferencias, debido a que no es usada por otras tecnologías inalámbricas. La mayoría de los edificios como centros comerciales o bloques de oficinas ya han desplegado puntos de acceso Wi-Fi que proporcionan cobertura a todo el edificio, sumado al soporte Wi-Fi existente en teléfonos, ordenadores y tablets. Esto se traduce en un coste de infraestructura y de dispositivos de usuario muy bajo.
- **ZigBee:** es una tecnología basada en el estándar IEEE 802.15.4. Ocupa la banda de 868 MHz en Europa, la de 915 MHz en Estados Unidos y Australia y 2,4 GHz en todo el mundo. Se utiliza para

transmisiones de larga distancia entre dispositivos con una tipología de red en malla. Su coste de implementación es bajo, con una baja tasa de transferencia de datos (unos 250Kbps) y poco tiempo de latencia comparada con los estándares de Wi-Fi. En ZigBee, se define el LQI (Link Quality Indication) para indicar la calidad del enlace, que se puede utilizar para obtener la RSS (Received Signal Strength) y, además, existen chips integrados que obtienen la RSSI (Received Signal Strength Indicator o Indicador de potencia de la señal recibida) que facilitan bastante la implementación del sistema.

- **Bluetooth:** se trata de un estándar de red para áreas privadas. Utiliza la bandas de 2,4 GHz, al igual que Wi-Fi en los estándares 802.11 b/g/n, y tiene una tasa de transmisión de datos de unos 3000Kbps. Se suele utilizar para comunicaciones a corta distancia, con altavoces o teléfonos. Su consumo de potencia de transmisión es muy bajo, así que su cobertura también lo es - es menor que con Wi-Fi y otras tecnologías WLAN (Wireless Local Area Network), por lo que no está recomendada para localización en grandes áreas.
- **UWB (Ultra-Wide Band):** a diferencia de otras tecnologías, utiliza pulsos radio inferiores al nanosegundo para transmitir datos en un ancho de banda de amplio espectro (normalmente mayor de 500 MHz o del 20% de la frecuencia central, según la FCC (Federal Communications Commission)). Su transmisión puede llegar a ser considerada como ruido de fondo para otras tecnologías wireless, así que, en teoría, puede utilizar cualquier espectro sin interferir con otros usuarios. La potencia de transmisión es pequeña, -41,4 dBm/MHz según el límite impuesto por la FCC, por tanto con un bajo consumo de potencia, además de su bajo coste, que la convierten en altamente productiva. Otra ventaja es su teórica inmunidad a los problemas del multicamino.
- **RFID (Radio Frequency Identification):** es una tecnología compuesta de dos partes: lector y etiqueta. Ambos utilizan una frecuencia radio y unos protocolos de envío de datos predefinidos. El lector RFID consta de antena, transmisor-receptor, fuente de alimentación, procesador e interfaz de usuario. Las etiquetas constan de un microchip de unos 2 KB de almacenamiento y una antena radio. Si la etiqueta posee una batería, se considera etiqueta activa, y, si no la tiene, pasiva. Ésta última es más barata y tiene un mayor tiempo de vida, lo que reduce los costes del sistema, pero también puede dar lugar a más problemas, como la colisión de etiquetas - cuando el lector captura más de una a la vez - y la colisión de lector - cuando la cobertura de dos lectores se solapa y ambos leen la etiqueta al mismo tiempo -. El rango de

comunicación de RFID es muy corto, entre 1 y 2m, lo que dificulta la cobertura en un área de mayor tamaño.

- **Infrarrojos (IR):** esta tecnología utiliza el espacio invisible del espectro que se sitúa justo por debajo del rojo visible, lo que la convierte en menos invasiva que otras basadas en frecuencias de luz visible. Se pueden utilizar dos tipos: IR directos e IR difusos. IrDA (Infrared Data Association) es un ejemplo de IR directo y se vale de una transmisión de datos ad-hoc punto a punto para un muy bajo consumo de potencia, pero requiere una comunicación LOS de visión directa entre los dispositivos situados a una distancia muy corta y una velocidad de hasta 16 Mbps solamente. IR difuso, en cambio, permite señales más fuertes, con un mayor alcance (9-12m), mediante el uso de LEDs de gran ángulo que emiten señales en muchas direcciones, lo que permite más de una dirección de emisión y no requiere, por tanto, LOS.
- **Ultrasonidos:** las ondas ultrasónicas no interfieren con las ondas electromagnéticas y tienen un rango relativamente corto de actuación. La ventaja de los sistemas de localización basados en esta tecnología es que, tanto los materiales de que están contruidos los edificios como el aire son medios de propagación de estas ondas. La distancia relativa entre los dispositivos puede ser estimada mediante el uso de la técnica ToA que se explicará más adelante. Las coordenadas se pueden estimar también por multilateración de tres o más emisores.
- **Dead Reckoning:** en esta tecnología, un objeto puede determinar su posición aproximada mediante el conocimiento de la anterior posición y la velocidad con que se desplaza. Se trata de una tecnología de navegación que necesita de una posición inicial al comenzar y que va añadiendo y monitorizando los cambios en forma de coordenadas cartesianas o velocidad. Permite la contención de la acumulación de errores de posicionamiento dentro de unos límites predefinidos.
- **Pseudolitos:** dado que las señales de los satélites de GPS no pueden llegar correctamente a muchos espacios interiores, los pseudolitos, que no son sino estaciones emisoras de señales equivalentes a las emitidas por los satélites, permiten a los dispositivos GPS continuar recibiendo señales en interiores. En entornos de interior se ven afectados por el multicamino, las interferencias entre señales de diferentes pseudolitos, la incorrecta sincronización en tiempo debida a sus relojes de baja precisión y por ambigüedades de fase de la portadora.

DESARROLLO DE APLICACIONES MÓVILES PARA LOCALIZACIÓN EN INTERIORES

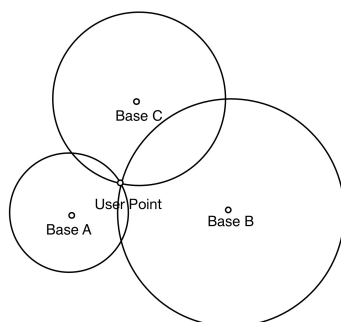
<b><u>TECNOLOGÍA</u></b>	<b><u>CONSUMO DE POTENCIA</u></b>	<b><u>INFRAESTRUCTURA DEDICADA</u></b>	<b><u>RANGO</u></b>	<b><u>PRINCIPALES VENTAJAS</u></b>	<b><u>PRINCIPALES DESVENTAJAS</u></b>
<b>FM</b>	Bajo	No	~100Km		Muy pequeños cambios de señal en distancias cortas
<b>GSM/WCDMA/LTE</b>	Depende	No	100m - 10Km	No interfiere con dispositivos funcionando a la misma frecuencia	No pensada para localización
<b>WI-FI</b>	Alto	No (en la mayoría de edificios)	~35m	No requiere LOS. Existente en la mayoría de edificios.	Alta variación de la señal. Actualización del mapa radio si cambia el entorno.
<b>ZIGBEE</b>	Bajo	Sí	30m - 60m	Bajo consumo de energía y escaso coste.	Necesita infraestructura dedicada. Interferencias de otras señales a la misma frecuencia.
<b>BLUETOOTH</b>	Bajo	Sí	~10m	No requiere LOS. Existente en la mayoría de dispositivos.	Rango de cobertura limitado con pocas células. Interferencias de otras señales en la misma frecuencia.
<b>UWB</b>	Bajo	Sí	Unos metros	Alta precisión. Baja interferencia con otros sistemas.	Rango de cobertura limitado. Alto coste de equipamiento. Interferencia por metales.
<b>RFID</b>	Bajo	Sí	~1m	No requiere LOS.	Rango de cobertura limitado.
<b>INFRARROJOS</b>	Bajo	Sí	~2-5m	No atraviesa muros. Comunicaciones con alta sensibilidad.	Requiere LOS. La luz del sol o fluorescente puede afectarle.
<b>ULTRASONIDOS</b>	Depende	Sí	Desconocido	No requiere LOS. No interfiere con las ondas electromagnéticas.	No atraviesa muros. Reflexiones o interferencias pueden afectarle.
<b>DEAD RECKONING</b>	Bajo	No	Desconocido	No requiere hardware adicional.	Calcula sólo la posición aproximada.
<b>PSEUDOLITOS</b>	Alto	Sí	Unos Km	Compatible con receptores GPS existentes.	Afectada por multicamino e interferencias cruzadas entre señales.

**Tabla 2.1. Comparativa entre tecnologías inalámbricas.**

### 2.2.2 Técnicas matemáticas para localización en interiores basada en redes inalámbricas

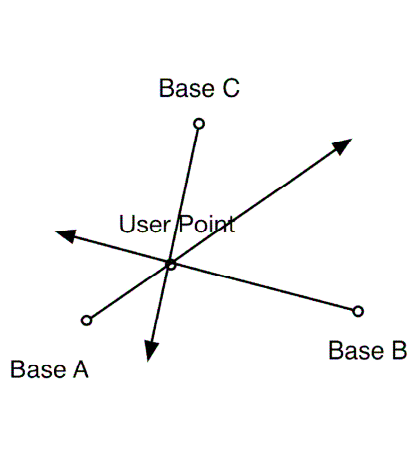
Las tres técnicas matemáticas más importantes que se pueden utilizar para localizar dispositivos en interiores son: proximidad, triangulación y fingerprinting [2] y [3]:

- **Proximidad:** se trata del método más simple para localizar. La base de este método es suponer que, si el usuario se encuentra en el rango de una estación conocida, la localización de aquél se aproxima a la posición de la estación conocida. Tanto para las comunicaciones inalámbricas basadas en enlaces como las basadas en conexiones, la localización del usuario se puede aproximar por la posición del punto de acceso. La mayoría de las localizaciones basadas en GPS utilizan esta técnica, que logra una exactitud de 50 a 200m, correspondientes al tamaño de una celda GSM, pero en los métodos basados en unos requisitos más exigentes de proximidad, no se satisfacen las necesidades, por lo que no se tiene en cuenta.
- **Triangulación:** se vale de la geometría para la obtención de la localización del usuario, que puede determinarse, bien por la distancia a unos puntos de medida fijados o conocidos, bien por el ángulo de la señal recibida. La figura 2.1 muestra como se puede obtener la localización del usuario a través de la información de distancia del usuario a las estaciones base. Si consideramos que A, B y C son tres estaciones base inalámbricas transmisoras de señal, conocidas sus posiciones y conocida la distancia del usuario a cada una de estas tres estaciones, la localización del usuario puede ser estimada como el punto de intersección de las tres circunferencias.



**Figura 2.1. Triangulación mediante distancias.**

Si el ángulo de las estaciones base con el punto donde se encuentra el usuario, o el ángulo del punto donde se encuentra el usuario con las estaciones base es conocido, la localización del usuario se puede obtener mediante la intersección de los tres vectores, como muestra la figura 2.2.

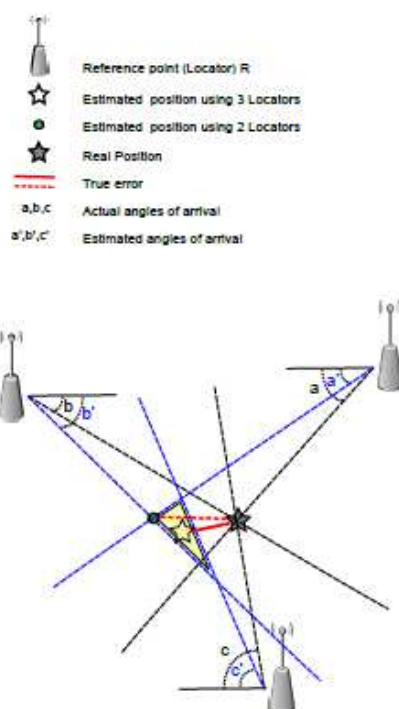


**Figura 2.2. Triangulación mediante ángulos.**

La problemática ahora se centra en cómo obtener la distancia del usuario a las estaciones base o el ángulo formado entre ambos. En función de la información utilizada para ello, hay diferentes métodos de triangulación.

- Triangulación basada en el ángulo: mediante el método AoA (Angle-of-Arrive), se obtiene el ángulo de la señal recibida de las estaciones base conocidas para proporcionar la localización del usuario. El ángulo de la señal se puede recuperar si el dispositivo del usuario y las estaciones usan antenas direccionales, sin embargo, si hay existencia de multicamino o reflexiones de muros u otros obstáculos, el ángulo de la señal recibida podría no coincidir con el ángulo conformado entre el usuario y las estaciones base. Este método se muestra en la figura 2.3 de la siguiente página.





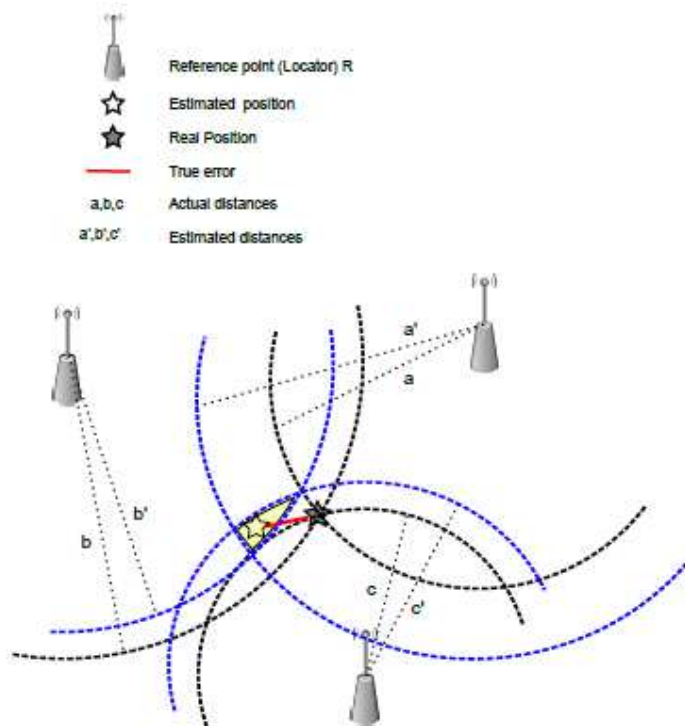
**Figura 2.3. Método AoA (Angle-of-Arrive).**

- Triangulación basada en el tiempo: utiliza la distancia para triangular. Este método se basa en el tiempo utilizado por la señal desde que salió de la estación emisora hasta alcanzar al usuario para deducir la distancia entre los dos puntos, suponiendo que la velocidad de la señal inalámbrica se aproxima por la velocidad de la luz en el aire. Dentro de la triangulación basada en el tiempo hay dos submétodos diferentes:

ToA (Time-of-Arrive) mide directamente el tiempo que tarda un paquete de información en llegar del dispositivo del usuario a la estación base o viceversa, como se puede observar en la figura 2.4, en la página siguiente. El dispositivo del usuario puede transmitir un paquete con un sello temporal (timestamp). La estación puede registrar el tiempo de llegada y, a partir de los dos datos, inferir el tiempo del trayecto. Para poder realizar este proceso, el usuario y la estación deben sincronizar sus relojes de tiempo, lo que resulta complicado.

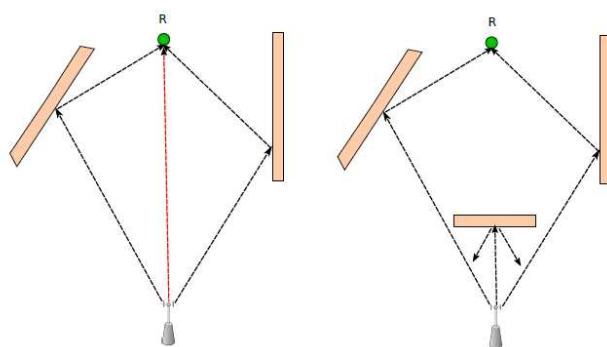
TDoA (Time-Difference-of-Arrival) sólo requiere de la estación para calcular el tiempo. Aunque el momento de la transmisión sea desconocido, las estaciones pueden realizar varias transmisiones a las potenciales localizaciones, cada una con un tiempo de transmisión diferente y creándose, por tanto una

representación con diferentes curvas. El punto donde las curvas se cortan es el tiempo de transmisión correcto y resultará en la posible localización del usuario.



**Figura 2.4. Método ToA (Time-of-Arrival).**

- Triangulación basada en RSSI: las propiedades de la señal recibida también son importantes a la hora de deducir las distancias. Como propiedad más utilizada para este fin, aparece comúnmente la RSSI (Received Signal Strength Indicator), LQI si nos encontramos en una red ZigBee, que nos indica la potencia de la señal recibida y la calidad del enlace. En el método de triangulación las estaciones emisoras y el usuario han de tener visión directa; de lo contrario, el ángulo o la distancia podrían no servir para localizar al usuario, como se puede apreciar en la figura 2.5. Hay que tener en cuenta que, en escenarios reales, hay muros, puertas y otros objetos o barreras arquitectónicas que pueden bloquear la línea de visión directa. El método de triangulación también puede ser complementado con el método de multilateración, en el que se pueden utilizar más de 3 estaciones para estimar la posición del usuario y, mediante sucesivas medidas, ponderar el resultado y obtener la localización con mayor exactitud.



**Figura 2.5. Visión directa (LOS) y no directa (NLOS).**

- **Fingerprinting:** la localización en interiores basada en fingerprinting se basa en la idea de que, para cada posición dentro del área considerada, las características de la señal recibida son diferentes, utilizando estos datos para obtener la localización actual del usuario. Hay dos submétodos diferentes de fingerprinting: basado en radio-map y map-free.

- Basado en radio-map: debido a la reflexión y al impredecible fading de propagación, el uso de RSSI para la estimación de la distancia podría no ser fiable. Hay, a su vez, dos tipos de radio-map:

Radio-map de valor medio: tiene una limitación de puntos medidos en el mapa, pero el algoritmo k-nearest neighbor puede usarse para obtener las posiciones más probables del usuario.

Radio-map de p.d.f. (probability density function): permite representar todos los puntos del mapa y pueden utilizarse la estimación de máxima probabilidad y la estimación bayesiana para obtener la posición más probable.

La generación de cada mapa radio es un importante problema en estos métodos, pero hay tres modos diferentes de generarlos:

a) Estimación basada en el modelo: RSSI es la característica de la señal más utilizada para fingerprinting, como ya se ha dicho, y puede ser estimada en base al modelo de propagación que se utilice. Por ejemplo, el modelo de factor de atenuación de muros combina la atenuación de las paredes con el modelo de pérdidas en espacio libre. El modelo de traza de rayos en 2-D incluye la reflexión de paredes y otros objetos. El modelo de propagación

de rayos en 3-D añade la reflexión provocada por el techo y el suelo, mostrando, éste último modelo, tan sólo un error medio de localización del 3%, como se ha determinado en diferentes investigaciones. Puesto que el mapa radio puede ser creado basándose en las posiciones de las estaciones, el modelo de propagación escogido puede ahorrar costes de despliegue, siempre teniendo en cuenta que los cambios en la arquitectura y mobiliario del edificio y la propia gente que circula por él podría cambiar la propagación de la señal inalámbrica, afectando a la precisión del resultado.

b) Medida sin conexión: la calidad del mapa radio es importante para la precisión del resultado de la localización en interiores. Esta calidad puede determinar el número de estaciones emisoras y el número de puntos de medida. Con el objetivo de mejorar este método sin conexión, se requiere un arduo trabajo de medida de muchos puntos a lo largo del recinto, lo que se llama "site survey". Este proceso de intensa labor incrementa los costes de mano de obra y de tiempo. Para reducir dichos costes, se pueden entrenar robots autoguiados que recojan automáticamente las señales en los diferentes puntos y generen el mapa radio.

c) Calibración online: la medida sin conexión requiere grandes esfuerzos de despliegue y, puesto que no deja de ser un evento temporal, no tiene en cuenta los cambios en la decoración, mobiliario o densidad de gente presente en el lugar. La calibración online combina la medida sin conexión y la estimación basada en el modelo. En lugar de hacer mediciones en diferentes puntos, configura nodos fijos y los somete a continuas medidas de fingerprinting en sus posiciones. La estimación basada en el modelo también se usa para estimar el posible fingerprint en otras áreas, mediante el intercambio de información de RSSI entre las estaciones, recalibrándose los fingerprints después de ciertos intervalos de tiempo que se habrán definido teniendo en cuenta esos posibles cambios de arquitectura u obstáculos del recinto. De esa manera, el mapa radio puede ser actualizado y mejorar la precisión de la localización.

- Map-free Fingerprinting: el otro submétodo, fingerprinting basado en radio-map, puede ser adaptado a la localización en interiores con diferentes tecnologías inalámbricas además de las ya comentadas, como ultrasonidos, ruido de fondo acústico,... Sin embargo, la complejidad de mantenimiento del mapa radio se incrementa conforme a su calidad y, por tanto aumenta el

tiempo necesario para localizar. Por el contrario, map-free fingerprinting reduce la complejidad de mantenimiento del mapa. Se observa que, en ciertas localizaciones del edificio, como ascensores o esquinas de pasillos, la señal inalámbrica muestra ciertos patrones, que se pueden utilizar para identificar dichas localizaciones. Combinando la información de movimiento recogida por los acelerómetros de los dispositivos móviles con esos patrones y con la información de los puntos anteriores, se podría predecir la localización del usuario; por el contrario, una localización estática podría no ser estimada con este método.

### 2.2.3 Métodos de predicción para localización basada en fingerprinting

Para localizar dispositivos mediante la técnica de fingerprinting asociada al uso de una tecnología Wi-Fi, existen dos métodos diferentes [4]:

- **Nearest Neighbor:** este método simplemente calcula las distancias Euclídeas entre las lecturas de RSSI en un instante concreto y las registradas de cada punto de referencia o fingerprint. La mínima distancia Euclídea es el Nearest Neighbor y la localización más probable (x,y). La expresión 1 muestra el cálculo, donde  $R_i$  es la RSSI de cada una de las señales provenientes de los  $i$  puntos de acceso Wi-Fi detectada en un instante concreto y  $FP_i$  es la RSSI de cada una de dichas señales pero registrada en el fingerprint. Esta distancia Euclídea se habrá de calcular para cada fingerprint existente en el mapa radio.

$$\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - FP_i)^2} \quad (1)$$

Se pueden utilizar dos versiones de Nearest Neighbor:

- Búsqueda espacial sin restricciones: realiza una búsqueda en el mapa radio completo para encontrar el punto más probable.
  - Búsqueda espacial con restricciones: realiza una búsqueda espacial sólo en la zona del mapa radio en torno a una localización previamente estimada con un radio de búsqueda definido. Se basa en la idea de que una persona u objeto en movimiento sólo puede recorrer una distancia máxima desde su anterior posición durante el tiempo utilizado para recoger una nueva lectura de RSSI. Esta versión tiene la consecuencia de desechar localizaciones que, en algún caso, podrían cumplir una distancia Euclídea menor pero que resultan físicamente imposibles.
- **Localización de Markov:** utiliza los datos estadísticos del fingerprint para obtener la posición más probable. Se realiza en dos pasos: predicción y corrección.
    - Predicción: se calcula la probabilidad de estar en la localización  $L$  en un tiempo  $t$  como el producto de: la probabilidad

condicionada de estar en L en un tiempo t dada la localización L en un tiempo t-1, por la probabilidad de estar en L en un tiempo t-1. Este hecho reduce la búsqueda espacial a la región más probable basándose en la posesión de ciertos conocimientos acerca del movimiento de la persona u objeto. Esto se muestra en la expresión 2.

$$p(L_t) = \sum_{L_t=1} p(L_t | L_{t-1}) p(L_{t-1}) \quad (2)$$

- Corrección: se calcula la probabilidad de estar en la localización L en un tiempo t, dados los valores de RSSI recibidos en ese mismo instante, como se muestra en la expresión 3. Se realiza el producto de: la probabilidad de tener los valores R[] de RSSI dada una localización L<sub>t</sub> (esto es la función densidad de probabilidad generada con los datos del fingerprint), multiplicada por la probabilidad de estar en dicha localización L<sub>t</sub>, dato éste obtenido del paso de predicción, y por un factor de normalización N.

$$p(L_t | R[]) = p(R[] | L_t) p(L_t) * N \quad (3)$$

## **Capítulo 3. Diseño del sistema y decisiones**

### **3.1 Introducción**

Tras la revisión del estado del arte, se va a proceder a la explicación de los dos bloques en que se ha decidido dividir el sistema. Dentro de cada bloque, coincidente con cada una de las dos aplicaciones, respectivamente, se explican las partes más importantes de cada uno, incluyendo las necesidades que se plantearon y las decisiones tomadas, siempre teniendo en cuenta los requisitos a cubrir por este proyecto.

### **3.2 Análisis de requisitos del sistema**

Este proyecto final de carrera tiene como objetivo principal el desarrollo de un sistema que sea capaz de localizar un dispositivo móvil en un entorno correspondiente a una planta del interior de un edificio. Dada la dificultad de uso de la tecnología GPS en interiores, se deberá crear un sistema propio de localización.

#### **Requisitos generales**

Ha de desarrollarse, en principio, una aplicación que realice la localización del dispositivo móvil. Esta aplicación podrá ser desmembrada en más de una si así se estimara conveniente para un mejor manejo y entendimiento del sistema.

El escenario de funcionamiento ha de ser la planta de un edificio, tanto público como privado, con una cierta afluencia de personas y con una red de puntos de acceso Wi-Fi desplegada en su interior. Para las pruebas de funcionamiento se tomará la planta baja de un centro comercial.

El resultado ha de ser visible para el usuario final, pero el proceso de cálculo y el trabajo de la aplicación debe ser lo más transparente posible para él.



Se debe disponer, al final de las pruebas de validación, de una serie de datos que sirvan para valorar el funcionamiento del sistema completo de las aplicaciones desarrolladas.

### **Hardware y equipamiento**

Se debe disponer de un conjunto de puntos de acceso Wi-Fi desplegados por todo el edificio con el fin de poder crear un mapa radio con una base de datos de potencias de señal recibidas y de los puntos de acceso que las emiten. Dicha red también se utilizará en el cálculo de la estimación de la posición del usuario.

### **Actualización de los datos**

El sistema tiene que poder seguir un determinado ritmo de actualización, que no necesariamente pasa por modificar los datos creados con anterioridad. Será suficiente con poder crear una base de datos nueva que sustituya a la anterior cuando los cambios arquitectónicos o de equipamiento y hardware así lo requieran.

### **Tiempo de operación y refresco del sistema**

El sistema debe proporcionar una nueva posición estimada en la pantalla cada cierto tiempo concreto, que se fijará más adelante según la necesidad estimada.

### **Ficheros de datos:**

Los ficheros de datos del mapa radio no deben ser visibles para el usuario final, que sólo dispondrá de ellos para la utilización de la aplicación con el objetivo de poder visualizar la estimación de su posición.

Los ficheros de datos deben estar en un formato ampliamente utilizado y que puede ser entendido por cualquier dispositivo móvil que posea un sistema operativo Android, además de permanecer almacenados en el dispositivo aún cuando se cierre la aplicación.

### **Sistema operativo del dispositivo móvil:**

La aplicación debe estar implementada de modo que pueda ser utilizada en cualquier dispositivo móvil cuyo sistema operativo sea, como mínimo, Android 3.0, con un nivel API 11, o superior.

### **Escalabilidad:**

La evolución del sistema en un futuro debe ser posible. Para ello, éste se creará de modo que se puedan incorporar nuevas clases y funcionalidades mediante la modificación o extensión de su código.

Así mismo, se desarrollará la aplicación de modo que permita su integración en un sistema superior que la pueda englobar, de modo que los resultados obtenidos se puedan utilizar en sistemas de mayor envergadura que necesiten el cálculo de la posición de un dispositivo móvil como una parte de su implementación.

### **Facilidad de Uso:**

La aplicación deberá ser fácil de usar por el usuario final, así como por parte del técnico o persona encargada de la creación del mapa radio.

### **Seguridad:**

No se requiere ningún nivel de seguridad, puesto que la finalidad última del sistema es poder ser utilizado por cualquier usuario que descargue la aplicación en su dispositivo móvil. Sí se intentará, en la medida de lo posible, no desvelar los datos propios de la red de puntos de acceso, utilizados para los cálculos y para la creación del mapa radio, aunque son fácilmente visibles para cualquier persona, al no tratarse de datos privados.

### 3.3 Herramientas utilizadas

Para la realización del sistema se han utilizado las siguientes herramientas y dispositivos:

- [5-13] como referencias bibliográficas para el desarrollo del código de programación en Android de las dos aplicaciones.
- Herramientas informáticas, entre las cuales se destacan Eclipse Juno versión 4.2.1, para el desarrollo del código fuente, instalación en los dispositivos y transferencia de ficheros xml entre aplicaciones y Microsoft Office Word 2000, para la realización de la memoria y anexo.
- Internet, como herramienta de estudio y consulta, función realizada también por la bibliografía [1-13] que aparece en el capítulo 6 de esta memoria.
- Tablet Energy Sistem S7 Dual, con sistema operativo Android 4.1.1, como dispositivo móvil principal para la instalación y prueba de las aplicaciones desarrolladas. Como apoyo se ha utilizado una tablet Samsung Galaxy Tab 3 10.1, con sistema operativo Android 4.4.2.

### 3.4 Diseño del sistema

En este apartado se enumeran y explican las diferentes partes de que se constituye el sistema desarrollado, explicando las necesidades de cada momento y las soluciones adoptadas para darles solución.

#### Descripción de la necesidad:

Surge una necesidad a cubrir. Se trata de conseguir implementar una aplicación en lenguaje Android que permita calcular una estimación de la posición de un dispositivo móvil, en tiempo lo más real posible, dentro de un recinto cerrado que contenga diversos puntos de acceso Wi-Fi no controlados por nosotros.

#### Alternativas a considerar:

Para estimar la posición se encuentran diversas soluciones, ya comentadas en el capítulo referente al estudio del arte. Tras seleccionar *fingerprinting* como la técnica considerada más apropiada para nuestro objetivo, se plantean dos alternativas de diseño: una única aplicación que incluya el diseño del mapa radio y el cálculo de la posición estimada o un conjunto de dos aplicaciones que realicen dichas tareas por separado.

### Solución adoptada:

El sistema se divide, principalmente, en dos bloques coincidentes con las dos aplicaciones desarrolladas, llamadas *GeneradorMapaPotencias* y *Posicionador*, respectivamente. La naturaleza dependiente pero diferente de ambas tareas es lo que ha provocado que se decidan realizar en aplicaciones distintas. Además, se ha decidido estructurar el sistema de esta manera para facilitar el uso de la aplicación a cualquier persona; es decir, si la finalidad es disponer de unas coordenadas estimadas, al usuario no le va a preocupar cómo se han realizado los cálculos, ni cómo se ha estructurado la base de datos, ni cómo se trabaja con ellos. Y lo que es más, la base de datos habrá de ser modificada con el tiempo, debido al carácter cambiante de los escenarios en interiores, tanto en el tiempo como en el espacio, y será suficiente con proporcionar, a la aplicación que estima la posición, los ficheros actualizados para que realice los cálculos, disminuyendo así la carga de operaciones y reduciendo el tiempo de cálculo, aproximando más la realización de los cálculos al tiempo real.

### **3.4.1 Diseño del mapa radio**

- **Formato de almacenamiento de los datos**

#### Descripción de la necesidad:

El primer bloque tiene como tarea principal la creación de lo que se llama un mapa radio, es decir, una "base de datos" compuesta por un número discreto de puntos que cubran la totalidad de la superficie considerada como de posible localización de un usuario en el entorno tomado como referencia. Dichos elementos del mapa radio deben ser almacenados de forma que su acceso y modificación por parte de las aplicaciones sea lo más rápido y sencillo posible.

#### Alternativas a considerar:

Se han barajado dos posibilidades de almacenamiento de datos de entre múltiples posibles. La primera alternativa consiste en guardar los datos en un fichero con formato xml. Esto nos facilita poder trabajar en el siguiente bloque con ellos de una manera fácil y rápida, tan sólo accediendo al fichero creado en este bloque. Además, se aprovecha la biblioteca SAX de java para archivos XML, que permite un análisis rápido y poco consumo de memoria. La segunda alternativa es la creación de un base de datos de tipo SQL. A modo de comentario, también se consideró la inclusión de los datos en un servidor en la nube como una tercera posible solución.

### Decisión:

De entre todas las soluciones disponibles, se ha escogido guardar los datos en un fichero con formato XML. Esto facilita poder trabajar en el siguiente bloque con ellos de una manera fácil y rápida, dando solución a la necesidad de crear una base de datos del mapa radio, mientras que los otros métodos implicarían un alargamiento en el tiempo del proyecto, sin ser el tipo de almacenamiento una cuestión principal a resolver en este trabajo.

- **Cantidad de puntos almacenados en el mapa radio**

### Necesidad a cubrir:

Se necesita saber cuántos puntos han de conformar el mapa radio.

### Solución adoptada:

Teniendo en cuenta que la distancia entre tiendas de un centro comercial es, aproximadamente, en media, de entre 5 y 10 metros, según las tiendas, se pretende registrar un punto del mapa radio, de manera general, cada entrada a una nueva tienda del recinto. Para hacer las medidas algo más uniformes, se va a procurar que éstas sean cada, aproximadamente, 7 a 10 metros de distancia, aunque no coincidan con las entradas de las tiendas.

- **Estructura de los datos capturados y almacenados**

### Necesidad a cubrir:

Se requiere una estructura de datos lo menos compleja posible pero que permita el almacenamiento y la disponibilidad de todo lo necesario para los posteriores cálculos a realizar.

### Solución adoptada:

Vamos a almacenar los datos utilizando la estructura lista que nos proporciona el lenguaje Android. Cada punto de acceso será un tipo de dato que contenga una lista con sus valores capturados con los que vamos a trabajar, y que son:

- \* @MAC
- \* SSID (Identificador o nombre del punto de acceso)
- \* RSSI (Indicador de potencia de la señal recibida del punto de acceso). Tendremos en cuenta aquellos puntos de acceso cuya RSSI sea superior a -90 dBm.

- \* Frecuencia de trabajo del punto de acceso

Además, en cada punto (x,y) que forma parte del mapa radio y que podrá ser denominado a partir de ahora como punto físico, para diferenciarlo de los puntos de acceso, se reciben datos de múltiples puntos de acceso. Un punto físico será, pues, otro tipo de dato y estará formado por la siguiente subestructura:

- \* Coordenada x relativa.
- \* Coordenada y relativa.
- \* Lista con todos los puntos de acceso de los que se recibe señal en dichas coordenadas, conteniendo éstos los campos antes mencionados.

A su vez, mantendremos una lista general cuyo contenido serán cada uno de los puntos físicos o localizaciones en los que se ha tomado medida y que, por tanto, constituyen en conjunto el mapa radio que se quería crear.

- **Presentación de la aplicación GeneradorMapaPotencias**

Descripción de la necesidad:

Se desea un diseño de la aplicación sencillo de manejar, puesto que el objetivo es que ésta pueda ser utilizada por cualquier persona sin ningún conocimiento de informática ni programación y que, siguiendo unas instrucciones dadas por el usuario, se pueda crear y mantener el mapa radio, adaptándolo a las variaciones del entorno que vayan surgiendo.

Solución adoptada:

Los pasos a seguir en este bloque comienzan por la selección de un edificio de entre los disponibles y, posteriormente, una planta del recinto considerado para la que se quiere crear el mapa radio (se muestran varias opciones en el menú, pero sólo se dispondrá en este trabajo del mapa del recinto en que se va a trabajar). Seguidamente, hay que situarse en el punto escogido y tomar una serie de medidas de la potencia y otros datos recibidos de cada punto de acceso del recinto en ese mismo instante. Se toman varias medidas de manera continuada y se realiza una ponderación de todas ellas para garantizar que la potencia que se va a registrar de cada punto de acceso es una medida ponderada y no instantánea (tarea que, automáticamente, realiza la aplicación mediante las bibliotecas de código que se facilitan), para así evitar posibles errores debidos a una persona que pase junto a la que está tomando las medidas en el momento exacto o a algún otro tipo de situación anómala que pueda surgir en un momento determinado. Esta acción ha de repetirse para cada punto o coordenada (x,y)

de la que se desee tener registro de datos radio, es decir, tantas veces como puntos se quieran tener en el mapa radio.

- **Ubicación de los puntos físicos en el mapa**

Descripción de la necesidad:

Queremos conseguir que, visualmente, sea sencillo detectar los puntos físicos que tenemos ya guardados y los que nos faltan por crear para la finalización del mapa radio.

Solución adoptada:

Dadas las necesidades anteriores, se ha decidido utilizar una imagen en formato JPG como fondo de pantalla cuando estemos en la opción de toma de medidas; sobre dicha imagen se irán pintando puntos de diferentes colores que indicarán estas características, es decir:

- \* Punto azul: dicho punto ha sido guardado en el fichero con formato .xml.
- \* Punto rojo: se ha creado dicho punto, en la sesión actual, con las medidas recibidas pero sólo está almacenado en una variable local.
- \* Punto verde: dicho punto ha sido guardado recientemente (en la actual sesión de medida) en el fichero.

Se ha considerado esta opción de visualización como la más cómoda y de rápida percepción de la situación para el usuario o técnico que vaya a utilizar la aplicación.

### **3.4.2 Diseño del posicionador**

- **Cálculo de la estimación de la posición del usuario**

Descripción de la necesidad:

Se desea realizar una serie de cálculos matemáticos que proporcionen un resultado lo más fiable y exacto posible de la posición del usuario dentro del recinto. Se establecerá como estimación correcta la localización en el punto del mapa radio más próximo a la posición real del usuario.

Solución adoptada:

Tras la lectura de los datos, se realizan con cierta temporalidad búsquedas a modo de las que se hacían en el primer bloque. Dichas búsquedas tienen como finalidad detectar la potencia recibida de cada punto de acceso del recinto en cada uno de los instantes de tiempo, para compararlas con las registradas en el fichero de datos y, así, estimar cuál será la posición del dispositivo móvil del usuario en cada momento. Los cálculos realizados para ello consisten en la obtención de la distancia euclídea de las potencias recibidas de cada punto de acceso en el instante de cálculo y las guardadas en el momento de la creación de la base de datos ("mapa radio") para cada uno de los puntos existentes en ésta. La menor distancia euclídea marca el punto más probable de entre los existentes.

- **Frecuencia del cálculo de estimación de la posición**

Descripción de la necesidad:

Se requiere saber cada cuánto han de realizarse nuevos cálculos de estimación de la posición del usuario.

Solución adoptada:

Para dar solución a esta pregunta, se va a tener en cuenta que la velocidad promedio de una persona caminando a paso normal se estima entre 3,5 y 5 Km/h o, lo que es lo mismo, entre 0,97 y 1,39 m/sg. Estos datos, teniendo en cuenta que existen puntos en el mapa radio cada, aproximadamente, 7 a 10 metros, nos llevan a determinar que el usuario, caminando a este ritmo sin detenerse, tarda entre 5 y 10 sg en desplazarse entre dos puntos registrados en el mapa radio. Para incluir la posibilidad de que se detenga a mirar alguna tienda o de que su ritmo sea más lento debido al contexto del lugar donde se encuentra, establecemos en un tiempo de 10 sg el intervalo de refresco de los cálculos de estimación de la posición.



- **Ubicación y presentación de la posición estimada en el mapa**

Descripción de la necesidad:

La idea es mostrar el punto en el mapa de una forma gráfica y sencilla para el usuario, de modo que sea capaz de saber dónde se encuentra.

Solución adoptada:

Se muestra, en una imagen del plano del recinto, la posición estimada, de manera que se pueda visualizar fácilmente por el usuario. Se ha escogido un círculo de color azul y diámetro 25 píxeles, centrado en el punto de localización estimado del mapa, para la resolución de este problema. Esta funcionalidad se podría modificar, dependiendo de si lo que se desea es que el usuario perciba su posición o de si la estimación de la posición se realiza al margen del usuario para ser utilizada en otra aplicación o con otra finalidad.

- **Formato de almacenamiento de los datos**

En este bloque no hay necesidad a priori de almacenar dato alguno, pues el resultado se visualiza por pantalla. Exclusivamente para la realización de este proyecto, se ha añadido una opción en este segundo bloque. Ésta consiste en la posibilidad de registrar los datos de estimación de la posición en un fichero con formato xml para el posterior estudio de los resultados obtenidos en las pruebas que se van a realizar, o bien para su utilización en posteriores ampliaciones o en diferentes aplicaciones de nivel superior.

- **Registro de puntos estimados**

Descripción de la necesidad:

De cara a un cálculo de fiabilidad y exactitud del trabajo realizado, aunque no se trate del objetivo principal, se necesita un registro de los puntos estimados, que no son sino los cálculos realizados. Este registro de datos puede tener otras finalidades de cara a terceras personas, como por ejemplo los comerciantes del centro comercial en el que se utilice la aplicación, para el conocimiento de las zonas del centro más frecuentadas por los usuarios o las horas del día de mayor afluencia, entre otros interesantes datos.

Solución adoptada:

Se ha decidido optar por crear un fichero con formato xml, dada su utilidad en el intercambio de información entre ambas aplicaciones del proyecto y por el aprovechamiento de parte del código, como solución a la necesidad planteada en el párrafo anterior.

Se han guardado los siguientes datos:

- Coordenadas 'x' e 'y' de todos los puntos físicos de posible situación del usuario estimados mediante la aplicación.
- Grado de exactitud del punto estimado. (Esta valoración se realiza por parte del usuario y sólo en el ámbito de este trabajo con el fin de evaluar su funcionamiento).

### **3.5 Diagrama final del sistema**

En este apartado se muestra un diagrama genérico del sistema construido. En este diagrama de la figura 3.1 aparecen los pasos a seguir en la ejecución del sistema y la interconexión entre ellos.

Se comienza con la ejecución de la aplicación *GeneradorMapaPotencias*; primero se selecciona el recinto y la planta en la que se va a trabajar. Se continúa con la creación del mapa radio y, a la par, la escritura de un fichero de tipo xml. Por último, se visualiza el mapa radio para comprobar su correcta creación. Obsérvese que se puede continuar con la creación del mapa radio sin necesidad de escoger el recinto y la planta en cada inicio de sesión, así como también se puede visualizar cuando se desee. Es decir, se debe seguir el orden consecuente de acciones, pero no es necesario pasar por las anteriores para ejecutar una de ellas.

En cuanto a la aplicación *Posicionador*, al iniciar la ejecución de la aplicación se pasa a realizar el cálculo continuado de la posición estimada del usuario (basándose en los datos residentes en el fichero xml creado por la aplicación anterior), a la par que la escritura de un fichero de tipo xml con los resultados de los cálculos.

Para una mayor profundización y explicación del sistema, en el anexo A de esta memoria se detalla de manera más concreta el funcionamiento y la interfaz gráfica de las dos aplicaciones.

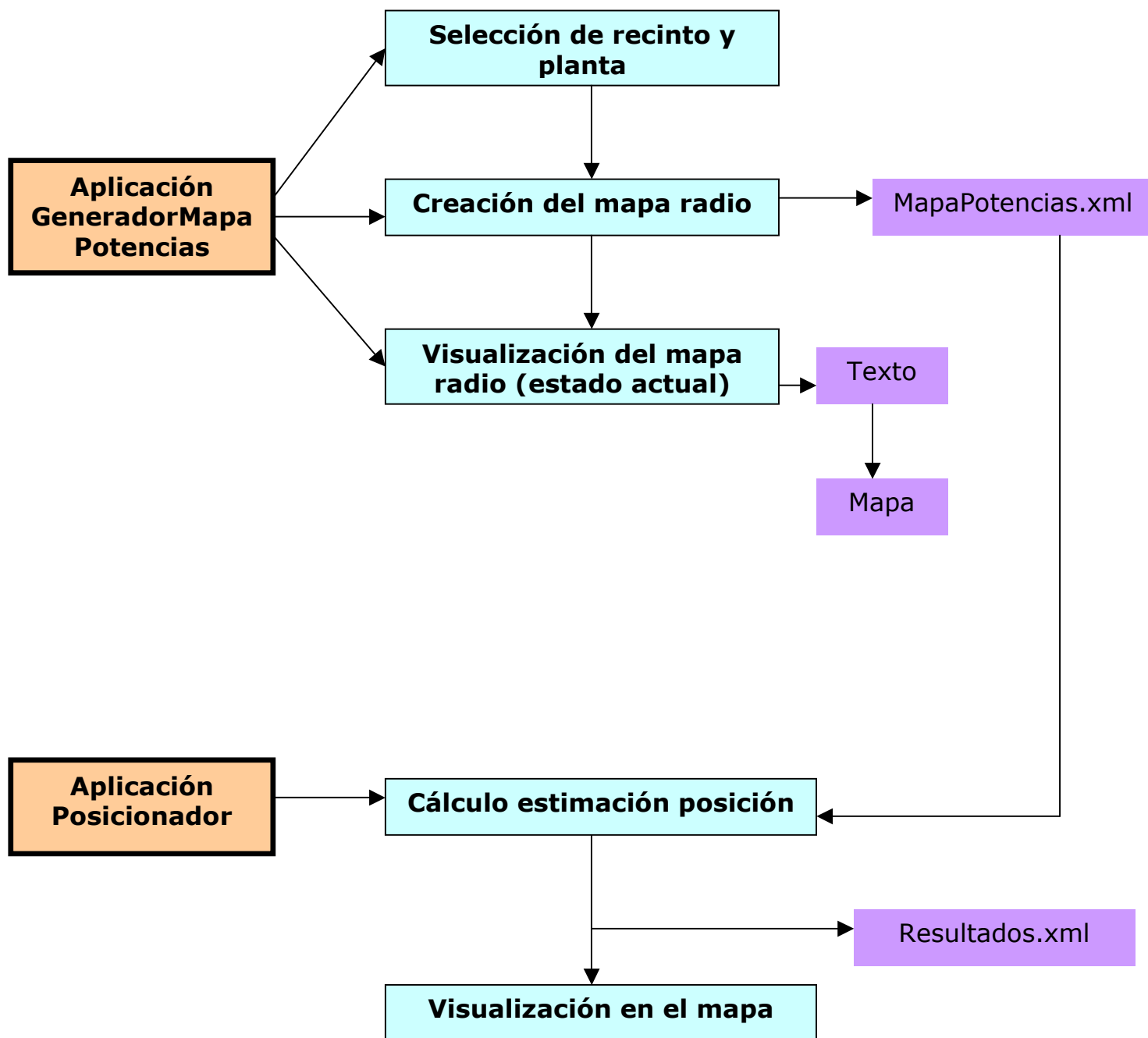


Figura 3.1. Esquema del sistema de dos aplicaciones.

## **3.6 Descripción técnica de las aplicaciones.**

### ***3.6.1 Descripción general de las aplicaciones.***

El sistema descrito en esta memoria está compuesto, como ya se ha dicho, de dos aplicaciones, cuyo objetivo conjunto es la creación del mapa radio de un recinto interior y su posterior utilización para la localización de un dispositivo móvil en él en base a ese mapa radio.

En la aplicación encargada de la creación del mapa radio, llamada *GeneradorMapaPotencias*, el usuario puede seleccionar el recinto y la planta en la que se desea trabajar de entre las que aparecen en un menú desplegable y, posteriormente, a través de la imagen del plano del recinto y, mediante la pantalla táctil del dispositivo, tomar medidas en diferentes puntos de la manera que ya se ha explicado en esta memoria.

En la segunda aplicación, llamada *Posicionador*, el usuario puede ver cómo se muestra por pantalla su posición en una imagen del plano del recinto igual a la de la aplicación anterior.

### ***3.6.2 Descripción detallada de la aplicación GeneradorMapaPotencias.***

Al iniciarse la ejecución de esta aplicación, se ejecuta, a su vez, la clase *GeneradorMapaPotencias*, que es la actividad principal de la aplicación, y también el método `onCreate()`, que se ejecuta siempre al inicio de una actividad, como se verá en la figura 3.2 más adelante. En ese método comenzaremos por la inicialización de las variables necesarias para su funcionamiento, a saber:

- Componentes del layout principal: variables de tipo `Button` para los botones "Selección de recinto y planta", "Nueva medición", "Visualización" y "Salir"; así como una variable de tipo `TextView` para mostrar el recinto y la planta seleccionados.
- Se activan los escuchadores de eventos para detectar las pulsaciones de los botones que aparecen en la pantalla.
- Variables de almacenamiento de datos recibidos de los puntos de acceso para la creación del mapa radio.

Posteriormente, se crea un hilo secundario, `_hilo_búsqueda`, para mostrar por pantalla continuamente el nombre del recinto y la planta seleccionadas, aislando este trabajo del hilo principal. Además, se lee el fichero "Mapa\_Potencias.xml", en el que se encuentran los datos del mapa radio en el estado actual de creación, en caso de que se hubieran tomado medidas en anteriores sesiones, o vacío, si es la primera vez que se accede a él. Estos datos se cargan en una variable local para su posterior utilización.

Todas las acciones anteriores se realizan automáticamente al iniciar la aplicación. A continuación, y en función de las acciones del usuario, se realizan diferentes tareas:

- **Selección de recinto y planta.**

Cuando el usuario selecciona esta opción, pulsando el botón "Selección de recinto y planta", se crea un intent para ejecutar la clase `MostrarPreferencias`, que es una extensión de la clase `PreferenceActivity`. Esta clase, por medio de los ficheros "preferencias.xml" y "array.xml", muestra por pantalla los menús de selección de recinto y de planta, con diferentes opciones disponibles en ambos desplegados. La información de la opción seleccionada por el usuario es devuelta a la clase principal. El hilo secundario `_hilo_búsqueda` ejecuta continuamente el método `actualizarBusqueda()`, que cada `_PERIODO_PROCESO` segundos (establecido en 3 sg), actualiza la información de recinto y planta mediante la llamada al método `actualizarInfoLugar()`. Éste último, tras crear un objeto de tipo `SharedPreferences`, almacena en él los valores que habían sido seleccionados por el usuario llamando al método estático `getDefaultSharedPreferences(getApplicationContext())` de la clase `PreferenceManager` importada de las bibliotecas. Por último, si el usuario seleccionó una planta no existente en alguno de los recintos disponibles, se crea un mensaje de aviso para que esta información sea rectificadada y, si todo es correcto, se carga el texto a mostrar en la variable de tipo `TextView` para su visualización por pantalla.

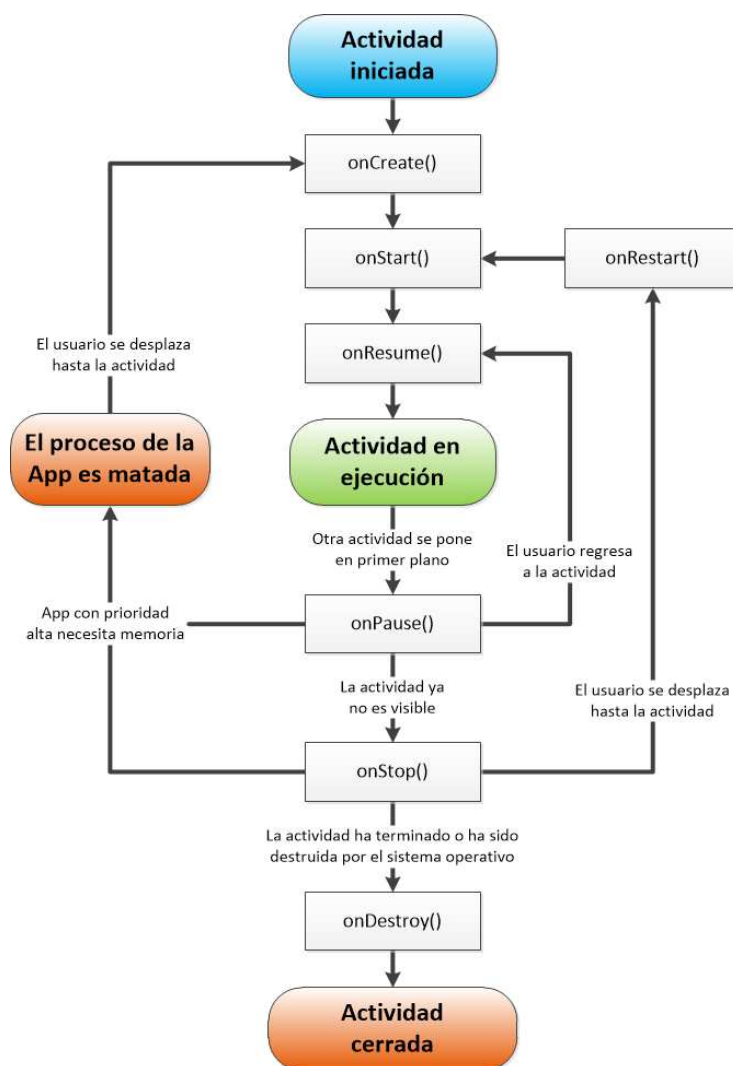
- **Creación del mapa radio.**

Si el usuario pulsa el botón "Crear mapa radio", se comprueba, en primer lugar, que se haya seleccionado un recinto y una planta previamente. Si no se ha hecho, se solicita mediante un Toast de duración corta. Si se ha hecho, se ejecuta el método `medirPotencias()`, que crea un objeto intent y llama a la clase `Medidor`, mediante el método `startActivityResult(Intent,int)`, puesto que demandaremos unos datos que deberá devolver esa clase cuando la aplicación regrese a la actividad

principal. Al ejecutarse Medidor, una clase que extiende a `FragmentActivity` y que implementa `onTouchListener` para poder detectar toques en la pantalla, se inicia una nueva actividad, con lo que el layout cambia también, pasando a mostrar por pantalla, en esta ocasión, una imagen del plano del recinto y la planta seleccionados, y declarándose e inicializándose las oportunas variables e instancias, como, por ejemplo:

- variable `_vista_mapa`, de tipo `VistaMapa` para la representación por pantalla de la imagen del mapa y los círculos identificativos de los puntos creados en el mapa radio.
- variables necesarias para el almacenamiento de los datos recibidos de los puntos de acceso detectados (coordenadas, RSSI, dirección MAC, ...) y para el almacenamiento de los datos del mapa radio que se va creando.
- un objeto `_receptor_broadcast`, de tipo `BroadcastReceiver` y otro `_filter`, de tipo `IntentFilter`, para trabajar con eventos recibidos y filtrar sólo los que nos interesen; un objeto de tipo `WifiManager`, para trabajar con datos propios de las señales Wi-Fi.

Cada vez que se inicia la actividad o se vuelve a activar después de haber estado en segundo plano, se ejecuta el método `onResume()` automáticamente y se realizan tres acciones: primero, se comprueba si el dispositivo tiene activado el uso de la Wi-Fi, para lo que se ejecuta el método `comprobarWiFi(WifiManager)`; si no estaba activada, se activa llamando al método `conectar(WifiManager, boolean)`, y, tanto si lo estaba como si no, se guarda en la variable `_estado_previo`, de tipo `boolean`, el estado en que se encontraba previamente, para devolverla a él cuando se ejecute el método `onDestroy()` al abandonar la actividad. En segundo lugar, se cargan los datos del fichero "Mapa\_Potencias.xml", para actualizar las variables locales con los datos del fichero del mapa radio. Esto se logra mediante el método `recuperarMapaPotencias("Mapa_Potencias.xml")`, perteneciente a una clase que se ha llamado AlmacenesXML SAX. La tercera acción consiste en activar el receptor broadcast para que escuche las señales Wi-Fi entrantes, utilizando el método `registerReceiver(BroadcastReceiver, IntentFilter)`.



**Figura 3.2. Ciclo de vida de una actividad en una aplicación Android.**

Cuando la actividad pase a un segundo plano o finalice, al ejecutarse el método `onPause()` automáticamente, se provoca la desactivación del receptor broadcast, para evitar el consumo de recursos del dispositivo, mediante la ejecución del método `unregisterReceiver(_receptorBroadcast)`.

Tanto el método `onResume()` como los métodos `onDestroy()` y `onPause()` pertenecen a un conjunto de métodos que conforman lo que se da en llamar ciclo de vida de una actividad y que, como puede verse en la figura 3.2, se ejecutan automáticamente durante los diferentes momentos de la ejecución de una actividad.



El usuario debe tocar el punto de la pantalla que se corresponda con su posición en el recinto, tras lo que se ejecutará el método `onTouch(View, MotionEvent)`, que realiza las siguientes acciones:

- Guarda las coordenadas del píxel tocado en las variables `_x` e `_y`, ambas de tipo `float`.
- Se crea un objeto de la clase `PeticionConfirmacion(float,float)`, pero sólo cuando el usuario ha levantado el dedo de la pantalla, quedando registrado únicamente el último punto tocado, lo que se consigue considerando sólo el evento `MotionEvent.ACTION_UP` de todos los posibles detectados por el escuchador de eventos `onTouchListener`. De esta manera, se evita la detección de múltiples toques accidentales en la pantalla cuando lo que se desea es la marcación de un único punto. La llamada a la clase `PeticionConfirmacion(float,float)` acciona su constructor, inicializando los dos valores de las coordenadas tocadas en la pantalla en el objeto instanciado, y ejecuta el método `onCreateDialog(Bundle)` propio de las clases que extienden a `DialogFragment`, en el que se carga un texto en un objeto `Builder` con la pregunta "¿Confirma que el punto seleccionado es correcto?" y las coordenadas del punto, y dos opciones "Aceptar" y "Cancelar". Si el usuario pulsa "Aceptar", se ejecuta el método `setPositiveButton` de la clase `Builder`, que llama, a su vez, al método `registrarMedida()` de la clase `Medidor`, ordenando una búsqueda de los puntos de acceso detectables desde la posición actual; y si pulsa "Cancelar", el método `setNegativeButton`.

Cada vez que el usuario pulse un punto de la pantalla se repite este proceso que se ha explicado, apareciendo un círculo rojo en cada punto pulsado, que se torna verde si en el menú selecciona "Aceptar" o desapareciendo si selecciona "Cancelar".

Cuando se decide posponer o terminar la creación del mapa radio, se pulsa la tecla de retorno del dispositivo, ejecutándose el método `onBackPressed()`, donde se crea una instancia de la clase `PeticionRegistroMedidas`, en el caso de que se hayan creado puntos del mapa radio nuevos desde la última vez que se grabaron datos en el fichero XML de almacenamiento. Si se accede a la tecla de menú del dispositivo y se selecciona la opción de "Adición de medidas al fichero", se crea una instancia de la clase `PeticionAdicionFichero`. Ambas clases realizan idénticas tareas, salvo que la primera termina finalizando la actividad `Medidor` y volviendo a la principal, mientras que la segunda nos mantiene en la actividad `Medidor` para continuar la creación del mapa radio.

- **Visualizar el mapa radio en su estado actual.**

Si el usuario pulsa el botón "Visualizar mapa radio", se llama al método `visualizarPotencias()` de la clase principal, que crea un objeto Intent para llamar a la clase `Visualizacion`, y mediante el cual le envía un objeto de tipo `ListaPuntosFisicos` con la información de todos los puntos que forman el mapa radio en el estado en que se encuentra en ese instante en el fichero `Mapa_Potencias.xml`.

Al invocarse la clase `Visualizacion`, que extiende a la clase `Activity`, se cambia a una nueva actividad, en la que se crean diferentes variables de tipo `Button` y `TextView` para poder formar el layout y visualizar correctamente por pantalla los datos del mapa radio. Se inicializan dichas variables y se activa el escuchador de eventos de pulsación de botones de la pantalla.

Posteriormente, se extrae, en la variable `_lista_medidas`, la información que se ha recibido mediante el objeto Intent desde la clase principal, tras lo cual se puede ver por pantalla la información del mapa radio gracias a la invocación al método `representarDatos()`, de esta misma clase. Este método se encarga de extraer la información de la variable `_lista_medidas`, a saber, para cada punto físico del mapa radio: sus coordenadas y cada uno de los puntos de acceso detectados y no detectados en él, con sus respectivos valores de frecuencia, SSID, RSSI recibida y dirección MAC. En el caso de que el mapa radio esté vacío porque aún no se ha comenzado su creación, se muestra un mensaje de tipo Toast por pantalla con el texto "No hay medidas almacenadas".

Se ha pensado en la posibilidad de visualizar el mapa radio como círculos sobre la imagen del plano, y no sólo en forma de texto, para lo cual existe un botón en la parte superior izquierda de la pantalla, llamado "Modo mapa". Si se pulsa dicho botón en cualquier momento desde esta pantalla, se crea un objeto Intent `intent_visual_mapa`, en el que se incluye la variable `_lista_medidas` y se llama a la clase `VisualizacionMapa`.

Al invocar a la clase `VisualizacionMapa`, que extiende a la clase `FragmentActivity`, se extraen los datos enviados desde la clase `Visualizacion` mediante el objeto Intent. A continuación, se inicializa una instancia de la clase `VistaMapaVisualizacion`, cuya actuación es muy similar a la de la clase `VistaMapa`, excepto con algunas diferencias. En esta clase `VistaMapaVisualizacion`, no se escuchan los eventos `onTouchEvent`, tan sólo se pintan círculos azules en las coordenadas coincidentes con los puntos físicos del mapa radio. En cualquier momento se puede pulsar la tecla de retorno del dispositivo, provocando la ejecución del método `onBackPressed()`, que invoca, a su vez, al método `prepararRegresoPral()`, encargado de devolvernos a la actividad `Visualizacion`.

### ***3.6.3 Flujo de datos en la aplicación GeneradorMapaPotencias.***

En las dos páginas siguientes se muestra, en las figuras 3.3 y 3.4, un gráfico que se ha dividido en dos partes para su mejor visualización y comprensión. En él se ha representado el flujo de los datos más relevantes para el funcionamiento de la aplicación, puesto que la inclusión de toda la información resultaría en un diagrama demasiado complejo.

En los rectángulos con fondo azul se han representado las diferentes clases de la aplicación que pueden entrar en juego durante su ejecución y que extienden a la clase Activity, FragmentActivity, DialogFragment, View y BroadcastReceiver, así como las que implementan a la interfaz Almacenes, obviando la inclusión de las clases relacionadas con los nuevos tipos de datos, que son utilizadas frecuentemente en todas las demás y durante casi toda la ejecución.

Las flechas indican la dirección del flujo de información y datos, y se indica con letras azules la manera de instanciar la clase destino de la flecha y con letras rojas los datos más relevantes que se envían a la clase destino de la instancia o que se devuelven a la clase de origen al regresar a ella. La explicación detallada de los gráficos es la que se ha realizado durante el apartado 3.6.2 de esta memoria.

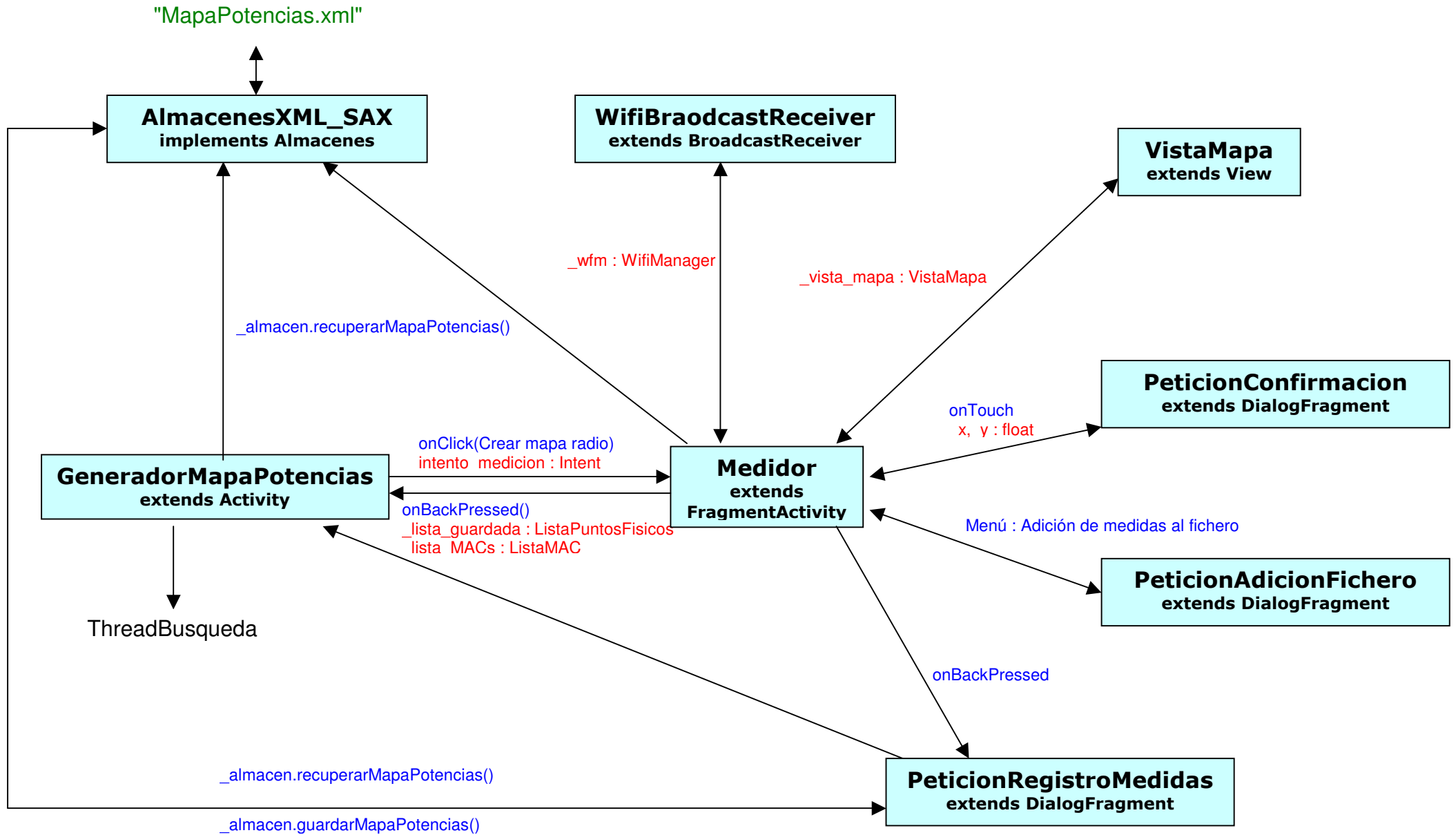


Figura 3.3. Flujo de datos en la aplicación GeneradorMapaPotencias (I).

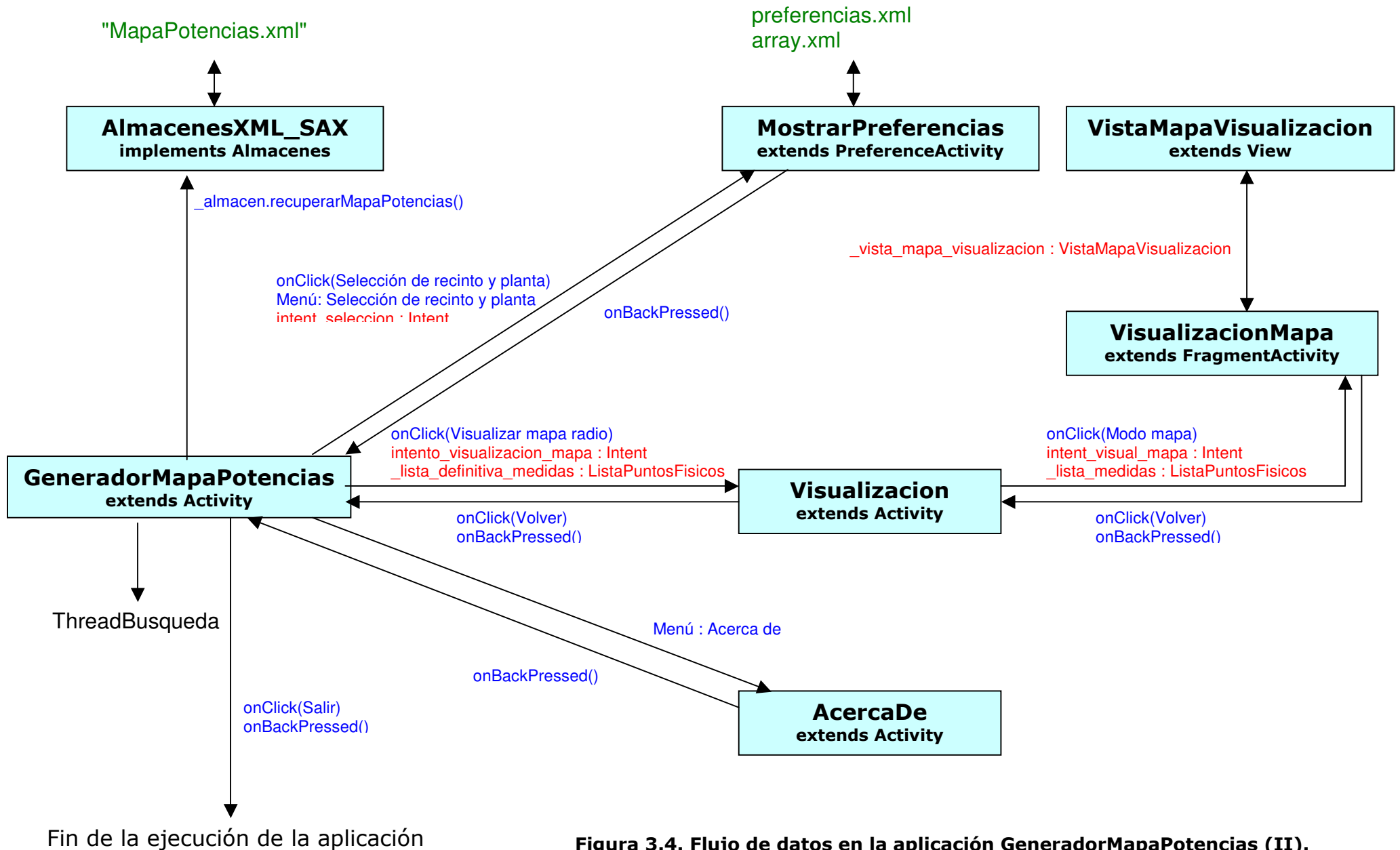


Figura 3.4. Flujo de datos en la aplicación **GeneradorMapaPotencias (II)**.

### ***3.6.4 Descripción detallada de la aplicación Posicionador.***

Al comenzar la aplicación se ejecuta la clase Posicionador y su método **onCreate()** de manera automática, tal y como se ha visto anteriormente. Dentro de él se realiza la inicialización de las variables necesarias para el funcionamiento de la actividad:

- Componentes del layout principal: variables de tipo Button para los botones "Buscar", "Detener búsqueda" y "Volver".
- Se activan los escuchadores de eventos para detectar las pulsaciones de los botones que aparecen en la pantalla.
- Variable para el tratamiento de los datos almacenados en el fichero del mapa radio, así como para la recepción de los datos actuales de los puntos de acceso que están al alcance del dispositivo y para el pintado del círculo azul que indica la posición estimada.

Se realiza una lectura del fichero "Mapa\_Potencias.xml", en el que se encuentran los datos del mapa radio creado en la aplicación GeneradorMapaPotencias. Estos datos se cargan en una variable local para ser utilizados en los cálculos de estimación de la posición.

Se llama al método **comprobarWifi()**, que se encarga de comprobar la conexión WiFi del dispositivo y de activarla si no lo está, guardando su estado previo para devolverla a él cuando se ejecute el método **onDestroy()** al finalizar la actividad.

Todas las acciones anteriores se realizan automáticamente al iniciar la aplicación, en la ejecución del método **onCreate()**.

Se crea un hilo secundario, **\_hilo\_búsqueda**, para ejecutar continuamente la animación que muestra y oculta un círculo azul en la pantalla, y que servirá para dibujar en el plano la posición estimada del dispositivo cuando ésta se calcule. Este hilo llama al método **actualizarBusqueda()**, que cada **PERIODO\_PROCESO\_PANTALLA** sg (tiempo que se ha establecido en 10 sg), llama, a su vez, al método **realizarBusqueda()**, en el cual se hace una exploración de los puntos de acceso detectados desde la ubicación del dispositivo, mediante el siguiente procedimiento:

- Se llama al método **compararDatos(ListaPuntosFisicos, ListaPuntosFisicos)**, que compara los dos objetos que se le pasan como parámetro. El primero de ellos es la lista de datos de tipo **PuntoFisico** que constituye el mapa radio. Mediante un proceso de búsqueda secuencial con iteraciones se compara cada uno de los puntos físicos con los datos recabados de la exploración realizada en **realizarBusqueda()** de la siguiente manera:

- Para cada punto físico del mapa radio, se buscan los puntos de acceso cuyas direcciones MAC se hayan detectado en la última exploración reciente.
- Se llama al método **calcularCuadrDif(int,int)**, que calcula el cuadrado de la diferencia entre la potencia existente en el mapa radio para el punto de acceso en cuestión (variable potencia\_actual) y la potencia detectada del mismo punto de acceso en la exploración reciente (variable potencia\_base).
- Los resultados se van almacenando en una variable de tipo ListaPuntoFisicoError para su posterior utilización.
- Se llama al método **decisorPuntoFisicoProb(ListaPuntoFisicoError)**, donde, para cada elemento de tipo PuntoFisicoError de la lista incluida en el objeto recibido como parámetro, se realizan las siguientes acciones:
  - la llamada al método **calcularPonderacion(PuntoFisicoError)** realiza la raíz cuadrada de la suma de los errores de las potencias de todos los puntos de acceso detectados en el punto físico en que se encuentra la ejecución. Esto es lo que se ha explicado en el capítulo 2, apartado 2.2.3, y que se conoce como búsqueda espacial sin restricciones del método Nearest Neighbor, es decir, hemos calculado la distancia euclídea entre el punto físico explorado y uno concreto perteneciente al mapa radio.
  - llamando al método **indicadorMenorErrorGlobal(List<PuntoFisicoError>)**, se comparan las distancias euclídeas calculadas entre el punto físico explorado y cada uno de los del mapa radio, y se decide cual corresponde a la menor distancia.
- una llamada al método **pintaPuntoFisicoProb(PuntoFisicoError)**, mediante la utilización en él de una variable de tipo VistaMapaFinal hace posible mostrar el círculo azul en el punto de la pantalla cuya posición ha sido estimada.
- para la valoración de la eficacia de la aplicación, se ha creado un manejador de tipo Handler, que crea una instancia de la clase CuestionAcierto, que extiende, a su vez, a la clase DialogFragment, para mostrar una ventana en el centro de la pantalla que pregunte por la exactitud de la estimación, como ya se ha explicado en el anexo A de la memoria.

### ***3.6.5 Flujo de datos en la aplicación Posicionador.***

A continuación se muestra la figura 3.5, en la que aparece representado el flujo de datos dentro de la aplicación Posicionador. Del mismo modo que se ha hecho en el diagrama de flujo de datos de la otra aplicación, sólo aparece la información más relevante, para no convertirlo en un diagrama demasiado complejo de entender.

El significado de los elementos de la figura es el mismo que en la de la aplicación GeneradorMapaPotencias, y la explicación puede leerse de forma detallada en el apartado 3.6.4 de esta memoria.



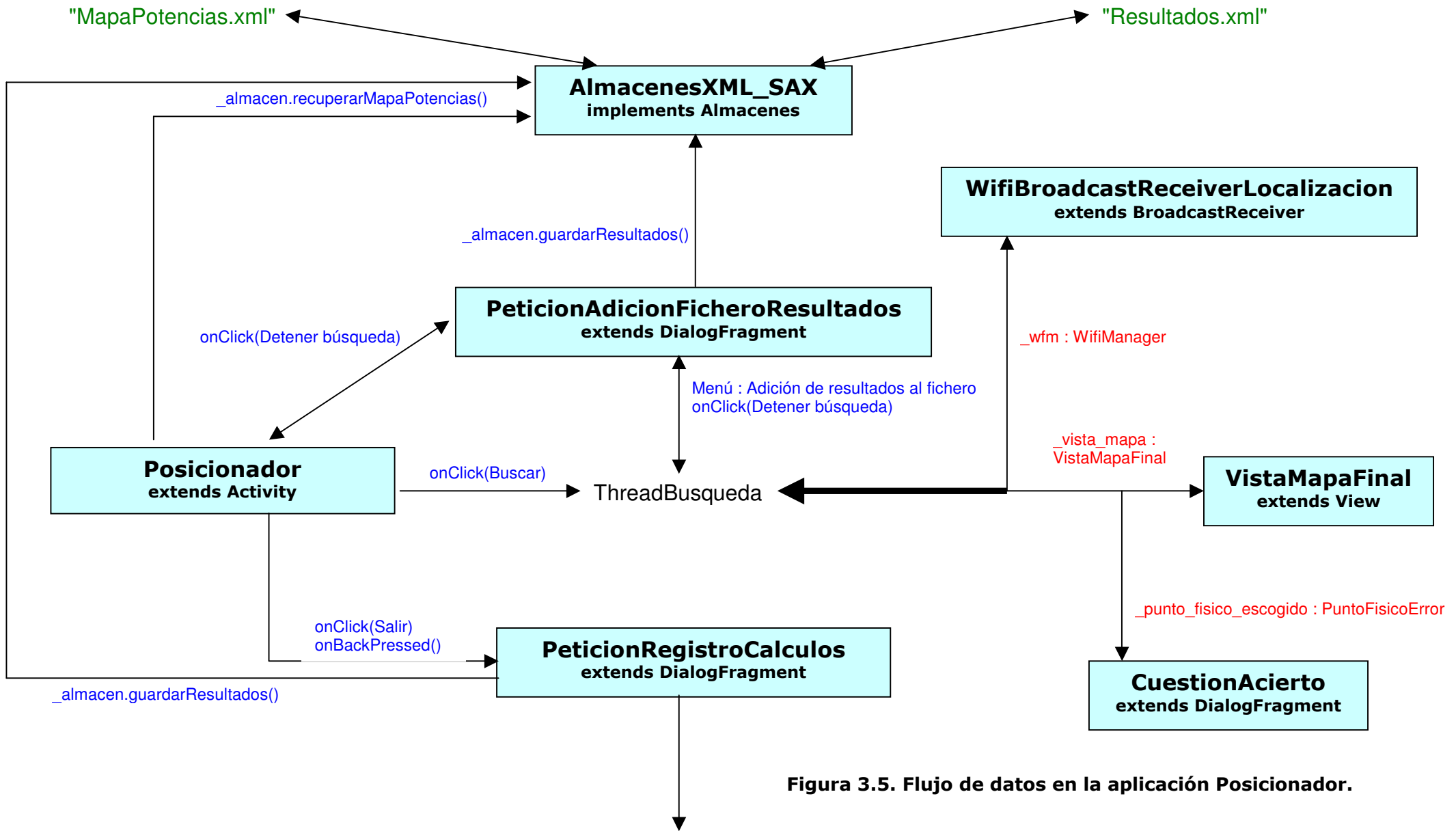


Figura 3.5. Flujo de datos en la aplicación Posicionador.

Fin de la ejecución de la aplicación

## Capítulo 4. Evaluación del sistema y pruebas

### 4.1 Introducción

Se han realizado varias simulaciones para verificar el funcionamiento del sistema completo. Se han almacenado los resultados obtenidos en aquéllas para poderlos analizar y determinar si el funcionamiento del sistema es el esperado. Estos resultados almacenados en un fichero con formato xml consisten en lo siguiente:

- Punto físico estimados con cada cálculo de la posición, expresado mediante sus coordenadas 'x' e 'y'.
- Para cada punto físico, la decisión tomada manualmente por el técnico de pruebas y que puede tener tres diferentes valores ("correcto", "adyacente" e "incorrecto").

Se ha tomado como lugar de pruebas la planta baja del Centro Comercial Augusta de Zaragoza. Se ha propuesto un número de pruebas que se ha considerado suficiente para la demostración del funcionamiento de las aplicaciones y éstas se han realizado por toda la planta del recinto y en diferentes momentos.

Las simulaciones han permitido detectar, no sólo si el sistema funciona correctamente, sino también las áreas del recinto que podrían causar problemas por diferentes motivos como un número de puntos de acceso insuficientes o la pérdida de señal debida a la infraestructura o arquitectura del lugar, entre otros. Dichos posibles problemas son particulares del recinto escogido, pero pueden extrapolarse a otros edificios, cada uno con sus particularidades propias.

Finalmente, se hace un pequeño cálculo de fiabilidad del sistema en cuanto a exactitud de estimación de posiciones, aunque el objetivo principal de estas pruebas es la verificación del funcionamiento de las aplicaciones.

## 4.2 Pruebas, errores y validación del sistema

Se va a proceder a la realización de las pruebas de funcionamiento del sistema. Esto no significa que se hayan realizado pruebas únicamente al final del proceso de diseño, sino que durante toda la elaboración se ha ido siguiendo un esquema de prueba y mejora de cada uno de los módulos del trabajo. En general, se ha intentado seguir el siguiente esquema:

- Diseño del código necesario en cada parte del sistema.
- Compilación de dicha parte del código e instalación en un dispositivo móvil.
- Prueba de la aplicación hasta ese momento.
- Comprobación del funcionamiento en ese punto del diseño y evaluación de las mejoras y modificaciones necesarias si así se requería o continuación con el código si todo funcionaba de la forma esperada. En ambos casos se vuelve al punto de diseño del código y se repite este bucle de cuatro puntos básicos.

Algunos de los errores más notables cometidos y subsanados en el desarrollo de las aplicaciones son los siguientes:

### Insuficiencia de la primera aplicación realizada:

Se realiza una primitiva aplicación llamada *LeerPotencias*, cuya tarea es la de detectar los puntos de acceso Wi-Fi dentro del radio de detección del dispositivo móvil y almacenar en una variable interna los datos obtenidos de ellos ( dirección MAC, potencia recibida, frecuencia de trabajo o nombre del punto de acceso). Esto resulta insuficiente, ya que no sólo necesitamos detectar dichos puntos de acceso, sino también trabajar con los datos guardados. La solución pasa por crear una nueva aplicación, que llamaremos *Localizador*, y que integrará las clases y el código de *LeerPotencias*.

### Insuficiencia de la segunda aplicación realizada:

Esta segunda aplicación realizada ya no es suficiente, puesto que las especificaciones del proyecto indican que la creación de la base de datos debe ser transparente para el usuario final, y que el sistema debe estar formado al final por dos aplicaciones diferentes. Para que un técnico de medición se encargue de dicha tarea de creación del mapa radio, se desdobra la aplicación, creando una primera aplicación *GeneradorMapaPotencias* que tenga dicho cometido y dejando a otra aplicación diferente la tarea de estimar la posición del usuario.

### Insuficiencia de los tipos de datos para la representación de las potencias:

Los tipos de datos básicos para el manejo de números resultan escasos, puesto que las potencias detectadas llegan a ser del orden de -50 a -90 dBm, lo que representa un problema al transformarlas a modo lineal. Para solucionar esto, se ha decidido trabajar con el modo logarítmico de las potencias, ya que las operaciones realizadas para la estimación de la posición así lo permiten.

### No se detectan todos los puntos de acceso en todas las posiciones:

A la hora de crear la base de datos de puntos físicos para la posterior comparación con la posición del dispositivo ha surgido el problema de que no en todas las localizaciones se detectan todos los puntos de acceso, dada la amplia superficie del recinto. Esto es importante porque, a la hora de estimar la posición del usuario se realiza un cálculo de las potencias instantáneas recibidas con las almacenadas punto por punto físico. Si no se compara en cada punto físico almacenado con todos los puntos de acceso, el cálculo no es correcto y se introducen errores. Para evitar este importante problema, a la hora de crear la base de datos se van a introducir virtualmente los puntos de acceso faltantes en cada punto físico, asignándoles una potencia pequeña lo suficientemente despreciable frente a la de los puntos de acceso sí detectados en él, y que hemos determinado que sea de -99 dBm, ya que las mínimas detectadas son del orden de -90 dBm, mientras que las potencias recibidas de los puntos de acceso más cercanos en cada momento se encuentran entre -50 y -75 dBm, y son éstas últimas las más relevantes a la hora del cálculo de la posición.

### Durante la creación de la base de puntos físicos no se podía deshacer un error de pulsado:

Al pulsar en el mapa la posición actual para tomar los datos necesarios y crear el punto físico para insertarlo en la base de datos, si se pulsaba en el lugar erróneo no había posibilidad de rectificar. Se ha creado un DialogFragment para que se muestre una ventana de confirmación y el usuario pueda confirmar la correcta pulsación o realizar una nueva, desechando ésta última.

### Imposibilidad de realizar la creación de la base de datos en más de una sesión de medida:

Se ha planteado la necesidad de realizar las medidas para la creación de la base de datos en diferentes sesiones de medida, con el consiguiente problema de que, al cerrar la aplicación se perdían los datos tomados hasta el momento. Para dar fin a este problema, se creó una interfaz, que hemos llamado Almacenes; de esta manera podemos crear clases basadas en ella con el código y los métodos necesarios para poder almacenar los datos que nos interesa guardar en un fichero de tipo xml. De este modo, las siguientes

veces que se acceda a la aplicación, se podrá leer dicho fichero y cargar de nuevo los datos guardados en él en las variables de la aplicación para complementarlos. Esto se podrá realizar las veces necesarias hasta tener la base de datos completa.

### Imposibilidad de transferir los datos de una aplicación a otra:

No se podía acceder desde la aplicación *Posicionador* a los datos de la base almacenada en *GeneradorMapaPotencias*. Para poder hacerlo, se ha resuelto con el método del punto anterior, aprovechando el fichero xml creado.

### No se conseguía ejecutar de manera continua el cálculo y representación en el mapa de la posición estimada:

Para solucionar este problema se ha creado lo que se viene llamando un thread o hilo secundario. Este hilo ejecuta el código correspondiente al cálculo, decisión y representación de la posición mediante un círculo en el mapa, y lo ejecuta en paralelo al hilo principal, que se encarga del resto de funcionalidades de la aplicación.

### No se podía pintar la posición estimada del usuario:

Se ha solucionado creando dos variables que indiquen las coordenadas 'x' e 'y' de cada punto físico almacenado durante la creación de la base de datos para su posterior utilización en la representación de la posición estimada.

### Dotación de mayor funcionalidad de las aplicaciones para futuros usos:

Se ha decidido no vetar las aplicaciones a los usos actuales, lo cual no es un fallo en sí pero se ha tomado como tal. Se ha creado un menú en la parte superior de la pantalla (aparte del menú principal existente al iniciar las aplicaciones) para poder añadir en un futuro nuevas características y funciones.

### Otros errores de código:

Se han ido detectando y arreglando múltiples fallos de código durante el proceso de diseño de las aplicaciones. Los más reseñables son:

- Fallos en la transmisión de datos entre clases y entre actividades. Éstos se han subsanado mediante la creación de Intents y contenedores Bundle, para transmitir la información necesaria de una actividad a otra, o la utilización correcta de las variables locales y globales de la aplicación.

- No se actualizaban correctamente las imágenes y dibujos en la pantalla del mapa. Se ha resuelto utilizando correctamente los escuchadores de eventos de los botones de la pantalla.
- No se podía cambiar de una actividad a otra al pulsar los botones. Se ha resuelto declarando correctamente dichos botones en la actividad correspondiente a cada uno.
- Se requería una forma de almacenamiento interno que pudiera ser accesible tantas veces fuera necesaria y de forma secuencial. Se utilizó el objeto Lista para esta necesidad.
- Al hilo de lo que sucedía con la imposibilidad de rectificar un error de pulsado en `GeneradorMapaPotencias`, también se han incluido ventanas de confirmación en otros momentos durante el uso de ambas aplicaciones como, por ejemplo, para solicitar si se desea guardar los datos nuevos de la sesión actual o para solicitar una evaluación de cada estimación de la posición del usuario.

### **4.3 Estudio de resultados para las pruebas del sistema**

Tras la explicación de las pruebas realizadas y los errores encontrados más importantes durante la realización del proyecto, vamos a proceder a mostrar las pruebas definitivas que se han tomado como representativas para la validación del sistema y que han tenido lugar, como ya se ha dicho anteriormente, en la planta baja del Centro Comercial Augusta de Zaragoza.

Se van a detallar dos pruebas, una realizada el día 25 de enero de 2016 y otra realizada el día 27 de marzo de 2017. La principal diferencia entre ambas es que, durante el tiempo que transcurrió entre ellas, tuvo lugar una ampliación de las zonas con cobertura Wi-Fi en el interior del recinto y, por tanto, un aumento de los puntos de acceso su zona más occidental, correspondiente a la tienda de Carrefour. Este hecho motivo la creación de un nuevo mapa radio del lugar y la repetición de las pruebas de validación del sistema. Han tenido lugar otras sesiones de prueba, anteriores y posteriores a las que se explican, pero se han tomado estas dos por ser las más representativas de entre las que se han realizado. Obviamente, los resultados obtenidos varían en función de parámetros como la afluencia de personas en el lugar, los cambios arquitectónicos u otros, tal y como se comentó anteriormente, pero tras varias sesiones de prueba se ha estimado que para comprobar el funcionamiento de la aplicación, las dos mostradas son perfectamente representativas.

Se ha tomado como erróneo cualquier cálculo que estime un punto alejado en más de una posición en el mapa radio del que es, en realidad, la posición del usuario, es decir, aquél que se estime a más de 10 metros del real. Por otro lado, se ha llamado punto adyacente a cualquiera de los puntos que se encuentren colindantes en la estructura del mapa radio al real, o lo que es lo mismo, a una distancia de entre 7 y 10 metros de la posición real.

Por último, cabe destacar también que, para la realización de las diferentes pruebas, se han repetido los posibles movimientos de un usuario cualquiera a través del recinto, como, por ejemplo, paradas en escaparates o retroceso por el mismo camino.

#### ***4.3.1 Primera prueba.***

La primera prueba que se expone, representativa de otras realizadas a comienzos del año 2016, tiene como característica principal el hecho de que toda la zona correspondiente a la tienda de Carrefour no se incluye en el

mapa radio ni en la batería de pruebas de validación, ya que en ella no existían en esa fecha puntos de acceso Wi-Fi.

Se realizan en esta prueba concreta un total de 78 estimaciones de posición a lo largo de la planta baja de la galería del centro comercial, obteniéndose los siguientes resultados:

- En 40 de los 78 casos se estimó correctamente la posición, lo que supone una exactitud de un 51,28% de los cálculos.
- En 30 de los 78 casos se calculó una posición que resultó ser un punto adyacente en el mapa radio a aquél en que se encontraba el usuario en ese momento, y suponen un 38,46% del total.
- En 8 de los 78 casos la estimación fue errónea, es decir, un 10,26% del total.

En la figura 4.1 se muestran dos extractos del fichero "Resultados.xml" donde se puede ver su estructura y forma de almacenamiento de los puntos estimados. En el primero de ellos, se ha seleccionado el comienzo del fichero, con los 7 primeros cálculos, y se ve como, por ejemplo, en el tercer cálculo el usuario se ha desplazado y la aplicación sigue estimando la misma posición, que ya se corrige en el siguiente cálculo, o que durante varios segundos, se ha detenido en el punto (680.33 , 213.55).

En el segundo extracto, correspondiente a otro tramo del mismo fichero, se observa, en los tres primeros cálculos mostrados, como el usuario ha retrocedido sobre sus pasos y el cálculo ha resultado correcto, o también como, al pasear en círculos en un área pequeña, la aplicación no consigue calcular la posición correcta pero sí puntos adyacentes que, según la precisión requerida para sus futuros usos, podrían ser igualmente válidos.







- En 4 de los 102 casos se ha calculado una posición errónea, lo que corresponde al 3,92% del total.

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="true"?>
- fichero_resultados_xml>
- <id_punto_fisico>
  <coordenada_x>506.50537</coordenada_x>
  <coordenada_y>198.5757</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Adyacente</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>
- <id_punto_fisico>
  <coordenada_x>506.50537</coordenada_x>
  <coordenada_y>198.5757</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Adyacente</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>
- <id_punto_fisico>
  <coordenada_x>628.38635</coordenada_x>
  <coordenada_y>237.5108</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Correcto</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>
- <id_punto_fisico>
  <coordenada_x>592.42145</coordenada_x>
  <coordenada_y>261.4709</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Incorrecto</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>
- <id_punto_fisico>
  <coordenada_x>664.3512</coordenada_x>
  <coordenada_y>247.49417</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Adyacente</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>
- <id_punto_fisico>
  <coordenada_x>715.30145</coordenada_x>
  <coordenada_y>209.5574</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Adyacente</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>
- <id_punto_fisico>
  <coordenada_x>715.30145</coordenada_x>
  <coordenada_y>209.5574</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Adyacente</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>
  <coordenada_x>157.84586</coordenada_x>
  <coordenada_y>222.53577</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Correcto</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>
- <id_punto_fisico>
  <coordenada_x>170.83318</coordenada_x>
  <coordenada_y>166.74876</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Adyacente</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>
- <id_punto_fisico>
  <coordenada_x>157.84586</coordenada_x>
  <coordenada_y>222.53577</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Correcto</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>
- <id_punto_fisico>
  <coordenada_x>157.84586</coordenada_x>
  <coordenada_y>222.53577</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Correcto</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>
- <id_punto_fisico>
  <coordenada_x>157.84586</coordenada_x>
  <coordenada_y>222.53577</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Correcto</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>
- <id_punto_fisico>
  <coordenada_x>163.84</coordenada_x>
  <coordenada_y>351.3211</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Adyacente</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>
- <id_punto_fisico>
  <coordenada_x>163.84</coordenada_x>
  <coordenada_y>351.3211</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Correcto</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>
- <id_punto_fisico>
  <coordenada_x>163.84</coordenada_x>
  <coordenada_y>351.3211</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Correcto</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>
- <id_punto_fisico>
  <coordenada_x>163.84</coordenada_x>
  <coordenada_y>351.3211</coordenada_y>
  <error_calculo>40000.0</error_calculo>
  <exactitud_calculo>Correcto</exactitud_calculo>
</id_punto_fisico>

```

Figura 4.3. Extractos del fichero de resultados.

### ***4.3.3 Conclusiones de las pruebas de validación.***

De las diferentes pruebas realizadas, de las que se han mostrado dos de los ejemplos más representativos, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El hecho de tener un mapa radio con mayor número de localizaciones posibles desemboca en una mayor complejidad de los cálculos, puesto que la aplicación ha de decidir entre un mayor número de casos posibles. Como ya se comenta en el capítulo siguiente, a este respecto, se podrían tener en consideración algunas mejoras en los algoritmos de cálculo o en los criterios de estimación.
- La existencia de más puntos de acceso Wi-Fi en algunas zonas del recinto, pasando de un total de 84 a 95, se ha traducido, en general, en una mejora del funcionamiento global del sistema, ya que, en dichas zonas, se venía observando una deficiencia de señal, principal causante de alguno de los cálculos incorrectos. Esto se debe a que es importante tener un punto de acceso cerca del dispositivo, para que la potencia recibida de él sea suficientemente grande con respecto a la de otros puntos de acceso. Esto supone una mejora considerable de los resultados del sistema, sólo incluyendo un mayor número de puntos de acceso en el recinto, con el correspondiente coste económico a tener en cuenta.
- Si se reduce mínimamente el requisito de exactitud del sistema, considerando como correcto cualquier estimación de una posición que se encuentre en un radio de entre 7 y 10 metros alrededor de la localización real del usuario, es decir, se consideran como correctos los puntos definidos como adyacentes, obtendríamos los siguientes resultados:
  - o En la primera prueba mostrada, el número de cálculos correctos sería de 70 sobre un total de 78, lo que supondría un 89,74% de exactitud.
  - o En la segunda prueba, el número de cálculos correctos sería de 98 sobre un total de 102, lo que supondría un 96,08% de exactitud.

Como valoración global, se estima que el funcionamiento del sistema formado por las dos aplicaciones es el esperado. En el caso de una comercialización del producto sería necesario un mayor número de pruebas con un exhaustivo estudio de rendimiento y fiabilidad y el consiguiente estudio estadístico para valorar el error cometido en cada caso y su posible solución.

## Capítulo 5. Conclusiones

### 5.1 Conclusiones

En este capítulo se van a comentar las conclusiones extraídas a partir de la experiencia durante el diseño y pruebas de las aplicaciones y tras el estudio de los resultados obtenidos.

Como primera impresión, cabe destacar que se han cumplido las necesidades iniciales del proyecto, así como las subsiguientes generadas durante su realización, y también los requisitos impuestos en un principio.

Además, se han tenido en cuenta posibles futuras necesidades tanto a la hora de reutilizar las aplicaciones en otros usos diferentes a los propuestos, aunque siempre basados en la localización, base del trabajo realizado, como a la hora de ampliar las funcionalidades del uso actual.

También es importante destacar que la información utilizada y tratada en las aplicaciones diseñadas no debe ser utilizada fuera del ámbito de este proyecto sin el consentimiento de los usuarios y propietarios de los puntos de acceso utilizados para el cálculo de la posición. Aún con todo, diremos que la información recogida y utilizada no es, en principio, de dominio privado y, por tanto, su uso no debería causar problema alguno.

De manera personal, debo comentar que, aunque este tipo de aplicaciones ya se empiezan a utilizar desde hace algún tiempo, aunque no directamente, sino como plataforma para otras aplicaciones, creo que la localización en interiores es un importante campo a explorar, puesto que cada vez hay más grandes construcciones con una alta afluencia de personas y una mayor demanda, dentro de estos edificios, de servicios basados en localización. Hay lugares como hospitales, guarderías, residencias de ancianos, edificios públicos y otros muchos en los que interesa saber dónde se encuentra cada persona a fin de evitar accidentes o extravíos. Por otro lado, a una persona quizá no le interese saber su posición, pero sí qué puede ver, comprar o encontrar en sus proximidades cosas interesantes (dónde se encuentra una obra de arte concreta en un museo, o qué tienda le ofrece el producto deseado y a qué precio, entre otros ejemplos). Todas estas necesidades requieren de una localización previa para verse cubiertas por aplicaciones de ámbito superior y global.

Finalmente, y de manera no menos personal, diré que para lograr una localización en interiores, y descartando la actual imposibilidad de utilizar

GPS en dichos espacios, pienso que Wi-Fi, por su actual extensión y desarrollo, y por su facilidad y escaso coste de implementación, es la solución más idónea desde mi punto de vista para lograr tal fin. ¿Qué local o empresa no tiene un punto de acceso a Internet con conexión Wi-Fi? Si pensamos en centros comerciales, prácticamente cada local tiene uno. Si hablamos de otros edificios, quizá no sea tan fácil, pero hoy en día existen repetidores y puntos de acceso a la venta a un escaso coste económico. En una palabra, con lo sencillo que es trabajar con este tipo de señales, creo que no hay duda en que este sistema de trabajo es muy adecuado para nuestra finalidad.

## 5.2 Futuras mejoras

Varias mejoras se han considerado durante la realización de este proyecto. No se han realizado, bien por evitar una extensión en el tiempo no asumible, bien porque no eran requisito indispensable.

En primer lugar, y como siempre que se asumen una serie de aproximaciones y sus correspondientes errores, podrían mejorarse las fórmulas y algoritmos de cálculo de la posición estimada. En lugar de utilizar la distancia euclídea en el cálculo del punto físico estimado, podrían utilizarse otras fórmulas más complejas o mantener la actual incluyendo algoritmos de mejora que tuvieran en cuenta la anterior posición, descartando las que se encuentren demasiado alejadas como siguiente posición a estimar, puesto que la velocidad humana tiene unos límites ya explicados anteriormente y ciertos cambios bruscos de localización en unos segundos son ciertamente improbables. Esto es lo que se llama búsqueda espacial con restricciones, como ya se ha explicado en el apartado 2.2.3 de esta memoria. No se han tenido en cuenta estas mejoras, puesto que no se ha considerado necesario hacer más compleja la aplicación para evitar mayores retardos de cálculo y tiempos de espera que habrían incurrido en el no cumplimiento de las especificaciones.

Pese a que se han desarrollado las aplicaciones en el sistema operativo Android, sería posible en un futuro la extensión a iOS y a Windows Phone, este último menos utilizado, pero no por ello de menor importancia. Esto conseguiría satisfacer las necesidades del 100% de los usuarios de dispositivos móviles.

Se ha diseñado la aplicación para poder seleccionar diferentes centros comerciales y distintas plantas dentro de éstos en futuras versiones, pero realmente sólo funciona para la primera planta del Centro Comercial

Augusta, como ya se ha comentado. Hacer que funcione correctamente para otras superficies es una mejora inmediata y realizable a muy corto plazo.

Algún tipo de automatismo en la actualización de la base de datos de puntos físicos sería interesante, para así evitar la necesidad de actualizarla manualmente cada cierto tiempo, para solucionar los problemas generados por los cambios de lugar de objetos, el cierre y apertura de nuevas tiendas, el cambio de puntos de acceso debidos a lo comentado en la línea anterior o al cambio de proveedor de servicios, entre otras causas.

La utilización de otro sistema para el almacenamiento de datos para la creación de la base de puntos físicos sería una importante mejora, puesto que el uso de ficheros xml para este fin no es la solución óptima, aunque sea la considerada en este proyecto. Una base de datos relacional como SQL sería, a mi criterio, más interesante para el guardado y utilización de los datos. Con una inversión de tiempo, en el futuro se podría mejorar este punto tan importante.

También podría mejorarse la aplicación con la realización de más y mejores pruebas de funcionamiento que tuvieran en consideración una estadística de errores más compleja. Esto podría correr a cuenta de la empresa que decidiera invertir tiempo y coste en la mejora de estas aplicaciones y su posterior comercialización.

### **5.3 Consideraciones personales**

Para finalizar este capítulo de reflexiones acerca de este proyecto final de carrera, me gustaría añadir algunas ideas.

En primer lugar, debo decir que la realización de este proyecto, aunque costosa debido a que he tenido que compaginarla con mi trabajo a jornada completa, y con la correspondiente y constante necesidad de tiempo, ha resultado satisfactoria, puesto que me ha permitido aplicar gran parte de los conocimientos adquiridos durante la realización de las diferentes asignaturas de la carrera; esto me ha demostrado que el esfuerzo realizado durante los años anteriores ha merecido la pena, pero también que todo lo aprendido se puede utilizar en la puesta en marcha de ideas y en la mejora del día a día de la calidad de vida de las personas.

Además, es necesario comentar lo importante que ha resultado a nivel personal el hecho de poder investigar nuevos campos de actuación, como el de la localización en interiores, y profundizar en este interesante tema que, desde mi visión personal, constituye un filón de investigación y desarrollo

todavía por explotar del todo. También me ha permitido investigar un nuevo lenguaje de programación que desconocía, como es Android.

Para terminar, diré que también ha sido satisfactorio poder partir de una idea que necesitaba del trabajo que he realizado en este proyecto para verse complementada y que, juntas ambas, constituyen un todo consistente y con futuro.



## Capítulo 6. Bibliografía

- [1] Moliné Gómez, Jorge. Análisis y demostración de servicios basados en localización en entornos interiores. Proyecto Final de Carrera.
- [2] Liu, Junjie. Survey of Wireless Based Indoor Localization Technologies.
- [3] Alarifi, Abdulrahman; Al-Salman, AbdulMalik. Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances. Riyadh University.
- [4] Navarro, Eduardo; Peuker, Benjamin; Quan, Michael. Wi-Fi Localization Using RSSI Fingerprinting. California Polytechnic State University.
- [5] Tomás Gironés, Jesús. El gran libro de Android. Editorial Marcombo, 3ª edición.
- [6] Tomás Gironés, Jesús; Carbonell, Vicente; García, Miguel; Vogt, Carsten; Bataller, Jordi, Ferri, Daniel. El gran libro de Android avanzado. Editorial Marcombo, 2ª edición.
- [7] McCracken, Scott. Android 4, desarrollo profesional de aplicaciones. Editorial Inforbook's, 1ª edición.
- [8] <http://android-des.blogspot.com.es/2013/02/problematICA-de-pantallas-android.html>. 10 de enero de 2015.
- [9] <http://www.androidcurso.com/>, web de la Universitat Politecnica de Valencia, relacionada con [1] y [2]. 22 de enero de 2015.
- [10] <http://www.sgoliver.net/blog/curso-de-programacion-android/indice-de-contenidos/>. 17 de marzo de 2015.
- [11] <https://developer.android.com/reference/classes.html>. 17 de marzo de 2015.
- [12] <https://sekthdroid.wordpress.com/2013/02/06/fragments-dialogfragment-en-android/>. 24 de abril de 2015.
- [13] <http://android-des.blogspot.com.es/2013/02/problematICA-de-pantallas-android.html>. 10 de enero de 2015.

## Capítulo 7. Índice de figuras y tablas

### 7.1 Índice de figuras

FIGURA 2.1. TRIANGULACIÓN MEDIANTE DISTANCIAS.....	21
FIGURA 2.2. TRIANGULACIÓN MEDIANTE ÁNGULOS. ....	22
FIGURA 2.3. MÉTODO AOA (ANGLE-OF-ARRIVE). ....	23
FIGURA 2.4. MÉTODO TOA (TIME-OF-ARRIVAL). ....	24
FIGURA 2.5. VISIÓN DIRECTA (LOS) Y NO DIRECTA (NLOS).....	25
FIGURA 3.1. ESQUEMA DEL SISTEMA DE DOS APLICACIONES. ....	42
FIGURA 3.2. CICLO DE VIDA DE UNA ACTIVIDAD EN UNA APLICACIÓN ANDROID.       46	
FIGURA 3.3. FLUJO DE DATOS EN LA APLICACIÓN GENERADORMAPAPOTENCIAS (I).....	50
FIGURA 3.4. FLUJO DE DATOS EN LA APLICACIÓN GENERADORMAPAPOTENCIAS (II). ....	51
FIGURA 3.5. FLUJO DE DATOS EN LA APLICACIÓN POSICIONADOR. ....	55
FIGURA 4.1. EXTRACTOS DEL FICHERO DE RESULTADOS.....	63
FIGURA 4.2. MAPA RADIO DE LA PRUEBA.....	64
FIGURA 4.3. EXTRACTOS DEL FICHERO DE RESULTADOS.....	65

### 7.2 Índice de tablas

TABLA 2.1. COMPARATIVA ENTRE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS.....	20
--	----



---

# Anexos

# Anexo A. Manual de usuario de las aplicaciones.

## A.1 Aplicación GeneradorMapaPotencias

### A.1.1 Pantalla principal

Cuando se inicia la aplicación *GeneradorMapaPotencias*, aparece una pantalla como la mostrada en la figura A1. Desde esta pantalla se presentan cuatro opciones directas, ambas accesibles pulsando sobre cada uno de los botones correspondientes. También aparece una información en la parte inferior del primer botón. Dicha información muestra el recinto y la planta de éste que se encuentran actualmente seleccionados para la creación del mapa radio con la base de datos de puntos físicos.

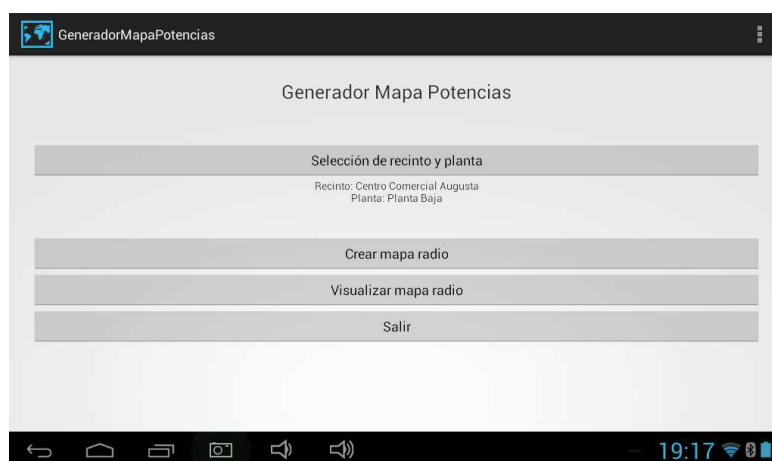


Figura A1. Pantalla principal.

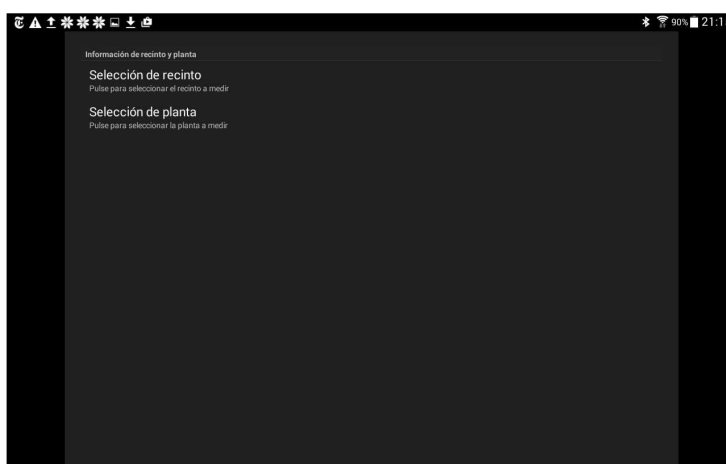
### **A.1.2 Selección de recinto y planta**

Al hacer click en el botón "Selección de recinto y planta", aparece una nueva pantalla, como se muestra en la figura A2. Aquí se pueden realizar dos acciones:

- Selección de recinto: para seleccionar el recinto sobre el que queremos realizar el mapa radio hay que pulsar en la opción "Selección de recinto" y aparecerá una ventana con los recintos disponibles y un círculo al lado de cada uno. Marcando el círculo correspondiente se selecciona el recinto deseado.
- Selección de planta: para escoger la planta del recinto sobre la cual vamos a crear el mapa radio. De la misma manera que en la opción anterior, se pulsa en la opción "Selección de planta" y aparece de nuevo una ventana en la pantalla para marcar la planta deseada.

Para retornar a la pantalla principal y que la nueva elección se haga efectiva, hay que pulsar el botón de retorno del propio dispositivo móvil.

Si se selecciona una planta inexistente para un determinado centro comercial, la aplicación está programada para que al volver a la pantalla principal, la información que se muestra sea un mensaje con el texto: "Ha seleccionado una planta que no está disponible para ese recinto. Por favor, seleccione otra planta." En ese supuesto, se debe entrar de nuevo en la selección de recinto y planta para seleccionar unas opciones que sean correctas.



**Figura A2. Pantalla de selección de recinto y planta.**

### A.1.3 Nueva medición

#### Inicio de un nuevo mapa radio

Un click en el botón "Crear mapa radio" nos lleva a la pantalla del plano de la planta del recinto, desde la que se gestiona la creación del mapa radio, tal y como se muestra en la figura A3. En esta pantalla se visualiza una imagen precargada en la herramienta de desarrollo y que se corresponde con un plano de la planta del recinto sobre el que se desea crear la base de datos.

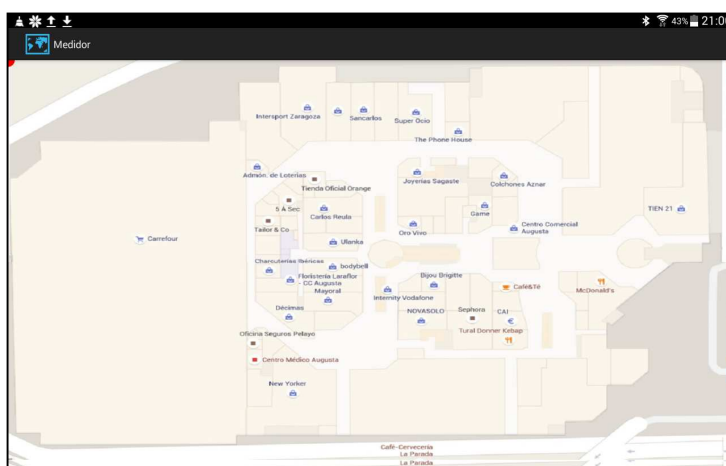


Figura A3. Pantalla del plano de la planta del recinto.

El funcionamiento de esta función es muy simple, dado que el objetivo es que esta aplicación sea transparente al usuario final y sea manejada por un técnico encargado de la creación de los mapas radio. Para un mejor y más claro resultado, se intentará crear la base de datos comenzando por un punto y realizando un trazado aproximadamente circular a través del recinto, para evitar olvidar puntos críticos. Se comienza pulsando la pantalla en el punto correspondiente al que se encuentra el técnico según el mapa de la imagen. Al hacerlo, dicho punto se señala mediante un círculo rojo, que sirve además para poder comprobar que se ha pulsado en el lugar correcto, como muestra la figura A4.

Automáticamente aparece una ventana en el centro de la pantalla del dispositivo con las coordenadas relativas del punto y dos opciones, a pulsar imperativamente una de ellas (ver figura A5). Si se ha tocado en el lugar correcto, se pulsa "Aceptar", pasando el círculo de color rojo a verde y almacenándose el punto físico en la variable interna de tipo lista (ver figura A6); y si ha habido alguna equivocación o error, se pulsa "Cancelar", que nos devuelve al mapa sin efecto alguno.

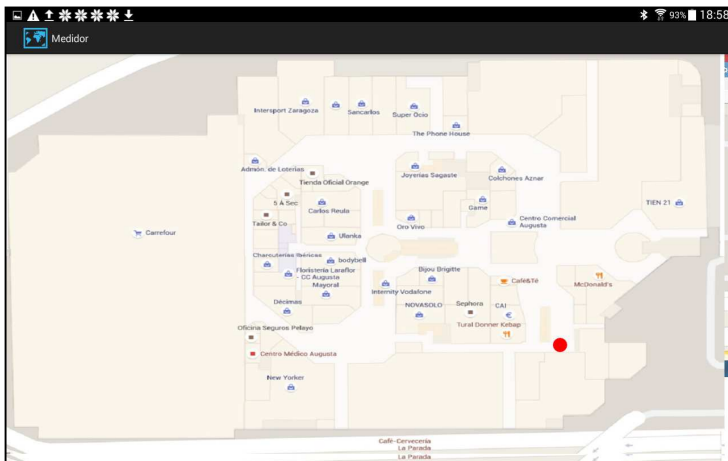


Figura A4. Círculo rojo mostrado tras una pulsación en pantalla.

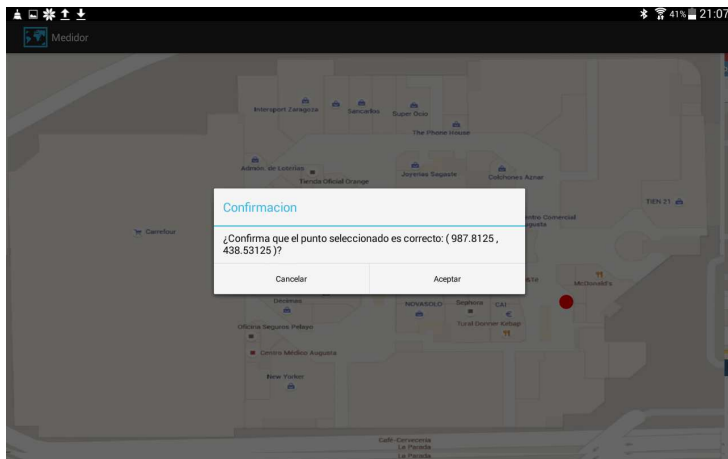


Figura A5. Ventana de confirmación del punto seleccionado.

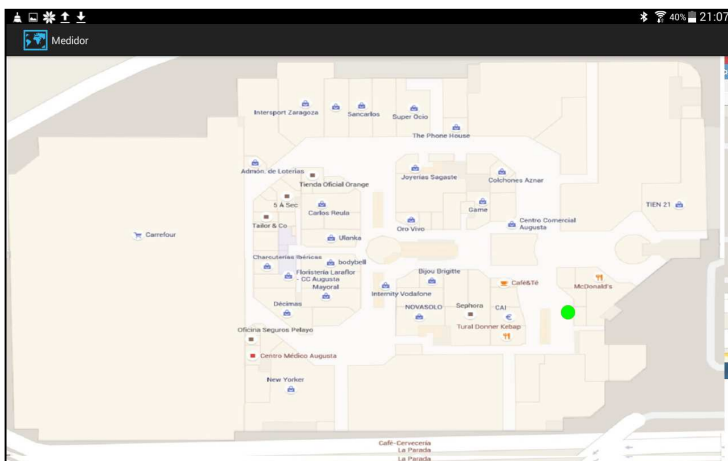


Figura A6. Círculo verde tras confirmación de punto seleccionado.



Este procedimiento se ha de seguir hasta completar el mapa radio o hasta que se termine el tiempo determinado para este trabajo. Si no se ha finalizado la tarea, no supone problema alguno, puesto que se ha contemplado esta situación y se explicará en el punto siguiente. Si se continúa creando puntos físicos en el mapa radio, irán apareciendo en la pantalla del dispositivo diferentes puntos verdes, correspondientes con aquellos. Cuando se desee grabar la sesión actual con las modificaciones realizadas hasta el momento, se puede llevar a cabo mediante la pulsación del botón menú existente en el propio dispositivo (si carece de dicho botón, en la parte superior derecha de la pantalla debe aparecer un botón virtual menú, con los mismos opciones que el anterior), y seleccionando la opción "Adición de medidas al fichero", como se aprecia en la figura A7, y que consolida el trabajo realizado hasta el momento, creando un nuevo fichero de tipo xml, al que se añadirán los puntos físicos nuevos creados desde la última grabación. Para ello, en la ventana emergente que aparece (ver figura A8), se deberá pulsar "Sí", cuyo efecto será la transformación de los círculos verdes en azules, para indicar que se han almacenado en el fichero, como se puede ver en la figura A9; si no se desea guardar las últimas medidas realizadas por cualquier motivo, se selecciona la opción "No", aunque ésta decisión no las borra de la variable interna. Si se desea eliminar dichas medidas de la variable interna, se debe pulsar la tecla de retorno y, desde el menú principal, volver a acceder a la pantalla de Medidor.

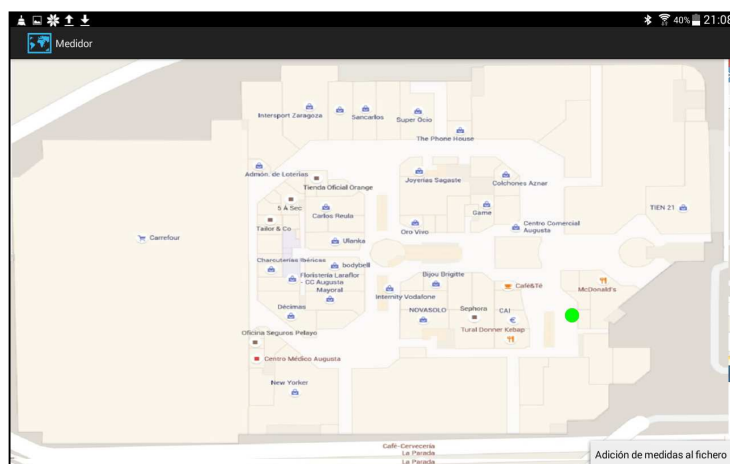


Figura A7. Pestaña menú "Adición de medidas al fichero".

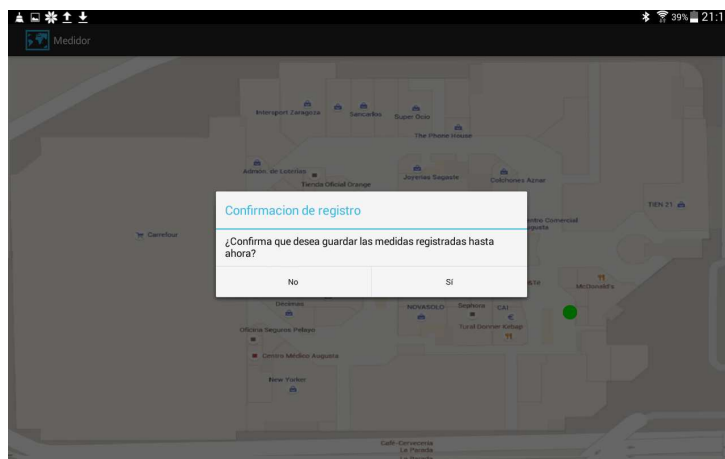


Figura A8. Confirmación de registro de medidas realizadas.

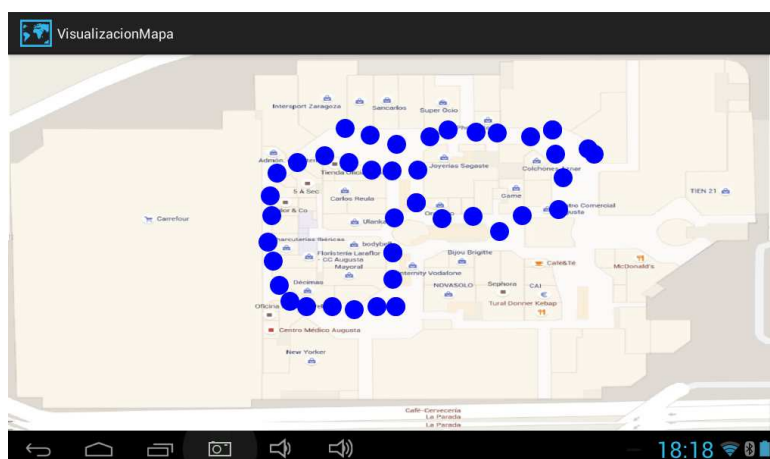


Figura A9. Estado tras almacenamiento en el fichero.

### *Continuación de un mapa radio ya existente*

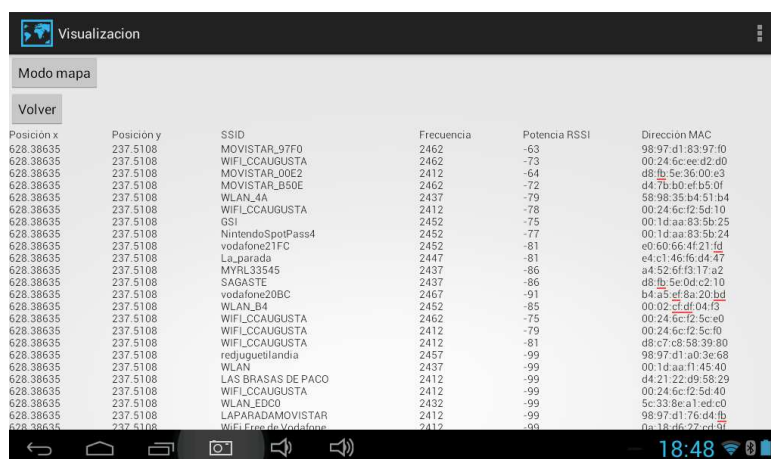
El proceso es el mismo que cuando se inicia un nuevo mapa radio, pero hay que tener en cuenta algunas cosas. Cuando se inicia la pantalla del mapa tras la pulsación del botón "Nueva medición" en la pantalla principal, aparecen en él unos círculos azules correspondientes a los puntos físicos creados en anteriores sesiones de medición y que se han cargado automáticamente desde el fichero xml. La vista en pantalla es idéntica a la que aparecía tras registrar las medidas realizadas en el punto anterior, correspondiente a la figura A9.

Se debe continuar a partir de ese punto del mismo modo que se explica en el apartado anterior y, al grabar los datos con la opción "Adición de medidas al fichero" del menú disponible en esta pantalla, ya no se crea un nuevo fichero, sino que se actualiza el existente, añadiéndose a él los nuevos puntos físicos creados.

### A.1.4 Visualizar medición

Un click en el botón "Visualizar medición" nos conduce directamente a la pantalla de la figura A10. En esta pantalla se puede visualizar en una lista los siguientes datos pertenecientes al mapa radio que se ha creado hasta el momento actual para el recinto y la planta que se tenían seleccionados:

- En las dos primeras columnas aparecen las coordenadas relativas 'x' e 'y' de cada uno de los puntos físicos del mapa radio creado hasta el momento. Aparecen repetidos porque, para cada punto físico, se tiene lo siguiente:
  - En la tercera columna aparece la SSID de cada punto de acceso detectado en ese punto físico.
  - En la cuarta columna está la frecuencia de la señal enviada por el punto de acceso de la columna anterior.
  - En la quinta columna aparece la RSSI recibida en esas coordenadas procedente del punto de acceso de la tercera columna. Si no se recibió señal de un punto de acceso en el momento de la creación del mapa radio, se asigna por defecto -99 dBm.
  - En la última columna se muestra la dirección MAC del punto de acceso.

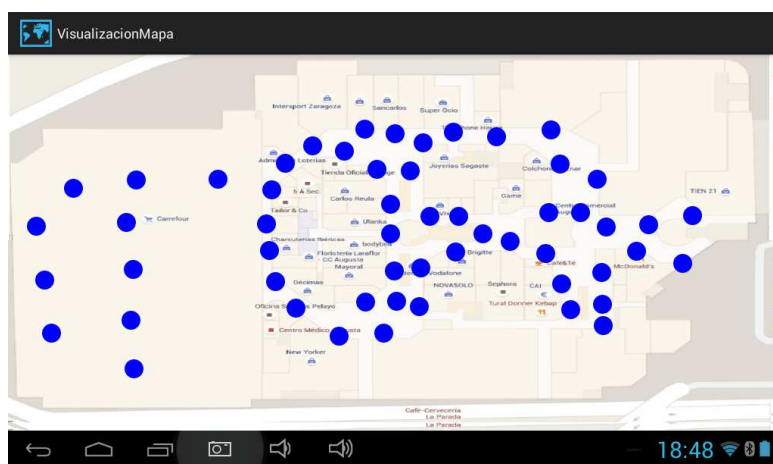


Posición x	Posición y	SSID	Frecuencia	Potencia RSSI	Dirección MAC
628.38635	237.5108	MOVISTAR_97F0	2462	-63	98:97:d1:83:97:f0
628.38635	237.5108	WIFI_LCAUGUSTA	2462	-73	00:24:5c:ee:d2:d0
628.38635	237.5108	MOVISTAR_00E2	2412	-64	d8:fb:5e:00:c3
628.38635	237.5108	MOVISTAR_B50E	2462	-72	d4:7b:b0:ef:b5:0f
628.38635	237.5108	WLAN_4A	2437	-79	58:98:35:b4:51:b4
628.38635	237.5108	WIFI_LCAUGUSTA	2412	-78	00:24:6c:f2:5d:10
628.38635	237.5108	GSI	2452	-75	00:1d:aa:83:5b:25
628.38635	237.5108	NintendoSpotPass4	2452	-77	00:1d:aa:83:5b:24
628.38635	237.5108	vodafone21FC	2452	-81	e0:60:66:4f:21:fd
628.38635	237.5108	La_parada	2447	-81	e4:c1:46:f6:d4:47
628.38635	237.5108	MVRL33545	2437	-86	a4:52:6f:13:17:a2
628.38635	237.5108	SAGASTE	2437	-86	d8:fb:5e:0d:c2:10
628.38635	237.5108	vodafone20BC	2467	-91	b4:a5:ef:8a:20:bd
628.38635	237.5108	WLAN_B4	2452	-85	00:02:c1:d1:04:13
628.38635	237.5108	WIFI_LCAUGUSTA	2462	-75	00:24:6c:f2:5c:e0
628.38635	237.5108	WIFI_LCAUGUSTA	2412	-79	00:24:6c:f2:5c:f0
628.38635	237.5108	WIFI_LCAUGUSTA	2412	-81	d8:c7:c8:58:39:80
628.38635	237.5108	redjuguelandia	2457	-99	98:97:d1:a0:2e:68
628.38635	237.5108	WLAN	2437	-99	00:1d:aa:f1:45:40
628.38635	237.5108	LAS BRASAS DE PACO	2412	-99	d4:21:22:d9:58:29
628.38635	237.5108	WIFI_LCAUGUSTA	2412	-99	00:24:6c:f2:5d:40
628.38635	237.5108	WLAN_EDCO	2432	-99	5c:33:8ea1:ed:c0
628.38635	237.5108	LAPARADANMOVISTAR	2412	-99	98:97:d1:76:d4:fb
628.38635	237.5108	WIFI_FreudVodafone	2412	-90	0a:18:d6:27:c1:5f

Figura A10. Visualización del mapa radio en modo texto.

### ***Cambio a visualización en modo mapa***

Un click en el botón "Modo mapa" que aparece en la parte superior izquierda de la pantalla nos conduce a una pantalla diferente, en la que se muestra el mapa radio en el estado de creación actual para el recinto y la planta que teníamos seleccionados en la pantalla inicial. En esta imagen del mapa aparecen círculos azules que se corresponden con las posiciones en las que se han registrado medidas y, por tanto, se han creado puntos físicos, como se puede ver en la figura A11. Para retornar a la visualización en modo texto sólo hay que pulsar el icono de retorno del dispositivo móvil.



**Figura A11. Visualización del mapa radio en modo plano.**

## A.2 Aplicación Posicionador

### A.2.1 Pantalla principal

Cuando se inicia la aplicación *Posicionador*, aparece una pantalla como la mostrada en la figura A12. En ella se muestra un plano de la planta del recinto donde se va a localizar el dispositivo. El proceso de localización no se inicia automáticamente. Se ha programado de esta manera para poder realizar las pruebas necesarias con el fin de validar la precisión y exactitud del sistema.

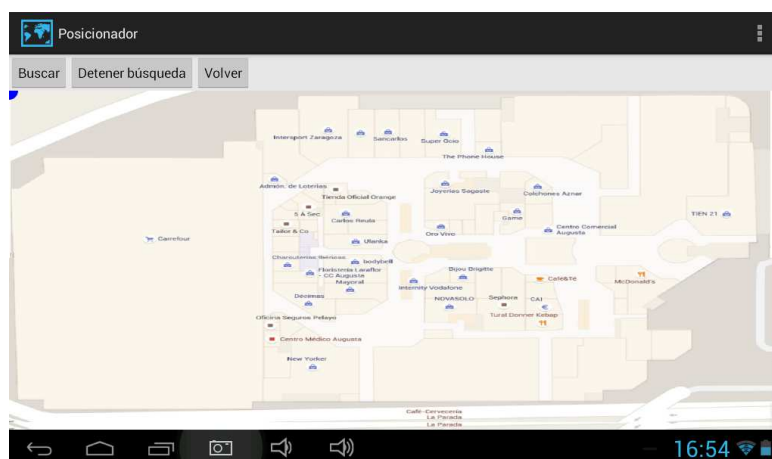


Figura A12. Pantalla inicial de la aplicación Posicionador.

Para ponerlo en funcionamiento hay que tocar sobre el botón "Buscar" que aparece en la parte superior izquierda de la pantalla. Tras unos segundos de espera, se muestra, mediante un círculo de color azul sobre el plano de fondo, el primer punto de localización del dispositivo estimado por la aplicación, como se observa en la figura A13. Inmediatamente después de mostrarse el círculo, y con idea de realizar una validación del sistema, aparece una ventana emergente en el centro de la pantalla con la pregunta "¿El punto calculado es correcto, adyacente al real o incorrecto?", donde se seleccionará una de las tres opciones mostradas: "Incorrecto", "Adyacente" o "Correcto", como se puede ver en la figura A14.

Tras seleccionar una de ellas y esperar de nuevo unos segundos, la aplicación vuelve a calcular y mostrar un nuevo punto estimado de localización, y a preguntar por una de las opciones de nuevo.

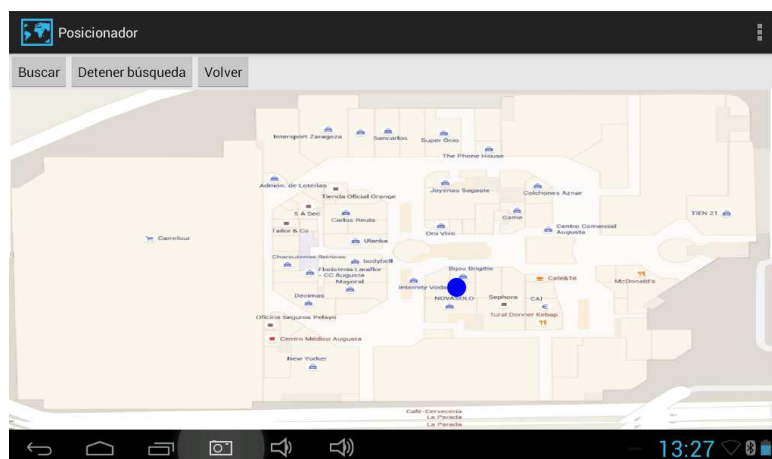


Figura A13. Representación en el plano de la localización estimada.

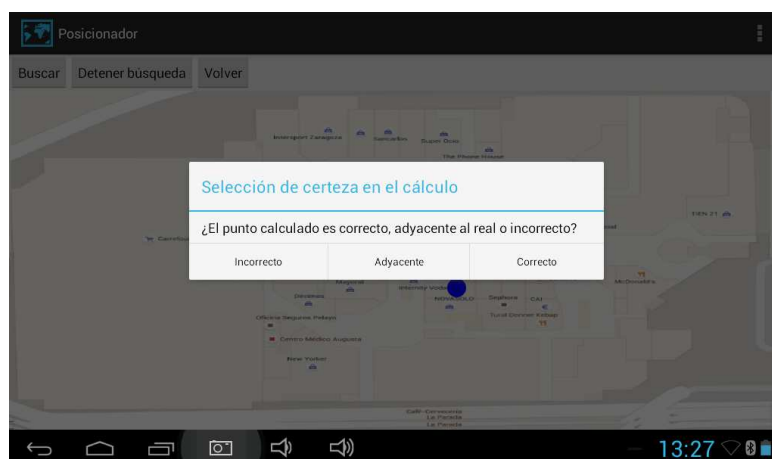
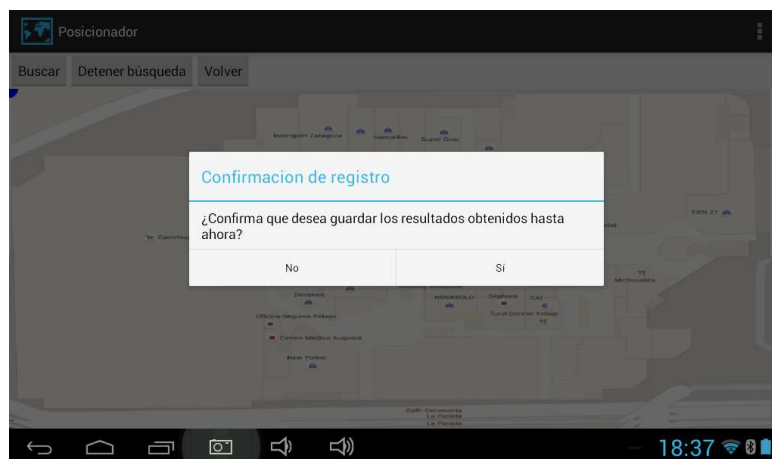


Figura A14. Chequeo sobre la exactitud de la estimación de la posición.

El proceso antes explicado se repite automáticamente hasta que el usuario pulse el botón "Detener búsqueda", tras lo cual se para el proceso de localización y aparece una nueva ventana emergente con la pregunta: "¿Confirma que desea guardar los resultados obtenidos hasta ahora?", tal y como muestra la figura A15. Si se selecciona la opción "No", la aplicación desecha todos los datos registrados hasta el momento (puntos estimados de localización y opciones seleccionadas para cada punto en la ventana emergente). Si se selecciona la opción "Sí", se procede a guardar los datos antes explicados en un fichero de tipo XML. Sea cual sea la opción elegida, la pantalla del plano sigue mostrándose, tras lo que el usuario debe decidir si vuelve a retomar el proceso de búsqueda, tocando de nuevo sobre el botón "Buscar", o sale de la aplicación, pulsando la tecla de retorno del dispositivo.

Todos los datos que se vayan guardando en el fichero XML se escriben a continuación de los ya existentes, por lo que se puede realizar el proceso de comprobación en diferentes momentos, lo que permite realizar paradas sin perder ningún dato importante.



**Figura A15. Confirmación de guardado de los últimos resultados obtenidos.**

### **A.3 Interacción entre usuario y aplicación**

En las dos siguientes páginas se muestra lo que en realidad es un único gráfico que se ha dividido en dos partes (figuras A16 y A17) para una mejor visualización y explicación de las acciones que puede realizar el usuario dentro del desarrollo de la aplicación GeneradorMapaPotencias y las respuestas de ésta en cada caso.

Posteriormente, en la figura A18, se observa otro gráfico correspondiente a la interacción entre el usuario y la aplicación Posicionador, más compleja en cálculos pero más simple que la anterior en el interfaz gráfico, dado que es la aplicación que, como ya se ha explicado en la memoria, va a utilizar realmente el usuario final.

La explicación de estos gráficos es la que se ha venido realizando a lo largo de este anexo A. Únicamente falta explicar el significado de los elementos que en ellos aparecen. Los rectángulos de fondo azul representan a las actividades existentes dentro de la actividad que, para el usuario, se corresponden con las diferentes pantallas entre las que puede navegar. Los círculos de relleno naranja indican los botones que aparecen en cada actividad y que nos dirigen, según guían las flechas, hacia otras actividades o hacia preguntas para la toma de alguna decisión. Los rombos de fondo violeta representan a los cuadros de diálogo que aparecen en el centro de la pantalla para que el usuario responda una pregunta, de posibles respuestas sí o no, cuyos efectos ya se han explicado anteriormente. Otras acciones como un toque en el centro de la pantalla, la pulsación de alguna opción del menú o de la tecla de retorno también provocan cambios en la aplicación.



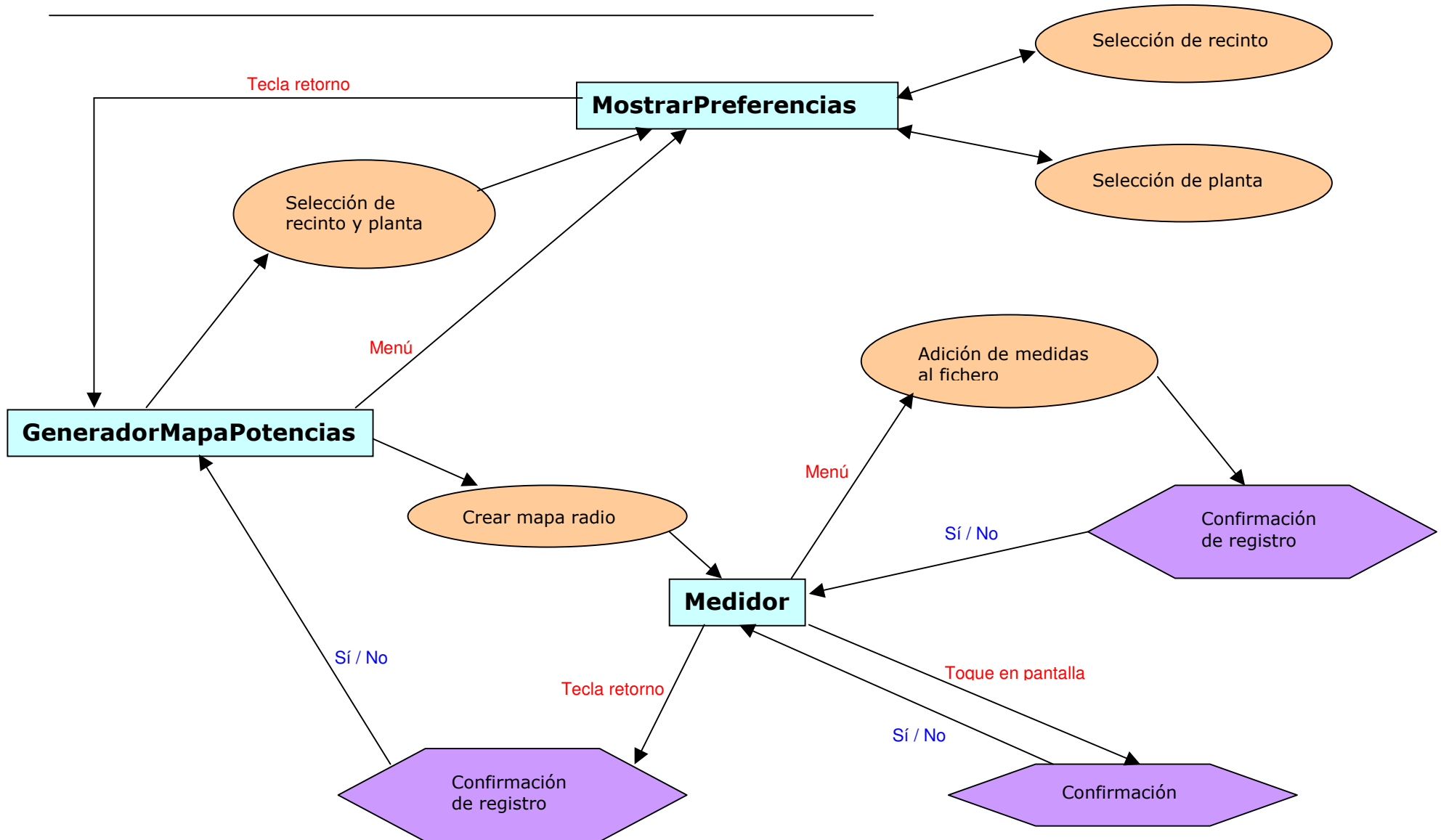


Figura A16. Interacción entre usuario y aplicación GeneradorMapaPotencias (I).

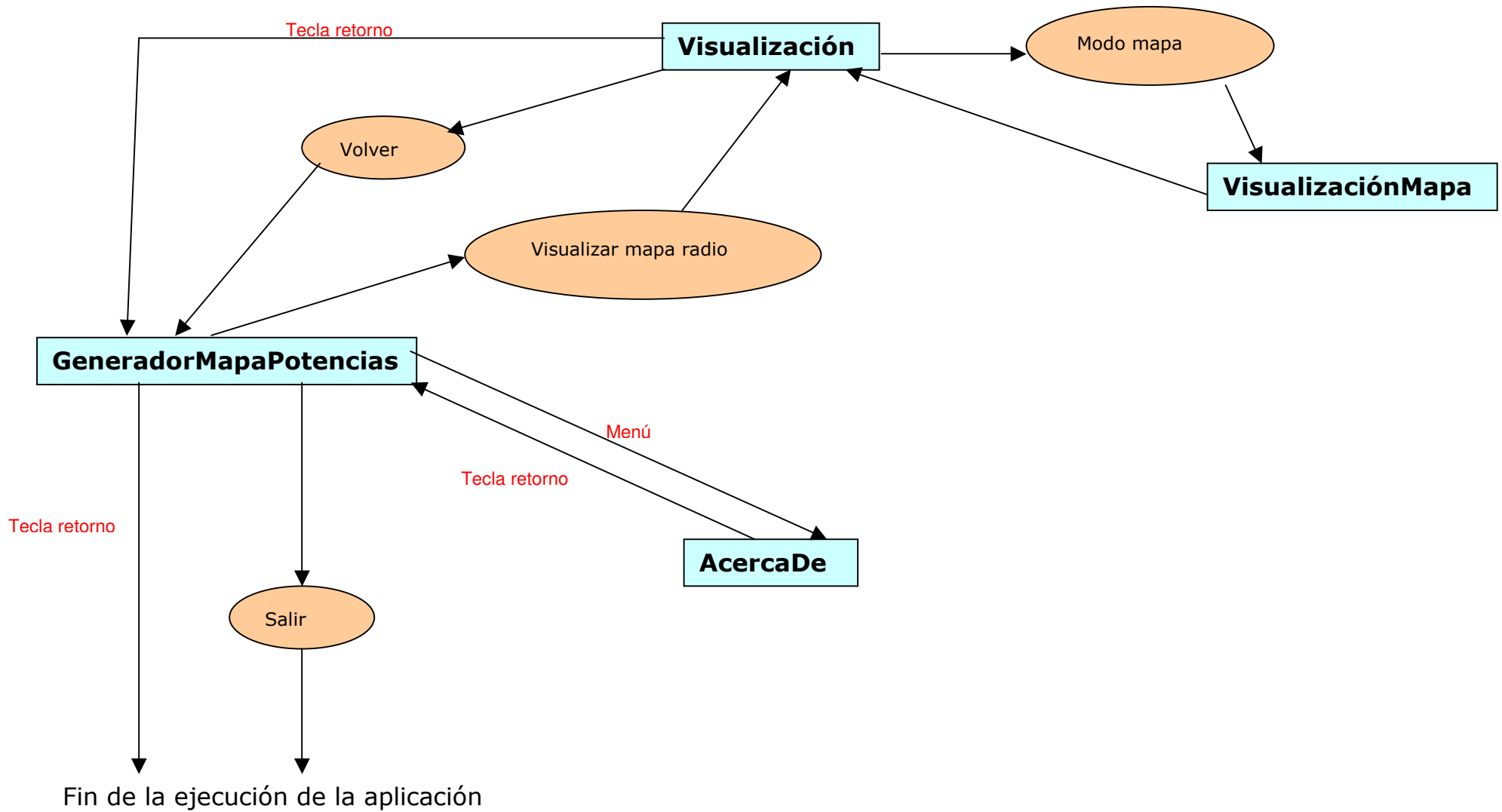


Figura A17. Interacción entre usuario y aplicación GeneradorMapaPotencias (II).

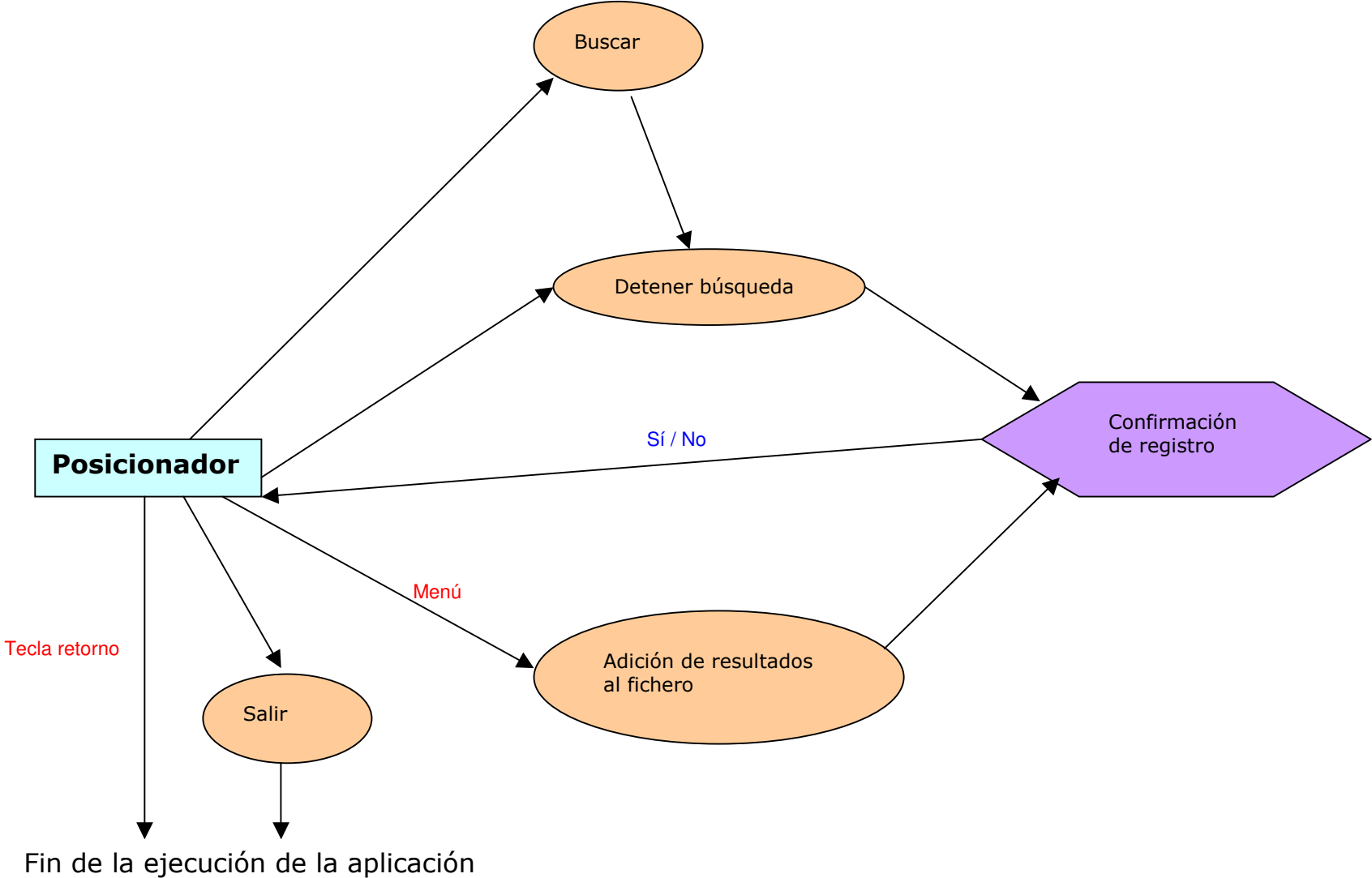


Figura A18. Interacción entre usuario y aplicación Posicionador.

## **A.4 Índice de figuras**

<b>FIGURA A1. PANTALLA PRINCIPAL.....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA A2. PANTALLA DE SELECCIÓN DE RECINTO Y PLANTA.....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA A3. PANTALLA DEL PLANO DE LA PLANTA DEL RECINTO. ....</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA A4. CÍRCULO ROJO MOSTRADO TRAS UNA PULSACIÓN EN PANTALLA. 78</b>	<b>78</b>
<b>FIGURA A5. VENTANA DE CONFIRMACIÓN DEL PUNTO SELECCIONADO. ....</b>	<b>78</b>
<b>FIGURA A6. CÍRCULO VERDE TRAS CONFIRMACIÓN DE PUNTO SELECCIONADO. ....</b>	<b>78</b>
<b>FIGURA A7. PESTAÑA MENÚ "ADICIÓN DE MEDIDAS AL FICHERO".....</b>	<b>79</b>
<b>FIGURA A8. CONFIRMACIÓN DE REGISTRO DE MEDIDAS REALIZADAS. ....</b>	<b>80</b>
<b>FIGURA A9. ESTADO TRAS ALMACENAMIENTO EN EL FICHERO. ....</b>	<b>80</b>
<b>FIGURA A10. VISUALIZACIÓN DEL MAPA RADIO EN MODO TEXTO.....</b>	<b>81</b>
<b>FIGURA A11. VISUALIZACIÓN DEL MAPA RADIO EN MODO PLANO. ....</b>	<b>82</b>
<b>FIGURA A12. PANTALLA INICIAL DE LA APLICACIÓN POSICIONADOR.....</b>	<b>83</b>
<b>FIGURA A13. REPRESENTACIÓN EN EL PLANO DE LA LOCALIZACIÓN ESTIMADA. 84</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA A14. CHEQUEO SOBRE LA EXACTITUD DE LA ESTIMACIÓN DE LA POSICIÓN. 84</b>	<b>84</b>
<b>FIGURA A15. CONFIRMACIÓN DE GUARDADO DE LOS ÚLTIMOS RESULTADOS OBTENIDOS. 85</b>	<b>85</b>
<b>FIGURA A16. INTERACCIÓN ENTRE USUARIO Y APLICACIÓN GENERADORMAPAPOTENCIAS (I).....</b>	<b>87</b>
<b>FIGURA A17. INTERACCIÓN ENTRE USUARIO Y APLICACIÓN GENERADORMAPAPOTENCIAS (II). ....</b>	<b>88</b>
<b>FIGURA A18. INTERACCIÓN ENTRE USUARIO Y APLICACIÓN POSICIONADOR.....</b>	<b>89</b>

