



FACULTAD DE PSICOLOGÍA

Evaluación de los Sistemas de orientación en edificios de concurcencia pública para personas mayores y con discapacidad mediante Servicios Basados en Localización

Tesis Doctoral presentada por:

D. Francisco Javier Coret Gorgonio

Dirigida por:

Dr. D. Francisco Alcantud Marín

Programa de Doctorado en Atención Socio-Sanitaria a la
Dependencia.

2014

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer al Dr. Francisco Alcantud Marín el haberme apoyado en estos años y haberme incorporado y formado en el mundo de la diversidad funcional, desde el momento en el que entré a formar parte de su equipo de investigación en la Unidad Acceso, así como por haberme permitido continuar con la tesis en su área de investigación. En segundo lugar, me gustaría agradecer a D. Javier Pérez Bou, investigador de la Unidad de Acceso, por haberme proporcionado conocimientos suficientes en el área Indoor y haberme apoyado en la consecución de esta investigación, iniciada por el mismo en coordinación con el Dr. Francisco Alcantud Marín. En tercer lugar, me gustaría agradecer a todas aquellas personas que han colaborado conmigo, formando parte de la muestra de las pruebas del sistema diseñado. Por último, me gustaría agradecer a Pilar Solana toda la paciencia que está teniendo conmigo y el apoyo que me está brindando desde casa.

Prólogo

El presente trabajo de investigación ha sido realizado por D. Francisco Javier Coret Gorgonio y ha sido tutorizado y supervisado por el Dr. Francisco Alcantud Marín, Catedrático de Psicología Evolutiva y de la Educación de la Universidad de Valencia. La investigación se realizó en el marco del proyecto denominado Señalética Móvil Indoor en el marco del cual se ha desarrollado el prototipo “ISMOS: Indoor Signs Mobiles and Orientation System”. Se trata de un prototipo de sistema de localización, ubicación y orientación en espacios Indoor, realizado bajo el citado proyecto del Campus de Excelencia Internacional CampusHabitat5U y financiado parcialmente por la Fundación VODAFONE y el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte y el programa Campus Sostenible de la Universitat de València.



Los sistemas de posicionamiento han alcanzado un gran éxito cuando se realiza al aire libre. En la actualidad existe un gran número de sistemas y dispositivos comerciales que se basan en la localización por medio de sistema global de navegación por satélite (GNSS). Sin embargo, estos sistemas se han mostrado inútiles en espacios cerrados (Indoor), es decir, dentro de edificios, no habiéndose llegado a conseguir un único sistema que alcance el nivel de éxito de su homólogo en el exterior. En términos económicos y comerciales, el posicionamiento en interior de establecimientos se ha visualizado como una oportunidad para potenciar las ventas de los comercios, integrando estas aplicaciones como nuevas opciones de comercio electrónico (Giaglis, Pateli, Fouskas, Kprouthanassis, & Tsamakos, 2002).

Una de las líneas de desarrollo más importante en los últimos años es desarrollar una tecnología de localización y seguimiento, equiparable en espacios Indoor al éxito conseguido en los espacios Outdoor. El principal problema es que los ambientes Indoor tienen una gran variabilidad con respecto al ambiente, pudiendo tener los edificios varias alturas, ser espacios con comportamiento estático o funcionalmente dinámico y cambiante. Además, las superficies pueden tener diferentes texturas, así como diferentes accesos a las diferentes partes del edificio. También pueden influir los obstáculos tanto a nivel del mobiliario como a nivel del público que transite por él. Por último, existe un problema adicional con las interacciones que los elementos tecnológicos ya instalados en el edificio puedan producir al nuevo sistema de localización, tales como la instalación eléctrica, la iluminación, las fuentes de alimentación, en definitiva, todos aquellos dispositivos que puedan provocar un campo electromagnético. Esto muestra la necesidad de encontrar una solución técnica que permita calcular la posición de las personas en espacios cerrados con un nivel de fiabilidad y error aceptable.

Además de estos problemas de interferencias de dispositivos y de elementos estructurales, nos encontramos con que las personas con algún tipo de discapacidad ven su capacidad de orientación en dichos edificios con mayor complejidad que la de los usuarios “usuales”.

Dentro de este grupo, las personas con limitaciones motoras y usuarios de sillas de ruedas, constituyen una clase de usuario "desafío" para un sistema de navegación, ya que muchas veces sus manos están ocupadas en el manejo de la silla de ruedas. Las personas con discapacidad en las extremidades superiores pueden no ser capaces de abrir las puertas con facilidad,

presione el botón de llamada del ascensor o manipular el dispositivo portátil con las manos.

Por ello, el sistema de seguimiento no puede basarse en el ritmo de una persona promedio, el posicionamiento de los sensores o antenas de recepción tiene que tener en cuenta la velocidad de su desplazamiento, la selección de la ruta de navegación tiene ser inteligente y flexible e informar sobre posibles problemas de accesibilidad y sobre todo, de rutas alternativas accesibles para llegar el objetivo. El dispositivo portátil, así como la interfaz de usuario tienen que tener un alto nivel de usabilidad.

Por otro lado, los usuarios con discapacidades visuales suelen utilizar el dispositivo móvil llevándoselo cerca del oído de forma que utilizan otra orientación del móvil y no les es necesario utilizar auriculares, ya que les inhibe de señales acústicas del medio durante el tiempo que están consultado el dispositivo.

En nuestra investigación nos vamos a basar en los denominados Servicios Basados en Localización (LBS), que constituyen un conjunto de aplicaciones y servicios basados en la capacidad de localizar la posición de un usuario y ofrecerle servicios relacionados con su posición y sus planes de desplazamiento. La información sobre donde nos encontramos, cuales son los posibles obstáculos hasta nuestro destino, pasos que debemos dar hasta llegar al mismo, rutas óptimas y/o alternativas, etc. es útil para nuestra orientación y planificación del trayecto.

La navegación interior y los servicios basados en la localización se pueden ver como un rompecabezas donde sus piezas son: el sistema de seguimiento; los mapas del edificio y el contenido; los algoritmos de navegación; y los dispositivos de usuario e interfaces. Lo que conecta estas piezas juntas son las necesidades y preferencias del usuario.

La estructura del presente estudio es la siguiente: en el capítulo 1 haremos una breve introducción de la problemática y la estructura del trabajo; en el capítulo 2 se hablara de las distintas redes inalámbricas que nos encontramos hoy en día, entrando en profundidad sobre las que vamos a utilizar en el sistema y en la aplicación que se desarrollará; en el capítulo 3 se verá la problemática de las personas con discapacidad en dichos entornos; en el capítulo 4 se explicará la metodología utilizada en la experimentación para comprobar el funcionamiento del sistema y la aplicación; en el capítulo 5 se hablará sobre las distintas librerías que hay en el mercado, así como sobre la nos basamos y las modificaciones realizadas; en el capítulo 6 se indicará la experimentación realizada en un grupo de usuarios con discapacidades de diversa etiología y las conclusiones a las que se llegó en la misma; y, por último, se plantearán unas conclusiones y tendencias futuras en la línea establecida.

Índice

Agradecimientos	3
Prólogo	5
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO 2: SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN BASADOS EN TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS.....	17
2.1) Estado del arte de los sistemas de localización	17
2.2) Algoritmos de posicionamiento	26
2.2.1 La triangulación.....	29
2.2.1.1. Técnicas de Lateración.....	29
2.2.1.2. Técnicas de estimación de ángulo de llegada (AOA) 32	
2.2.2 Análisis de escena	33
2.2.3 Algoritmos de proximidad.....	35
2.3) Redes de acceso inalámbricas.....	36
2.3.1) Introducción	36
2.3.2) Tecnologías y sistemas	38
2.3.3) Principales tecnologías inalámbricas	43
2.3.3.1) WiFi (IEEE 802.11).....	43
2.3.3.2) Bluetooth (IEEE 802.15).....	48
2.3.3.3) Infrarrojos (802.11).....	49
2.3.3.4) Bluetooth vs IrDA.....	50
CAPÍTULO 3: DISCAPACIDADES	53
3.1. Introducción	53
3.2. Tipos de discapacidad	54
3.2.1. Discapacidad visual	54

3.2.2.	Discapacidad auditiva	58
3.2.3.	Discapacidad motriz	64
3.2.4.	Discapacidad cognitiva	65
CAPÍTULO 4: REQUISITOS DEL USUARIO		71
4.1)	Introducción	71
4.2)	Análisis de limitaciones en el uso de dispositivos y aplicaciones móviles.....	75
4.3)	Diseño y evaluación del prototipo.....	79
4.3.1.	Introducción	79
4.3.2.	Etapas de desarrollo del estudio	83
4.4)	Metodología implementada.....	85
4.4.1.	Experimentación.....	85
4.4.2.	Grupo de usuarios	90
4.4.3.	Método de ejecución.....	92
CAPÍTULO 5: DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO ISMO.....		95
5.1	Introducción	95
5.2	Análisis del entorno bajo estudio.....	102
5.3	Descripción general.....	102
5.3.1	Sistema de localización empleado	102
5.3.2	La red de entorno de trabajo	104
5.3.3	Dispositivos inalámbricos en el área de estudio ..	106
5.3.4	Prototipo de ISMO	108
5.3.5	Procedimiento de uso de la aplicación	110
5.4	IndoorS Mobile Otientation, ISMO.....	116
5.4.1	Arquitectura del sistema ISMO	116
5.4.2	Creación de planos	117

5.4.3	Calibración.....	120
5.4.4	Pruebas.....	125
5.4.5	Conclusiones	125
5.5	Solución ISMO adaptada	126
5.5.1	Arquitectura del sistema adaptado.....	128
5.5.2	Diagramas de calor.....	130
5.5.3	Calibración.....	132
5.5.4	Pruebas.....	133
5.5.5	Conclusiones	133
5.6	Solución final WiFi + Beacons	134
5.6.1	Arquitectura del sistema adaptado con los Beacons 134	
5.6.2	Mapa de huellas WiFi + Beacons.....	136
5.6.3	Calibración.....	137
5.6.4	Pruebas.....	141
5.6.5	Calibración de los Fingerprints.....	141
5.6.6	Conclusiones finales adoptadas	150
CAPÍTULO 6: EXPERIMENTACIÓN DE USABILIDAD DE LA APLICACIÓN CON USUARIOS FINALES		
6.1	Introducción	153
6.2	Metodología de las sesiones	155
6.3	Especificaciones técnicas de los dispositivos utilizados en las sesiones.....	159
6.4	Pruebas de usuario final.....	160
6.4.1	Procedimiento de prueba	161
6.4.2	Grupo de usuarios.....	162
6.5	Gráficas de tiempo de usuarios por actividad	164

6.5.1) Actividad 2	166
6.5.2) Actividad 3	169
6.6 Resumen de resultados	171
CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE FUTURO	181
REFERENCIAS	191

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Tratado de Ámsterdam de la Unión Europea (Europeas, 1997), en aplicación de la cláusula de no-discriminación, las políticas europeas y la de los Estados miembros deberían inspirarse en el principio de no-discriminación con vistas a hacer realidad la igualdad para las personas con discapacidad.

Según la Constitución Española (de la Constitución, 1978), en sus artículos 9.2, 14 y 49 se encomienda a todos los poderes públicos la creación de las condiciones necesarias para que la igualdad de las personas y de los grupos sean efectivas y reales, eliminando los obstáculos que impidan o dificulten a todos los ciudadanos el derecho a disfrutar de una vivienda digna y el deber de facilitar la accesibilidad al medio de todos, a través de las políticas dirigidas a la prevención, tratamiento, rehabilitación e integración de las personas con capacidades reducidas, tanto físicas como psíquicas y sensoriales, a las que debe atenderse con las especializaciones que requieran. Por tanto, la mejora de la calidad de vida de toda la población, haciendo hincapié en las personas que se encuentren en una situación de limitación, es uno de los objetivos prioritarios que debe ejecutar el gobierno.

La Comunidad Valenciana asumió la competencia exclusiva en materia de asistencia social entre otras. Por lo que la Generalidad Valenciana procedió al desarrollo normativo necesario para hacer efectivas estas competencias, aprobando, la LEY 1/1998, de 5 de mayo, de la Generalitat Valenciana, de

Accesibilidad y Supresión de Barreras Arquitectónicas, Urbanísticas y de la Comunicación¹.

Puesto que se presentaban situaciones en las que los usuarios, al acceder a los edificios, se encontraban con situaciones de exclusión y marginación de forma que les incapacitaban en la deambulación a través de los edificios, la Generalitat valenciana, en seguimiento de la normativa nacional e internacional y , tomando parte de las atribuciones a ella conferidas, aprobó la citada LEY 1/1998, de 5 de mayo, de la Generalitat Valenciana, de Accesibilidad y Supresión de Barreras Arquitectónicas, Urbanísticas y de la Comunicación, en la que definió los edificios de concurrencia pública como “.. *todos aquellos edificios de uso público no destinados a vivienda e incluso, en el caso de edificios mixtos, las partes del edificio no dedicadas a uso privado de vivienda...*”.

Según dicha normativa, los edificios de concurrencia pública pueden ser de dos tipos, de uso general o de uso restringido, debiendo estar garantizada la concurrencia de todas las personas en los edificios de concurrencia pública de uso general, considerándose de este tipo todos aquellos edificios o área con finalidad de servicio público, tales como administración, sanidad, centros comerciales o puertos y aeropuertos, entre otros.... Es decir, en este tipo de edificios el nivel de accesibilidad deberá ser adaptado, garantizándose el acceso de todos los usuarios. Hay otro tipo de edificios, como los locales de espectáculos, que deben disponer de un acceso señalizado, así como de espacios reservados para personas con movilidad reducida, y para aquellas con otro tipo de discapacidades, como visuales o auditivas, facilitando el acceso tanto a ellos como sus acompañantes.

¹ DOGV de 7 de mayo de 1998

Los edificios de uso restringido se refieren a aquellas zonas que se ciñen a la realización de actividades internas del edificio sin concurrencia de público, es decir, aquellas en las que se realiza el uso propio de trabajadores o suministradores, siempre que no precisen una asistencia sistemática e indiscriminada de personas. En estos edificios o áreas del mismo, el nivel de accesibilidad deberá ser al menos practicable.

Desde un punto de vista cognitivo, la función humana de planificación, evaluación y control conductual forma parte de la “Función Ejecutiva” y ella actúa sobre representaciones espaciales de los entornos almacenadas en nuestra memoria. Cuando no existe información en la memoria, cuando se trata de un itinerario nuevo, se buscan referencias y apoyos en el entorno como los directorios de los edificios o las señales de señalización en las que nos apoyamos para determinar si estamos en la ruta correcta. Estas representaciones son construidas por experiencias previas de forma anidada (Wang & Brockmole, 2003).

Hay personas que por diferentes razones pueden tener alterada las funciones de planificación, orientación, memoria y control conductual o bien que necesitan que la información del entorno les sea facilitada de otra manera distinta a la de la población promedio. Este sería el caso de las personas invidentes, las personas mayores, personas con dificultades motrices usuarias de sillas de ruedas, personas con trastornos cognitivos, etc.

La presente tesis doctoral se va a basar en el estudio de los sistemas de localización y orientación de estas personas en los edificios de concurrencia pública, entendiendo por estos, conforme indica el art. 7 de la Ley 1/998, de 5 de mayo, de accesibilidad y supresión de barreras arquitectónicas, urbanísticas, y de la comunicación, “...*todos aquellos edificios de uso público no destinados a vivienda e incluso, en el caso de*

edificios mixtos, las partes del edificio no dedicadas a uso privado de vivienda....

CAPÍTULO 2: SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN BASADOS EN TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

En este capítulo se va a tratar sobre los distintos sistemas de posicionamiento, realizando en primer lugar, una descripción del estado del arte de los sistemas de posicionamiento, de dónde venimos y donde nos encontramos. En segundo lugar, realizaremos una descripción de los principales algoritmos de posicionamiento. Y en tercer lugar una descripción de algunas de las tecnologías móviles.

2.1) Estado del arte de los sistemas de localización

En distintas conferencias internacionales se han potenciado las comunicaciones a través de GNSS, como la UNISPACE III² celebrada en Viena del 19 al 30 de julio de 1999³, acordandose la creación del Comité Internacional sobre los sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS⁴) o la creación en el año 2004 la European Global navigation Satellite system Agency, en adelante European GSA⁵, cuyo objetivo es gestionar los intereses públicos relativos a los programas europeos GNSS. Desde entonces se ha avanzado mucho en este área, logrando la compatibilidad e interoperabilidad de los distintos sistemas espaciales mundiales y regionales, para determinar la posición, navegación y cronometría y para promover el uso de los sistemas mundiales de navegación por satélite y su integración a

² UNISPACE III es la Tercera Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Exploración y Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos

³ Información extraída del documento oficial accedido a través de <http://www.preventionweb.net/files/resolutions/N9930177.pdf>

⁴ GNSS es el acrónimo en inglés de Global Navigation Satellite System que significa Sistema Global de Navegación por Satélite (<http://www.gsa.europa.eu>).

⁵ GSA es el acrónimo de la Global navigation Satellite system Agency (<http://www.gsa.europa.eu>)

la infraestructura nacional, en particular en los países en desarrollo.

En esta línea se han realizado diversas investigaciones, la mayor parte de ellas dedicadas a entornos de exterior u outdoor (Bohte & Maat, 2009; Gorbunov, Gurvich, & Bengtsson, 1996; Heidari, Heyrani, & Nakhkash, 2009; Lovse, Teskey, Lachapelle, & Cannon, 1995).

Las tecnologías de localización se han instaurado en nuestra sociedad gracias al incremento en el uso de los dispositivos móviles actuales, lo que ha popularizado el uso cotidiano de los sistemas de posicionamiento global entre la gente.

La mayoría de las aplicaciones de localización actuales están enfocadas a la localización en espacios abiertos o al aire libre, mediante el uso del sistema de navegación basado en satélites, es decir, basados en los Sistemas de Navegación Global por Satélite, en adelante GNSS. Se entiende por tales al conjunto de tecnologías de sistemas de navegación por satélite que proveen de posicionamiento geo-espacial con cobertura global de manera autónoma, y que pueden proporcionar estimación de localización precisa con cobertura mundial. A través de una red de satélites, un receptor de GNSS es capaz de determinar su posición en cuatro dimensiones (longitud, latitud, altitud, y tiempo), lo que ha dado lugar a multitud de aplicaciones civiles y militares.

Sin embargo, todavía hay algunas limitaciones de los sistemas de localización basados en GNSS, siendo uno de los principales problemas el fallo en la precisión que presenta en determinadas áreas, como son los entornos urbanos o los de interior de edificios. Un receptor GNSS puede ser localizado cuando se puede adquirir información de al menos cuatro satélites y, en zonas urbanas, la visión directa entre los satélites y el receptor

está obstruida por edificios altos, así como por arboles cercanos que pueden producir difracción de ondas, lo que provoca un mal posicionamiento de los objetos o personas. Además, también afectan los distintos materiales con los que se encuentra la onda que propaga la información a los dispositivos, En recientes estudios se ha concluido que, para la detección en entornos urbanos o Indoor⁶ se requiere captar unos niveles de potencia entre - 160 dBW⁷ y - 200 dBW, cuando usualmente los receptores GPS tiene un nivel de ruido en torno a - 131 dBW (Marron, 2014). De ahí que, en estos entornos de Indoor, la señal GNSS es débil y no es capaz de penetrar las paredes de hormigón, provocando que el posicionamiento y el guiado de las personas sean incorrectos.

Además, en toda propagación se da el efecto “Multiptah⁸” que provoca degradación de la señal incluso si el receptor es capaz de captar señales de un número suficiente de satélites. Este efecto es mayor en los entornos Indoor que en los Outdoor, ya que en los primeros la señal que llega reflejada puede ser mayor que la que llega con la visión directa, no siendo común que ocurra este hecho en el segundo caso. Además, el GPS es una tecnología con mucho consumo de energía, recurso limitado en los dispositivos móviles, consumiéndose la batería con rapidez (Carroll & Heiser, 2010).

En cuanto a personas que precisan ayudas, se han propuesto y desarrollado diferentes sistemas de ayudas, como el SBAS⁹,

⁶ Indoor, es un anglicismo cuya traducción literal sería “de puerta para adentro” y se refiere al espacio interior de los edificios.

⁷ dbW es la unidad de potencia referida en decibelios (db) respecto a 1 Watio (W)

⁸ Multipath es un anglicismo adoptado en Telecomunicaciones que literalmente quiere decir multi camino y se refiere a los efectos que se dan en las transmisiones debidas a la llegada de señales a través de varios caminos.

⁹ SBAS es el acrónimo inglés de Satellite Based Augmentation System que significaría sistema de aumento basado en satélite.

basado en GNSS, de forma que aumentan los enfoques de los satélites, mejorando el posicionamiento horizontal y vertical del receptor, proporcionando información sobre la calidad de las señales, realizando correcciones de reloj, efemérides e ionosféricas, es decir, el SBAS evalúa y transmite parámetros que limitan la incertidumbre en las correcciones (Dai, Walter, Enge, & Powell, 1998). Algunos ejemplos de SBAS son: European Geostationary Navigation Overlay Service' EGNOS, (<http://www.egnossportal.eu/>), sistema Europeo; Wide Area Augmentation System (WAAS), Global Differential GPS (GDGPS) o International GNSS Service (IGS) de Estados Unidos (<http://www.gps.gov>) ; Multi-Functional Satellite Augmentation System, MSAS, (http://www.mlit.go.jp/koku/15_hf_000105.html) y el Quasi-Zenith Satellite System, QZSS, (<http://www.qzs.jp/en>), de Japón; GPS and GEO Augmented Navigation (GAGAN) de la India, (<http://www.gpsindia.com>); BeiDou System (BDS) de la China (<http://en.beidou.gov.cn>); Ground Based Augmentation System (GBAS) de Australia (<http://www.faa.gov>).

Se puede concluir que el GNSS es un sistema muy útil y preciso para entornos al aire libre pero no tanto para sistemas con localización en entornos urbanos o de interior, siendo preciso el uso de sistemas que se basen en otras tecnologías o bien sistemas mixtos. Esto es lo que ha provocado que en los últimos años se esté profundizando en la investigación en esta línea (Choo, Cheong, & Lee, 2014; Chumkamon, Tuvaphanthaphiphat, & Keeratiwintakorn, 2008a).

Además, dado el rápido aumento de los puntos de acceso WiFi¹⁰ en las zonas de concurrencia pública, dicha señal WiFi se puede

¹⁰ WiFi es el acrónimo en inglés de Wireless-Fidelity que significa Fidelidad Inalámbrica y hace referencia a la tecnología de comunicación inalámbrica que permite la conexión sin cables de dispositivos.

utilizar como una infraestructura de posicionamiento alternativa viable (Alizadeh-Shabdiz & Pahlavan, 2009; del Prado Pavon & Choi, 2003).

En el funcionamiento básico en una red WLAN¹¹, cada punto de acceso WiFi genera una señal de radio con un identificador único, la MAC¹² del dispositivo inalámbrico, lo que permite a los dispositivos móviles la identificación del punto de acceso específico, por lo que cualquier dispositivo con acceso a una red inalámbrica puede ser localizado en cualquier momento, siéndolo cualquier persona que use un terminal móvil con capacidad de acceso a la red WiFi en el área de interés.

En dichos sistemas se utilizan la localización mediante los llamados servicios basados en localización (LBS¹³) que Virrantus y colaboradores la definieron como los servicios de información accesibles con dispositivos móviles a través de su red y que utiliza la posibilidad de hacer uso de la localización de los dispositivos móviles (Virrantus et al., 2001). Por otro lado está la definición que proporcionada por el Open Geospatial Consortium que indica que se trata de un servicio de internet inalámbrico que utiliza la información geográfica para servir a un usuario móvil, tratándose de aquel servicio de aplicación que explota la posición de un terminal móvil (Open, 2005). Según otra línea de investigación, se trata de un método para la obtención de datos geográficos y de servicios de información, para proporcionarlos a los usuarios a través de redes de telecomunicaciones móviles (Shiode, Li, Batty, Longley, &

¹¹ WLAN es el acrónimo en inglés de Wireless Local Area Network, que sería el equivalente a Red de Area Local Inalámbrica.

¹² MAC es un acrónimo en inglés de Media Access Control que significa Control de Acceso al Medio y que es un identificador de 48 bits que corresponde de forma única a un dispositivo de red.

¹³ LBS es un acrónimo de Location Based Services, que se puede traducir del inglés por servicios basados en localización

Maguire, 2002). De este modo, se puede definir como una convergencia de las nuevas tecnologías de informática y las comunicaciones, con las bases de datos espaciales o GIS¹⁴ y con el acceso a Internet de los dispositivos móviles, tal y como se puede ver en la siguiente figura extraída de (Shiode et al., 2002).

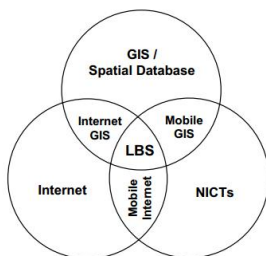


Figure 1. Convergence of technologies creating LBS (Brimicombe, 2002).

Imagen 1: LBS como intersección de distintas tecnologías (Shiode et al., 2002)

Recientemente la han definido como un sistema que “obtiene información de la ubicación (coordenadas de latitud y longitud, direcciones civiles, etc...) mediante tecnologías de posicionamiento, dando respuesta a peticiones de servicios de localización de usuarios de terminales móviles a través de distintas redes de comunicaciones” (Luobing, Shen, Xiangdong, & Li, 2014).

Desde el punto de vista de las tecnologías móviles, hay una gran cantidad de tecnologías capaces de comunicar mediante móvil, conectando estos a dispositivos y sensores, tales como redes WiFi, redes GSM, RFID, Bluetooth, GPS (Schiller & Voisard, 2004).

La precisión típica de posicionamiento WiFi es del orden de decenas de metros en las áreas metropolitanas, observándose más precisa que otras tecnologías de posicionamiento móvil,

¹⁴ GIS es el acrónimo en inglés de Geographic Information System, que al traducirlo al castellano sería Sistemas de información geográfica.

debido a que los puntos de acceso WiFi están más cercanos que las estaciones base de la red móvil. Hay que tener en cuenta que el sistema WiFi no fue diseñado para localización basada en medidas de potencia de señal, por lo que la medida es poco precisa, no habiéndose investigado en profundidad, centrándose los investigadores más en el diseño de algoritmos de localización. Los principales métodos usados en el posicionamiento WiFi son: la triangulación (Mazuelas et al., 2008; Vegni, Di Nepi, Neri, & Vegni, 2007; Yang & Chen, 2009); los métodos estadísticos (Kjærgaard & Munk, 2008; Roos, Myllymäki, Tirri, Misikangas, & Sievänen, 2002; Yang & Chen, 2009) ; y el método basado en Fingerprinting ¹⁵(Brunato & Battiti, 2005; J. Kim, Choi, Lee, & Kang, 2014; Kjærgaard & Munk, 2008; Mirowski et al., 2012), teniendo cada uno de ellos sus ventajas y sus errores de estimación.

Se han realizado diversas investigaciones para personas con discapacidad, como la realizada por investigadores del Intel Research, quienes, como indican en su artículo sobre el uso de redes inalámbricas (Bowen III, Buennemeyer, Burbey, & Joshi, 2006), para ayudar en la navegación a personas con discapacidad física, recogieron datos sobre la aplicación realizada sobre dichos investigadores en el que desarrollan una aplicación de código abierto llamada Place Lab, que observa los puntos de acceso WiFi que la rodean y utiliza la potencia de la señal que recibe de los mismos, así como la proximidad de esta para estimar la ubicación del dispositivo WiFi (KÖLSCH, 2006). Este sistema mantiene la privacidad de los usuarios, de la misma forma que la mantiene los sistemas basados en GNSS.

Un importante reto para las personas con discapacidad cognitiva, en la localización dentro y fuera de edificios, es cómo seguir siendo orientados, las rutinas de recuperación de caminos,

¹⁵ Fingerprinting es un método basado el cálculo de huellas digitales.

así como los desplazamientos en zonas desconocidas. Se han realizado diversos estudios en los que se han realizado un sistema basado en sensores Bluetooth para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad mental mediante fotos que muestran la dirección a tomar por el usuario, instalando los sensores en los puntos de interés, intersecciones, ascensores, salidas u otros puntos y realizándose pruebas en usuarios reales (Chang, Chu, Chen, & Wang, 2008) y estudios posteriores que continuando en esta línea, realizaron una aplicación que visualizaban las instrucciones mediante fotos o videos, observándose una mejora de la visualización de videos de un 25–28 % respecto a las indicaciones mediante fotos (Chang & Wang, 2010).

En el caso de los usuarios con baja o nula visibilidad las principales preocupaciones son la navegación y la orientación sin ayudas, en edificios desconocidos o que no le son familiares a los ciegos, sobre todo porque no tienen fácil acceso a los mapas de edificios, señales y otros dispositivos de orientación, lo que supone un gran desafío para ese tipo de usuarios. En los últimos años se han realizado estudios, si bien hay que decir que precisan la instalación de hardware para orientar a los usuarios, tales como los guantes, que intercambian datos con el móvil Android vía Bluetooth, que se comunica vía WiFi con el servidor desarrollado, que acepta diversos tipos de eventos tales como ayuda o replay, entre otros (Ganz et al., 2011).

La elección del interface de usuario para personas invidentes es muy importante por lo que se han realizado estudios en los que se ha entrevistado a usuarios con baja o nula visibilidad para identificar los problemas específicos de usuarios con discapacidad visual (Ivanov, 2010). En dicha investigación se indica que las personas con deficiencia visual prefieren: navegar utilizando comandos verbales; caminar cerca de las paredes más

que en la mitad de las habitaciones; debe minimizarse el número de cambios de dirección; debe diseñarse la ruta mediante segmentos cortos de rectas y con cambios de la misma con ángulos de 90 ° entre segmento y segmento. Los usuarios ciegos puedan identificar fácilmente las puertas, paredes y escaleras con el bastón. En dicho estudio se diseña un sistema de navegación de interior de bajo coste, basado en el uso de terminales móviles, compatibles con la tecnología NFC¹⁶. El sistema de navegación propuesto permite a los usuarios imaginar la distribución de las habitaciones (las dimensiones, la posición relativa de los puntos de interés.....). Esta información se almacena en etiquetas RFID¹⁷, donde se dejan mensajes audibles por los usuarios, ya sea al acercarse mediante altavoces o mediante sensores añadidos a la propia chaqueta.

En esta línea hay otros estudios que plantean sistemas de localización Indoor para personas ciegas basados en tecnología RFID, de forma que estas etiquetas transmiten la identidad de un objeto cercano al que se encuentra el receptor RFID mediante ondas de radio. Al transmitir la identidad, se transmite la información que se requiera por parte de emisor RFID, de forma que cualquier receptor RFID conoce la información y, por tanto, la localización exacta del punto en el que se encuentra (Alghamdi, Van Schyndel, & Alahmadi, 2013; Chumkamon et al., 2008a; Ivanov, 2010).

También podemos encontrar estudios, basados en esta misma tecnología, en el que los usuarios al entrar en el edificio sobre el

¹⁶ NFC es el acrónimo en inglés de Near Field Communication, que en castellano significaría Comunicación en campo cercano. Se trata de tecnología de comunicación inalámbrica de corto alcance que permite el intercambio de datos entre dispositivos.

¹⁷ RFID es el acrónimo en inglés de Radio Frequency IDentification, que se traduciría como Identificación por Radio Frecuencia, y es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos mediante etiquetas.

que se quiere orientar, dirigen la cámara del móvil hacia un código QR¹⁸ disponible en los puntos de interés, recibiendo información de navegación así como las instrucciones que debe seguir mediante un navegador de realidad aumentada (ARB¹⁹), de forma que muestra la dirección de navegación. (Magableh & Barrett, 2011).

Otro tipo de trabajos de interés son los que van en la línea del uso de juegos como el consistente en tratar de evitar los obstáculos que se pueden encontrar los sujetos invidentes mediante un hardware consistente en una serie de sensores que dependiendo de la “cercanía” o no del obstáculo, emite un pulso vibratorio en la dirección del sensor (hay ocho sensores) de poca amplitud si está lejano o de mayor amplitud conforme se acerca hasta indicar uno largo que indica “Take care” (Moller et al., 2009). La prueba se hizo con sujetos sin problemas visuales en dos series, una viendo y obedeciendo la instrucción de los sensores, y otras iteraciones con los ojos vendados, obteniendo un resultado positivo en ambos casos ya que consiguieron moverse sin colisionar.

2.2) Algoritmos de posicionamiento

Desde el punto de vista de la propagación de señales de radio, el ambiente interior es extremadamente complejo, ya que está lleno de diversos obstáculos, así como de la interferencia de otros dispositivos. Según algunos estudios, las pérdidas²⁰ en espacio

¹⁸ QR es el acrónimo en inglés de Quick Response, en referencia a un código, que traducido al castellano significaría código de respuesta rápida y es un código que permite leer información a una velocidad elevada.

¹⁹ ARB son las siglas de Augmented Reality Browser que en castellano sería Navegador de Realidad Aumentada. Son navegadores con capacidad de geolocalización, lo que significa que son capaces de mostrar la información en forma de texto, imagen, video o audio referido a ciertos lugares a partir de sus coordenadas geográficas.

²⁰ En comunicaciones, cuando nos referimos a pérdidas lo que significa es diferencia entre la señal enviada y la recibida.

libre²¹ pueden ser cuantificadas de una forma relativamente sencilla en el exterior de un edificio. Por el contrario, dentro de un edificio o en entornos urbanos, la atenuación debida a diferentes materiales, los espesores de las paredes, las diferencias de frecuencias utilizadas para la comunicación entre el transmisor y el receptor, hacen difícil la determinación de esta pérdida debida a la atenuación²². En los interiores de edificios nos encontramos con pérdidas debido al espacio libre, a la atenuación y al Scattering²³ (Li, Dempster, Rizos, & Barnes, 2005).

En diversos estudios se han obtenido conclusiones similares en cuanto a la dificultad de cálculo de estas pérdidas en los edificios (Ghassemzadeh, Greenstein, Kavcic, Sveinsson, & Tarokh, 2003; Li et al., 2005; Motley & Keenan, 1988; Seidel, Rappaport, Feuerstein, Blackard, & Grindstaff, 1992). En estos estudios, se ha partido del modelo básico de propagación en espacio libre, que viene dado por

$$P_r = P_t * \frac{1}{4\pi d^2} * G_r * G_t * \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

Ecuación 1: Potencia recibida a una distancia d.

Aquí puede verse la relación entre las potencias emitida (P_t) y recibida (P_r), por dos antenas con Ganancias²⁴ (G_r y G_t , ganancia del transmisor y del receptor), a una distancia “d” y con una

²¹ En comunicaciones, cuando se habla de “espacio libre” se refiere aquella comunicación que utiliza la propagación a la velocidad de la luz en la transmisión de información entre dos puntos.

²² En comunicaciones, cuando nos referimos a la “atenuación” se refiere a la pérdida de la potencia de la señal que se produce al pasar de un medio a otro.

²³ Scattering es un anglicismo cuya traducción al castellano sería dispersión y se refiere al fenómeno físico de separación de las ondas de distinta frecuencia al atravesar un material.

²⁴ Ganancia es un término que en comunicaciones expresa la relación entre la amplitud de una señal de salida respecto a la señal de entrada. Si sale negativa se llama Atenuación.

frecuencia²⁵ . La frecuencia f viene dada por la siguiente relación $f = (v^{26}/\lambda^{27})$. La pérdida en espacio libre se define como el cociente entre potencia transmitida y recibida, es decir, viene dada por la ecuación de pérdidas en espacio libre, $L = \frac{P_t}{P_r}$.

Si a esa expresión le calculamos las pérdidas totales en espacio libre, para antenas con ganancia unidad y frecuencia de trabajo, la central de la norma 802.11, es decir $f=2,45$ GHz, y, además, tenemos en cuenta que las pérdidas debidas a la atenuación y al efecto del Scattering, se obtienen en dicho estudios que las pérdidas vienen dadas por la siguiente ecuación.

$$L(db) = 40.23 + 10 * n * \log(d) + L_a (db)$$

Ecuación 2: Pérdidas en entorno Indoor

Donde n es el exponente de pérdidas multicamino, y L_a son las pérdidas debido a la atenuación debida a los obstáculos que se encuentra la onda de la señal (Li et al., 2005).

Como se observa, el cálculo de las pérdidas en un entorno Indoor no es en absoluto trivial, por lo que se hace necesaria la experimentación con usuarios finales.

Para disminuir los errores de ubicación debidos a estos efectos, se utiliza la diversos algoritmos de localización como la trilateración y la triangulación (Legarretaetxebarria, 2011; Roxin, Gaber, Wack, & Moh, 2007; Sayed, Tarighat, & Khajehnouri, 2005). En dichos estudios se habla de los algoritmos tales como el TOA, TDOA, AOA, RTOF, RSS, o Fingerprinting entre otros.

²⁵ Frecuencia, f , es una magnitud que mide el número de repeticiones de la onda por unidad de tiempo.

²⁶ v es la velocidad de propagación de la onda electromagnética.

²⁷ λ es un término que indica la longitud de onda electromagnética.

2.2.1 La triangulación

La triangulación es un método que se utiliza para estimar la ubicación de un objeto o usuario final, en base a mediciones obtenidas de tres estaciones ubicadas en sitios conocidos, por lo que se puede encontrar la ubicación del objeto y, por tanto de la persona que lo lleva, mediante la intersección de tres esferas. Se trata de un método de cálculo de las coordenadas de un punto destino sobre la base de las distancias medidas entre el destino y los puntos de referencia fijos de los que se conoce la ubicación (Thomas & Ros, 2005). La triangulación cuenta con dos tipos de técnicas: lateración y angulación.

2.2.1.1. Técnicas de Lateración

Aquellas que estiman la posición de un objeto (sujeto) midiendo sus distancias desde múltiples puntos de referencia. Estas técnicas utilizan parámetros como el tiempo de llegada (TOA²⁸), la diferencia del tiempo entre llegadas (TDOA²⁹), el basado en atenuación de la señal (RSS³⁰), el Tiempo de ida y vuelta (RTOF³¹) o el método de fase de llegada (POA³²).

1. Time Of Arrival (TOA): Tiene en cuenta que la distancia desde el dispositivo móvil a la unidad de medición es directamente proporcional al tiempo de propagación, con el fin de permitir el posicionamiento en 2D, las mediciones de TOA deben hacerse con respecto a las señales de al menos tres puntos de referencia. En los sistemas basados en TOA, se mide el tiempo de propagación de una sola vía, y se calcula la distancia entre la unidad de medición y el transmisor de señal.

²⁸ TOA es el acrónimo en inglés de Time Of Arrival

²⁹ TDOA es el acrónimo en inglés de Time Difference Of Arrival

³⁰ RSS es el acrónimo en inglés de Received Signal Strenght

³¹ RTOF es el acrónimo en inglés de Reflectron Time Of Flight

³² POA es el acrónimo en inglés de Phase of Arrival

En general, el TOA da lugar a dos problemas: en primer lugar, todos los transmisores y receptores en el sistema tienen que estar sincronizados con una elevada precisión; en segundo lugar, en la señal transmitida debe aparecer una marca de tiempo para que la unidad de medida para conocer la distancia que la señal ha viajado.

El funcionamiento de la trilateración de TOA se basa en las propiedades geométricas de los círculos y se calcula mediante la intersección de tres círculos (Sayed et al., 2005).

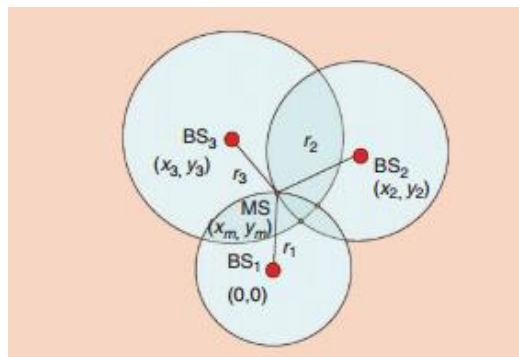


Imagen 2: Efecto de trilateración TOA (Sayed et al., 2005)

2. Time Difference Of Arrival (TDOA), en el que se calcula de la diferencia en el tiempo en que la señal llega a múltiples unidades de medida, en vez de la hora de llegada absoluta de TOA. Para estimar la ubicación de un usuario se realiza el cálculo a partir de las intersecciones, similares a las calculadas en la TOA pero teniendo en cuenta que en este caso, los puntos BS₁, BS₂ y BS₃ se encuentran en el foco de la hipérbola.

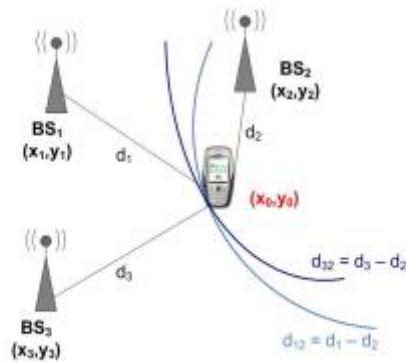


Figure 2b. Locating the mobile device by performing a TDOA.

Imagen 3: Detalle de efecto de trilateración TDOA (Roxin et al., 2007).

Estos dos algoritmos presentan desventajas en entornos Indoor, donde es muy complicado el tener visión directa entre transmisor y receptor, y además la propagación sufre de múltiples efectos, tales como la dispersión, difracción, efecto multipath..., lo que afectaría considerablemente al tiempo y al ángulo de llegada de la señal, por lo que la precisión de la ubicación del sujeto quedaría mermada.

3. Método basado en Atenuación de la Señal (RSS)
Para evitar los efectos negativos de los métodos anteriormente expuestos, se propuso un enfoque basado en estimar la distancia del dispositivo móvil a los puntos de acceso, utilizando la atenuación de la intensidad de la señal emitida, de forma que se calcula la pérdida de trayectoria de la señal debida a la propagación.
4. Reflectron Time Of Flight (RTOF)
Este método consiste en medir el tiempo que tarda una señal en viajar desde el transmisor al receptor móvil y en volver al origen, funcionando de forma similar al sistema radar de telemetría. El funcionamiento es similar al de

TOA pero en este caso la sincronización de reloj no es tan crítica.

5. Phase Of Arrival (POA)

El método de fase de la señal recibida se trata de un método que utiliza la fase o la diferencia de fase de la portadora emitida para estimar el rango. La desventaja que presenta es que precisa visión directa y la dificultad que presenta el cálculo de dicha fase o diferencia de fase.

2.2.1.2. Técnicas de estimación de ángulo de llegada (AOA)

La angulación es un método por el cual se localiza un objeto mediante el cálculo de los ángulos relativos en relación a puntos de referencia. Se utilizan al menos dos puntos conocidos de coordenadas (x_1, y_1) y (x_2, y_2) , que disponen de dos ángulos que se calculan con el eje de referencia del punto de referencia, con el eje que lo une con el punto en que se encuentra el dispositivo móvil que lleva el usuario u objeto a localizar.

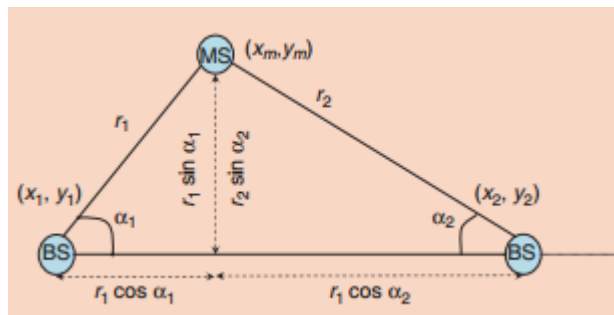


Imagen 4: Posicionamiento basado en técnicas de angulación ((Sayed et al., 2005)

Como principal desventaja se puede comentar que la medición de los ángulos debe ser precisa, lo que conlleva una gran complejidad en entornos interiores debido, fundamentalmente a las pérdidas por multicamino en dichos entornos.

2.2.2 Análisis de escena

En redes se conoce como análisis de escena a aquellos algoritmos, como el de Fingerprinting, que se encargan de tomar características de potencia, canal de emisión y direcciones MAC en una zona determinada (escena), para luego realizar la estimación de la ubicación de un dispositivo o sujeto, mediante la comparación de dichas medidas con las recibidas en cada momento, de forma que se asemejen a las de las zonas más cercanas.

En este método, en lugar de determinar las distancias entre el usuario y los puntos de acceso y de usar la triangulación para obtener la ubicación del usuario, dicha localización se determina mediante la comparación de los valores de RSSI obtenidos en la etapa de medición, habiendo realizado un mapa de potencias y MACs de los dispositivos de acceso inalámbricos.

Por ello, el método de Fingerprinting posee dos etapas de cálculo: una online³³ y otra offline³⁴. En esta última, es una etapa en la que entrena el sistema, tomándose medidas de los valores de potencia recibida de cada uno de los puntos de acceso, junto a la dirección MAC que lo identifica y al canal con el que está emitiendo cada punto de acceso. Posteriormente tiene lugar la etapa online, en el que el dispositivo móvil accede a la información proporcionada por todos los puntos de acceso que se encuentran cerca del punto donde se encuentra y, mediante un algoritmo de proximidad ponderado determina el lugar donde estima que debe encontrarse el usuario con esos valores.

³³ online se refiere a una etapa en la que está conectada a la red o al sistema el momento de la realización.

³⁴ offline se refiere a cuando está desconectado de la red o al sistema en el momento de realizar la etapa.

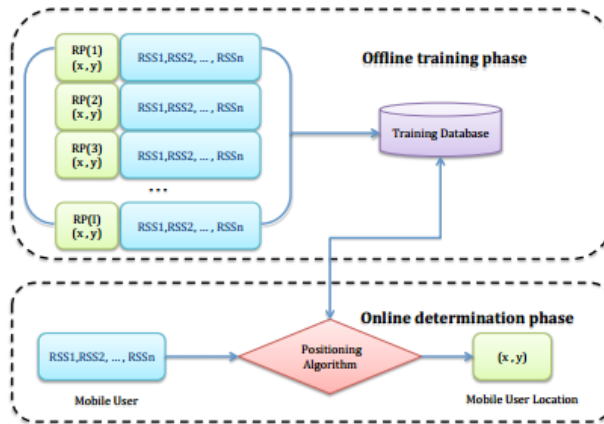


Imagen 5: Diagrama de método de Fingerprinting (Jiang, 2012)

Como puede notarse en el diagrama extraído del estudio realizado por Jiang que utiliza el método de fingerprinting (Jiang, 2012), en cada medición se obtiene un número de valores de potencia RSSi, si bien el número n no es el mismo en todas las mediciones, es decir, veremos que en un punto pueden realizarse ocho medidas de potencia y en otras catorce, dependiendo de lo estable de la señal.

La principal desventaja, de las técnicas de localización basadas en tecnología Fingerprinting, es que la intensidad de la señal recibida podría verse afectada por efectos como la difracción, reflexión y dispersión Indoor, así como por los cambios que se producen en los canales y en la potencia en los puntos de acceso.

Hay múltiples algoritmos de localización basada en técnica Fingerprinting, de entre los que destacamos los siguientes: los métodos probabilísticos; el vecino más próximo (NN³⁵); el k-vecino más próximo (kNN); k-vecino más próximo ponderado

³⁵ NN son las siglas de nearest neighbor

(WkNN³⁶); redes neuronales. Si bien hay que notar que los más utilizados son el kNN³⁷ y el WkNN, aunque el kNN es un caso específico del WkNN en el que todos los puntos de acceso tienen la misma ponderación. De igual forma, el NN es el caso de kNN pero con $k=1$.

Algunos de los estudios Indoor basados en Fingerprinting son: el sistema Radar (Bahl & Padmanabhan, 2000); Place Lab (Cheng, Chawathe, LaMarca, & Krumm, 2005); el sistema Horus (Youssef & Agrawala, 2008); el SurroundSense (Azizyan, Constandache, & Roy Choudhury, 2009); el PinLoc (Sen, Radunovic, Choudhury, & Minka, 2012).

2.2.3 Algoritmos de proximidad

Hay diversos estudios (Legarretaetxebarria, 2011; Liu, Darabi, Banerjee, & Liu, 2007) en los que se habla de otros tipos de algoritmos, que proporcionan información de la ubicación basándose en la proximidad de los dispositivos respecto de otros de los que se conoce su ubicación. Estos sistemas tienen la ventaja de la sencillez de implantación pero la desventaja de que resultan caros en comparación con otros sistemas como los WiFi de amplia implantación en redes públicas y corporativas. En estos sistemas se fundamentan los basados en IrDA³⁸ y los RFID, por lo que no es caso de interés nuestro.

³⁶ WkNN son las siglas de weighted K nearest neighbors

³⁷ kNN son las siglas de K nearest neighbors

³⁸ IrDA es el acrónimo en inglés de Infrared Data Association, que se traduciría por Asociación de datos infrarrojos, y es un sistema de comunicación que utiliza los rayos infrarrojos.

2.3) Redes de acceso inalámbricas

2.3.1) Introducción

Una de las tecnologías de comunicación más utilizadas por las propiedades de transmisión que proporcionan los dispositivos, es la comunicación mediante tecnología inalámbrica. A través de esta, la conexión de diversos dispositivos se realiza mediante ondas de radio o luz infrarroja. Las Redes Inalámbricas posibilitan el acceso a los dispositivos a diversas posiciones dentro de una misma área de alcance, de manera que los dispositivos no permanecen de forma estática en una sola ubicación.

Esta movilidad de los dispositivos tiene como desventaja la velocidad de transmisión, que no es tan elevada como en las redes de cableado por fibra óptica. También tiene como desventaja el tema de la seguridad, puesto que toda información transmitida por ondas de radio es susceptible de ser “escuchada” por personas no autorizadas a recibir esta información.

Como solución intermedia se adoptan redes mixtas en las que se mezclan las redes cableadas o de fibra óptica y las redes inalámbricas, en la que se proporciona una velocidad de transmisión elevada hasta el nodo de acceso mediante tecnología de cableado o fibra óptica, formando el Backbone³⁹ de la red, y de ahí se crea una red inalámbrica mediante puntos de acceso, lo que le proporciona movilidad al dispositivo, posibilitando el desplazamiento dentro de un área delimitada por el alcance de los puntos de acceso que conforman la red inalámbrica.

Al igual que en las redes tradicionales, en las inalámbricas existen tres tipos de redes según el alcance de los dispositivos

³⁹ Backbone es un anglicismo que indica en ingeniería de redes se refiere al cableado estructurado de una red, así como a los elementos que permiten realizar la conexión de la red.

que acceden a la misma: de largo alcance o WWAN⁴⁰, de corto alcance o WLAN, y personales o WPAN⁴¹, veámoslas:

- WWAN sería lo equivalente en las redes de cableado a las MAN⁴², pero con una velocidad relativamente baja comparada con estas.
- WLAN, son aquellas que permiten la interconexión inalámbrica de una red de dispositivos en una localidad geográfica, de forma que pueden compartir archivos, servicios y cualesquiera otros dispositivos con acceso inalámbrico. Son similares a las redes LAN⁴³ pero las WLAN ofrecen ventajas tales como movilidad, flexibilidad, escalabilidad, simplicidad, y costos reducidos de instalación.

Una de las principales desventajas de este tipo de redes es la seguridad, ya que cualquier dispositivo inalámbrico en el área de la red podría comunicarse con un punto de acceso inalámbrico si no se dispusieran de medidas de seguridad adecuadas. Estas medidas a adoptar son el cifrado de datos y autenticación de los usuarios. Por ello, hay que tener en cuenta que gran parte de la información que se transmite es de control, no siendo información útil para los usuarios, con la consecuente disminución en la velocidad de transmisión de datos útiles.

⁴⁰ WWAN son las siglas de Wireless Wide Area Network que traducidos sería redes inalámbricas de área amplia.

⁴¹ WPAN son las siglas de Wireless Personal Area Network que traducido sería redes inalámbricas de área personal.

⁴² MAN son las siglas de Metropolitan Area Network que traducido sería redes de área metropolitana.

⁴³ LAN es el acrónimo en inglés de Local Area Network y quiere decir red de área local.

- WPAN es, como indica el IEEE⁴⁴, aquella que se utiliza para transmitir información a distancias cortas entre un grupo privado de dispositivos participantes en la comunicación (LAN/MAN Standards Committee, 2003). En las WPAN podemos encontrar los siguientes estándares: Bluetooth; Zigbee; Infrarrojos; UWB⁴⁵

2.3.2) Tecnologías y sistemas

Las principales tecnologías inalámbricas, están basadas en:

- El sistema GNSS, que se basa en una constelación de 24 satélites y que basa su principio de funcionamiento en la medida en tiempo real de la distancia entre el receptor y, al menos, 4 satélites, siendo más exacto en la localización conforme aumenta el número de satélites de los que recibe señal. La distancia se obtiene mediante el retardo temporal que existe desde que el satélite emite la señal hasta que el receptor la recibe. De esta forma el receptor obtiene de cada satélite su posición y el instante de envío de cada trama. Mediante triangulación se obtienen las distancias, lo que proporciona la posición absoluta del receptor en la superficie de la Tierra.

El error en los sistemas basados en GNSS o GPS se debe a: por preciso que sea, el reloj del satélite introduce un error; el error en la predicción de las efemérides; el retardo que produce la ionosfera al pasar la señal por la misma; retardo al atravesar la troposfera; el ruido interno

⁴⁴ IEEE son las siglas de Institute of Electrical and Electronics Engineers, que traducido sería Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica y se trata de una asociación mundial de técnicos e ingenieros dedicada a la estandarización y el desarrollo en áreas técnicas.

⁴⁵ UWB es el acrónimo de ultrawideband y cuya traducción al castellano sería red de banda ultra ancha.

del receptor; y, por último, por el efecto multipath (Ferrer Mínguez, 2009).

- La tecnología WiFi se trata de una tecnología basada en el estándar IEEE⁴⁶ 802.11. La comunicación típica en el protocolo 802.11 sigue un modelo centralizado, lo que implica que la red consta de uno o varios puntos de acceso y multitud de clientes conectados a uno de estos puntos de acceso⁴⁷. Cada punto de acceso emite periódicamente un tipo de mensajes que son recibidos por todos los usuarios que se encuentran en el área de cobertura.
- Por otro lado, los avances en electrónica y en las comunicaciones inalámbricas han hecho viable el desarrollo de redes que se basan en sensores de bajo coste y consumo, capaces de medir parámetros, procesar información y comunicarla a otros dispositivos a través de un canal de radiofrecuencia. La desventaja es el desconocimiento por parte del usuario de dicha tecnología, así como la necesidad de receptores de información en los dispositivos móviles.
- Por otro lado, tenemos el sistema de identificación por radiofrecuencia o RFID, que se trata de un sistema de identificación basado en etiquetas de radiofrecuencia que, al acercarse un transmisor RFID, emiten la señal que tienen almacenada y la proporcionan como información que puede ser una posición del usuario o información relativa al lugar donde se encuentra. La

⁴⁶ IEEE son las siglas de Institute of Electrical and Electronics Engineers o en castellano Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

⁴⁷ Punto de acceso en comunicaciones inalámbricas se trata de un dispositivo que interconecta distintos dispositivos de comunicación para formar una red inalámbrica.

principal desventaja de esta tecnología es que debe hacerse una inversión importante de hardware tanto en el emisor, con las balizas RFID, como en el receptor, que debe tener un dispositivo lector de balizas RFID.

- Otra tecnología es la de infrarrojos, en la que se utilizan etiquetas o tags que emiten radiación infrarroja, de forma que se evitan las interferencias y falsos positivos provenientes de otro tipo de sensores, como ocurre en los de RF. Problemas que plantea es que requiere: visión directa entre emisor y receptor; conocimiento de la posición de los sensores; disponer de señores de emisión específicos y que los receptores dispongan de lectores IR⁴⁸.
- Otra opción sería la localización mediante la tecnología móvil, que se basa en la detección de la célula en la que se encuentra el dispositivo móvil, dependiendo por tanto del tamaño de la célula más que del sistema, siendo la precisión mayor en entornos urbanos donde las células son más pequeñas que no en los entornos rurales. La principal desventaja es la poca precisión y la dependencia del entorno en el que se halla.
- La tecnología Bluetooth (IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee, 1997), que se encarga de escuchar las emisiones de los dispositivos Bluetooth en el área de cobertura para calcular las distancias a dichos dispositivos mediante triangulación. La principal ventaja es el bajo coste. La principal desventaja es que deben conocerse las posiciones de los dispositivos de referencia y que el alcance es muy pequeño, por lo que se precisan

⁴⁸ IR es el acrónimo de Infrared en referencia a las ondas en la banda del infrarrojo.

muchas balizas Bluetooth para dar una cobertura óptima con una buena calidad de servicio.

- La tecnología WIMAX⁴⁹, que viene dada por el estándar 802.16 (IEEE 802.16 Working Group, 2004), está diseñada para la comunicación de áreas muy extensas, de hasta 50 kilómetros de radio. Dado un alcance tan elevado, parece difícil su empleo como tecnología de localización en entornos de interior.

Existen diversos estudios (Uzun, Salem, & Kupper, 2014; Wan, 2014) que indican que los sistemas más utilizados en la localización son: los basados en GNSS o GPS (Whitehouse, Alsup, de Escobar, & Sullivan, 2004); los basados en identificación de células, como los que se utilizan en comunicaciones móviles (Chen et al., 2006) y aquellos basados en tecnologías WiFi (Jones & Liu, 2006). Si bien hay algunos que utilizan tecnologías mixtas, como el de (Lita, Cioc, & Visan, 2006) que utiliza un sistema GPS junto a GSM.

Además de estos sistemas, tenemos los que se basan en los sistemas inerciales de los dispositivos móviles, como los SmartPhones, ya que nos proporcionan resultados robustos y fiables (Glanzer, Bernoulli, Wiessflecker, & Walder, 2009; Glanzer & Walder, 2010; Pombinho, Afonso, & Carmo, 2010). El principal problema que se plantean en estos sistemas es que durante la marcha del sujeto, la posición donde se encuentra el teléfono, tal como en una mano o en el bolsillo, puede afectar a las lecturas del sensor de diferentes maneras, lo que hace que la detección no sea todo lo fiable que se desea. De igual forma, si el móvil está en un bolsillo y se trata de un móvil con pantalla táctil, pueden ocurrir rebotes al coger una llamada telefónica o

⁴⁹ WIMAX son las siglas de Worldwide Interoperability for Microwave Access que significaría interoperabilidad mundial para acceso por microondas.

pasar las manos de un lado a otro del cuerpo, generándose falsos positivos en la detección, dejándose los problemas generados por movimiento al azar de los móviles.

Además, una vez que se detecta movimiento, el sistema necesita estimar la longitud del paso del usuario, pudiendo variar entre distintos usuarios y temporalmente, debido a la velocidad, los obstáculos, los materiales y otras limitaciones ambientales del entorno. Personas con diferentes perfiles físicos como la altura, el peso, el sexo o estilo de caminar tienen diferente longitud del paso. Pero incluso la misma persona, puede variar la longitud del paso debido a las diferencias en los zapatos o superficie de la tierra. Estos modelos de sistemas inerciales de los SmartPhones obtienen un modelo entrenado para un usuario específico en el tiempo, a medida que se acumulan datos del sensor, consiguiéndose fiabilidad en el sistema. Por otro lado, en este tipo de sistemas es preciso conocer la dirección de la marcha en cada paso con precisión.

Lo más usual es proponer soluciones que aprovechen la infraestructura existente y que proporcione las características de comunicación inalámbrica deseadas, optimizando la relación calidad precio. Hay que notar que, las técnicas de localización basadas en WiFi son las más utilizadas debido, fundamentalmente, a la amplia disponibilidad de la infraestructura WiFi.

Nuestro entorno se trata de un espacio interior con cobertura WiFi, ya que se trata de la Facultat de Psicologia de la Universitat de València, donde se puede asumir el conocimiento de la distribución física de los puntos de acceso por parte de los administradores pero el desconocimiento por parte de los usuarios finales, que llevan dispositivos con WiFi, como SmartPhones.

La localización WiFi se basa en la triangulación mediante la recepción de intensidades de señal de los puntos de acceso y un modelo de propagación de la señal para calcular la ubicación del receptor, lo que requiere información acerca de las posiciones exactas de los puntos de acceso.

2.3.3) Principales tecnologías inalámbricas

Como se ha comentado previamente, son diversos los sistemas de comunicaciones móviles que se han estudiado si bien vamos a estudiar en profundidad los que hemos considerado más importantes por las prestaciones que nos proporcionan: la tecnología WiFi; la Bluetooth; la infrarroja.

2.3.3.1) WiFi (IEEE 802.11)

La principal tecnología inalámbrica es la 802.11, o comúnmente conocida por WiFi (Crow, Widjaja, Kim, & Sakai, 1997), que es la que proporciona mayores beneficios a un menor coste. Los principales beneficios son: permite la comunicación punto a punto y punto a multipunto; es una tecnología cada vez más económica; permite la interoperabilidad entre equipos de distintos fabricantes; es escalable, permitiendo la ampliación de forma modular; utiliza estándares abiertos, lo que facilita la adhesión de distintas tecnologías presentes y de las futuras que se vayan incorporando al estándar 802.11; es la tecnología más ampliamente extendida y conocida por los usuarios finales; trabaja en una banda de frecuencias libres de acceso (en Europa de 2,4-2,5 GHz y de 5,8 GHz y en EE.UU. de 5 GHz) que posibilita que la onda atraviese las paredes; no precisa de visión directa entre emisor y receptor; presenta un nivel de encriptación y seguridad robusto. En cuanto a este último apartado, hay que tener en cuenta que toda la información transmitida vía radio es susceptible de ser “escuchada” por cualquier persona no autorizada, si bien en los últimos años se ha incrementado el

grado de autenticación, proporcionando una mayor seguridad a la red.

Las especificaciones del estándar definido por el IEEE, son las del denominado 802.11x, donde x comprende letras que definen distintas variantes de la norma, como la 802.11a, la 802.11b, la 802.11g y la 802.11n por ejemplo. Hasta el 2009 existían las variantes hasta la g proporcionando una velocidad de hasta 54 Mbps. En esa fecha apareció la n que proporciona una velocidad que supera los 100 Mbps.

El estándar IEEE 802.11 define el concepto de conjunto de servicio básico, BSS⁵⁰, que consiste en dos o más nodos inalámbricos o estaciones que se reconocen una a la otra y que pueden transmitir información entre ellos. Un BSS puede intercambiar información de dos modos diferentes: ad-Hoc; infraestructura. En el primero de ellos cada nodo se comunica con el otro directamente, sin coordinación, permitiendo la transmisión entre nodos. En el modo Infraestructura existe un elemento llamado punto de acceso o AP⁵¹ que actúa como Bridge⁵² entre la red inalámbrica y la cableada, coordinando la transmisión entre los distintos nodos inalámbricos y permitiéndose el roaming⁵³ entre distintos puntos de acceso.

⁵⁰ BSS son las siglas de Basic Service Set que en castellano sería Conjunto de Servicio Básico.

⁵¹ AP son las siglas de Acces Point que en castellano sería punto de acceso.

⁵² Bridge es un anglicismo que se traduciría en castellano en telecomunicaciones por puente. Se trata de un dispositivo de interconexión de redes de ordenadores que interconecta segmentos de red realizando la transferencia de datos entre segmentos teniendo en cuenta la dirección física de cada paquete, operando en la capa 2 del modelo de referencia OSI.

⁵³ Roaming es un término inglés que traducido al castellano significa itinerancia y se trata de un concepto muy utilizado en comunicaciones móviles e inalámbricas y que indica la capacidad del dispositivo móvil de cambiar de una zona de cobertura a otra o, sin cambiar de área de cobertura,

Un punto de acceso inalámbrico o AP es un dispositivo que interconecta distintos dispositivos de comunicación inalámbrica. Tienen dirección IP⁵⁴, lo que facilita su configuración y el acceso a y hacia redes tanto Ethernet como inalámbricas, posibilitando la conexión inalámbrica de un equipo móvil con una red cableada o inalámbrica. En la figura adjunta puede verse una configuración típica de acceso de diversos dispositivos a través de un punto de acceso inalámbrico a datos tanto de una red móvil como fija mediante el uso de Switches o Routers. En esta red, la principal función del AP es permitir la conectividad con la red, delegando la tarea de enrutamiento y direccionamiento a servidores, Routers y Switches. Estos dispositivos y el hecho que disponen de IP asignada, permiten que un AP se conecte tanto a una red inalámbrica, mediante otros AP, como a una red cableada sin más que conectar este AP físicamente mediante cable a uno de los dispositivos mencionados.



Imagen 6: Ejemplo de red inalámbrica Cisco (www.cisco.net)

Como se puede observar en la figura previa, los puntos de acceso pueden ser cualesquier dispositivo que acepte IP,

cambiar de base o punto de acceso y sin perder en ningún caso la conectividad.

⁵⁴ IP son las siglas de Internet Protocol y se traduce por protocolo de internet.

recibiendo, almacenando y transmitiendo información entre la WLAN y la LAN.



Imagen 7: Punto de Acceso Inalámbrico Cisco

Los AP son por tanto repetidores, por lo que están dotados de una estructura sencilla, validando la información recibida y retransmitiéndola. Por ello se ubican en puntos que permitan abarcar la mayor parte del área de interés. Para ello la antena del AP debe estar ubicada en una posición elevada, lo más cercana al techo, aumentando así la cobertura. En dos antenas iguales, la diferencia de potencia recibida en un AP situado en una zona cercana al techo es entre 2 y 4 veces superior que la recibida en uno en menor nivel, pero la interferencia que recibe es la misma, lo que aumenta la relación señal a ruido de interferencia. Pero no sólo debe estar en una ubicación elevada, el AP debe disponer de una antena directiva, de forma que la directividad vertical hace que haya una variación de potencia entre 1 y 6 veces, y esto ocurre entre los 0° y los 30° con la horizontal. En cuanto a la horizontal puede incrementarse hasta 24 veces.

En una red basada en Puntos de Acceso Inalámbricos, la cobertura de cada punto de acceso es definible, pudiendo ubicarse de forma que las paredes amplifiquen la señal, mejorándose la Relación Señal a Ruido (SNR⁵⁵). De igual forma, podemos indicar que las estaciones están continuamente transmitiendo o recibiendo de forma activa y que algunas de las

⁵⁵ SNR son las siglas de Signal Noise Ratio que se traduce por relación señal a ruido e indica la proporción existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe.

estaciones asociadas con un punto de acceso, están al final de un área de servicio.

Según las especificaciones del IEEE 802.11 (IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee, 1997), la forma para realizar mediciones de potencia de señal WiFi es mediante escaneo, activo o pasivo, de los puntos de acceso que hay disponibles en el área de cobertura del dispositivo móvil. Los dispositivos móviles conectados a una red 802.11 van cambiando de canal de forma periódica con la finalidad de detectar los posibles puntos de acceso a su alcance.

El escaneo activo es aquel en el que un dispositivo móvil, conectado a un canal, envía tramas a los puntos de acceso. Dichas tramas se llaman Probe Request y debe tener respuesta de todos los puntos de acceso dentro del área de cobertura y que trabajan en ese canal, mediante tramas llamadas Probe Response. El dispositivo móvil estudiará todas las tramas de tipo Probe Response que recibe en cada instante, identificando los puntos de acceso dentro del área de cobertura bajo estudio mediante su ESSID⁵⁶ y potencia de las señales que recibe.

El escaneo Pasivo es aquel en el que mientras el dispositivo móvil está conectado a un canal, permanece a la escucha de posibles tramas que puedan llegar. Los puntos de acceso envían tramas, llamadas Beacon⁵⁷, cada 100 ms y son “escuchadas” por los dispositivos móviles que extraerán la potencia de recepción de la señal respecto de ese punto de acceso único.

⁵⁶ ESSID es el acrónimo del inglés de Extended Service Set Identifier y significaría identificador de servicio extendido de una red o dispositivo de red.

⁵⁷ Ojo no confundir la trama Beacon con el dispositivo de balizamiento llamado Beacon también.

2.3.3.2) Bluetooth (IEEE 802.15)

El IEEE 802.15, conocido como Bluetooth, es un protocolo estándar de comunicaciones que permite la conexión inalámbrica de dispositivos móviles, tales como SmartPhones, teléfonos móviles, ordenadores, así como cualquier tipo de dispositivo capaz de intercambiar datos de forma inalámbrica, basándose en la técnica de modulación de espectro ensanchado por salto de frecuencias, lo que hace que las señales sean resistentes al ruido y la interferencia, consiguiéndose una señal difícil de interceptar por un intruso, ya que lo que recibiría al estar escuchando sería similar a un ruido de menor duración o de mayor amplitud, siendo imperceptible para las personas no autorizadas. Como principal desventaja hay que destacar el bajo ancho de banda de este tipo de modulaciones.

En transmisión vía Bluetooth nos encontramos con que, a diferencia de otros sistemas inalámbricos, se trata de un sistema ad-hoc⁵⁸ en el que no hay una estación base. En el funcionamiento de los dispositivos Bluetooth punto a multipunto, dos o más unidades comparten el mismo canal formando una piconet. En este tipo de redes se encuentra una unidad Maestra y una o varias unidades Esclavas, pudiendo encontrarse en cuatro estados (LAN/MAN Standards Committee, 2003).

El estándar Bluetooth se trata de un protocolo de comunicaciones bidireccional que: utiliza tanto conmutación de circuitos como de paquetes; divide el canal en slots; utiliza modulación Gaussian FSK o GFSK⁵⁹; soporta una combinación

⁵⁸ En telecomunicaciones una red ad-hoc hace referencia a la red compuesta por nodos en las mismas condiciones, es decir, aquella red que no dispone de un nodo central.

⁵⁹ GFSK es el acrónimo de Gaussian frequency shift keying y significa modulación gaussiana por desplazamiento de frecuencia. Se trata de un esquema de modulación en el que los datos se filtran en primer lugar por un

de datos síncronos y de voz asíncrona, así como un enlace asíncrono sin orientación a conexión o ACL⁶⁰ para datos y hasta tres enlaces síncronos orientados a conexión o SCO⁶¹ para voz; utiliza la técnica de espectro ensanchado por salto de frecuencia o FHSS⁶², transmitiendo cada paquete en un salto distinto; limita la potencia de salida exactamente al valor necesario, modificando la intensidad de la señal de salida en función de la cercanía al dispositivo, posibilitando, en caso de no uso del canal, la disminución de la potencia, pasando incluso a un modo de baja potencia, modo que sólo se interrumpe al restablecer la conexión.

2.3.3.3) Infrarrojos (802.11)

La transmisión por Infrarrojos está compuesta por un haz enfocado de luz en el espectro de frecuencias infrarrojo, en el rango de señal de 850 nm⁶³ a 950 nm, que modula la información y la envía de un transmisor a un receptor. La comunicación de datos por infrarrojos juega un importante papel en las comunicaciones de datos inalámbricas debido al enorme uso de ordenadores portátiles, impresoras, cámaras digitales, Smartphones, y otros dispositivos digitales.

En 1993 se creó una asociación internacional, la Infrared Data Association, IrDA (www.irda.org), cuyo objetivo es la generación de estándares o protocolos para los dispositivos y el software que se utiliza en la comunicación mediante infrarrojos. El estándar de IrDA (Crow et al., 1997) define comunicaciones bidireccionales punto a punto mediante un haz de luz infrarroja

filtro gaussiano en banda base y luego modula con una sencilla modulación de frecuencia

⁶⁰ ACL es el acrónimo de asynchronous connection-oriented link y significa enlace orientado a conexión asíncrono.

⁶¹ SCO es el acrónimo de Synchronous connection-oriented y significa enlace síncrono orientado a conexión.

⁶² FHSS es el acrónimo de Frequency-hopping spread spectrum

⁶³ nm son las siglas de nanometro

que requiere visión directa con un ángulo no mayor de 30 grados y una distancia que no excede un metro para obtener tasas de transmisión de datos entre 9.6Kbps y 16Mbps dependiendo del entorno (Infrared Data Association, 2000).

Este estándar está basado en las características de un Transmisor/Receptor Asíncrono Universal, UART. Cuando la CPU⁶⁴ de un dispositivo desea transmitir un byte⁶⁵ de información, se lo entrega al UART, que lo transforma en una secuencia de 10 bits: los 8 bits de información precedidos de 1 bit de Start (“0” lógico) y seguidos de 1 bit de Stop (“1” lógico). Esos “0” y “1” lógicos se traducen en niveles de tensión de +10V y -10V, respectivamente, según la norma RS-232 (Electronic Industries Association, 1969).

2.3.3.4) Bluetooth vs IrDA

En el presente apartado vamos a comparar las dos últimas tecnologías como las que vamos a utilizar como apoyo para la tecnología 802.11, que es la que vamos a utilizar. Como conclusiones podemos decir que:

- La tecnología Bluetooth utiliza una tecnología de ondas radio pero la tecnología Infraroja (IrDA) utiliza frentes de onda de la gama del infrarrojo. Esta propiedad de las ondas permite que atraviesen o no los obstáculos o paredes, siendo posible en la Bluetooth y no siéndolo en la IrDA.
- La Bluetooth puede conectarse a dispositivos a distancias

⁶⁴ CPU son las siglas en inglés de Central Processing Unit que en castellano sería Unidad Central de Procesamiento y que es el encargado de realizar las instrucciones de un programa de ordenador mediante operaciones aritméticas, lógicas y de entrada/salida del sistema

⁶⁵ Byte es la unidad de almacenamiento de datos lo suficientemente grande para contener cualquier juego de caracteres básico del entorno de ejecución de un programa. Está compuesto por 8 bits, que son la unidad básica de almacenamiento de información

de decenas de metros mientras que la IrDA tiene que tener los dispositivos a distancia muy cercana.

- La Bluetooth puede comunicar dispositivos que no tengan visión directa, no así la IrDA que precisa de visión directa entre emisor y receptor, influyendo las características ambientales en la transmisión y/o recepción de la información.
- La comunicación con infrarrojo suele ser punto a punto, dejando de lado las configuraciones punto a multipunto para las Bluetooth u otras redes inalámbricas.
- Todo software nuevo tiene fallos y al ser utilizado por los usuarios finales se van introduciendo mejoras en versiones posteriores. Esta característica es más pronunciada en Bluetooth ya que permite la implementación en distintos dispositivos electrónicos simultáneamente.
- Bluetooth se presta mejor para servicios de acceso a red así como en los casos en los que el usuario puede estar moviéndose.

Como conclusión, no puede darse una recomendación clara hacia el uso de una de las dos tecnologías como apoyo para la tecnología WiFi que es la que usaremos nosotros, puesto que si bien la tendencia es a utilizar los dispositivos Bluetooth por las ventajas que proporciona, hay que estudiar cada caso en concreto puesto que el algoritmo IrDA es muy potente y seguro y hay multitud de casos en los que es aconsejable.

En nuestro caso nos vamos a decidir por la tecnología Bluetooth, como tecnología de apoyo a la tecnología WiFi utilizada en el medio sobre el que se van a realizar las pruebas con usuarios, ya que da mejores resultados en cuanto a servicios de red, a la no necesidad de visión directa, a que se pueden realizar comunicaciones punto a multipunto y a que no van a

intercambiarse datos sensibles para no ser “robados”, sino solo de posicionamiento.

CAPÍTULO 3: DISCAPACIDADES

3.1. Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud “se estima que más de mil millones de personas viven con algún tipo de discapacidad”, esto supone alrededor de un 15% de la población mundial, cuando en los años 1970, la prevalencia era de un 10% (Organización Mundial de la Salud/Banco Mundial, 2011).

De estas personas, 110 millones tienen dificultades muy significativas de funcionamiento, es decir un 2,2%. Según el estudio sobre la Carga Mundial de Morbilidad, estas personas con dificultades las cifra en 190 millones, lo que supone un 3,8%.

Estos datos hacen referencia a las personas con una edad de 14 años o más. En lo referente a menores de 14 años, se estima que 5,1%, poseen discapacidad, es decir, unos 95 millones de niños, de los cuales 13 millones tienen “discapacidad grave”, lo que supone un 0,7% de la población menor de 14 años.

Dicho informe también muestra que hay un elevado incremento de la prevalencia, lo que redonda en un aumento severo en los años venideros de personas con discapacidad en el mundo. Ello se debe fundamentalmente al envejecimiento de la población en los últimos años, lo que hace incrementar, especialmente en este colectivo, el riesgo de discapacidad.

Según la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad de la ONU “las personas con discapacidad incluyen a aquellas que tengan deficiencias físicas, mentales, intelectuales o sensoriales a largo plazo que, al interactuar con diversas barreras, puedan impedir su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás” (Naciones Unidas, 2006).

3.2. Tipos de discapacidad

3.2.1. *Discapacidad visual*

El 80% de la información que inicialmente obtenemos de nuestro entorno implica el órgano visual. Gracias a este, poseemos la mayor parte de habilidades adquiridas, así como los conocimientos aprendidos y que utilizamos, por lo que la visión representa un papel central en la autonomía y desarrollo de cualquier persona.

Hay diferentes grados de falta de visión, dependiendo de las distintas patologías y/o alteraciones de la vista, pudiendo reducirse e incluso anular dicha entrada de información.

Aspectos a tener en cuenta en la ceguera o visión limitada son: puede provocar falta de seguridad; al necesitar obtener información completa, hay una tendencia a inventarse datos; los conceptos que posee una persona con déficit visual no procede, en la mayor parte de los casos, de la vista, sino de las palabras que les describen otras personas, por lo que la información está sesgada, dependiendo de la exactitud con que la persona ha descrito el objeto o ha proporcionado la información; provoca que se sientan diferentes, inferiores y solos, pudiendo provocarles una depresión; suelen tener poca gesticulación y una expresión rígida, lo que provoca un menor desarrollo muscular facial.

Las diferentes patologías y alteraciones oculares pueden reducir en diversos grados, e incluso anular, la entrada de información visual, por lo que es muy importante determinar el nivel de pérdida de visión y sus repercusiones funcionales. La limitación del grado de visión viene dada por dos parámetros: la agudeza y el campo visual.

La agudeza es la habilidad para identificar claramente detalles finos en objetos aislados o símbolos a una distancia determinada

(Barraga & Morris, 1980). La agudeza visual normal viene dada por el quebrado (6/6), donde el numerador significa la distancia en metros a la que un observador puede discriminar un detalle y el denominador la distancia en la que un observador con visión normal puede discriminarlo.

Para el cálculo de la agudeza visual se utilizan optotipos, que son las tablas que llevan impresas letras, números y figuras en diferentes tamaños conocidos, y que se catalogan en décimas de visión, según la escala de Wecker que va de 0 a 1, donde, por ejemplo, una persona con 0,1 quiere decir que ve a un metro con la misma agudeza visual que una persona con visión normal percibe a 10 m. Según esta clasificación se podría decir que: hasta 0,8 podríamos decir que es una visión normal; de 0,8 a 0,4 o 0,3 se considera pérdida de visión moderada; de 0,3 a 0,1 quiere decir que tiene lugar una pérdida de visión importante; igual o menor a 0,1 es lo que se denomina ceguera real, pudiendo encontrarse, de 0,1 a 0,02 se considera deterioro visual profundo; y de 0,02 a 0, deterioro visual casi total.

Por otro lado tenemos el concepto de campo visual, como el área visualmente perceptible por delante de cada ojo, que en condiciones normales supone un ángulo de 150 grados en la horizontal y 120 grados en la vertical, en cada ojo (Alcantud et al., 2011).

Por tanto, podemos encontrar personas con: ceguera total o ausencia total de visión y por tanto de percepción de luz; o con baja visibilidad que serían aquellas personas que poseen una limitación visual que le impide o dificulta la realización de una o varias tareas de la vida cotidiana.

La Clasificación Internacional de Enfermedades (ICD-10⁶⁶), subdivide la función visual en cuatro niveles: visión normal; discapacidad visual moderada; discapacidad visual grave; ceguera (World Health Organization, 2011).

Donde, según dicha clasificación: el término “discapacidad visual leve” es aquella que presenta una agudeza visual de menos de 6/12 a 6/18; el de “discapacidad visual moderada” presenta una agudeza visual de menos de 6/18 a 6/60; y, por último, el término “ceguera” implica una agudeza visual de, al menos, 6/60 a 2/60 y un campo visual de al menos 20°, pudiendo ser ceguera severa, muy severa o ceguera total (Dandona & Dandona, 2006).

La discapacidad visual leve y la discapacidad visual moderada es lo que tradicionalmente se conoce como “baja visión”. Por otro lado, la ceguera, ceguera severa, la muy severa ceguera y la ceguera total es lo que, tradicionalmente, se conocía por ceguera.

Hay que tener en cuenta que no existe unanimidad en los límites de dichos parámetros a nivel mundial, en cuanto a lo que se debe considerar “ceguera legal o administrativa”. En España, los requisitos que se rigen para ser considerado una persona con discapacidad visual y poder afiliarse a la Organización Nacional de Ciegos Españoles, viene dada por el artículo 8.2, del Título 1, Capítulo I, de los Estatutos de la Organización Nacional de Ciegos Españoles, que indica que la agudeza visual ha de ser menor o igual a 0,1 (1/10 en la escala Wecker), o tener un campo visual de 10° o menos.

⁶⁶ ICD-10 son las siglas de International Classification of Diseases 10th Revision que traducido al castellano es Clasificación Internacional de Enfermedades, versión 10.

Según datos de la Organización Mundial de la Salud, correspondientes al año 2010, el 80% de los casos de discapacidad visual, incluida la ceguera, son evitables, siendo las dos principales causas de discapacidad visual en el mundo los errores de refracción no corregidos (42%) y las cataratas (33%). En todos los países se llevan a cabo intervenciones para reducir la carga de ambas afecciones (World Health Organization, 2013). Por otro lado, dicho informe también resalta que la discapacidad visual es más frecuente en los grupos de mayor edad, ya que en el 2010, el 82% de las personas ciegas y el 65% de las personas con ceguera moderada o grave eran mayores de 50 años. También se indica que hay una correlación entre pobreza y discapacidad visual.

En abril de 2011, la Organización Mundial de la Salud emitió un informe en el que indicaba que “alrededor de 314 millones de personas en el mundo poseen deficiencias visuales debido a condiciones oculares o a errores de refracción sin corregir. De dicha cifra, 45 millones de personas son ciegas.” (Organización Mundial de la Salud, 2013).

Se estima que hay aproximadamente 19 millones de niños con discapacidad visual. De estos, 12 millones de ellos lo son por errores de refracción y 1,4 millones son ciegos irreversibles. (EB124, 2009; OMS, 2011). De ellos, según la Nota descriptiva No. 282⁶⁷ de la OMS, actualizada en agosto de 2014, “...el 80% de todas las discapacidades visuales se pueden prevenir o curar”.

Puesto que los usuarios con este tipo de dificultades sensoriales no pueden percibir la información necesaria de forma visual, que es la más claramente detectable por los sentidos, hay que localizar, ubicar y orientar a dichos usuarios en los

⁶⁷ Nota accesible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/es/> .
Ultima extracción realizada el 19 de noviembre de 2014.

desplazamientos en las áreas desconocidas o a las que no tienen acceso usualmente, que se encuentran sin señalizaciones detectables por este tipo de usuarios sin la adquisición de nuevo hardware. Como hemos visto en la introducción del capítulo 2, las personas con problemas visuales prefieren caminar cerca de las paredes, recibir órdenes de forma auditiva, recibir el menor número de cambios de orientación y que los giros sean de 90°, por lo que deberemos intentar realizar el sistema con estos requisitos, de forma que la aplicación debe narrar la dirección e indicar si está equivocada la ruta o no y corregirla.

3.2.2. Discapacidad auditiva

La audición es la vía principal a través de la cual se desarrolla el lenguaje y el habla desde la infancia. El lenguaje permite a los seres humanos la comunicación a distancia y a través del tiempo, desempeñando un papel central en el pensamiento y el conocimiento. De ahí que, cualquier trastorno en la percepción auditiva de los niños en edades tempranas, afecte a su desarrollo lingüístico y comunicativo, a sus procesos cognitivos y, consecuentemente, a su posterior integración escolar, social y laboral.

El sonido viene dado por dos factores: intensidad (en decibelios, dB); frecuencia (en hertzios, Hz). El oído humano normal es sensible a frecuencias que oscilan aproximadamente entre 20 Hz y 20 KHz, siendo más sensible a frecuencias de entre 250 Hz y 2 KHz, que es donde se encuentran la mayoría de los sonidos emitidos en el habla. Por otro lado tenemos el rango auditivo, que se define como la habilidad para oír sonidos en cada frecuencia medida. Los niveles auditivos se miden en intervalos de octavas, en frecuencias de 125 Hz a 8 KHz.

El umbral auditivo es la mínima intensidad de estímulo sonoro capaz de ser percibida por el oído. Los tonos percibidos que se

encuentran por encima del umbral se escuchan, no siendo así los que se encuentran por debajo de ese umbral.

El grado de déficit auditivo se estima promediando los resultados obtenidos en ambos oídos en las frecuencias de 500, 1.000 y 2.000 Hz, situándose los umbrales normales alrededor de 20 dB.

Tabla 1.
Intensidad de sonido de diferentes fuentes

Fuentes de sonido	Decibeles
Umbral de audición	0
Respiración normal	10
Rumor de las hojas en el campo	20
Murmullo, oleaje suave en la costa	30
Biblioteca	40
Conversación normal	50
Oficina en horario de trabajo	60
Conversación en voz muy alta, restaurante ruidoso	70
Timbre, camión pesado en movimiento	80
Aspiradora, maquinaria de una fábrica	90
Licadora	100
Llanto de un bebé	110
Umbral de dolor	120
Martillo neumático	130
Despegue de un avión jet	140
El tambor del oído se rompe instantáneamente	160
Muerte del tejido auditivo	180
Sonido más alto posible	194

Imagen 8: Intensidad de sonido en diferentes fuentes (Aboites & Wilson, 2013)

En la definición de pérdida auditiva debemos determinar en qué parte del oído ha tenido lugar la oclusión que causa la pérdida auditiva. Para ello hay que tener en cuenta que el oído se divide en tres partes: oído externo, medio e interno (Sataloff, 1989; Spalteholz, Tortella, & Pedrals, 1987; Testut & Latarjet, 1954).

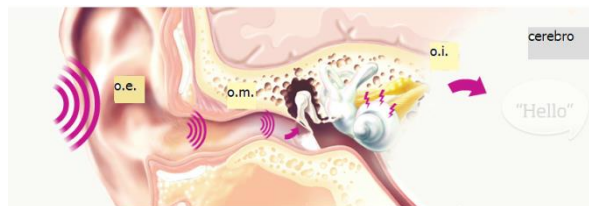


Imagen 9: Estructura del oído (modificación realizada de la web de la empresa oticon⁶⁸)

⁶⁸ <http://www.oticon.es/children/facts/hearing/how-hearing-works.aspx>,
descarga realizada el 19 de noviembre de 2014

Dependiendo de la zona que provoca la pérdida auditiva se produce un tipo u otro de discapacidad, por lo que las personas con discapacidad auditiva forman un grupo muy heterogéneo.

Por otro lado, la discapacidad auditiva la definieron Alcantud y colaboradores como “la pérdida o anomalía de la función anatómica y/o fisiológica del sistema auditivo, y tiene su consecuencia inmediata en una discapacidad para oír, lo que implica un déficit en el acceso al lenguaje oral” (Alcantud et al., 2011).

Encontramos dos casos genéricos de deficiencias auditivas: aquellos en los que la disminución de la capacidad auditiva si permite la adquisición del lenguaje oral por vía auditiva, que es lo que se conoce como hipoacusia, o si no lo permite por vía auditiva aunque si puede adquirirla por vía visual, y es cuando se puede producir pérdida total de la audición, conocida como cofosis o sordera.

El Bureau Internacional de Audiofonología en la recomendación 02/1 ha definido la pérdida desde el punto de vista audiológico, indicando “...las deficiencias auditivas están en gran medida ligadas a una pérdida de la percepción de los sonidos y del habla en particular que contiene sonidos agudos y sonidos graves cuya potencia acústica es variable: ésta no puede ser reducida a un nivel acústico medio” y realiza una clasificación audiométrica de las deficiencias en la que se toma como referencia la pérdida auditiva o umbral de nivel de audición medida en decibelios (BUREAU INTERNATIONAL D'AUDIOPHONOLOGIE, 1997), clasificándolos en:

- audición normal, aquella que posee un umbral auditivo entre 0 y 20 dB, el sujeto no percibe dificultades en la percepción auditiva.

- *deficiencia auditiva leve o ligera*, que se da cuando el umbral auditivo está entre 21 y 40 dB, en los que la voz débil o lejana no se percibe, cosa que sí que ocurriría en ambientes muy ruidosos.
- *deficiencia auditiva media o moderada*, en la que el umbral de audición está entre 41 y 70 dB, en los que, para percibir el habla, ha de elevarse un poco la voz, entendiendo mejor si mira cuando le hablan y se perciben aún algunos ruidos familiares.
- *deficiencia auditiva severa*, en la que el umbral mínimo se encuentra entre 70 y 90 dB. Estas personas, para escuchar una conversación normal precisan el uso de amplificadores de sonido, ya que el sujeto sólo percibe sonidos intensos.
- *deficiencia auditiva profunda*, es la que posee un umbral auditivo superior a 90 dB, lo que impide totalmente percibir el habla a través de la audición, percibiendo sólo sonidos muy potentes.
- *deficiencia auditiva total o “cofosis”* supone la presencia de un umbral por encima de los 120 dB, en cuyos casos la persona no hablará, percibiendo ruidos muy intensos por la vía vibrotáctil.

En estos dos últimos casos, pérdidas auditivas profundas o total, las consecuencias son múltiples y repercuten en el desarrollo cognitivo, el socioafectivo, la comunicación, así como en la personalidad del sujeto.

Por otro lado tenemos la clasificación audiológica realizada por diversos investigadores, basadas en la realizada por Goodman en 1965 (Goodman, 1965), como se muestra en la siguiente table, extraída de la American Speech-language-Hearing Association (American Speech-Language-Hearing Association, 2006).

Degree of hearing loss	Hearing loss range (dB HL)
Normal	-10 to 15
Slight	16 to 25
Mild	26 to 40
Moderate	41 to 55
Moderately severe	56 to 70
Severe	71 to 90
Profound	91+

Source: Clark, J. G. (1981). Uses and abuses of hearing loss classification. *Asha*, 23, 493-500.

Tabla 1: Clasificación de pérdidas auditivas según la ASHA (American Speech-Language-Hearing Association, 2006)

A continuación se muestra una tabla en la que se indican algunos ejemplos de sonidos según su intensidad en dB.

ALGUNOS EJEMPLOS DE SONIDOS SEGÚN SU INTENSIDAD EN dB	
dB	Sonidos
0	Umbral de audición.
20	Rumor de las hojas de un árbol en un bosque.
30	Cuchicheo de voz.
40	Aparato de radio, volumen bajo.
60	Conversación normal.
89	Calle con mucho tráfico.
90	Grito a 20cm del oído.
100	Claxon de un autobús. Perforadora de calles.
120	Doloroso al oído.

Tabla 3. Ejemplos de sonidos según su intensidad en dB

Tabla 2: Sonidos según su intensidad (Alcantud et al., 2011)

En el año 2012 la OMS realizó una estimación de la magnitud de la discapacidad debida a la pérdida auditiva, en base a 42 estudios de población. De dichos estudios se estimó que el 5,3% de la población sufre discapacidad auditiva, lo que hace un número de 360 millones de personas en el mundo. De estos, 328 millones (91%) son adultos y los otros 32 millones son niños (9%). En cuanto a las edades, se ha observado que, aproximadamente el 30% de las personas con discapacidad auditiva son personas mayores de 65 años (Organización Mundial de la Salud, 2012).

En dicho informe se entiende por discapacidad auditiva aquella con pérdida de audición superior a 40dB en el oído con mejor audición en los adultos (mayores de 15 años), y superior a 30dB en el oído con mejor audición en los niños (de 0 a 14 años).

Además se indica que aproximadamente el 15% de la población mundial tiene algún tipo de pérdida auditiva, si bien sólo el 30% de estos posee discapacidad auditiva. De estos, se indica que hay cuatro posibles grados de discapacidad auditiva: suave, aquella con un umbral auditivo de entre 26 y 40 dB; discapacidad moderada, con un umbral entre 41 y 60 dB; severa, con umbral entre 61 y 80 dB; y profunda si el umbral es mayor de 80 dB.

Así mismo, en dicho informe se pone de manifiesto que en los países con mayor renta per cápita, la prevalencia de los discapacitados auditivos es mucho menor, siendo esta diferencia más notable en el caso de los niños, en los que la prevalencia disminuye exponencialmente de 2,4% en países del sur de Asia a un 0,5% en los países “desarrollados”. En las personas mayores de 65 años, la curva es también exponencial pero hay que tener en cuenta que dichas personas tienen una ratio de problemas auditivos mayores debido a enfermedades propias de la edad, pasando de un 48% en países del sur de Asia, a un 18%.

De ello se deduce que la población con problemas auditivos de cualquiera de los tipos es elevada, por lo que deberemos tener en cuenta las necesidades de este tipo de usuarios. Hay que notar que estos usuarios no disponen, por norma general, de ningún tipo de discapacidad al margen de la que le provoca su condición física, es decir, son personas tan inteligentes como las demás, si bien gran parte de su discapacidad no se debe tanto a su pérdida auditiva, sino al entorno familiar, de trabajo o estudio, o social en el que se encuentra, debido a que se trata de una discapacidad “invisible”. Además, debe tenerse en cuenta que las mayores dificultades con las que se enfrentan las

personas con pérdida auditiva se presentan a la hora de relacionarse con otras personas, ya que no comparten el mismo código lingüístico. Otro de los principales problemas de las personas con discapacidad auditiva es que se supone que constituyen un grupo poblacional homogéneo, nada más lejos de la realidad, ya que cada persona posee diferencias individuales en cuanto al grado y tipo de pérdida auditiva, la edad de aparición de la misma, la época de ingreso a la educación y la modalidad de la misma, el entorno socioeconómico del que proviene, así como sus características ocupacionales, comunicativas, emocionales y sociales, lo que repercute en esa heterogeneidad de sujetos.

En nuestro planteamiento vamos a facilitar que la información les llegue mediante canales visuales, para lo que se ajustará el sistema de forma que reciban la información mediante texto que puedan leer y mediante unas flechas que les indiquen los giros que deben realizar de forma intuitiva.

3.2.3. Discapacidad motriz

La discapacidad motriz se sitúa dentro de discapacidades físicas, entendiendo como tales las que no afectan directamente a las competencias sensoriales o cognitivas.

Cuando se habla de personas con discapacidad motriz, se refiere a aquellas que presentan problemas en la realización de sus movimientos o en su motricidad fina o gruesa, pudiendo tener estos problemas como causa alteraciones que conllevan trastornos asociados a las dificultades motrices. Hay diversos estudios que tratan dichos trastornos de forma separada con sus efectos (Alcantud et al., 2011).

La motricidad humana se sustenta en tres grandes sistemas: el sistema nervioso central que controla el movimiento; el sistema muscular que proporciona la fuerza que genera el movimiento;

el sistema óseo-articular que es el que sustenta el organismo y le permite a las articulaciones el movimiento (Spalteholz et al., 1987; Testut & Latarjet, 1954). Cualquier alteración de cualquiera de estos tres sistemas o una combinación de dichas alteraciones puede producir una discapacidad motriz, lo que explica la diversidad de casos en esta discapacidad.

El objetivo de dichos usuarios en los ambientes Indoor es la correcta orientación, de forma que conozcan la ruta para alcanzar el objetivo deseado y que lo hagan por un lugar accesible con sus sillas de ruedas. Para ello, se van a adaptar los mapas, de forma que localicemos, ubiquemos y tracemos la ruta óptima, sin utilizar accesos no adaptados para sus necesidades, es decir, les orientaremos hacia pasillos que permitan giros, o a elevadores o ascensores que les permitan cambiar de nivel.

3.2.4. Discapacidad cognitiva

Las deficiencias cognitivas incluyen un gran número de trastornos del desarrollo que tienen en común una alteración en el proceso cognitivo de la información. Generalmente se identifica deficiencia cognitiva con retraso mental, cuando déficit cognitivo es un concepto más amplio, incluyendo determinados trastornos como la hiperactividad o el déficit de atención que no tienen por qué estar asociados a un retraso mental.

Desde hace algunos años, se han realizado investigaciones que definen la discapacidad intelectual como aquella que tiene su origen en un trastorno de la salud de las personas que provoca deficiencias en diversas funcionalidades del cuerpo humano, en la actividad del mismo, así como otro tipo de restricciones medioambientales y personales (Luckasson et al., 2002).

Otras investigaciones han mostrado que en los últimos años se ha producido un cambio en la noción de discapacidad, dejando

de ser un rasgo invariable de las personas y pasando a ser una limitación del funcionamiento humano, de forma que mejora el modo de vivir del individuo y, por tanto, su calidad de vida (Schalock, 2013).

En dicha investigación se plantea la importancia de diferenciar entre nombrar, definir y clasificar, en aras de una mejor comprensión del concepto de deficiencia intelectual actual.

Al nombrar, debe utilizarse el término discapacidad intelectual, ya que es el término descrito por la American Association on Intellectual and Developmental⁶⁹ Disabilities y por la OMS, así como que es coherente con la terminología internacional actual, yendo en línea con las más actuales prácticas profesionales (Schalock, 2013).

En segundo lugar, hay que realizar una correcta definición del término, explicándolo con precisión, de forma que se establece el significado y sus límites. Según el estudio de Schalock, la definición se basa en la de dicha asociación americana, según la cual, “la discapacidad intelectual se caracteriza por limitaciones significativas tanto en el funcionamiento intelectual como el comportamiento adaptativo, que se expresan en las habilidades conceptuales, sociales y de adaptación práctica.”

Por último se encuentra la clasificación, para la que se utilizan una serie de test con los que el profesional realiza un estudio clínico del paciente, utilizándose, fundamentalmente, dos tendencias de clasificación: la CIE⁷⁰, actualmente en la versión

⁶⁹ La American Association on Intellectual and Developmental Disabilities promueve políticas progresistas, una investigación sólida, prácticas eficaces y los derechos humanos universales para las personas con discapacidad intelectual y de desarrollo.

⁷⁰ CIE es el acrónimo del inglés International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems que traducido sería Clasificación

10, proporcionada por la OMS; y la del DSM⁷¹, actualmente en su versión V, proporcionada por la APA⁷².

En la CIE-10, se define el retraso mental como “...un trastorno definido por la presencia de un desarrollo mental incompleto o detenido, caracterizado principalmente por el deterioro de las funciones concretas de cada época del desarrollo y que contribuyen al nivel global de la inteligencia, tales como las funciones cognoscitivas, las del lenguaje, las motrices y la socialización. El retraso mental puede acompañarse de cualquier otro trastorno somático o mental. De hecho, los afectados de un retraso mental pueden padecer todo el espectro de trastornos mentales y su prevalencia es al menos tres o cuatro veces mayor en esta población que en la población general.”

En dicha clasificación, los tipos de retraso mentales son: leve (F70); moderado (F71); grave (F72); profundo (F73); otros retrasos mentales (F78); retraso mental sin especificar (F79), viniendo definidos cada uno de ellos en dicha clasificación.

Para clasificar el nivel de retraso mental de una persona se realiza el diagnóstico utilizando los test estandarizados para el cálculo del CI⁷³, de modo que se puede concluir, según esta clasificación que:

- si se obtiene un cociente entre 50 y 69, se indica que corresponde a un retraso mental leve.

Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud.

⁷¹DSM son las siglas de Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders y significa en castellano Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales y se trata de un manual que clasifica los trastornos mentales.

⁷² APA son las siglas en inglés de American Psychiatric Association y es la principal organización de profesionales de la psiquiatría estadounidense, y la más influyente a nivel mundial en cuanto a psicología y psiquiatría.

⁷³ CI son las siglas de cociente intelectual

- si se obtiene un cociente entre 35 y 49, corresponde a retraso mental moderado.
- si se obtiene un cociente entre 20 y 34, se dice que posee retraso mental grave.
- si el valor de CI obtenido en los test es inferior a 20, se habla de retraso mental profundo.
- en la categoría de “Otro retraso mental”, quedarían englobados aquellos casos en los que no se pueden utilizar métodos de cálculo.
- por último se indica la categoría de Retraso mental sin especificación cuando no es ninguno de los casos anteriores.

La Asociación Americana de Psiquiatría, en la cuarta edición del “Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales”, actualizada en el 2000, el DSM IV-TR clasificaba el retraso mental como se indica a continuación (APA, 2000):

- Retraso mental leve (317), aquellos con un CI entre 50-55 y aproximadamente 70.
- Retraso mental moderado (318.0), aquellos con un CI entre 35-40 y 50-55.
- Retraso mental grave (318.1), aquellos con un CI entre 20-25 y 35-40.
- Retraso mental profundo (318.2), aquellos con un CI inferior a 20-25.
- Retraso mental de gravedad no especificada (319), aquellos casos en los que existe clara presunción de retraso mental, pero la inteligencia del sujeto no puede ser evaluada mediante los test usuales.

Recientemente se ha actualizado dicho manual y ahora hay que tener en cuenta el DSM-5 (American Psychiatric Association, 2014), en el que se sustituye el término de ‘retraso mental’ que

aparece en el DSM-IV (APA, 1995) y DSM-IV-TR (APA, 2000), por el de Trastorno del Desarrollo Intelectual (TDI), quedando englobados en el DSM-5 dentro de los Trastornos del Neurodesarrollo.

Por tanto, se encuentra una gran diversidad de personas con afectación cognitiva, abarcando aquellas personas que poseen un grado de capacidad límite o ligero, hasta aquellas que padecen un mayor nivel de afectación. Téngase en cuenta que cuando hablamos de deficiencias cognitivas nos referimos a la alteración en alguna o en varias de las siguientes áreas de funcionamiento: memoria; atención; razonamiento; percepción; comprensión. Se trata de personas que, en mayor o menor medida van a encontrarse con dificultad en la adquisición de conocimientos, en la aplicación de los mismos, en la orientación espacio temporal, en la capacidad de concentración, así como en la abstracción, ejecución o realización de tareas u órdenes sencillas.

De ahí que un importante reto en nuestro estudio para las personas con discapacidad cognitiva, es cómo seguir siendo orientado, las rutinas de recuperación de caminos, así como los desplazamientos en zonas desconocidas. De ahí que se ha tenido en cuenta la orientación para este tipo de usuarios, para lo que se planteó también, al igual que en el caso de personas con pérdida auditiva, la indicación de las flechas que le orientan en la ruta que deben seguir para alcanzar el objetivo.

CAPÍTULO 4: REQUISITOS DEL USUARIO.

4.1) Introducción

Los Servicios Basados en Localización (LBS), constituyen un conjunto de aplicaciones y servicios basados en la capacidad de localizar la posición de un usuario y ofrecerle servicios relacionados con su posición y sus planes de desplazamiento. La información sobre donde nos encontramos, cuales son los posibles obstáculos hasta nuestro destino, pasos que debemos dar hasta llegar al mismo, rutas óptimas y/o alternativas, etc. es útil para nuestra orientación y planificación del trayecto.

Desde un punto de vista cognitivo, la función humana de planificación, evaluación y control conductual forma parte de la “Función Ejecutiva” y ella actúa sobre representaciones espaciales de los entornos almacenadas en nuestra memoria. Cuando no existe información en la memoria, cuando se trata de un itinerario nuevo, se buscan referencias y apoyos en el entorno como los directorios de los edificios o las señales de señalización en las que nos apoyamos para determinar si estamos en la ruta correcta. Estas representaciones son construidas por experiencias previas de forma anidada (Wang & Brockmole, 2003).

Una línea de desarrollo importante en los sistemas Indoor es desarrollar una tecnología de localización y seguimiento, equiparable al éxito conseguido en los espacios Outdoor. El problema a resolver es que los ambientes Indoor tienen una gran variabilidad, dependiendo del ambiente, si es un centro comercial se trata de un edificio con gran variabilidad no siéndolo así en un edificio totalmente estructurado como pueden ser unos despachos administrativos. Pueden tener varias alturas, pueden ser espacios con comportamiento estático o funcionalmente dinámico y cambiante. Las superficies pueden tener diferentes texturas y diferentes accesos al edificio.

Además, los contenidos pueden influir también tanto a nivel del mobiliario como a nivel del público que transite por él. Por último, existe un problema adicional con las interacciones que los elementos tecnológicos ya instalados en el edificio puedan producir al nuevo sistema de localización (instalación eléctrica, iluminación, fuentes de alimentación, campos magnéticos, etc.). Esto muestra la gran variabilidad de los edificios de concurrencia pública, lo que indica que existe una necesidad de encontrar una solución técnica que permita calcular la posición de las personas en espacios cerrados con un nivel de fiabilidad y error aceptable.

Las personas con limitaciones motoras, usuarios de sillas de constituyen una clase de usuario "desafío" para un sistema de navegación. Una restricción adicional para estas personas es que muchas veces sus manos están ocupadas en el manejo de la silla de ruedas. Los usuarios con discapacidades visuales, por el contrario, suelen utilizar el dispositivo móvil llevándose el oído de forma que no sea necesario utilizar auriculares. El uso de auriculares les inhibe de señales acústicas del medio durante el tiempo que están consultado el dispositivo. Asimismo, las personas con discapacidad en las extremidades superiores manejan dispositivos electromagnéticos que pueden influir en los sistemas de navegación y orientación asistidos para el interior de edificios. Además, el sistema de seguimiento no puede basarse en el ritmo de una persona promedio, el posicionamiento de los sensores o antenas de recepción (si lo hay) tiene que tener en cuenta la velocidad de su desplazamiento, la selección de la ruta de navegación tiene ser inteligente y flexible e informar sobre posibles problemas de accesibilidad y sobre todo, de rutas alternativas accesibles para llegar el objetivo.

En última instancia, la navegación interior y los servicios basados en la localización se pueden ver como un rompecabezas donde sus piezas son: el sistema de seguimiento; los mapas del edificio y el contenido; los algoritmos de navegación; y los dispositivos de usuario e interfaces. Lo que conecta estas piezas juntas son las necesidades y preferencias del usuario.

El diseño de nuestro sistema lo vamos a realizar de forma que consigamos que sea una herramienta útil para todos los usuarios, de forma que se pueda utilizar para la orientación de tanto los usuarios con algún tipo de diversidad funcional, como de aquellos que no la posean. Para ello se va a involucrar a dicho tipos de usuarios tanto en la fase de diseño como en la de desarrollo de los sistemas y entornos, de forma que sean accesibles y utilizables por la mayor variedad posible de usuarios garantizando de esta forma la participación de las personas mayores, con discapacidad así como de usuarios sin necesidades específicas, de forma que tanto los bienes como los servicios sean universales, adaptándose a las necesidades de las personas con discapacidad y no al contrario. La idea no es crear entornos, productos y servicios específicos para personas con discapacidad, sino que cuando se diseñe y desarrolle, se haga teniendo en cuenta las necesidades e intereses de todos los posibles usuarios.

Pero no solo eso, sino que la información deben ser proporcionados de forma concisa, concreta y sencilla, de forma que el usuario final pueda acceder, mediante una sencilla explicación, al sistema o aplicación de forma rápida y certera.

Para ello nos hemos basado en los principios básicos del European Institute for Design and Disability (Hogan, 1994), cuyo principal objetivo es usar el diseño para conseguir una mayor inclusión de las personas con discapacidad en los países miembros de la Unión Europea. Dicho instituto cambió de

nombre, en el año 2006, por el de EIDD-Design for All Europe⁷⁴ y actualmente lo conforman 34 organizaciones en 23 países europeos. En dicho instituto se plantean las siguientes características que debe aportar el diseño de un servicio o producto y se basan, fundamentalmente, en: debe ser utilizable por cualquier usuario independientemente de sus habilidades, de forma que sea lo más flexible para ajustarse a dichos usuarios proporcionándoles diferentes modos de uso, para la ejecución por parte de todos los tipos de usuarios que puedan encontrarse con ese servicio o aplicación. Por otro lado, el uso debe ser simple e intuitivo, de forma que sea fácil de comprender independientemente de la experiencia, conocimientos o nivel de concentración del usuario. También debe ser un sistema compatible con las tecnologías o dispositivos utilizados en la vida diaria por las personas con limitaciones sensoriales.

En España, el artículo 2, Capítulo 1 de la Ley 51/2003 define los conceptos de «accesibilidad universal» y «diseño para todos», en los siguientes términos (del Estado, 2003):

“c) Accesibilidad universal: la condición que deben cumplir los entornos, procesos, bienes, productos y servicios, así como los objetos o instrumentos, herramientas y dispositivos, para ser comprensibles, utilizables y practicables por todas las personas en condiciones de seguridad y comodidad y de la forma más autónoma y natural posible. Presupone la estrategia de «diseño para todos» y se entiende sin perjuicio de los ajustes razonables que deban adoptarse.”

“d) Diseño para todos: la actividad por la que se concibe o proyecta, desde el origen, y siempre que ello sea posible, entornos, procesos, bienes, productos, servicios,

⁷⁴ <http://www.designforalleurope.org/>

objetos, instrumentos, dispositivos, o herramientas, de tal forma que puedan ser utilizados por todas las personas, en la mayor extensión posible.”

El objetivo es posibilitar el acceso al área de interés a todos los usuarios, independientemente de las necesidades específicas de cada caso.

La idea del diseño centrado en usuarios con discapacidad ha sido probada ya en otros estudios, como el que implementó un sistema de orientación y movilidad para usuarios ciegos mediante el uso de dispositivos móviles pero en los entornos de exterior basados en tecnología basada en GPS (Sánchez & Sáenz, 2008). Otro ejemplo es el que desarrolló la plataforma Picaa, que se trata de un sistema basado en dispositivos móviles multitáctiles y que está destinado a la creación, edición y ejecución de actividades didácticas que sirvan de apoyo para el aprendizaje y la comunicación de alumnos con necesidades educativas especiales (Fernández & Rodríguez, 2010). Es de mención también los sistemas desarrollados para Apple como el Proloquo2Go que se trata de una sistema de comunicación alternativa para personas con necesidades comunicativas especiales como pueden ser aquellos con trastornos del entorno autista utilizando símbolos, soportes visuales y salida de voz (Sennott & Bowker, 2009).

4.2) Análisis de limitaciones en el uso de dispositivos y aplicaciones móviles

El uso del dispositivo móvil, así como el acceso Internet y la ejecución de una amplia gama de aplicaciones que se han desarrollado, ha posibilitado una mejora en la comunicación oral y escrita de aquellas personas con dificultades sensoriales (visión o audición), motoras y/o cognitivas.

El desarrollo de estas aplicaciones está mejorando la interacción con el mundo y la realización de unos aprendizajes impensables para ellos hace unos pocos años, lo que provoca un incremento en la autonomía de los mismos.

Se va a realizar un análisis de cómo afectan las distintas discapacidades al uso que puedan realizar los usuarios tanto desde el punto de vista del dispositivo móvil, como de las aplicaciones móviles en los entornos Indoor, mostrando una matriz de competencias referidas a cada discapacidad, de forma que se proporciona una visión global de las limitaciones en los entornos Indoor.

En la matriz se puede observar las principales tareas, de entrada y/o salida, que se realizan en los dispositivos móviles, así como las que tienen lugar en el uso de las aplicaciones móviles y cómo afectan a las distintas capacidades. Todo ello graduado de mayor a menor competencia para su realización mediante los colores verde, amarillo y rojo. Los colores de las celdas son: Verde, si el usuario es capaz de utilizar el dispositivo o ejecutar la aplicación, sin ningún problema; Amarillo si es capaz de realizarla o ejecutarla pero con dificultades, dependiendo del grado de afectación del usuario; Rojo, si no es capaz de utilizar el dispositivo o la aplicación.

Las principales Tareas son:

- Scroll, capacidad de accionar el scroll, tanto mecánico como táctil, para acceder a los servicios proporcionados por las aplicaciones móviles; Si bien esta parece una tarea obsoleta, no hay que olvidar que los teléfonos con teclado mecánico siguen utilizándose en un sector muy concreto de la población, normalmente en el de personas con responsabilidad de gestión o comercial, como es el caso de los dispositivos Balckberry.

- Seleccionar, es la capacidad de buscar e identificar las opciones que nos proporcionan las aplicaciones y, en su caso, acceder a la información que proporcionan, seleccionando la opción deseada.
- Operar menus, es la posibilidad de búsqueda y selección de la opción deseada dentro de un menú de la aplicación.
- Escritura en teclado, es la posibilidad de introducir texto o números mediante el uso de teclado mecánico o táctil.
- Esperar acción es la capacidad o no de ejecución de una acción mientras se está ejecutando la anterior.
- Orientación es la capacidad de conocer donde se encuentra en la aplicación.

Las personas con pérdida visual tienen una gran diversidad en su etiología, algunas de ellas asociadas al envejecimiento de la población que provocan pérdida funcional visual que se transforma en dicha discapacidad. Los problemas fundamentales que se encuentran los usuarios con discapacidad visual en los entornos Indoor son:

Desconocimiento de la planta de los espacios públicos.

Espacios cerrados con mucho ruido, lo que pueden enmascarse con otros ruidos provenientes de otros dispositivos en forma de interferencia.

Por otro lado, los espacios públicos no mantienen estático el mobiliario, lo que puede provocar colisiones, con las consiguientes rectificaciones y pérdida de tiempo y desorientación.

Dichos edificios no suelen estar señalizados mediante cintas u otras señalizaciones que indiquen cambios de rugosidad, como suele ocurrir en las aceras, donde la rugosidad de la superficie varía y los sonidos de algunas señales son conocidos.

Para poder solucionar estos problemas deberían proponerse soluciones que permitan la accesibilidad de los usuarios con el menor error admisible, sin el uso de ayudas técnicas suplementarias, ni la necesidad de adquirir software o hardware.

Por otro lado tenemos las personas con pérdida auditiva, para las que la visión cobra un papel fundamental. Si bien en la mayoría de los casos una pérdida auditiva no lleva asociada pérdida en el terreno cognitivo, si que pueden presentar problemas en la comprensión lectora u otros asociados.

En las personas con limitaciones cognitivas, la mayor parte de las mismas no utilizan, al igual que la población típica, las nuevas tecnologías. Esto es, fundamentalmente, debido la falta de adecuación del diseño de las aplicaciones y de los sistemas. Por ello, si las personas con esta discapacidad recibieran más inputs de señalética en los espacios donde se desplazan usualmente, y dichas marcas o señales fueran estándares conocidos, se podrían desenvolver mejor en las áreas de trabajo diarias.

Por último tenemos las personas con limitaciones motóricas, que tienen como mayor prejuicio el desplazamiento dentro de un edificio entre diversas plantas, así como el encontrarse con espacios desconocidos que no permiten su movimiento al realizar los giros con sillas de ruedas.

Se ha realizado una una tabla de competencias genéricas de los usuarios con distintas afecciones.

			Visuales	Auditivas	Cognitivas	Motóricas
Acceso al móvil	Salida del móvil	Pantalla	Rojo	Verde	Amarillo	Amarillo
		Altavoz	Verde	Rojo	Amarillo	Verde
	Entrada al móvil	Teclado	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo
		Pantalla táctil	Verde		Amarillo	Amarillo
Uso de Aplicación		Scroll	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo
		Seleccionar	Amarillo	Verde	Amarillo	Amarillo
		Operar menús	Amarillo	Verde	Amarillo	Amarillo
		Escribir teclado	Amarillo	Verde	Amarillo	Amarillo
		Esperar acción	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo
		Orientación	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo

Tabla 3: Competencias de discapacidades en uso de aplicación y acceso al móvil

4.3) Diseño y evaluación del prototipo

4.3.1. Introducción

Nos vamos a basar en la teoría de la actividad para, tras realizar la experimentación con usuarios finales, ir incorporando sucesivas mejoras planteadas por los usuarios. Entre las tendencias de investigación más actuales, podemos ver la investigación socio-crítica, donde se inscriben la investigación-acción, la investigación participativa y la investigación colaborativa (Carr & Kemmis, 2003).

En el modelo de investigación-acción se muestra el proceso como iterativo o de carácter cíclico, estando compuesto cada ciclo de las siguientes etapas: planificación, acción, observación y reflexión, que luego se utilizan como inicio en el siguiente ciclo. El plan de acción modificado debe tomarse como el punto de partida del siguiente ciclo del proyecto de investigación-acción, repitiéndose el proceso tantas veces como se considere necesario para conseguir el objetivo final deseado.

Al iniciar un proceso de diseño, se utilizan tres pilares en los que se basa el diseño del software centrado en el usuario (Shneiderman, 1992):

- Teorías y modelos: se trata de desarrollar guías de desarrollo en las que se incluyen las directrices generales en las que nos basamos, así como los procesos que debemos seguir hasta conseguir el objetivo fijado.
- Algoritmos y prototipos: la constante evolución de las herramientas plantea nuevos retos y soluciones a problemas cuya solución resulta costosa o difícil.
- Experiencias de uso controladas: hace referencia a la evaluación de prototipos o al análisis de experiencias con usuarios.

En estudios posteriores, para analizar la usabilidad de un software se presentó un modelo con cinco fases críticas: análisis y diseño inicial; el desarrollo de prototipos; su implantación experimental; y la evaluación de la usabilidad de los mismos hasta llegar a una versión definitiva (Alcantud, 1998).

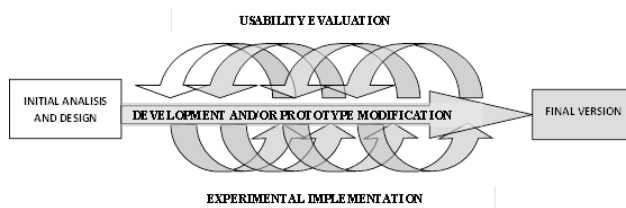


Imagen 10: Esquema del proceso de desarrollo del Software (Alcantud, 1998; Alcantud et al., 2012).

La fase de análisis y diseño inicial se trata de una primera fase preliminar en la que, en nuestro estudio, se ha realizado una prospección de los sistemas de comunicación inalámbricos de mayor difusión, las características de los usuarios objetivo de nuestra aplicación software, la información que deseamos

transmitir, los sistemas operativos más utilizados por los usuarios de teléfonos móviles, los lenguajes óptimos para el desarrollo de la aplicación, las instrucciones que debe proporcionar el usuario a la aplicación desarrollada.

Para ello, el trabajo de investigación y desarrollo de software se ha afrontado como una tarea interdisciplinar en la que participan diferentes profesionales de la unidad de investigación acceso.

Para la recogida de información, se ha realizado un análisis de tareas, tanto observables, mediante grabaciones de sonido y video, como no observables con protocolos verbales, validados en diversos estudios (Afflerbach, 2000; Ericsson & Simon, 1993).

Por otro lado está la fase de desarrollo de prototipo, entendiendo como tal un modelo del producto final que permite efectuar una prueba sobre determinados atributos del mismo sin necesidad de que esté totalmente disponible al público objetivo. De esta forma, se pueden realizar pruebas con estos usuarios, cuyos resultados incorporar al desarrollo para mejorarlo antes de la versión final. Por tanto, en nuestro caso vamos a desarrollar un prototipo parcial de la aplicación y testearla en etapas intermedias de la creación de la aplicación para ajustarlo a las necesidades reales de los usuarios finales objeto, centrando el sistema y aplicación en la necesidad de orientación de usuarios con algún tipo de discapacidad. Para ello vamos a realizar el análisis del prototipo de una aplicación, que funciona con el sistema operativo móvil Android, cuyo funcionamiento se base en el sistema WiFi de la Universitat de València, haciendo las pruebas en el recinto de la Facultad de Psicología, si bien está diseñada para funcionar sobre cualquier sistema WiFi sin necesitar conexión a la misma, solo precisa recibir las señales de los puntos de acceso, pero no precisa la conexión a internet, es decir, no utiliza recursos de internet de dicha red. Las mejoras a

realizar en la aplicación, indicadas por los usuarios, se incorporarán en la versión definitiva mejorada, con el consiguiente ahorro en tiempo y dinero, ya que no hay que realizar las modificaciones una vez comercializada la aplicación, llegando a un mayor número de usuarios.

La evaluación de prototipos, fundamentalmente, se puede realizar mediante inspecciones o visitas o mediante experimentación, siendo ambos complementarios en muchos casos. Como ya hemos comentado, en nuestro caso se va a realizar una experimentación con usuarios finales en las distintas etapas de desarrollo del prototipo, de forma que optimizamos el servicio proporcionado.

Uno de los factores que atentan contra la usabilidad es la falta de consistencia en el diseño, entendiéndose como consistencia el utilizar para una misma función siempre el mismo símbolo, o para la resolución de una tarea varios sistemas. El objetivo de las inspecciones de consistencia es asegurar la misma a través de múltiples productos procedentes del mismo esfuerzo de desarrollo. Por ejemplo, en una aplicación para móvil que nos permita orientarnos en el entorno exterior, las funciones comunes deberían tener el mismo aspecto y trabajar de la misma forma tanto si el usuario está utilizando una u otra aplicación.

Todos estos procedimientos de evaluación los realizan usuarios expertos en el ámbito de la aplicación, de forma que pueden simular el comportamiento del usuario final y así extraer conclusiones adecuadas, resultando un procedimiento idóneo en etapas tempranas del desarrollo.

Por otro lado está la implantación experimental, consistente en la evaluación del prototipo mediante la realización de pruebas con usuarios finales. Hay que tener en cuenta que cada versión del prototipo exige una implementación y una inspección o una

evaluación. Conforme el prototipo evoluciona de versiones iniciales a finales, los sujetos sobre los que realizamos la implementación experimental también variarán aproximándonos desde personas expertas hasta realizarla con público objetivo al que se dirige el producto final. En el caso de las aplicaciones para la orientación en espacios de concurrencia pública, es esencial, para poder valorar la eficacia, que se realice una implantación experimental en un entorno lo más próximo al entorno objetivo.

El proceso global es simple, por un lado hay que conseguir usuarios expertos y observar su interacción con la aplicación de forma individual. El análisis de esta información nos permitirá detectar tendencias y métodos para subsanar los posibles problemas. La retroalimentación a los desarrolladores o programadores permitirá realizar prototipos más adaptados a las necesidades del usuario final. Para obtener un buen proceso es necesario determinar los objetivos de la prueba experimental, debiendo ser lo más concretos posibles ya que la no concreción de los mismos dificulta su cumplimiento, conforme más genéricos mayor complejidad en su cumplimiento.

Por ejemplo, un objetivo adecuado en una prueba de esta naturaleza podría consistir en evaluar si el uso de una aplicación para orientar en edificios de concurrencia pública mejora el acceso a las áreas de interés, mejorando la orientación de los sujetos dentro de los mismos, siendo mayor en sujetos con dificultades como personas mayores, con baja o nula visibilidad o en sujetos con algún tipo de discapacidad, que serán los perfiles prioritarios que se van a estudiar en el presente estudio.

4.3.2. Etapas de desarrollo del estudio

El estudio de localización mediante el uso de dispositivos móviles en un espacio Indoor de concurrencia pública, se ha realizado en las siguientes fases:

- Fase A: Análisis de fuentes documentales, donde se ha realizado un estudio de las tecnologías de localización, posicionamiento y orientación en entornos Indoor existentes en el momento de comienzo de la investigación.
- Fase B: Consulta de Base de Datos de espacio e información auxiliar. En esta etapa del proyecto se realizó una consulta con los servicios informáticos y de infraestructuras de la Universitat de València para estudiar todo lo relacionado con edificios, planos, y mapas virtuales asociados a las diferentes redes WIFI o Beacons existentes en la Universitat, de forma que se disponga de la definición y gestión de estos elementos de forma idéntica a la que se incorporarán con posterioridad al software para su coincidencia en la nomenclatura y su posible escalabilidad futura.
- Fase C: Desarrollo prototipo. Basándonos en las dos etapas anteriores se ha realizado un prototipo de aplicación basado en librerías que se encontraban en el mercado, de forma que al realizar el diseño, usando estas librerías, se hiciera en línea con las propuestas de usuarios con necesidades específicas con los que se había contactado, así como de los aspectos que se habían indicado en otros estudios. Dicho prototipo se basa en la técnica de Fingerprinting al que se le aplica un algoritmo del k-ésimo cercano, en un sistema basado en tecnología WiFi, con un dispositivo móvil con sistema operativo Android.
- Fase D: Prueba de usuario. Una vez realizado el prototipo en un versión primera, se extrajeron una serie de conclusiones que nos indicó un experto en tiflotecnología para que la aplicación fuera más adecuada para los usuarios con problemas de visión, ya que son uno de los usuarios más críticos.

- Fase E: Segundo prototipo. En base a estas conclusiones extraídas de la prueba del primer prototipo se realizaron unas adaptaciones para hacer más amigable y usable la aplicación y que cumpliera con la mayor parte de las necesidades. Una vez realizada se realizó un estudio de cobertura mediante los mapas de calor que aporta la solución comercial y se dedujo que debían adquirirse unas balizas bluetooth, de forma que se refuerce la cobertura en el área de interés y, por tanto, la precisión del sistema.
- Fase F: Prueba de usuario. Tras las modificaciones realizadas se realizaron unas pruebas con diez usuarios, nueve de ellos con distintas discapacidades y un experto en usabilidad. Como consecuencia de estas pruebas se extrajeron unas conclusiones de la aplicación y su funcionamiento en el sistema.

4.4) Metodología implementada

4.4.1. Experimentación

La investigación realizada ha desarrollado un prototipo de software para dispositivos móviles que, basado en los servicios de localización existentes en la actualidad, facilite información al usuario, permitiéndole desplazarse en edificios complejos de concurrencia pública con menos dificultades de las que se encuentran en la mayor parte de las ocasiones.

Para ello nos hemos basado en el método experimental, lo que nos obliga a realizar una correcta planificación del experimento, indicando los sujetos que asistirán a la sesión experimental, su perfil, número de sujetos, así como el procedimiento de selección de los mismos. Debe quedar claro el tipo de diseño experimental utilizado, indicando la forma en que se ordenarán y conducirán los experimentos para controlar variables concurrentes en nuestro análisis.

En las pruebas experimentales realizadas para la evaluación de la aplicación software móvil de orientación en edificios de concurrencia pública de nuestro trabajo de investigación hemos utilizado distintos tipos de usuarios en diferentes fases de la misma, es decir, en cada fase de desarrollo del prototipo hemos utilizado un tipo de sujeto en aras de la mejora del prototipo desarrollado en cada fase de diseño. El diseño del software se ha hecho centrado en el usuario utilizando la técnica del protocolo de pensamiento manifiesto.

El protocolo del pensamiento manifiesto es una técnica utilizada muy frecuentemente como técnica de recogida de datos en el análisis de tareas cognitivas. Durante el transcurso de la prueba, al tiempo que el participante está realizando una tarea, se solicita de este que exprese en voz alta sus pensamientos, sensaciones y opiniones mientras interactúa con el producto (Afflerbach, 2000; Ericsson & Simon, 1993; Shavelson, Webb, & Burstein, 1986). Si el usuario manifiesta o expresa, que la secuencia de pasos que impone el producto para llevar a cabo su tarea objetivo es diferente a la que había imaginado, quizás ocurra que la interfaz es un tanto enrevesada.

Aunque el principal beneficio que aporta este método es un mejor entendimiento del modelo mental del usuario y de su interacción con el producto o servicio, se consiguen otras ventajas, como la incorporación de ideas propuestas por el usuario final en el prototipo mejorado como consecuencia de la experimentación o prueba realizada utilizando dicha técnica. Como complemento a las técnicas de pensamiento manifiesto se ha realizado la técnica de recuerdo estimulado mediante grabaciones en audio o video, como se ha realizado en otras investigaciones (Shavelson et al., 1986).

Una vez implementada la aplicación vamos a evaluar la usabilidad de la misma en el entorno. En la literatura

encontramos diversas definiciones de usabilidad, como la que la define como el nivel con el que un producto se adapta a las necesidades del usuario y puede ser utilizado por los mismos para lograr unas metas con efectividad, eficacia y satisfacción en un contexto específico de uso (Nielsen, 1994). Hay otra, proporcionada por la International Standar Organization (1998) que la define como la medida en que un producto puede ser utilizado por unos usuarios determinados para lograr unas metas concretas con efectividad, eficacia y satisfacción en un contexto específico de uso. Hay otros estudios que indican que la usabilidad se compone en mayor o menor medido de Efectividad, Eficiencia y Nivel de Satisfacción (Alcantud, 2000). Si bien hay que tener en cuenta que la medición directa de la usabilidad es compleja, por lo que debemos aproximarnos mediante medidas indirectas.

Para medir el grado de usabilidad de la aplicación realizada, basándonos en la tecnología WiFi, se va a realizar la metodología de trabajo en la que la mayor parte de la información se obtiene por observación directa con la persona encuestada. Dicha observación va a ser grabada sonora y visualmente, utilizándose la técnica de pensamiento manifiesto de la persona que realiza la prueba, observando la interacción de la persona con la aplicación en un dispositivo móvil.

Para ello se le va a plantear el acceso a una dependencia desde la posición actual del usuario, mediante el rastreo de una ruta planteada por la aplicación basándose en el sistema WiFi de la Universitat de València y se le van a realizar, en tiempo real, una serie de encuestas estructuradas de forma que las personas objeto de estudio lleguen a interactuar verbalmente con el encuestador.

El objetivo de la grabación de la observación es posibilitar su análisis posterior, al calcularse una serie de métricas tales como

el tiempo de realización de la actividad, tiempo de acceso a la aplicación, tiempo empleado en seleccionar el edificio, tiempo empleado en la selección de ruta, y por último el tiempo empleado en realizar la ruta con las indicaciones de la aplicación.

Cada una de las rutas propuestas se va a realizar en tres iteraciones, de forma que al final de la prueba se puedan extraer datos de mejora o no de los tiempos de ejecución de las tareas. De esta forma se puede realizar un análisis del aprendizaje de los usuarios en el uso de la aplicación, observándose la mejora o no que proporciona dicha aplicación.

Los ítems que nos interesan para la obtención de la información son, entre otros:

- Tiempo de ejecución de la misma ruta: Desde que se inicia la experiencia se debe poner en marcha un reloj, tomando notas de los tiempos empleados en cada una de las subtarear.
- Imágenes de video del experimento: nos interesa grabar la interacción de la persona al utilizar la aplicación con el SmartPhone en el entorno bajo estudio, para poder estudiar el uso del mismo.
- Sonido del usuario y del sistema: vamos a utilizar la técnica del pensamiento manifiesto, en la que durante el transcurso de la prueba se solicita del usuario que exprese en voz alta sus pensamientos, sensaciones y opiniones mientras interactúa con la aplicación. En la grabación se ha utilizado, además de la cámara video, una grabadora Sony manual que va a llevar el usuario colgada del cuello con una cinta.

Idealmente, las pruebas de usabilidad de aplicaciones móviles deben ser cuidadosamente diseñadas para cubrir todas o la

mayor parte posible de situaciones de un entorno móvil (H. Kim, Kim, Lee, Chae, & Choi, 2002), si bien esto plantea muchos retos, debido a la dificultad en la previsión de las situaciones tal y conforme ocurren al usar la aplicación, ya que los usuarios pueden estar de pie, caminando o sentados. Incluso si está caminando, el usuario puede llevar el dispositivo en una posición o en otra más oculta, lo que dificulta la recepción de señales. También el entorno en el que se está realizando la prueba varía las características si se trata de un ambiente oscuro o brillante mientras utiliza una aplicación. De ahí que en la prueba que realizamos se va a concentrar sólo en ciertos aspectos de la aplicación móvil y sacrificar a otros.

Ha habido algunos estudios de usabilidad para aplicaciones móviles, como los que se centraron en la evaluación del Protocolo de Aplicaciones Inalámbricas (WAP⁷⁵) (Chittaro & Dal Cin, 2002; Kaasinen, Aaltonen, Kolari, Melakoski, & Laakko, 2000), otros en el uso de dispositivos móviles para el aprendizaje colaborativo o acceso a la información (Danesh, Inkpen, Lau, Shu, & Booth, 2001; Luchini et al., 2002), otros estudios han realizado medidas de usabilidad específicas de dispositivos móviles, tales como la carga de la pantalla, la claridad de las operaciones, la exhaustividad del menú de operación, así como las posibilidades de autoajuste en la visualización, vinculando estos a tres problemas relacionados con los teléfonos móviles: la red, el dispositivo móvil y la movilidad del usuario (Gafni, 2009).

Por otro lado, Apple ha generado una guía Apple iOS Human Interface Guidelines que establece las características de la plataforma iOS que deben ser considerados durante el proceso de desarrollo de aplicaciones, tales como: la interacción con la pantalla Multitáctil; pantallas de diferentes resoluciones y

⁷⁵ WAP son las siglas de Wireless Application Protocol.

dimensiones; cambios de orientación del dispositivo; y gestos tales como tocar, rozar, y pellizco. Además, Apple revisa estas características en todas las aplicaciones que se presentan para entrar a formar parte de la App Store⁷⁶ como puede verse en estudios realizados por investigadores (Bareiss & Sedano, 2011; RaminPour, Ney, Johnson, Horton, & Fishman, 2012). Por su lado, Google ha generado unas directrices⁷⁷ similares para su sistema Android, de forma que guían a los desarrolladores a tener en cuenta las siguientes características: toque gestos; el tamaño y la ubicación de los iconos y botones; menús contextuales; sencillez, tamaño y formato de texto;...indicando de igual manera las características que se deben tener en cuenta durante el desarrollo y prueba de aplicaciones de Android.

4.4.2. Grupo de usuarios

La experimentación se ha realizado en sesiones individuales con usuarios con algún tipo de discapacidad en dos grupos: un grupo de usuarios que conocen el área donde se va a realizar la orientación y otro grupo compuesto por usuarios que acceden por primera vez al edificio o que habiendo accedido lo han hecho hace tiempo.

En todo momento a los usuarios de la aplicación se les explica el funcionamiento de la aplicación y del dispositivo móvil, las propiedades más importantes y el objetivo final que deben alcanzar, para lo que están en todo momento acompañados por, al menos, un investigador de la Unidad de Investigación Acceso de la Universitat de València, realizándose en las mismas condiciones psicofísicas.

⁷⁶

<https://developer.apple.com/library/ios/documentation/userexperience/conceptual/mobilehig/>

⁷⁷ http://developer.android.com/guide/practices/ui_guidelines/index.html

Para ello se han realizado, dependiendo de la etapa en la que se encuentre el prototipo, hasta dos fases: una primera en la que los usuarios se orientan en el edificio sito en la Facultad de Psicología, en la planta baja, con el uso de ayudas técnicas; una segunda en la que se va a realizar la orientación con el prototipo ISMO y utilizando un terminal móvil modelo Nexus 4, donde se encuentra instalada dicha aplicación. La idea es que todos los usuarios utilicen el mismo dispositivo para que los tiempos de acceso a la red sean los mismos y así poder calcular con mayor exactitud el aprendizaje de estos usuarios. Si bien el 90% de los usuarios utilizan dispositivos con Sistema Operativo Android, debido fundamentalmente a que se trata de un sistema totalmente abierto, sin embargo hay un sector de discapacitados, en concreto los visuales, que suelen utilizar dispositivos con iOS. Es por ello, que decidimos no incidir en calcular el tiempo que tarda en instalarlo en el dispositivo, ya que los resultados quedarían sesgados. Por otro lado hay que tener en cuenta que, respecto a los usuarios con discapacidad motórica se les van a realizar las pruebas sólo a aquellos que posean movilidad en sus miembros superiores. De estos usuarios veremos que hay dos grupos distintos: por un lado los que utilizan silla con tracción mecánica y los que la usan de forma manual.

Una vez realizada esta prueba de usuario, asumiendo el mínimo error, se plantearán unas conclusiones a tener en cuenta para plantearse líneas futuras de complementariedad del prototipo desarrollado y así llegar al mayor número de usuarios y de la forma más eficiente.

Por tanto, las fases de experimentación son lo que se denominan pruebas de ‘campo’ pero sobre un espacio controlado (planta baja de la Facultad de Psicología de la Universidad de Valencia) y tienen como finalidad la evaluación de la usabilidad de la aplicación móvil, basada en la tecnología WiFi del sistema

instalado en la Universitat de València, de forma que facilite la orientación de las personas en edificios de concurrencia pública, haciendo énfasis en aquellas personas con mayores problemas, como son las personas mayores y aquellas con algún tipo de discapacidad o desorientación.

El objetivo final es por tanto maximizar la seguridad, eficiencia y fiabilidad de los usuarios sensibles de forma que se simplifica la ejecución de tarea de orientación y se incrementa la sensación de confort y satisfacción, consiguiendo que el sistema de comunicación sea usable y accesible por y para todos los usuarios, independientemente del grado de pérdida de orientación debido a su diversidad funcional.

4.4.3. Método de ejecución

En primer lugar se le va a explicar al usuario el funcionamiento, tanto de la aplicación como del dispositivo móvil, para que no presente ninguna dificultad añadida el hecho de no haber utilizado nunca un dispositivo de las características del usado y con el sistema operativo que integra. En la ejecución se va a realizar la siguiente secuencia:

1. Posicionamiento en la alfombra de la entrada sur de la Facultad de Psicología, de forma que se comprueba que la brújula del SmartPhone indique correctamente el Norte cardinal. Para ello se aconseja girar el SmartPhone tres vueltas completas.
2. Encendido de la aplicación mientras se le explica el funcionamiento del sistema y de la aplicación, el uso de los botones, el sonido...en una mesa, a la vez que se le entregan los documentos administrativos que deben firmar para realizar la prueba.
3. Una vez aceptada por el usuario la realización de la prueba, se le indica la primera etapa, en la que dispone de un tiempo de cinco minutos para utilizar el dispositivo

con la aplicación, desplazándose o no por el área sobre la que luego va a trabajar. De esta forma nos aseguramos que los usuarios conocen el funcionamiento tanto del dispositivo como de la aplicación, impidiendo el sesgo de los datos temporales. Esta es la etapa libre que se le plantea.

4. Una vez realizada esta, se le explica el destino que debe alcanzar desde la posición que se le indica, para ello se van a plantear dos rutas distintas:
 - a. Selección de destino Cafetería, siguiendo las indicaciones desde el punto de entrada del Hall hasta llegar a la misma.
 - b. Una vez se llega a la cafetería se le plantea salir de la misma, reiniciar la aplicación e indicarle un nuevo destino, la Secretaría de la Facultad de Psicología, pasando por el Hall de nuevo.
5. Una vez explicado el destino a alcanzar, debe seleccionar el edificio (PsicologíaJ6) y el destino (Cafetería o Secretaría).
6. Tras ello deberá seguir de las indicaciones realizadas por la aplicación, de forma que se deambula por el área hasta alcanzar el destino indicado por el usuario.
7. Posteriormente, se pasa un cuestionario y se hace una entrevista para valorar:
 - a. Satisfacción, valorada por la percepción de facilidad de uso de la aplicación, confianza que le aporta el uso de la aplicación, intención de reutilizarla, relevancia y recomendación a otros usuarios.
 - b. Eficiencia, medida por tiempo para completar la ruta y cada una de sus subareas.
 - c. Aprendizaje, medido por frecuencia de peticiones de ayuda.

CAPÍTULO 5: DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO ISMO.

5.1 Introducción

En los últimos años, ha habido una elevada demanda en el mercado en sistemas de posicionamiento en interiores. La ausencia de señales de satélite dentro de los espacios interiores potenció la necesidad de tecnologías de interior, investigándose en esa área.

Se prevé que esta tecnología crezca hasta estar en los principales mercados, ya que tanto grandes como pequeñas empresas están viendo como este mercado tiene mucho potencial, como queda reflejado en el estudio que, en junio de 2013, publicó la empresa MarketsandMarkets, denominado “Indoor Location Market: Global Advancements, Market Forecasts and Analysis (2013 - 2018)⁷⁸”, en el que se prevé que el mercado de la ubicación, el posicionamiento y la navegación en entornos Indoor crecerán el 42,1% desde 2013 hasta 2018.

Por otro lado, los LBS están previstos que sean el segmento más grande del mercado por ingresos, superando los sistemas que hasta ahora se llevaban todo el mercado, como el de carretera, como indica el estudio GNSS_Market Report_2013_web. Issue 3⁷⁹.

Además, la incorporación de comunicación WiFi presenta ventajas adicionales con respecto a la exactitud de la posición a determinar. Esto es debido a que cada punto de acceso tiene asociada una dirección SSID distinta, igual a la MAC, y esta es

⁷⁸

http://www.telecomsmarketresearch.com/dynamic_page_trans1.php?id=277702&tab=free_sample_tab&posn=4

⁷⁹

http://www.gsa.europa.eu/sites/default/files/GNSS_Market%20Report_2013_web.pdf

accesible por los dispositivos móviles que se encuentran en la proximidad. Si la posición del punto de acceso y su SSID son conocidas, un servicio de localización puede observar la posición de cualquier dispositivo móvil que usa la SSID del AP WiFi.

Según Hu y colaboradores los sistemas LBS tienen un futuro debido a (Hu, Kaabouch, Yang, & Wang, 2014):

- El número de usuarios de los servicios basados en la localización en todo el mundo en torno a 800 millones de dólares a finales de 2012 según indica el informe Gartner de 2012. Dicho informe también prevé los ingresos generados por los servicios de localización de consumo alcanzará \$ 13,5 mil millones en 2015, siendo la publicidad el factor dominante (Gartner, 2012).
- De acuerdo con el estudio realizado por Research and Markets en el año 2013, se prevé que se triplique el mercado mundial de los servicios de localización durante los ocho años 2013 a 2020, con una tasa compuesta anual acumulativo de más del 12% (Research and Markets, 2013).

Nosotros nos hemos basado en estos estudios para afirmar la fortaleza de dicha tecnología, así como la penetración y la tendencia futura, lo que proporcionara un apoyo en las actualizaciones que pueda haber. Además, hay que tener en cuenta que el sistema WiFi es el que se halla implantado en la Universitat de Valencia, con lo que se reduce el coste de implementación y uso del sistema. Para conseguir la localización en el sistema WiFi de interés, hemos realizado una aplicación para móvil basado en el sistema operativo Android, ya que es el más utilizado a nivel mundial, como se indica en el citado estudio de Hu. En este mismo puede verse que la cuota de

mercado de este tipo de sistema operativo a finales de 2013 era del 81% cuando a finales de 2012 era del 74,9%. El segundo sistema operativo más usado es el IOS con una cuota de mercado de 12,9% a finales de 2013 cuando a finales de 2012 era del 14,4%.

Por otro lado, existen compañías que ofrecen librerías de software de desarrollo dirigidos a localización Indoor, dichas librerías se encuadran en las siguientes disciplinas:

1. Mapping: se refiere a aquellas encaminadas a la Cartografía y consiste en el uso del GNSS para trazar mapas y cartas que contienen la ubicación de puntos de interés.
2. Posicionamiento: mediante el cual se favorece el conocimiento de la ubicación de los objetos o usuarios que llevan dispositivos no activos de localización o bien aquellos basados en sensores, como portátiles, tabletas, Smartphones u otros tipos de dispositivos móviles, de forma que posibilita la localización del sujeto que lo posee.
3. Seguimiento de activos: se refiere a facilitar el conocimiento de la ubicación basada en sensores a través de tags, posibilitando la monitorización de la posición de un dispositivo móvil.

De la información extraída, en primer lugar se buscaron librerías libres que utilicen triangulación WiFi, encontrando el proyecto REDPIN⁸⁰, que se trata de un proyecto cuya principal ventaja es que el propio servidor, en el que se almacenan los mapas y se realizan los cálculos, forma parte del proyecto libre. El gran inconveniente es la poca documentación y la poca actividad en

⁸⁰ <http://www.redpin.org>

torno a la comunidad que lo utiliza. Dado el reto que supone un proyecto de estas características, esta solución fue desechada.

Tras este, se estudiaron otras y se optó por las librerías de WifiSlam⁸¹, que se basan en Fingerprinting WiFi para el posicionamiento. La principal razón por la que la seleccionamos fue que nos proporcionaba la mayor precisión en la posición junto con el menor precio. WifiSlam fue desarrollada por una startup de la Universidad de Stanford que fue comprada por Apple en marzo de 2013 dando por cerrado el proyecto.

La siguiente opción en cuanto a cumplimiento de requisitos y calidad de soporte, fue Navizon⁸², que tiene una librería que proporciona localización con una elevada precisión, en entornos iOS y Android, facilitando la localización combinando la tecnología de Fingerprinting con las señales de los sensores del dispositivo móvil (acelerómetro, brújula, giroscopio, etc...). Navizon se considera como una de las empresas líder en localización y se prestó a participar en el proyecto proporcionando un soporte de calidad. Navizon fue descartada por la poca precisión y por los “saltos” en la ubicación que dificultaba enormemente cualquier desarrollo.

Por otro lado insiteo⁸³ se basa en algoritmos híbridos de información tales como: medida de la potencia de las señales WiFi y Bluetooth Low Energy, lo que hace compatible esta tecnología con los iBeacon de Apple iOS así como con los de los dispositivos Android; análisis de sensores de Smartphone (acelerómetro, brújula, barómetro); información proporcionada por el mapa (posibles caminos, áreas de transición entre los pisos, etc). Otra característica interesante es que toda la

⁸¹ <http://wifislam.com>

⁸² <http://navizon.com>

⁸³ <http://www.insiteo.com/?lang=en>

información se maneja localmente en la aplicación, de forma que se evita la dependencia de la conectividad de red.

Otra de las opciones es IndoorAtlas, cuya solución se basa en las variaciones electromagnéticas que los Smartphones son capaces de detectar y registrar. Como ya se ha comentado, en los entornos Indoor hay una serie de variaciones del campo magnético de la tierra, a la vez que hay muchas fuentes de dispositivos que contribuyen a incrementar estas variaciones, incluyendo en estas las proporcionadas por las estructuras de los edificios.

Por otro lado, estudiamos Meridian, cuyas principales características son que: es capaz de construir una aplicación móvil desde cero sin ninguna técnica "know-how"; posibilita gestionar y crear contenido.

Otra de las opciones estudiadas es Micello, que se trata de una empresa fundada en 2007 y con presencia en diversos continentes, que se encarga de crear mapas de interior, así como contenido de navegación que proporciona localizaciones de interior en todo el mundo. Por defecto, el SDK proporciona una interfaz estándar que incluye muchas características útiles, tales como controles de zoom, ventana emergente de información, cambio de nivel, etc. Además, la interfaz se puede personalizar permitiendo cambiar el tema o elementos de la interfaz de usuario, haciendo esta más amigable. Posibilita añadir un mapa a una aplicación móvil o Web de forma sencilla e intuitiva, sin necesidad de un desarrollo complejo, solo con unos sencillos clicks, si bien el SDK proporciona todas las funcionalidades, posibilitándole la creación de aplicaciones tan complejas o avanzadas como se requiera, pero de una manera sencilla. Posee

una arquitectura de tipo plugin⁸⁴ de forma que proporciona a los desarrolladores una manera fácil de integrar sus funciones favoritas en una biblioteca reutilizable, incluyendo un Directorio y un plugin de búsqueda.

Una última opción que se estudió es la de indoo.rs que: se trata de una solución multiplataforma que utiliza Beacons Bluetooth Low Energy y que permite la localización tanto en dispositivos en iOS como en Android; los registros de Fingerprinting se hacen sólo una vez y se almacenan únicas señales de radio en cada edificio, lo que incrementa la precisión del posicionamiento en tiempo real; todos los cálculos para la determinación de una posición se realizan en un dispositivo móvil, no necesitándose una conexión a Internet activa para dicho cálculo; cualquier archivo jpeg⁸⁵ / png⁸⁶ se puede utilizar para crear un mapa de forma sencilla e intuitiva; permite la creación de una ruta de acceso entre varios pisos del punto inicio al punto destino; utiliza la información del waypoint⁸⁷, en nuestro caso se trata de una flecha roja, para mostrar la ruta; posibilita marcar las áreas de interés en el mapa para facilitar las notificaciones a los visitantes cuando entran o dejan estas zonas de interés o sensibles; detecta automáticamente la entrada o

⁸⁴ plug-in es un anglicismo y se podría traducir al castellano por complemento. Se trata de una aplicación informática que se relaciona con otra para proporcionarle una nueva funcionalidad.

⁸⁵ jpeg son las siglas en ingles de Joint Photographic Experts Group, cuya traducción al castellano sería grupo expertos en fotografía y es un método estándar compresión y codificación de imágenes.

⁸⁶ png son las siglas en ingles de Portable Network Graphics y cuya traducción sería gráficos de red portable y se trata de otro método de compresión y codificación de imágenes.

⁸⁶ waypoint es un anglicismo que hace referencia a las indicaciones o coordenadas que nos ayudan a ubicar puntos de referencia en la navegación.

salida de un edificio, el cambio de un piso y cambia al mapa respectivo.

De todos los sistemas y aplicaciones vistas previamente, descartamos: REDPIN porque a pesar de ser un sistema de código abierto proporcionaba muy poca documentación y tenía poca actividad; Navizon por la poca precisión; Insiteo, IndoorAtlas, Meridian y Micello por precio y/o soporte técnico. Y finalmente seleccionamos la solución de indoo.rs por varios motivos:

- Buena precisión.
- Excelente soporte.
- Incorpora un módulo de cálculo de rutas.
- Incorpora una composición de tecnologías, con lo que el desarrollo que se realice queda abierto a incorporar nuevas tecnologías como los Beacons en aquellos puntos que se precise.

Una vez decidida esta herramienta como base, se adquirieron las librerías y fuentes necesarias y que han sido tomados como punto de partida para el desarrollo de nuestra aplicación. Si bien todas estas herramientas permiten un posicionamiento rápido y sencillo sobre un plano, la principal dificultad estriba en la capacidad de establecer rutas que nos permitan dirigirnos a una determinada zona.

Para ello ha habido que realizar un trabajo importante en el código con el objeto de crear una interfaz muy sencilla y potente. No hay que olvidarse que uno de los requisitos de la aplicación es que pueda ser utilizada por todos los tipos de usuarios, tengan o no discapacidad.

5.2 Análisis del entorno bajo estudio

Las pruebas de usuario se han centrado en aquellas personas con algún déficit, bien sea derivado de una enfermedad natural degenerativa o no, natal o perinatal, etc... o bien sobrevenidas, como pueden ser las lesiones producidas por los accidentes en vehículos.

Dichas pruebas se han realizado, a modo de prototipo, en la planta baja de la Facultad de Psicología. Para ello se ha optado por la solución WiFi que ya está instalada en la Universitat de Valencia y en la que nos encontramos con Puntos de Acceso Inalámbrico con las direcciones MAC, que aparecen el plano adjunto suministrado por el Centro de Atención al Usuario de dicha Universidad.

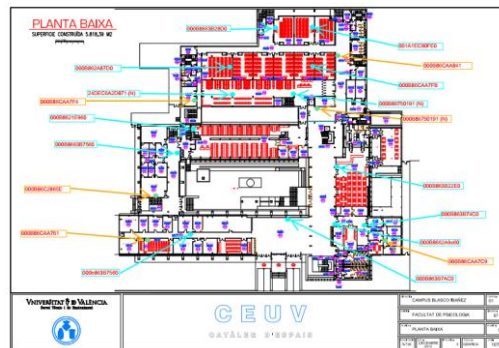


Imagen 11: Ubicación de los puntos de acceso en la planta baja de la Facultad de Psicología

5.3 Descripción general.

5.3.1 Sistema de localización empleado

En el presente trabajo se va a realizar la localización usando fuerzas de señal, llamadas Fingerprinting. El modelo de localización Fingerprinting se basa en la medida de las fuerzas de las señales recibidas provenientes de diferentes puntos de acceso en un punto determinado de un área de interés acotada, y

aplicar a esas fuerzas una serie de algoritmos que permiten determinar la posición del cliente.

El nombre de Fingerprinting se debe a que lo fundamental en dicho método es la creación de una base de datos de fuerzas tomados en diferentes puntos del área de interés donde se implantará el sistema, creándose una matriz con las fuerzas recibidas de cada punto de acceso en una serie de puntos del recinto.

Para un primer proceso de localización se va a realizar la siguiente secuencia de pasos:

- El primer paso a realizar es el mismo proceso de Fingerprinting, para lo que se va a recorrer el área de interés del edificio escaneando en cada punto la red, y almacenando los valores de fuerza de la señal recibidos de cada AP accesible mediante una aplicación proporcionada por la solución escogida. El proceso dispone de mayor precisión cuanto mayor sea la densidad de puntos en los que se toman valores. La precisión en metros de este algoritmo depende de la distancia entre los puntos que se han tomado durante el proceso de Fingerprinting. Este proceso se realiza sólo una vez y sirve para todos los clientes. Nosotros tomamos medidas cada tres metros, evitando los vértices o aristas, así como las paredes, donde se puede encontrar el fenómeno de reflexión y difracción, aumentando la señal interferente.
- Una vez realizada la fase de Fingerprinting, la primera vez que el sujeto acceda al edificio y se descargue la aplicación, se descargará también un mapa con los datos tomados.

- A continuación, el dispositivo escanea la red obteniendo la fuerza de la señal de los APs accesibles en ese punto determinado.
- Con esta fuerza y usando el algoritmo de k-ésimos vecinos más cercanos, se comparan los datos obtenidos por el cliente con los obtenidos en el proceso de Fingerprinting para estimar el punto donde se encuentra localizado el sujeto.

5.3.2 La red de entorno de trabajo

El diseño de una red WiFi es complejo debido a que hay que hacerla de forma tridimensional, esto es, hay que tener en cuenta los puntos de acceso tanto adyacentes en el mismo plano, como los provenientes de distintas plantas.

La señal de recepción de un punto de acceso por debajo de los -65 dbW puede considerarse como insuficiente para que haya comunicación, sin embargo no lo es para nuestro sistema, ya que se trata de un sistema que sólo precisa recibir señal WiFi pero que no usa esta señal, es decir, no se intercambia información entre el dispositivo móvil y el punto de acceso. El dispositivo móvil está escuchando en todo momento para recibir la potencia de la señal proveniente de cada red o SSID, es decir, de cada punto de acceso. Por otro lado, las señales se emiten en uno de los 14 canales WiFi y este es otro aspecto que deberemos tener en cuenta en el dimensionado de las redes inalámbricas y aquí tenemos otro aspecto a observar, ya que usualmente la selección de los canales es de 3 o 4 canales, dependiendo de la región geográfica. En Europa se permite hacer uso de canales del 1 al 13, en Estados Unidos y Canadá del 1 al 11 y en Japón del 1 al 14. Luego existen recomendaciones que dependen de los proveedores de puntos de acceso, donde los más comunes recomiendan el uso de 3 canales (1,6 y 11), si bien esto se debe a que tienen testeados sus sistemas para esos canales y no para

otros, ya que son los que más se utilizan en su país. En la Universitat de València realizó un estudio el servicio de informática y comunicaciones, en el que se afirma que se optimiza la cobertura al utilizar 4 canales (1, 5, 9 y 13), por lo que esos son los que se usan.

CHNL_ID	Frequency (MHz)
1	2412
2	2417
3	2422
4	2427
5	2432
6	2437
7	2442
8	2447
9	2452
10	2457
11	2462
12	2467
13	2472
14	2484

Imagen 12: Rangos de frecuencias de los catorce canales permitidos (LAN/MAN standards Committee, 2003)

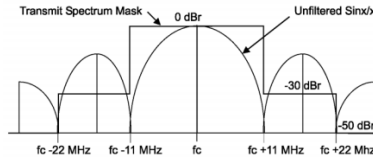


Figure 16-11—Transmit spectrum mask

Imagen 13: Espectro transmitido(LAN/MAN standards Committee, 2003)

Según la norma IEEE 802.11, en una topología de red celular múltiple, las células adyacentes, que utilizan diferentes canales, pueden funcionar simultáneamente sin interferencia si la distancia entre las frecuencias centrales ⁸⁸es de al menos 25 MHz y el ancho de banda de cada canal es de 22MHz (LAN/MAN standards Committee, 2003).

⁸⁸ En comunicaciones el término frecuencia central de un espectro se refiere a la media geométrica de las frecuencias de corte superior e inferior de dicho espectro de señal siendo estas aquellas frecuencias por encima o por debajo de la cual el nivel de potencia de salida se reduce a la mitad, es decir, tiene una caída de -3 dB respecto del nivel de referencia.



Figure 17-14—China and North American channel selection—nonoverlapping

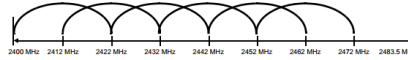


Figure 17-15—China and North American channel selection—overlapping

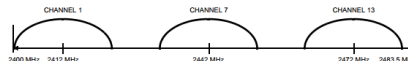


Figure 17-16—European channel selection—nonoverlapping

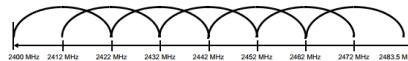


Figure 17-17—European channel selection—overlapping

Imagen 14: Selección de canales con y sin solape en China y Estados Unidos y en Europa (LAN/MAN standards Committee, 2003)

5.3.3 Dispositivos inalámbricos en el área de estudio

En la Universitat de València los puntos de acceso utilizados son de la marca Aruba⁸⁹, siendo los más habituales los Aruba 61 y los Aruba 105, si bien hay que notar que los Aruba 61 están siendo sustituidos por los Aruba 105 y actualmente por los Aruba 115, ambos permiten una mayor capacidad. Los AP van conectados a nivel 2 directamente a un Router que hay en Burjasot y que lleva toda la WLAN de la UV.



Imagen 15: Dispositivos Aruba 61 y Aruba 105

Aruba[©] es una empresa proveedora de servicios y productos de comunicaciones que se centra principalmente en el ámbito inalámbrico, derivando sólo el 3% y el 5% de los ingresos a la

⁸⁹ <http://www.arubanetworks.com>

comunicación Ethernet. La arquitectura, la variedad de productos Aruba y el precio competitivo hacen que sea una solución adecuada para la mayor parte de implementaciones inalámbricas, que van desde pequeñas y medianas empresa a las grandes empresas, siendo idóneos para ambientes con elevada densidad de usuarios.

Los dispositivos Aruba permiten, siguiendo el manual de buenas prácticas de la empresa:

- Reducir el número de SSIDs al mínimo, lo que redundaría en una disminución del tiempo de emisión.
- Eliminar las velocidades de transmisión bajas, que son las que proporcionan un doble efecto negativo, ya que por un lado las tramas de notificación de SSID al emitirse lentamente ocupan un tiempo de canal considerable; por otro lado, se permite el uso del canal a usuarios lentos, por lo que para satisfacer sus necesidades utilizan mucho tiempo el canal.
- Filtrar el tráfico broadcast/multicast, efecto demoledor en las redes inalámbricas, ya que no sólo se ve impactado el rendimiento de la red, sino también las baterías de los clientes inalámbricos.
- Optimizar el tráfico de tramas multicast y broadcast, enviándose estas a la velocidad más baja entre los clientes conectados.
- Optimizar las tramas de autenticación, enviándose estas a la velocidad más baja entre los clientes conectados.

Otro de los puntos de interés para la selección del dispositivo Aruba es que intenta mitigar las interferencias co-canal, para lo que toma las siguientes opciones:

- Asignación dinámica de canales, de manera que el controlador podrá reducir la potencia con la que emiten los AP y así reducir la interferencia co-canal. Es importante tener en cuenta que la transmisión inalámbrica es bidireccional, por lo que es necesario contemplar la potencia de transmisión tanto de los AP como de los clientes. Teniendo en cuenta los niveles de potencia de transmisión que suelen emplear los dispositivos más habituales, se recomienda limitar las potencias al intervalo de 12 a 18 dBm.
- Para aquellos lugares donde las interferencias co-canal son significativas, se recomienda convertir algunos de los puntos de acceso que trabajan a una frecuencia de 2,4GHz en los modos “spectrum monitor” o “air monitor”, de forma que se reduciría la interferencia co-canal.

5.3.4 Prototipo de ISMO

Como hemos comentados, nos hemos centrado en realizar una aplicación que proporcione, asumiendo un error mínimo, la localización y orientación de todos los usuarios, dispongan o no de algún tipo de déficit, dentro de un edificio de concurrencia pública, de modo que cualquier usuario pueda localizarse y orientarse en dicho espacio mediante un simple dispositivo móvil, que se conecta a la red WiFi de la Universidad y unas balizas que se dispondrán en lugares estratégicos. De ahí que la aplicación que se ha aportado como solución se llame ISMO de IndoorS Mobile Orientation.

Para ello se ha realizado un estudio de las librerías disponibles en el mercado y las características que proporcionan, seleccionando una de ellas en base a los requisitos planteados y se ha analizado el funcionamiento del mismo en el área de interés.

Posteriormente se ha modificado la librería de dicha aplicación adaptándose a las necesidades del tipo de usuario objetivo en nuestro estudio, realizándose una prueba de la misma y extrayéndose unas conclusiones.

El desarrollo de la aplicación móvil se ha realizado mediante el uso de la plataforma Eclipse Android Development Tools (ADT) <http://developer.android.com/tools/index.html> y las librerías proporcionadas por la empresa seleccionada Indoo.rs, de forma que se permite el acceso a los planos, el cálculo de la posición y el cálculo de rutas. En concreto, se hace uso del proyecto IndoorsSurfaceAndroid que da soporte a todas las APIS necesarias para el proyecto.

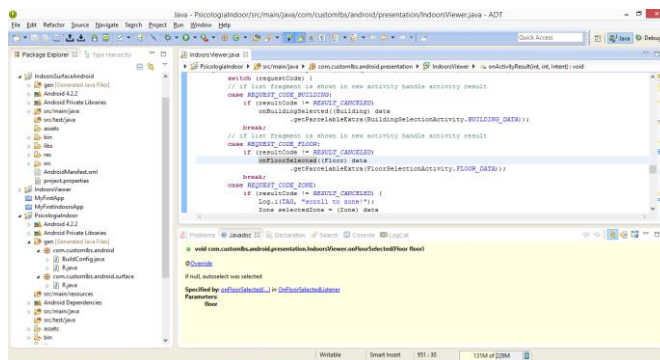


Imagen 16: Pantalla de modificación de código.

Como último paso se realiza la implantación de unos Beacons que dan soporte a la red WiFi sobre la que nos basamos, proporcionando un valor añadido a la solución adoptada. Con esta última fase es con la que se van a realizar las pruebas a los usuarios con discapacidad cognitiva, visual y motóricas. Dicha aplicación es capaz de localizar la entrada de un usuario en el área de interés, ubicarle su posición e indicar el camino más corto para alcanzar un destino concreto, mediante el uso de la aplicación en el SmartPhone y sin el uso de hardware adicional, lo que garantiza el acceso a los lugares de interés a todos los

usuarios, sin distinción ninguna, sólo con el uso del SmartPhone.

Una vez instalada la aplicación Android, cuando el usuario se encuentra en el área de cobertura donde se ha realizado el mapeo de señales mediante la técnica de Fingerprinting, el sistema inalámbrico detecta que el usuario está en esa área. En segundo lugar, dicho usuario escoge una de las rutas finales y se lanza la petición de búsqueda de dicha ruta desde el punto en el que se encuentra el usuario hasta la meta deseada. El sistema WiFi, junto a la aplicación, y utilizando los algoritmos de proximidad k-ésimo y Fingerprinting, ubican al usuario con la mayor exactitud que permite el sistema y las condiciones ambientales. Finalmente se traza la ruta entre el usuario y el objetivo y se indica por medio de trazado en el móvil y mediante sonido, indicando cada movimiento que debe realizar, con el sentido de movimiento, los giros y distancia en metros.

5.3.5 Procedimiento de uso de la aplicación

A continuación se va a realizar una descripción de los pasos a realizar para la instalación y uso de la aplicación Psicología a nivel de usuario final.

1. El primer paso en la instalación de la aplicación es acceder a la dirección web www.acceso.uv.es y buscar la aplicación Psicología del proyecto sobre el que se está realizando la aplicación, descargarla e instalarla como cualquier aplicación comercial.

Una vez instalada debe aparecer en el listado de las aplicaciones que tenemos instaladas, encontrando una App que se llama Psicología, sin más que pulsar sobre la misma, aparece una pantalla de inicio en la que aparece el entorno en el que se ha creado esta solución (imagen 22 (a)).

2. Una vez inicializada la aplicación aparecerá una pantalla en la que se visualiza la carga del mapa de localización de la planta, apareciendo una leyenda “Esperando ubicación”, que desaparecerá en cuanto el dispositivo móvil haya sido localizado (imagen 22 (b)).

Una vez realizada la carga del mapa con los muros, salas, ascensores, escaleras, rutas...se obtiene la siguiente pantalla donde se observan en la parte superior derecha tres iconos que se han resaltado en círculos rojos, verdes y azules (imagen 22 (c)).

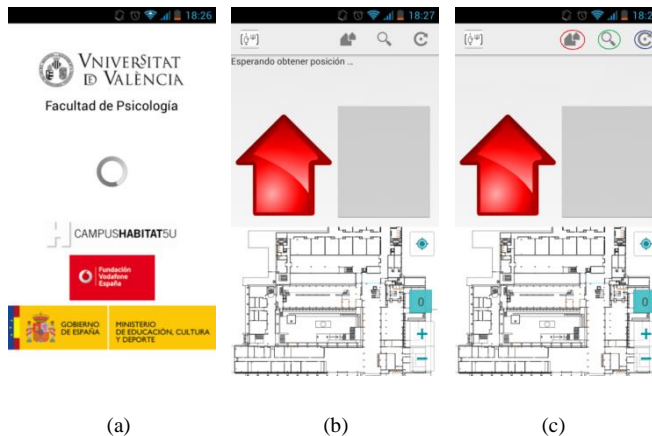




Imagen 17: Pantalla de arranque e inicio de la aplicación

3. El siguiente paso será seleccionar edificio, para lo que se utiliza la primera opción, . De esta forma el sistema desarrollado sabrá el mapa donde debe buscar la amplitud de potencias de las señales y las direcciones MAC, para, de esta manera realizar una triangulación de las señales recibidas y así “estimar” la ubicación del dispositivo móvil y, por tanto, del usuario que se encuentra en dicho edificio. Al pulsarla se obtendrán todos los edificios que se han almacenado. Al pulsar sobre una de ellas, por ejemplo PsicologíaJ6, nos

aparecerá una pantalla que nos indica que se está descargando el edificio seleccionado. Esta es una opción que existe, si bien, el sistema diseñado permite la detección del edificio donde se encuentra nada más se accede al mismo, por lo que este apartado puede pasar a ser irrelevante.

Una vez realizada la descarga y la selección del edificio, se indicará nuestra ubicación en el mismo, manteniéndose a la espera de que se seleccione el destino.

4. A continuación, hay que seleccionar el destino. Para ello bastará con seleccionar la lupa que se encuentra en la parte superior derecha y que hemos resaltado en círculo verde  (imagen 18(a)). Si conocemos el nombre de la dirección que deseamos encontrar la escribiríamos y pulsaríamos a “Aceptar”, pero hay que tener en cuenta que el sistema es case sensitive⁹⁰, por lo que debe introducirse el nombre exacto de la sala a la que queremos dirigirnos, con mayúsculas y minúsculas, tildes, números.... Por ello es aconsejable pulsar directamente “Aceptar”, en cuyo caso aparece una pantalla con el listado de todos los posibles destinos (imagen 18(b)). Sólo debemos seleccionar el destino pulsando sobre el mismo, en cuyo caso nos aparecería una pantalla de comprobación de selección correcta del destino, donde deberemos pulsar aceptar para completar la selección del destino (imagen 18(c)).

⁹⁰ case sensitive es un anglicismo que traducido al castellano significaría sensible a mayúsculas y minúsculas y se dice cuando al introducir caracteres en el dispositivo, distingue estos entre mayúscula y minúscula ya que cada carácter es distinto en hexadecimal.

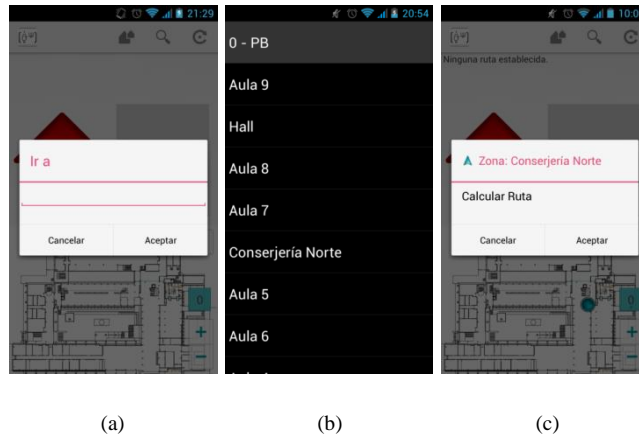


Imagen 18: Secuencia de selección de destino.

5. Una vez seleccionado correctamente el destino al que deseamos acceder, se envía a la base de datos de la aplicación nuestra ubicación actual, el edificio donde nos hallamos, así como la ubicación destino para que procese los datos y nos envíe la información actualizada. Para ello, la aplicación nos reubica y nos indica la ruta que debemos realizar para acceder desde nuestro punto al destino, apareciendo la siguiente pantalla en donde nos indica la ruta que debemos realizar y se nos dan las indicaciones tanto textualmente como sonoramente. Solo hay que seguir las indicaciones de la aplicación hasta llegar al destino.

Hay que notar que, una de las opciones que nos posibilita el software desarrollado es la de activación o no de las instrucciones de ruta, de forma que el guiado se puede realizar o visual o sonoramente, facilitando así el uso a personas con baja o nula visión. Para ello basta con seleccionar en el menú, apareciendo las opciones que se muestran a continuación en la imagen adjunta donde se debe seleccionar la opción “Configurar”, y nos aparece la siguiente pantalla. Si no está

seleccionado, el sonido no está activado, como ocurre por defecto, bastaría con seleccionar dicha opción.

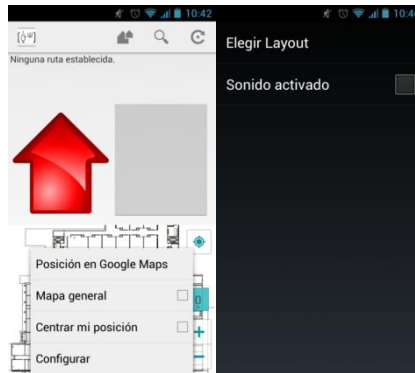


Imagen 19: Pasos para la selección del sonido en la aplicación

Como puede observarse se hay tres opciones:

- por un lado, se puede acceder a la posición en Google Maps, si bien la ubicación que obtiene no es la correcta debido al error que provocan diferentes aspectos en Indoor basados en señales GNSS, habiendo en este caso una desviación de unos 6 metros con una pared de por medio, como se muestra en la imagen 20(a), en la que se puede observar en rojo la ubicación con Google Maps dentro del edificio en un lugar “accesible” y la misma ubicación mediante el sistema WiFi y Fingerprinting utilizando el ISMO, en azul. Como hemos comentado encontramos un desfase de unos 6 metros con una pared de diferencia, lo que hace inadmisibles el uso de la tecnología GPS, en la que se basa Google Maps, para la orientación de usuarios en el interior de edificios, incluso en uno como el que realizamos las pruebas en los que los materiales de acceso son en gran cantidad cristales (sobre todo en la zona central), que pueden permitir más

el acceso de satélites para ubicar. En otras zonas no ubicaría o la diferencia sería mayor.

- Otra de las opciones es la de “Mapa General” donde al seleccionar esta opción aparece en pantalla el mapa de todo el edificio para que nos ubiquemos, de esta forma no solo conoceremos el punto en el que nos encontramos, sino también las partes de edificio que hay en las proximidades (imagen 20(b)).

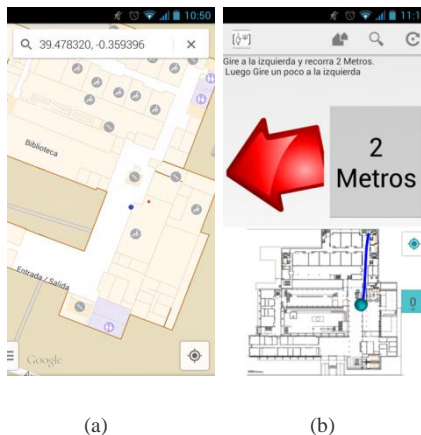


Imagen 20: Opciones del menú de la aplicación.

Si nos fijamos, en la imagen 20(b), en la parte superior nos indica de forma escrita las instrucciones que debemos seguir para llegar al objetivo. Si nos encontráramos en una sala etiquetada, nos indicaría la sala en la que nos encontramos (“Esta usted en la Secretaria” o “Esta usted en Cafetería”) y, a continuación, nos indicaría las indicaciones que debemos realizar.

- La tercera opción que nos permite es “Centrar mi posición” y lo que hace es reubicar de nuevo nuestra posición en el edificio. Es una opción de seguridad en el

caso que no nos quede claro que la ubicación sea correcta.

5.4 IndoorS Mobile Otientation, ISMO.

5.4.1 Arquitectura del sistema ISMO

El sistema ISMO se ha basado en una librería de localización híbrida que combina diversos enfoques para ofrecer una mayor precisión, explorando numerosas tecnologías de localización para facilitar el funcionamiento en el interior de edificios, donde el GPS no funciona.

Como resultado, la librería proporciona, gracias a una serie de tecnologías que funcionan de forma combinada o por separado, una potencial solución para cualquier plataforma, finalidad y presupuesto. Estas tecnologías son: Bluetooth Low Energy (BLE), disponible tanto en iOS como en plataformas Android, que se basa en las señales transmitidas desde balizas BLE, tanto las propietarias de indoo.rs como la de otras empresas colaboradoras, y que, mediante el uso de un algoritmo propio, determinan la posición de los usuarios con una precisión de hasta 2 metros, dependiendo de los entornos; eBeacon es otra tecnología que consiste en una serie de balizas que trabajan como las BLE pero con las características que permiten activar el teléfono, iniciar la aplicación y permitir el bloqueo de notificaciones en la pantalla en el modo en espera; otra tecnología es la que proporciona localización a través de la red WiFi, utilizando Fingerprinting, en la infraestructura existente a la espera de recibir las huellas digitales, proporcionando una precisión menor de 5 m de precisión en los dispositivos Android; otra tecnología es la basada en la fusión de distintos sensores y se trata de un post-procesamiento de la fusión de sensores para aquellos dispositivos con sensores (teléfonos,

tabletas, ordenadores portátiles,..) que utiliza los datos proporcionados por los sensores de los dispositivos móviles (por ejemplo, brújula, giroscopio, acelerómetro, barómetro) para calcular el nivel del suelo y entregar experiencia de navegación sin problemas.

5.4.2 Creación de planos

Para la realización de mapas de huellas mediante el sistema de Fingerprinting lo primero que hay que realizar es crear los planos sobre los que vamos a realizar el mapeo. En el sistema seleccionado se realiza la creación de planos en todos los casos de igual forma, por lo que vamos a proceder a la explicación de este método y posteriormente, en cada caso, se explicará el método de calibración, que varía de la solución comercial a la adaptada y a la solución con Beacons. Para ello nos basamos un plano en cualquier formato de imagen o .pdf, usando en nuestro caso una imagen creada a partir del plano en .pdf que nos ha proporcionado el servicio de informática y comunicaciones de la Universitat de València de la planta baja de la Facultad de Psicología, que va a ser nuestro espacio de estudio.

Para ello, en primer lugar debemos instalar la aplicación Measurement Tool (MMT) proporcionada por la compañía Indoo.rs y crear edificios virtuales seleccionando, como es habitual en entornos gráficos File New.

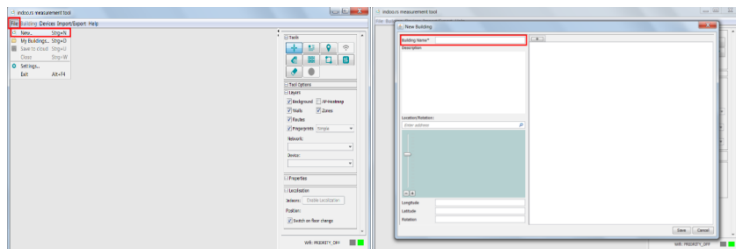


Imagen 21: Fase de creación de nuevo edificio en la aplicación indoo.rs

Como se observa en las imágenes, se pueden añadir datos descriptivos y buscar la ubicación aproximada del edificio, o incluir manualmente la longitud y latitud de la coordenada superior izquierda del plano. Es importante establecer correctamente el ángulo existente entre los puntos superior izquierdo y superior derecho del plano con respecto al norte. En el caso de la Facultad de Psicología, este ángulo es de 106° .

El siguiente paso a realizar es crear la planta con la que vamos a trabajar, aunque en el caso experimental se va a realizar la prueba en una sola planta, se pueden realizar distintas plantas, aspecto que será tomado en sucesivas etapas del estudio. Como se observa en la imagen siguiente, hay diversos campos obligatorios: Nombre del edificio; Nivel de la planta; Descripción de la misma; selección de Imagen a subir a la nube como planta del nivel del edificio; la relación de escala, expresada en milímetros por pixel de la imagen, en el caso del plano de la Facultad de Psicología de la Universitat de València se dispone de una unidad de medida en la parte inferior con lo que a través de MMT podemos fácilmente establecer esta relación. Una vez introducidos los datos requeridos y guardados los mismos, nos aparece la siguiente pantalla, donde se pueden apreciar los datos introducidos.

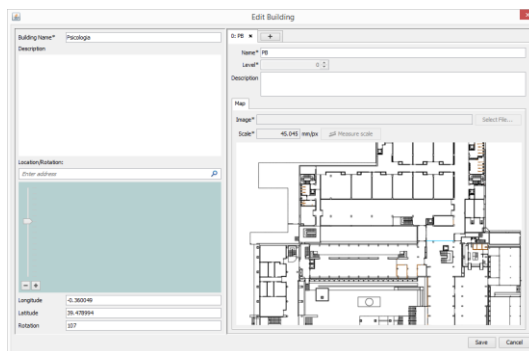



Imagen 22: Pantalla de edición de la planta del edificio bajo interés.

Hay que notar que cada vez que guardamos el edificio en la nube, se crea un nuevo identificador de edificio que obliga a modificar el apk⁹¹ resultante para poder ser reconocido correctamente.

El siguiente paso es utilizar la herramienta Wall drawer, seleccionable a través del icono  de la aplicación MMT, que posibilita “dibujar” las paredes de la planta que hemos subido a la nube. Las puertas se dejan “abiertas” para que el algoritmo de enrutamiento pueda encontrar una ruta para indicar al aplicar la aplicación.

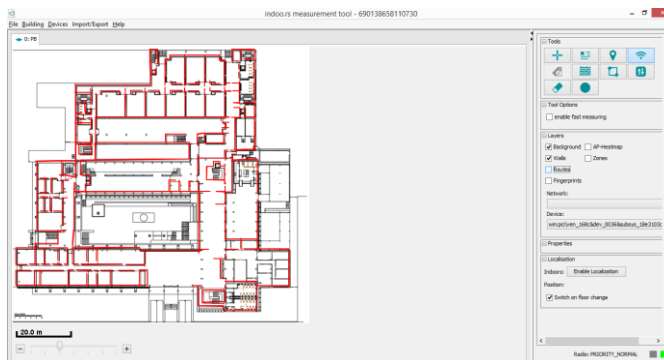



Imagen 23: Ejemplo de muros trazados en la imagen de planta baja.

A continuación hay que delimitar las zonas y nombrarlas para su localización posterior. Para ello se utiliza la herramienta Zone drawer seleccionable a través del icono  del MMT, debiendo cerrar completamente las zonas y asignarles un nombre.

Los nombre identificativos de las zonas deben de coincidir exactamente con el nombre asignado en la base de datos de

⁹¹ apk son las siglas de Application PacKage File y significa en castellano archivo de paquetes de aplicación y se trata de un paquete para el sistema operativo Android que se usa para distribuir e instalar componentes empaquetados.

espacios de la ubicación a localizar. Este es el vínculo entre los espacios georreferenciados que la librería ubica, con la estructura de espacios existente, en la base de datos.

Una vez dibujadas todas las zonas, queda obtener los fingerprints, siendo necesario realizar multitud de mediciones para obtener unos niveles de posicionamiento aceptables. Para conseguir este nivel aceptable, deberemos tener en cuenta una serie de normas a la hora de efectuar las mediciones son:

- Realizar una medición cada 3 metros aproximadamente.
- Medir al menos 4 o 5 puntos por habitación.
- Tomar las mediciones de espaldas a las paredes.
- Tomar los puntos de mediciones uniformemente.
- Evitar movimientos de otras personas, ya que pueden producir interferencias.

5.4.3 Calibración

Para la calibración del sistema hay que tomar los Fingerprinting, que son los puntos del edificio donde se toman como referencia las potencias de las señales cada tres metros, almacenando además de valores de fuerza de la señal recibida, la BSSID⁹² que se basa en dirección MAC de cada AP accesible. Este proceso de escaneo de red se debe realizar sólo una vez, siendo transparente para todos los usuarios que accedan a la misma para orientarse, sólo siendo necesario repetirlo en el caso que se produjeran cambios en las estructuras de la red inalámbricas o del edificio.

Para realizar la calibración y posterior medición, se realiza un mapeo de las huellas de los fingerprints del interior del área de interés, para lo que se utiliza un software desarrollado por la

⁹² BSSID son las siglas de Basic Service Set Identifier y significa identificador del servicio básico y se trata de un identificador único de una red inalámbrica que permite que esa red sea identificada.

empresa indoo.rs denominado Measuring and Mapping Tool que posibilita: crear o cargar edificio previamente cargado; importar el mapa de interior del edificio previamente subido a la nube; añadir tantos pisos como tenga el edificio y cada uno con la planta que posean; ajustar en cada caso la escala del piso del edificio bajo estudio; crear, borrar o nombrar las paredes, zonas o regiones de interés, escaleras, ascensores y todos los elementos que consideremos de interés para los usuarios finales; identificar distintos parámetros de las huellas tomadas; realizar medidas de los puntos para que sirvan de referencia; una vez realizada la toma de datos, la base de datos y los valores de la huella digital pueden guardarse localmente o en la nube de indoo.rs para su uso y tratamiento posterior; permite visualizar el mapa de calor huella digital WiFi de las señales tomadas, así como ayuda a determinar la calidad de las señales WiFi/Fingerprintings y calcular la precisión de posicionamiento estimado en esas áreas, lo que podría acarrear la decisión de añadir los puntos de acceso WiFi en aquellos puntos con baja intensidad de señal, mejorando la precisión de la localización en las zonas de interés del edificio en las que se ha detectado una señal deficiente; así mismo permite definir unas zonas llamadas "no-go", es decir, define las zonas que físicamente son inaccesibles o que se encuentran fuera de los límites del mapa donde se han tomado las medidas de las huellas, en estos casos se encuentran las áreas de seguridad vial, de mantenimiento, los bajos de las escaleras o todos aquellos que no se quiere que accedan los usuarios por las razones que sea.

Para la realización de las tareas de toma de medida de los Fingerprintings se realiza la siguiente rutina:

- 1) Se habilita el portátil para que pueda conectarse a la red WiFi Eduroam, que es la red internacional en entornos

universitarios y, por tanto, accesible en la Universitat de València.

- 2) Se pone en marcha en el portátil el software Measuring and Mapping Tool, en adelante MMT.
- 3) Se accede al menú File y se selecciona “My Buildings” abriéndose una pantalla, donde nos aparece un listado de los edificios que tenemos en nuestra base de datos, bastará con seleccionar el edificio donde se va a realizar la toma de mediciones.

Al seleccionar el edificio, previamente subido a la nube, donde queremos realizar la medición, aparece la siguiente imagen donde se visualiza un mapa a escala de la planta del edificio donde se van a tomar medidas.

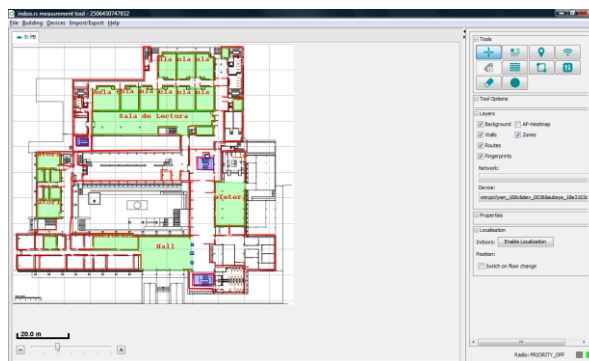


Imagen 24: Plano generado y seleccionado para realizar la toma de mediciones.

- 4) El siguiente paso a realizar es en el software MMT:





Imagen 25: Pantalla con selección del menú de herramienta “Device”

En el menú vertical, en la parte derecha del software MMT se pueden ver cinco submenús: “Tools”; “Tools options”; “Layers”; “Properties”; “Localisation”. En “Tools” nos encontramos con diez botones que nos permiten realizar distintas acciones.



Imagen 26: Detalle de submenú Tools del software MMT.

De todas estas herramientas las que vamos a usar en el proceso de calibración son las de “Measurement Point”, que se encuentra en cuarta posición con el icono  y la de “Eraser” . Hay que seleccionar “Measurement Point” y habilitar método rápido (“Enable fast measuring”). Una vez seleccionada esta opción, nos aparece un pop-up⁹³ que nos indica que si seleccionamos esa opción se realizarán las medidas más rápido pero que puede que el acceso a internet se inhabilite.

⁹³ Pop-up es un anglicismo utilizado en las aplicaciones y páginas web que significa ventana emergente.

Para realizar la calibración de cada uno de los Fingerprints, basta con posicionarnos físicamente en un punto, poner el ratón del ordenador sobre dicho punto en el mapa creado y pulsar con el botón de forma que indicamos que es ese punto sobre el que se está realizando la medida, apareciendo la siguiente pantalla.

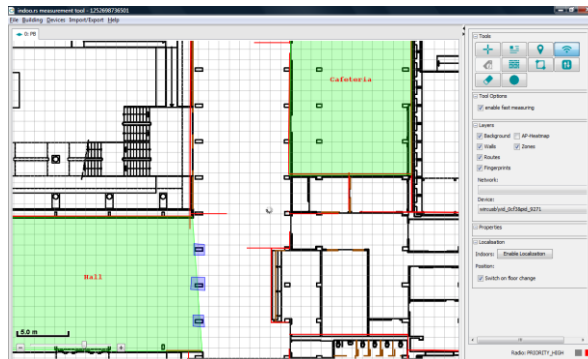


Imagen 27: Detalle de ejemplo de medida.

Como puede observarse, aparece un círculo girando hasta que realiza la medición completa de ese punto, momento en el que aparece un círculo continuo. Repetimos este procedimiento cada tres metros en la planta del área de interés.

- 5) Finalmente faltará que el mapa, con las señales tomadas, esté accesible a todos los usuarios, para lo que se debe subir a la nube. Para ello, hay que acceder a “File” y seleccionar la opción “Save to cloud”

De esta manera quedarán almacenados en la base de datos de la nube, de forma que los usuarios al acceder al edificio son detectados y reciben la información precisa para la localización mediante la potencia de las señales recibidas de los puntos de acceso cercanos. Hay que notar que, dependiendo de la estabilidad de la señal que llega así como de la potencia de la

misma, el software toma más o menos muestras de la señal de cada punto de acceso en cada fingerprint, no siendo constante este número.

5.4.4 Pruebas

Para este testeo del sistema se realizaron pruebas de ubicación y localización mediante dos usuarios expertos en accesibilidad, utilizándose el dispositivo móvil Nexus 4 del que ya hemos hablado e indicado sus especificaciones técnicas, llegándose a las conclusiones que indicamos en el apartado siguiente.

5.4.5 Conclusiones

Las primeras pruebas de precisión dieron como resultado áreas de la planta sobre la que se está trabajando, que no quedaban suficientemente cubiertas por la red WiFi. En estos puntos existía una mala precisión que impedía el correcto funcionamiento del sistema.

Como consecuencia de estos hechos, se decidió, junto al servicio informático de la Universitat de València, mejorar esta cobertura instalando cuatro puntos de acceso más, lo que hizo que la precisión mejorara notablemente.

Como consecuencia de esto, nos pudimos centrar en mejorar el guiado a las personas ciegas. La precisión sobre el mapa es suficiente, pero en el caso de los ciegos, es necesario guiarlos por voz y no mostrando un mapa.

Por ello nos encontramos con que, para conseguir mejoras en este aspecto, había que hacer un uso de los sensores del terminal, de forma que calculan la dirección de guiado en base al norte magnético.

Ello nos ha llevado a comprobar que los sensores de los teléfonos no son totalmente exactos y se ven muy afectados por elementos externos que distorsionan la medición tales como

transformadores, salas de informática, altavoces, microondas, etc...

5.5 Solución ISMO adaptada

Las conclusiones de la aplicación comercial estudiada, expuestas en el apartado anterior, nos han llevado a proponer sistemas alternativos/adicionales, de guiado para las personas, especialmente para las personas con baja o nula visibilidad. Estos sistemas adoptados han sido tanto en cuanto a medidas de infraestructura del área de interés, como de modificaciones de las librerías.

En primer lugar, en cuanto a las medidas adoptadas en cuanto a la infraestructura tenemos dos: por un lado, se añadieron cuatro puntos de acceso en la zona norte de la facultad, es decir, en la zona de las aulas y pasillo norte, ya que era donde se observó una mayor deficiencia de la señal WiFi obtenida mediante el software inSSIDer.

El software inSSIDer es una utilidad que permite la búsqueda de las redes inalámbricas en la proximidad del dispositivo, así como el control, mediante un entorno gráfico amigable, de la intensidad de sus señales. Con dicha utilidad se detectan todas las redes inalámbricas con los detalles de conexión tales como: el nombre SSID, en nuestro caso se refiere al BSSID, que permite la comunicación entre los dispositivos del mismo nombre en el área bajo estudio; nos proporciona información que se utilizan los cuatro canales 1, 5, 9 y 13; la potencia suministrada por los puntos de acceso cercanos es del valor del orden de -40dbm y -60dbm, siendo inapreciable para valores superiores; también indica el tipo de codificación que emplea la red, WPA2-Enterprise⁹⁴; dirección MAC de los puntos de

⁹⁴ WPA2-Enterprise son las siglas de WiFi Protected Access 2 Enterprise. WPA2 significa en castellano Acceso Protegido WiFi 2 en modo Enterprise. Se trata por tanto de un sistema de seguridad y encriptación para las

acceso que proporcionan acceso a la red inalámbrica; máxima velocidad proporcionada por la red en Mbps, observándose que la mayor parte proporcionan una velocidad de 54 Mbps, que corresponden a los Aruba de la serie 60, que son los más extendidos; así como la marca del dispositivo y el tipo de red en el que se encuentra.

También se optó por instalar un sistema de ayuda complementaria en la infraestructura de las áreas de interés, consistente en “marcar” el suelo con cintas de alta visibilidad y gran abrasión, consiguiendo un doble beneficio: por un lado delimitar zonas de paso para invidentes en las que no debe de existir ningún tipo de mobiliario o elemento que dificulte el paso; por otra parte simplifica el error que se pueda cometer con una brújula al permitir realizar las zonas con cruces a 90°. De esta manera pierde importancia el que pueda haber un error de 15-20° entre el norte magnético y el indicado por el terminal.



Imagen 28: Imágenes de las cintas delimitadoras de espacios.

empresas. El modo Enterprise proporciona la versatilidad de cancelar o anular a un usuario que pierde el dispositivo o que deja la empresa sin la necesidad de cambiar parámetros de los routers, solo anulando a dicho usuario este dejaría de tener acceso a los recursos para los que había sido habilitado.

5.5.1 Arquitectura del sistema adaptado

Partiendo de la base del software integrado en la primera solución, se introdujeron una serie de mejoras en aras de conseguir dar un mejor servicio a los usuarios finales. Por ello se introdujeron las siguientes mejoras:

- Si bien en las pruebas del experimento realizado, una de las tareas encomendadas a los usuarios para ver la usabilidad del software implementado fue realizar la carga del plano del edificio donde nos hallábamos, en el software se realizó la tarea de carga automática del plano, sin necesidad de hacerlo el usuario. Con esto nos evitamos que los usuarios que desconozcan por completo el edificio en el que se hallan, al cambiar de uno a otro, se realice el cambio del plano preciso para deambular, lo que optimiza el coste del tiempo y favorece la orientación entre distintos edificios de forma transparente.
- En la versión básica de las librerías proporcionadas por la empresa indoo.rs el cálculo de la ruta se hace desde una posición inicial a una final sin realizarse ningún cambio a lo largo del recorrido, por lo que si el posicionamiento inicial es incorrecto, tanto el cálculo de la ruta como el recorrido lo es. Sin embargo, en la versión adaptada la ruta se recalcula en función del lugar donde el terminal se encuentra en cada momento. Este recalcado de la ruta de los usuarios permite una autocorrección de lecturas de posición incorrectas, no debiendo reiniciar la aplicación en el caso que estén seguros que no están siendo bien ubicados, favoreciéndose la independencia en el uso de los usuarios finales.

- Han sido modificados los parámetros de error de la aplicación que define el error en el posicionamiento, para lo que se ha modificado el código para que indique que estamos en una zona cuando el error sea inferior a un parámetro preestablecido.
- De igual forma, también se ha modificado el tiempo de recalcado de la posición para que lo realice con menor frecuencia, ya que se ha comprobado que un recalcado con una frecuencia mayor provocaba una cola de eventos que hacía que funcionara peor la aplicación al localizar al usuario.
- La aplicación original está concebida para visualizar el mapa donde se encuentra el usuario. Para conseguir mejoras en la orientación dentro del edificio, se hizo caso de las apreciaciones de los usuarios en esta etapa del diseño, tomándose la decisión de hacer un uso de los sensores del dispositivo móvil, de forma que calculan la dirección de guiado en base al norte magnético. Con ello se incorporó a la aplicación el compás para el cálculo de la dirección que debe de tomar el usuario en el enrutamiento indicado por el sistema.
- Pero no solo es, sino que para conseguir orientar adecuadamente a la mayor parte de los usuarios, se decidió incorporar mensajes de dirección visuales y sonoros, de forma que cuando el usuario está viendo la ruta, también está viendo mediante una flecha el sentido que debe seguir y también está recibiendo esas indicaciones de forma audible, lo que favorece la orientación a personas con baja o nula visibilidad.

5.5.2 Diagramas de calor

En la aplicación MMT indicada previamente hay una opción que facilita la obtención de los mapas de los mapas de calor.

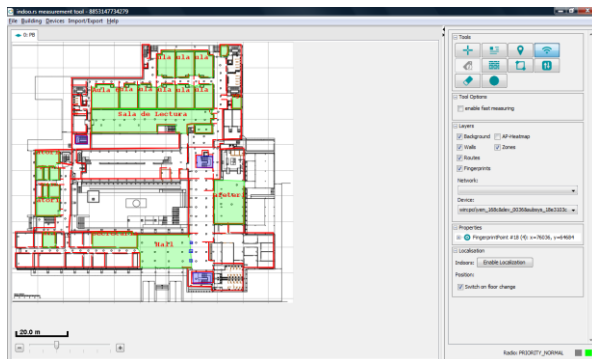


Imagen 29: Pantalla de MMT con los puntos de fingerprints tomados

Si observamos a la parte derecha de la aplicación MMT tenemos, como ya hemos indicado, varios menús: Tools; Tools Options; Layers; Properties; Localisation. Si observamos el submenú “Layers” se aprecia que hay un checkbox que indica AP_Heatmap y que, al seleccionarlo, nos proporciona el mapa de calor proporcionado por cada punto de acceso.

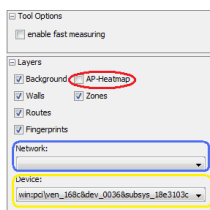


Imagen 30: Detalle del submenú lateral “Layers” de la aplicación MMT

Como puede observarse en la imagen previa, en el menú lateral del software MMT hemos resaltado tres opciones: por un lado en rojo el checkbox que al seleccionarlo nos permite obtener el mapa de calor de los puntos de acceso que ha detectado el software en la captura de datos; por otro lado en azul se observa una sección que al desplegarla nos proporciona todas las redes,

mediante sus direcciones MAC, que ha detectado para que seleccionemos cada una de ellas y obtengamos su mapa de calor; por último, se observa en amarillo el dispositivo que ha realizado la toma de medición, que en este caso corresponde a la antena interna del portátil.

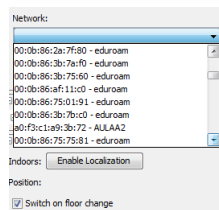


Imagen 31: Detalle de las redes encontradas por el software MMT

Una vez realizada las mediciones de las huellas digitales (fingerprintings), chequeamos la opción de AP-Heatmap y observamos las redes que ha detectado el MMT en la toma de medidas. Hay que destacar que se detectaron 55 redes que proporcionan cobertura en mayor o menor medida y 19 redes que no proporcionan señal y que provienen de los ascensores por donde se suele “colar” señal proveniente de otro tipo de dispositivo, por lo que no haremos caso de estas 19 redes. De las que sí que proporcionan señal con, hay que indicar que estas corresponden a señales provenientes de los puntos de acceso que hay ubicados en distintas plantas del edificio bajo estudio correspondiendo: 2 al sótano; 1 al entresuelo; 19 a la planta baja; 8 a la planta primera; 8 a la planta segunda; 9 a la planta tercera; y 8 a la planta cuarta.

En el estudio realizado se observó que las señales provenientes de otras plantas llegan a la planta baja, que es donde se encuentra el área de interés en este sistema de prototipo, con unos niveles de entre -80 dbW y - 110 dbW.

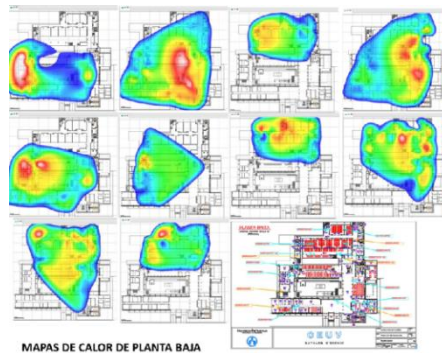


Imagen 32: Ejemplos de mapas de calor de puntos de acceso de la planta baja.

De los mapas de calor se ha concluido que la cobertura que proporcionan los puntos de acceso (AP's) instalados y configurados con el control del Servicio de Informática de la Universitat de València, proporcionan una cobertura adecuada para la comunicación en prácticamente toda el área de la planta baja, con unos niveles de señal de entre -40 y -60 dbW en dicha área. Si bien hay que destacar que hay tres áreas en las que la señal llega con dificultad y son el área de administración del decanato de la Facultad de Psicología, el Hall del mismo edificio y el área de esparcimiento y relax situado al aire libre, en los que se pueden obtener señales de -110 dbW, es decir, una señal muy pobre para la comunicación. Ocurre una situación similar, aunque no tan crítica en la zona de conserjería norte, donde en el mejor de los casos la señal sería de unos -80 dbW.

5.5.3 Calibración

El sistema de calibración es exactamente igual al realizado en la solución previa, salvo que en esta ocasión se realizaron las medidas, no con la antena interna del portátil, como en el caso previo, sino con una antena externa con conexión vía USB con el portátil, para lo que se adquirió la TP-LINK TL-WN722.

Algunas imágenes de la medición con la antena externa son las siguientes:



Imagen 33: Medición de Fingerprints mediante antena externa conectada mediante USB

Con estas mediciones se obtuvieron unos resultados correctos de las mismas, si bien, hay que indicar que no se apreciaron cambios significativos en la precisión de los fingerprints en el caso de la antena externa adquirida respecto de los datos tomados por la antena interna del portátil.

5.5.4 Pruebas

Se realizaron pruebas a los mismos expertos en accesibilidad que se habían realizado en la solución comercial del apartado anterior y se apreciaron muchas mejoras claras e intuitivas.

5.5.5 Conclusiones

Algunas de las mejoras introducidas por este sistema mejorado son:

- Mejora en la ubicación de los usuarios.
- Mejora en el trazado de rutas desde el origen al destino.
- Mejora en las indicaciones, como consecuencia de haber introducido la flecha de indicación de dirección o waypoint con un color que resalta, el rojo, de forma que resulta fácil e intuitivo el seguimiento de la ruta al utilizar este método de orientación.
- Mejora de la orientación al recibir las indicaciones mediante el sonido, indicándose, como nos había

sugerido uno de los expertos en accesibilidad y tiflotecnólogo, la ruta que debía seguirse mediante voz.

5.6 Solución final WiFi + Beacons

5.6.1 Arquitectura del sistema adaptado con los Beacons

Del sistema instalado se pueden indicar los siguientes factores:

- Se producen errores acumulativos en los dispositivos móviles, ya que estos poseen unos sensores integrados de bajo coste (acelerómetro, brújula,...), lo que hace que sean de baja calidad y que cada uno de los dispositivos acarree un error. Dicho error se va incrementando y la estimación de la nueva posición se basa en el cálculo estimado de las medidas previas. Por tanto, al final ocurre un error que proporciona una estima de localización totalmente incorrecta.
- Debido a la diversidad de dispositivos móviles que pueden acceder al sistema y a las distintas naturalezas del ambiente de trabajo, se puede crear múltiples señales que afectan a la fiabilidad de los datos estimados.
- Alto nivel de exactitud en la localización en Indoor: el entorno en interiores varía de forma inapreciable para el hombre pero sí para los efectos de difracción, reflexión, scattering y otros que aparecen en los entornos de espacio interior, la aplicación requiere de un alto nivel de precisión. De hecho, este es un aspecto importante en la mayoría de las aplicaciones para localización Indoor. Si a este efecto se le añade el hecho que nuestra aplicación va dirigida a todo el público y que se van a realizar pruebas en sujetos con discapacidades de diversas

tipologías, incluida la visual, esto provoca que en nuestro caso sea más crítica la exactitud del sistema de localización.

- Consumo de energía: el uso continuo de los sensores internos y las necesidades de procesamiento del sistema de localización consume energía extra en dispositivos con limitaciones energéticas como son los teléfonos móviles de última generación que procesan tantas aplicaciones que están continuamente conectados a redes. Si bien esto es un punto a tener en cuenta, no es un problema ya que los dispositivos móviles actuales disponen de baterías con una vida útil relativamente elevada, proporcionando corriente para un día aproximadamente, dependiendo del modelo.
- Posición del dispositivo móvil: el uso de un dispositivo móvil se realiza en múltiples posiciones y orientaciones posibles. Esta posición varía al realizar llamadas, al enviar mensajes, al mantener el móvil en la mano mientras camina o el tenerlo sentado en el bolsillo, incluso el hecho de tenerlo en una funda afecta los algoritmos de procesamiento de señal y, por tanto, la potencia necesaria para la comunicación.
- Herramientas de evaluación: la evaluación de los sistemas de posicionamiento es una tarea tediosa consistente en la realización de experimentos varias iteraciones y la comparación de los resultados con los casos reales. En la mayoría de los casos los experimentos la evaluación se realiza de forma individual, extrayendo los resultados globalmente.

Estas razones nos han hecho decidimos por mejorar el sistema, incluyendo Beacons que incrementan la precisión obtenida con

el sistema WiFi. Dichas balizas son totalmente compatibles con el sistema y han sido distribuidas por la misma marca comercial, que ha desarrollado librerías que permiten el uso de estas balizas. Estos Beacons se basan en la tecnología IEEE 802.15, también conocida como Bluetooth. Con esto conseguimos un sistema mixto consistente en la integración de la tecnología 802.11 con la 802.15.

5.6.2 Mapa de huellas WiFi + Beacons

Para posicionar los Beacons bluetooth nos basamos en los mapas de calor de la solución basada en WiFi del apartado anterior, aconsejando la ubicación de los mismos en las posiciones mostradas en la imagen adjunta, donde ▲ indica la ubicación de los mismos.

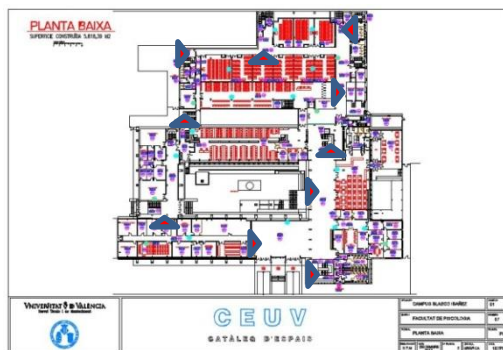


Imagen 34: Ubicación propuesta de los Beacons bluetooth

Las principales características de los Beacons adquiridos son:

- Compatible con Bluetooth Low Energy para desarrollar aplicaciones móviles.
- Soportan todos los SmartPhones con capacidad Bluetooth Low Energy®, tanto en dispositivos con iOS7 como con Android 4.3+.
- Poseen una batería con una vida útil de un año.

- Poseen un SDK para iOS y para Android Mobile, con código fuente que permite habilitar las aplicaciones móviles existentes o desarrollar otras nuevas.
- Configuración flexible y segura.
- Certificada CE, FCC (ID: 2ACCT-B0001A) e IC (ID: 11976A-B0001A).
- EMT aprobado (tolerancia electromagnética).
- Conformidad con RoHS.

De este posicionamiento de los Beacons adquiridos, se obtuvieron unos mapas de calor iguales a los que se habían obtenido sin las balizas, pero a las que hay que añadir los proporcionados por estos Beacons, de los que adjuntamos una muestra a continuación.



Imagen 35: Muestra de mapas de calor proporcionados por Beacons

5.6.3 Calibración

Cada vez que se ha realizado una modificación bien en la infraestructura física del edificio, como en la de la red, hay que realizar una nueva calibración de los puntos de medida. Por tanto, al instalar los Beacons bluetooth se han calculado las potencias provenientes de los AP's y los Beacons, obteniéndose

coberturas de los puntos de acceso iguales a las obtenidas en el caso anterior, añadiéndose la potencia suministrada por los Beacons. En este caso, para realizar la toma de medidas se precisa la utilización de un dispositivo móvil calibrado. En nuestro caso vamos a utilizar el mismo dispositivo que se utilizará posteriormente en las pruebas de usuario, se trata de un Nexus 4. Dicho dispositivo se une al portátil que realiza las mediciones mediante un cable USB⁹⁵ 2.0.

Para realizar la medición se realiza una rutina similar al caso anterior, pero con la diferencia que en este caso no se puede realizar la medición ni mediante una antena externa ni mediante la de interior del portátil, debiendo inhabilitarse ambas. En este caso usamos el portátil conectado al terminal móvil, que es el que actúa como antena receptora. Por ello, los pasos son:

- 1) Se conecta el dispositivo móvil al portátil mediante el cable USB.
- 2) Se toma el dispositivo móvil, se deja habilitado el acceso mediante WiFi, y se deshabilita la conexión a la red WiFi Eduroam.
- 3) Se pone en marcha del software MMT y se selecciona el edificio sobre el que se van a realizar las mediciones.
- 4) A continuación se ejecuta la aplicación Indoors del dispositivo móvil en “measurement mode”.
- 5) El siguiente paso a realizar es ejecutar el software MMT en el portátil, seleccionar el dispositivo móvil Android en Devices/Radio plugin, tras lo que hay que habilitar la opción de teléfono móvil e inhabilitar la de la antena interior del portátil mediante la deselección de

⁹⁵ USB es el acrónimo del anglicismo Universal Serial Bus, que se trata de un canal informático estandarizado que define los cables, conectores y protocolos utilizados en la comunicación entre dispositivos electrónicos y los periféricos. El 2.0 se refiere a la velocidad de transmisión entre dispositivos, en este caso es de una velocidad de hasta 480 Mbps.

windowswifisource. A continuación, se selecciona el dispositivo Android que va a realizar la medida, mediante la pestaña Devices, en la que elegimos “Setmap device”.

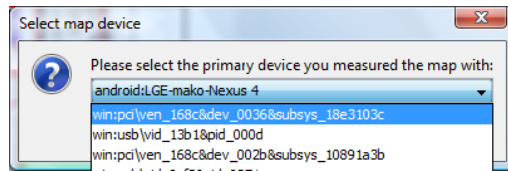


Imagen 36: Detalle de pantalla de selección de dispositivo para realizar la medición.

- 6) Una vez seleccionado el dispositivo hay que deshabilitar la WiFi del portátil, de modo que garanticemos todas las medidas se realicen sólo por la antena del móvil, no introduciéndose ninguna interferencia en la misma banda de frecuencias.
- 7) Una vez estos pasos, ya podemos realizar la calibración de cada uno de los Fingerprints de forma análoga al caso anterior, es decir, sin más que clickar sobre cada uno de los puntos distanciados tres metros y con las medidas comentadas.

El jueves 3 de julio de 2014 se realizó un nuevo calibrado, sobre el que se han realizado las pruebas de usuario. En dicha medición se tomaron 145 muestras y siete más que se realizaron el lunes 7 de julio de 2014, por estar en lugares no accesibles a esas horas, como la secretaría y cafetería.

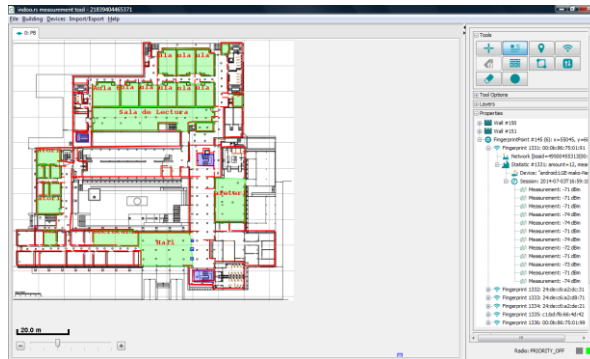


Imagen 37: Muestras tomadas en el calibrado.

La calibración constó de 145 Fingerprints, en intervalos de tres metros de separación. Una vez subida a la nube se accede al mapa de huellas digitales, se selecciona el botón de “Properties” del menú vertical, seleccionamos un punto de los que se ha realizado la medición, de forma que obtenemos información de interés tal como: la “Network”, que en este caso es la BSSID del punto de acceso; datos estadísticos; el dispositivo que realizó la toma de la muestra; y datos de la sesión.

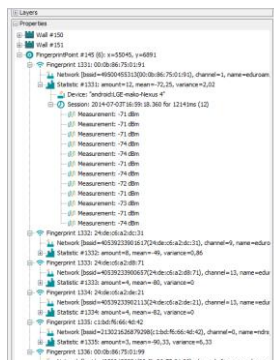


Imagen 38: Detalle de las propiedades de un Fingerprint ejemplo sobre el que se ha realizado la medida.

Una vez finalizadas estas tareas, ya se encuentra calibrada la aplicación, permitiendo el acceso a los usuarios finales.

5.6.4 Pruebas

Una vez instalados los Beacons se realizó una prueba con dos usuarios experimentados en accesibilidad, comprobándose el aumento de cobertura en las zonas indicadas como sensibles o con menor recepción de potencia. Posteriormente se realizó una experimentación del sistema en usuarios finales que se describe en profundidad en el capítulo siguiente con una muestra de diez usuarios con distintas discapacidades.

5.6.5 Calibración de los Fingerprints

Para realizar la calibración de los Fingerprinting es necesario recorrer el edificio escaneando cada cierta distancia las señales recibidas (en nuestro caso cada tres metros), de forma que se almacenan los valores de fuerza de la señal recibida, así como la dirección MAC de cada AP accesible en cada punto. Este sistema parece tener mayor precisión cuanto mayor es la densidad de puntos en los que se han tomado valores durante el proceso de Fingerprinting (González Blázquez, Mulas Gómez, & Rivera Retamar, 2007).

Este proceso de escaneo de red se realiza sólo una vez y sirve para todos los usuarios que accedan a la misma mediante la aplicación para conseguir su ubicación y la orientación. Tan sólo sería necesario repetirlo en el caso que se produjeran cambios en las estructuras de la red inalámbricas o estructurales del edificio que acarreen cambios en la misma estructura. En nuestro caso, en cada ocasión que se realizaba una modificación del software, adecuando las características de la nueva aplicación a las del edificio, tomando muestras de la señal proveniente de cada AP y de la ubicación en la que se halla. Dependiendo de la estabilidad de la señal que llega, así como de la potencia de la misma, el software toma más o menos muestras de la señal de cada AP en cada punto, no siendo un número de estos constante.

Para realizar la toma de medidas en este caso, se precisa utilizar un dispositivo móvil calibrado. En nuestro caso vamos a utilizar el mismo dispositivo que se utilizará posteriormente en las pruebas de usuario, se trata de un Nexus 4. Dicho dispositivo se une al portátil que realiza las mediciones mediante un cable USB⁹⁶ 2.0.

En todas las ocasiones se ha realizado la medición sobre una superficie fija que mantiene siempre la misma distancia al suelo y que no produce reflexión sobre el mismo. Para realizarla se formaliza la siguiente rutina:

- 1) Se conecta el dispositivo móvil al portátil mediante el cable USB.
- 2) Se toma el dispositivo móvil, se deja habilitado el acceso mediante WiFi, y se deshabilita la conexión a la red WiFi Eduroam, que es la accesible en la Universitat de València.
- 3) Puesta en marcha de Measuring and Mapping Tool, herramienta desarrollada por indoo.rs[©].

Se accede al menú File y se selecciona “My Buildings”, apareciendo un listado de los edificios que tenemos en nuestra base de datos, bastará con seleccionar el edificio donde se va a realizar la toma de mediciones.

Al seleccionar el edificio, previamente subido a la nube, donde queremos realizar la medición, aparece la siguiente imagen donde se visualiza un mapa a escala de la planta del edificio donde se van a tomar medidas.

⁹⁶ USB es el acrónimo del anglicismo Universal Serial Bus, que se trata de un canal informático estandarizado que define los cables, conectores y protocolos utilizados en la comunicación entre dispositivos electrónicos y los periféricos. El 2.0 se refiere a la velocidad de transmisión entre dispositivos, en este caso es de una velocidad de hasta 480 Mbps.

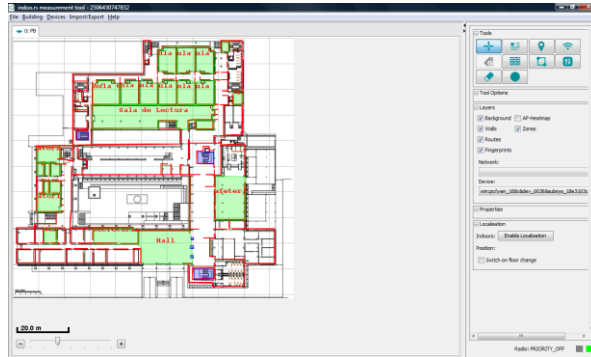


Imagen 39: Plano generado y seleccionado para realizar la toma de mediciones.

- 4) A continuación se accede al administrador de aplicaciones del dispositivo móvil y se pone en marcha la aplicación Indoors, modo measurement.

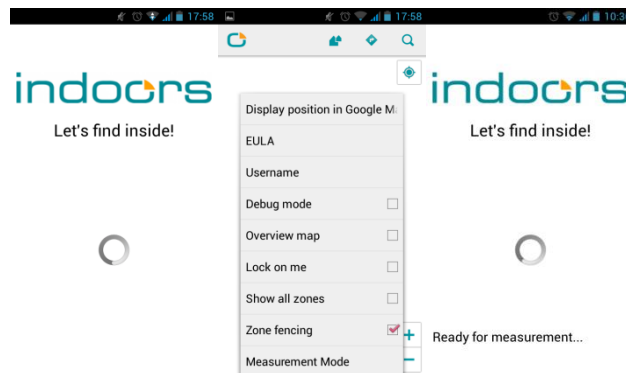


Imagen 40: Pasos para la selección del Measurement Mode en la toma de medidas en el dispositivo móvil

Como se observa en la última pantalla en la imagen previa, el dispositivo móvil ya se encuentra en modo de medida, esperando captar las señales provenientes de los puntos de acceso que se encuentran en el área de cobertura del punto donde se calcula la posición para, posteriormente, compararla y estimar en qué punto se encuentra.

- 5) El siguiente paso a realizar es en el software Measuring and Mapping Tool, en adelante MMT:



Imagen 41: Pantalla con selección del menú de herramienta “Device”

En el menú de herramientas nos encontramos con cinco pestañas: File; Building; Devices; Import/Export; Help.

Debemos seleccionar Devices, donde se encuentra un submenú con tres opciones: Radio Plugins; Calibration Wizard; Set Map Device.

Una vez en este punto, seleccionamos en primer lugar “Radio plugin”, mediante el cual vamos a seleccionar el dispositivo que va a realizar la medición. Nosotros vamos a realizar la medición mediante el dispositivo móvil, por lo que se debe habilitar la opción de teléfono móvil e inhabilitar windowswifisource, de modo que inhabilitamos la antena del portátil.

A continuación, debemos seleccionar el dispositivo Android que va a realizar la medida, para lo que se selecciona “Setmap device” en la pestaña Devices.

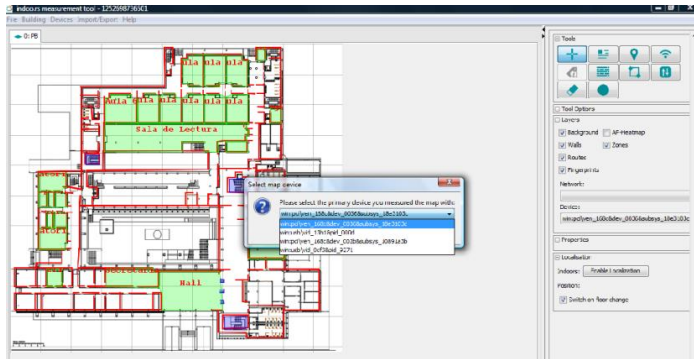


Imagen 42: Pantalla de selección de dispositivo para realizar la medición.

Como se observa, aparece un listado de todos los dispositivos que nos permite el software para realizar la medición, incluida la antena del portátil, aunque la hayamos inhabilitado. Hay que indicarle con exactitud el dispositivo a utilizar, ya que en caso no se realizara este paso, tomaría las mediciones del otro dispositivo, del señalado, y estaría inhabilitado, por lo que no recibiría señal alguna. Se selecciona el dispositivo Android Nexus. Por último, debemos comprobar que en el menú vertical derecho, en Device, también está seleccionado el dispositivo Android con el que se realiza la medida.



- 6) Una vez seleccionado el dispositivo con el que se va a realizar la medición, se accede al menú vertical derecho del software MMT. En dicho menú se encuentran cinco submenús: “Tools”; “Tools options”; “Layers”; “Properties”; “Localisation”.

En “Tools” nos encontramos con diez botones que nos permiten realizar distintas acciones, tales como: “Set Markers”, que permite ajustar el punto donde medir; “Properties” que permite seleccionar un grupo para mostrar sus propiedades; “Route”, que muestra la ruta entre dos puntos en el mapa; “Measurement Point” que

permite realizar las mediciones en el punto donde se clicka; “Create Beacon” que permite ubicar un Beacon bluetooth; “Wall drawer” que permite indicar una zona como si fuera una pared del mapa, de forma que no permite que se pase a través del mismo, un ejemplo podría ser una escalera, de forma que evitamos que trazara una ruta por ese punto o una zona cercana, evitando errores; “Zone drawer” que permite dibujar una zona, como de seguridad o de interés; “Portal drawer” permite crear otro portal; “Eraser”, que permite borrar zonas, redes, fingerprints, paredes;...; “Create recordings”, que permite realizar grabaciones para su uso posterior.



Imagen 43: Detalle de submenú Tools en el menú vertical del software MMT.

De todas estas herramientas que nos posibilita el software de medición, los que vamos a usar en el proceso de calibración son los de “Measurement Point”, el que se encuentra en cuarta posición con el icono  y el de “Eraser” .

A continuación hay que seleccionar la acción de medir, mediante el botón “Measurment Point” y habilitar método rápido (“Enable fast measuring”). Una vez seleccionada esta opción, nos aparece un pop-up⁹⁷ que nos indica que si seleccionamos esa opción se realizarán

⁹⁷ pop-up es un anglicismo utilizado en las aplicaciones y páginas web que significa ventana emergente.

las medidas más rápido pero que puede que el acceso a internet se inhabilite.

- 7) Una vez realizados todos los pasos previos, hay que deshabilitar la WiFi del portátil, de modo que todas las medidas se realicen sólo por la antena del móvil y no se introduzca ninguna interferencia en la misma banda de frecuencias que la deseada.
- 8) Para realizar la calibración de cada uno de los Fingerprints, basta con posicionarnos físicamente en un punto y, con el ratón sobre dicho punto, pulsar con el botón, indicando que se trata del punto del que se está realizando la medida, apareciendo la siguiente pantalla.

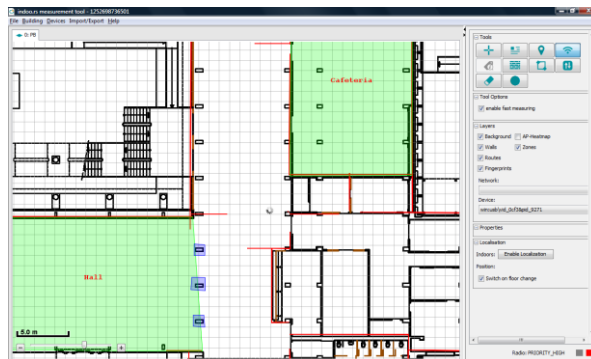


Imagen 44: Detalle de ejemplo de medida.

Como puede observarse, aparece un círculo en rotando hasta que realiza la medición completa de ese punto, momento en el que aparece uno continuo. Este procedimiento se repite cada tres metros, llegando un momento en que se han realizado todas las mediciones de la planta.

- 9) Finalmente faltará que el mapa, con las señales tomadas, esté accesible a todos los usuarios, para lo que se debe subir a la nube. Para ello, hay que ir de nuevo al menú de

herramientas horizontal que se encuentra en la parte superior, acceder a “File” y seleccionar la opción “Save to cloud”.

Consejos en el proceso de calibración:

- No llevar dispositivos que puedan interferir electrónicamente en la medición, tales como relojes, pulseras o mochilas con cierres magnéticos.
- Mantener otros dispositivos móviles lo más lejanos del portátil y del móvil de medida.
- Realizar las mediciones de la calibración en el mismo día, manteniendo las mismas condiciones físicas.
- Realizar la calibración sobre una superficie fija, que no produzca reflexiones y que permita que todas las tomas de medidas se hagan a la misma altura, variando sólo la posición respecto de los puntos cardinales.
- Realizar la calibración en condición de “normalidad”, es decir, sin carga excesiva de red, ni con gran número de usuarios que pueden producir reflexiones y/o refracciones de las señales.
- Realizar las mediciones a tres metros de distancia de las paredes y posicionándose de espaldas a la misma, de forma que nuestro cuerpo tapa posibles efectos no deseados, como el efecto multipath⁹⁸.
- Tomar al menos cuatro muestras en cada sala o área que se desee delimitar.

El jueves 3 de julio de 2014 se realizó un nuevo calibrado, sobre el que se han realizado las pruebas de usuario. En dicha

⁹⁸Multipath es un anglicismo utilizado en telecomunicaciones que indica la propagación de señales radio por medio de múltiples caminos, provocando un ruido en la señal directa

medición se tomaron 145 muestras y siete más que se realizaron el lunes 7 de julio de 2014, por estar en lugares no accesibles a esas horas y son las de la secretaría y la mitad inferior de la cafetería, que estaba cerrando.

Para comprobar que se ha realizado la medición correctamente, se clicka sobre el botón de “Properties” del menú vertical y seleccionar un punto de los que se ha realizado la medición. De esta forma se obtiene información de interés tal como: la “Network”, que en este caso es la MAC que tiene el punto de acceso del que recibe esta señal; datos estadísticos que incluyen la cantidad de muestras tomadas, la media de las mismas y la varianza; el dispositivo que realizó la toma de la muestra, en nuestro caso el Nexus 4; así como la datos de la sesión, tales como la fecha y hora de toma de medición y la medida de la potencia tomada en cada una de las muestras, expresada en dBm⁹⁹.

Una vez realizada la toma de muestras y subida a la nube, queda almacenada la información relativa a los puntos, con las potencias, ubicaciones y MAC's, de forma que se puede acceder y estimar la ubicación.

De esta forma, con el conocimiento de los puntos de Fingerprinting tomados, la primera vez que el usuario acceda al edificio y se conecte al servidor, se descargará a su dispositivo móvil los datos tomados. Si se diera el caso que el dispositivo móvil no tuviese suficiente capacidad computacional para realizar esta operación, no sería precisa la descarga de la base de datos, siendo en este caso el servidor el encargado de realizar todos los cálculos.

⁹⁹ dBm es una unidad absoluta de medida de potencia que corresponde a la expresada en decibelios (dB) y relativa a un miliwatio (mW).

A continuación, el usuario al acceder al sistema y cargar la aplicación, lo primero que realiza esta aplicación es escanear la red, de forma que obtiene las distintas potencias, los canales en los que se emite y la MAC de las distintas redes o puntos de acceso, desde el punto en el que se encuentra el usuario.

Una vez recibida la información del plano donde se halla el usuario, utilizando el algoritmo de k-ésimos vecinos más cercanos, se comparan los datos obtenidos por el usuario con la base de datos obtenida en el proceso de Fingerprinting para estimar el punto donde se encuentra ubicado el usuario. De igual forma, si no dispusiera de la suficiente capacidad computacional para analizar estos datos, enviaría los resultados del escaneo al servidor para que éste realice los cálculos pertinentes.

Finalmente, el usuario debe seleccionar el lugar de destino, enviando al servidor el edificio, la ubicación y el destino, con lo que el mismo devuelve la ruta que debe seguir el usuario final.

5.6.6 Conclusiones finales adoptadas

Los Beacon son unas balizas específicas de calidad y que se ajustan al sistema informático sobre la que se ha implementado la aplicación. Estas balizas son totalmente transparentes al usuario, evitándose la instalación de software adicional, lo que provocaría que fuera un sistema poco práctico e incómodo para el uso común.

Por otro lado, la aparición de obstáculos en los ambientes interiores, tales como las máquinas, paredes, pasillos, áreas abiertas, metales, etc..., producen ruido aleatorio en las mediciones de los sensores, lo que incide sobre la fiabilidad de los datos recogidos por los Beacons.

Estas razones, así como la correcta instalación de los puntos de acceso de la red, ha hecho que se llegue a la conclusión que el

adaptar Beacons no aporta en nuestro caso una mejora significativa.

CAPÍTULO 6: EXPERIMENTACIÓN DE USABILIDAD DE LA APLICACIÓN CON USUARIOS FINALES

6.1 Introducción

Para la experimentación y prueba de la aplicación desarrollada en el marco del estudio, se va a realizar un análisis de la usabilidad de la misma.

Según la Organización Internacional de Estandarización (ISO) la usabilidad se define conforme a las normas ISO/IEC 9126 (ISO & IEC, 2004) y la ISO/IEC 9241 (DIN, 1998). En la primera de ellas se refiere a usabilidad como: "la capacidad de un software de ser comprendido, aprendido, usado y ser atractivo para el usuario, en condiciones específicas de uso", centrándose en los atributos internos y externos del producto, los cuales contribuyen a su usabilidad, funcionalidad y eficiencia. Por lo tanto, la usabilidad no sólo depende del software a evaluar sino también del usuario. La segunda norma define la usabilidad como: "efectividad, eficiencia y satisfacción con la que un producto permite alcanzar objetivos específicos a usuarios específicos en un contexto de uso específico".

Por otro lado, Nielsen la definió como el nivel con el que un producto se adapta a las necesidades del usuario y puede ser utilizado por los mismos para lograr unas metas con efectividad, eficacia y satisfacción en un contexto específico de uso (Nielsen, 1994).

Hay que notar que la medición directa de la usabilidad es muy compleja, debiendo aproximarnos mediante medidas indirectas o medidas de los atributos que componen el constructo 'usabilidad'. Así, según diversos estudios basados en estas ideas, la usabilidad se compone en mayor o menor medida de Efectividad, Eficiencia y Nivel de Satisfacción (Alcantud, 1998;

Alcantud et al., 2012). A su vez la Eficiencia es compleja de medir, para lo que hay tres constructos, según Alcantud, que son:

- Facilidad de aprendizaje (learnability): El sistema debe ser fácil de aprender a utilizar de forma que el usuario pueda empezar rápidamente a trabajar con él.
- Memoria: El sistema debe ser fácil de recordar para utilizarlo después de cierto tiempo y sin la necesidad de volver a aprenderlo todo de nuevo.
- El nivel de retroalimentación en la interacción (retainability) o el control de errores (del sistema y del usuario).

La usabilidad se debe evaluar conforme a diferentes procedimientos en función del momento del desarrollo del prototipo y de los recursos disponibles, pudiendo ser: analítica; experta; por observación; por examen; experimental (Alcantud, 1999).

En el presente experimento, se va a realizar una evaluación experimental, ya que se pretende estudiar una aplicación ya implantada y su rendimiento en los usuarios finales. Para ello, se va a realizar la prueba del sistema piloto en un edificio público perteneciente a la Facultat de Psicologia de la Universitat de València. El sistema a estudiar se basa en la tecnología WiFi¹⁰⁰, y se van a realizar las sesiones con usuarios con discapacidad, que posean formación universitaria o que estén cursando estudios universitarios, tanto de grado como conducentes a doctorado, y se han realizado las pruebas con personas conocedoras del área y con ajenas a dicha área.

Las sesiones se han realizado bajo las mismas condiciones psicofísicas en todos los usuarios, evitando disparidad en las

¹⁰⁰ WiFi es el acrónimo de Wireless Fidelity.

condiciones de carga de red entre las distintas sesiones. Para ello se han realizado las sesiones en dos turnos: uno por la mañana, en sesiones de 10:00 y de 12:30 h en sesiones realizadas en los días 15, 17 y 18 de julio de 2014, donde nos encontramos en situación de plena carga de la red; y otro en turno de tarde, de 16:30 y 18:00 h en los casos de las pruebas de los días 30 y 31 de julio de 2014, donde la carga de red es mínima. En todos los casos se ha utilizado la misma aplicación, mismo dispositivo móvil, mismas tareas, se han tomado los mismos datos, y se han mantenido las mismas potencias y canales de los puntos de acceso WiFi.

6.2 Metodología de las sesiones

En las sesiones se va a encontrar siempre al menos un investigador junto al usuario y en la misma se va a realizar la siguiente metodología por parte de todos los usuarios:

1. Se le entregan los documentos de consentimiento de tratamiento de los datos conforme indica la normativa de la LOPD¹⁰¹ vigente en este país, la Ley Orgánica 15/1999, de Protección de Datos de Carácter Personal, indicándosele que se van a recoger imágenes que serán tratadas para investigaciones y publicaciones de investigación, para lo que se le requiere el consentimiento.
2. Se le explica al usuario el funcionamiento de la aplicación de forma que conozca el funcionamiento de la misma y del terminal. De este modo, se le puedan dar las instrucciones de forma concreta y así las ejecutará en las actividades propuestas. Para ello se le indica que se va a utilizar un móvil Nexus 4¹⁰², que se trata de un

¹⁰¹ LOPD: es el acrónimo de Ley Orgánica de Protección de Datos. (www.agpd.es)

¹⁰² Nexus 4 es una marca registrada de Google Inc. y LG

Smartphone de gama alta desarrollado por Google¹⁰³ en colaboración con LG¹⁰⁴, que dispone de tecnología Android.

3. A continuación, se le deja una navegación libre por la aplicación, de forma que se familiariza con el uso de la misma y, en caso que tenga dudas sobre el funcionamiento de la misma, realice las preguntas para su aclarado. Para este proceso se realiza dicho paso durante una duración máxima de cinco minutos en los que el usuario utiliza libremente, tanto la aplicación desarrollada como el dispositivo móvil que se le cede para realizar la prueba. Una vez concluida esta fase, se le pregunta al usuario por la sensación que le ha proporcionado tanto el móvil, en caso que no haya usado uno con tecnología Android con anterioridad, como la aplicación.
4. Una vez realizado este paso, se le indica una ruta específica a realizar, que es la denominada Actividad 2, en la que el usuario debe desplazarse desde el Hall, situado en la entrada del edificio, donde se encuentra el directorio del edificio, hasta la cafetería que se encuentra al este del edificio. Para ello debe acceder la aplicación, comunicárselo al investigador para que tome los tiempos de realización de cada etapa, acceder al botón de Selección de edificio y seleccionar el edificio “PsicologíaJ6” (tiempo 1, T1). Una vez seleccionado el mismo, deberá comprobar que la ubicación que le indica la aplicación es correcta e indicarlo. Tras esto, deberá acceder al botón de selección de ruta y seleccionar el

¹⁰³ Google es el acrónimo de Google Inc., cuyo domicilio social está ubicado en 1600 Amphitheatre Parkway, Mountain View, CA 94043, Estados Unidos.

¹⁰⁴ LG es una abreviatura de Lucky Goldstar y se trata de una empresa de electrónica con sede en Seúl, Corea del Sur.

destino “Cafetería” (tiempo 2, T2). A continuación la aplicación resetea la ubicación, carga el mapa con la ruta seleccionada, y lo devuelve al dispositivo móvil con toda la información referente al edificio, la ruta y la ubicación del dispositivo y por tanto del usuario, indicándosele a la aplicación los pasos o la ruta que debe seguir hasta llegar al destino. Esta información se refresca cada 10 segundos, por lo que se le indica a los usuarios que cada 4 o 5 pasos realicen una parada para que el sistema reubique al usuario y así las indicaciones sean todo lo correctas que el sistema permite. Aun así, se debe tener en cuenta que la mayoría de los dispositivos móviles inteligentes actuales disponen de acelerómetro, giroscopio y brújula. La aplicación usa estos dispositivos para realizar una predicción del movimiento del dispositivo y de su ubicación, por lo que al detenerse, la aplicación “piensa” que sigue en movimiento y predice una “futura” ubicación, por lo que debe recalcular la posición. Si no realizamos una parada de unos 5 segundos cada 5 metros aproximadamente, el sistema detectaría el movimiento continuo y predeciría incorrectamente la ubicación, ya que la velocidad no es constante, sumándose el error, siendo finalmente inadmisibile. Si se realiza esta parada cada 5 metros aproximadamente, el sistema va reajustándose, con lo que el error no se arrastra. Cuando se llega al destino seleccionado, el usuario debe indicárselo al investigador. De esta manera, en la presente actividad se realizan las siguientes acciones: navegación dentro de la aplicación, selección de edificio, selección de ruta, navegación por el edificio por la ruta A2 (desde el Hall a la Cafetería). Así mismo, se calculan los siguientes tiempos de realización de actividad: tiempo en seleccionar el edificio donde nos encontramos (T1), tiempo en

seleccionar la ruta A2 (T2), tiempo en realizar la navegación desde el Hall a La Cafetería (ruta A2) (T3), tiempo en realizar la actividad completa (TT).

5. Una vez realizada la ruta A2 (Hall a Cafetería), se le indica que salgamos de la cafetería y que se salga de la aplicación para comenzar de nuevo desde el principio y calcular tiempos en la siguiente ruta.
6. Se le indica que debe realizar la Actividad 3, en la que el usuario debe deambular desde la entrada de la cafetería hasta la secretaría de la Facultad de Psicología. El método de realizar la actividad es idéntico al de la Actividad 2 pero cambiando destinos.

Los pasos a realizar:

- Acceder al escritorio, encontrar la aplicación y acceder a la misma.
- Una vez abierta la aplicación, buscar el botón para seleccionar el edificio y seleccionar la opción “Psicología J6”.
- Comprobar la ubicación correcta.
- Buscar el botón que permite la selección de ruta y pulsarlo, seleccionando “Secretaría” y siguiendo los pasos de la ruta indicados. Antes de comenzar, comunícaselo al investigador.
- Una vez llegado al destino, hay que comunicárselo al investigador y compartir sus impresiones, tanto de la ruta como del uso de la aplicación.

De forma análoga al caso anterior se calculan los tiempos T1, T2, T3 y TT de esta actividad y se registran para su posterior análisis.

7. Con esto hemos realizado una iteración de cada una de las actividades y hemos registrado los tiempos. Como se ha concluido en otros estudios (Alcantud et al., 2012), se va a realizar este procedimiento en tres iteraciones, de forma que se estudia el aprendizaje o learnability como constructo de la eficiencia.
8. De los datos obtenidos se ha realizado un análisis cualitativo y otro cuantitativo que se tratarán posteriormente.

6.3 Especificaciones técnicas de los dispositivos utilizados en las sesiones

En la experimentación se han utilizado tres tipos de dispositivos para capturar información y luego procesarla y hacer el análisis. Un dispositivo que es el móvil que se utiliza para acceder a la aplicación bajo estudio y otros dos que capturarán señales de audio mediante una grabadora profesional, y de video/audio mediante una cámara digital compacta.

El dispositivo móvil utilizado para la toma de medidas de señales de potencia y para la experimentación es el Nexus 4, que se ha adquirido y que posee unas especificaciones técnicas de alta gama, de forma que proporciona la mayor conectividad posible.

Las especificaciones técnicas del Nexus 4, se pueden extraer de <http://www.google.es/nexus/4>, donde se observa que: se trata de un terminal con una pantalla Gorilla[®] Glass 2 de Corning[®] de 4.7 pulgadas en la diagonal principal; que permite conectividad WiFi y Bluetooth; con sistema operativo Android 4.2 (Jelly Bean); y que posee acelerómetro con el que es capaz de calcular el cambio de la velocidad del dispositivo en el espacio, giroscopio que mide y mantiene o cambia la orientación espacial del terminal móvil, barómetro que calcula la diferencia de

altitud entre el punto donde se encuentra el dispositivo móvil y un punto de referencia como puede ser el nivel del mar y brújula que se basa en la propiedad magnética de las agujas magnetizadas y que utiliza el magnetismo terrestre, sirviendo de orientación.

Para que la aplicación funcione correctamente, deberán realizarlo dicho dispositivo móvil, por lo que habrá que realizar una calibración previa.

Para ello, el sujeto debe aproximarse al directorio de entrada de la Facultad de Psicología, levantar el móvil y girarlo tres vueltas, con el objetivo de una correcta orientación de su brújula interior hacia el punto cardinal Norte. Una vez esta calibración, se deberá poner en funcionamiento la aplicación ISMO.

6.4 Pruebas de usuario final

La aplicación se va a probar mediante el uso por parte de un grupo de usuarios de diversas características. Para ello se ha realizado la captación de los mismos mediante el contacto con personas pertenecientes a diversos colectivos con discapacidad de la Comunidad Valenciana, ya que el público objetivo para los que está pensada la aplicación es personas con problemas en la orientación en edificios de concurrencia pública.

Para conseguirlo se recurrió en primer lugar a la Unidad para la Integración de Personas con Discapacidad de la Universidad de Valencia, que se encuentra en la planta baja de la Facultad de Valencia, y, simultáneamente, distintas asociaciones y organizaciones sin ánimo de lucro.

El objetivo era testarlo con dos grupos de usuarios: por un lado con aquellos que habitualmente acceden a la Facultad de Psicología, y que, por tanto, conocen el entorno en el que van a desplazarse tras su ubicación; por otro lado, con aquellas

personas que no han accedido o lo han hecho de forma puntual y que no conocen el edificio.

Al contactar con dichas asociaciones se les explicó que se trataba de realizar unas pruebas para comprobar el funcionamiento de una aplicación que funciona de forma similar al GPS pero basado en la red WiFi para ubicar y orientar a los usuarios en entornos de interiores, donde no alcanza a ubicar el conocido sistema GPS.

Una vez un usuario mostró su interés en formar parte de este estudio, se contactó con el mismo y se procedió a realizar la prueba en el día y hora convenida por ambas partes, de forma que todos los usuarios las realicen bajo las mismas condiciones.

6.4.1 Procedimiento de prueba

El procedimiento realizado en la prueba con los usuarios seleccionados es el siguiente:

1. Explicación del funcionamiento de la aplicación mediante la red WiFi.
2. Puesta en marcha de la aplicación, que se hallaba en el escritorio del dispositivo móvil utilizado (Nexus 4).
Cada prueba consta de tres actividades: la primera que consiste en deambular por el área de interés libremente; las otras dos consisten en alcanzar un objetivo que se le indica.
Las que tienen como objetivo seguir las indicaciones de la ruta indicada para el objetivo, se han dividido en tres secciones: “Selección de Edificio”, “Selección de ruta” y “Seguimiento de trayecto”.
3. En primer lugar habrá que, una vez accedido a la aplicación, seleccionar mediante el botón Edificios, señalado en rojo, el edificio “Psicología J6” que es sobre el que realizaremos las pruebas.

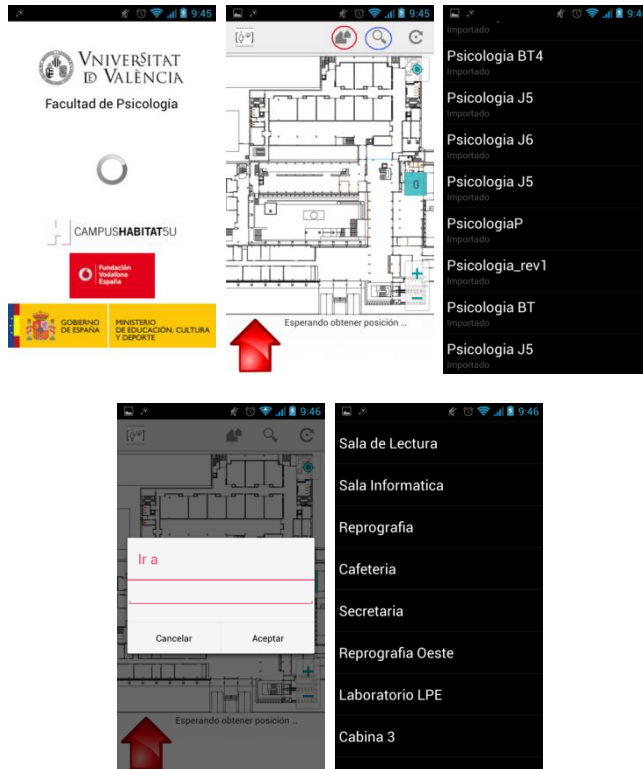


Imagen 45: Fases de ejecución de aplicación

4. Una vez seleccionado el edificio hay que indicarle a la aplicación el destino que se quiere obtener, de entre los posibles.
5. Una vez realizada esta tarea, se espera que el sistema devuelva la ubicación actual, así como el plano de la planta donde se encuentra el sujeto y la ruta que debe seguir hasta que se alcanza el objetivo planteado.

6.4.2 Grupo de usuarios

Para la captación de usuarios se recurrió a la Unidad para la Integración de Personas con Discapacidad de la Universidad de Valencia, que se encuentra en la planta baja de la Facultad de Valencia. Por otro lado, también se contactaron con distintas asociaciones y organizaciones sin ánimo de lucro, tales como:

Confederación de personas con discapacidad física y orgánica de la Comunidad Valenciana¹⁰⁵, COCEMFE, CV; la Asociación de Lesionados Medulares y Grandes Minusválidos Físicos¹⁰⁶, ASPAYM CV; la Asociación Pro Personas con Discapacidad Intelectual¹⁰⁷, ASPRONA; así como con la Delegación Territorial de la ONCE de Valencia¹⁰⁸.

De estos contactos se extrajo un grupo de diez usuarios, de edades comprendidas entre los 22 y los 42 años. De ellos siete son varones y tres mujeres. Uno posee discapacidad visual, seis motórica, uno auditiva, uno posee varias disfunciones como consecuencia de un derrame cerebral si bien la más visible es la cognitiva, debido a que tiene muy poca capacidad de retención de información y uno no posee ningún tipo de discapacidad. En la siguiente tabla se indica un resumen de estos datos de los usuarios que han realizado la prueba.

USUARIO	EDAD	SEXO	DISCAPACIDAD	CAUSA	NIVEL DE ESTUDIOS	OBJETIVOS
1	39	Varón	Visual, motórica y cognitiva	Derrame cerebral	Universitarios	SI
2	22	Mujer	Auditiva	Natales	Estudiante universitaria	SI
3	41	Mujer	Motórica	Amputación	Universitarios	SI
4	39	Mujer	Motórica	D10	Doctorado	SI
5	26	Varón	Visual	Natal	Estudiante Universitario	NO
6	36	Varón	Motórica	PCI	Estudiante	SI

¹⁰⁵ www.cocemfecv.org

¹⁰⁶ www.aspaymcv.com

¹⁰⁷ www.asprona.es

¹⁰⁸ www.once.es

					Universitari o	
7	39	Varón	Motórica	D3	Doctor	SI
8	29	Varón	Motórica	C5-C6	Estudiante universitari a	SI
9	42	Varón	Motórica	Ictus	Doctorado	SI
10	38	Varón	Sin discapacidad		Doctorado	SI

Tabla 4: Resumen de los usuarios que han participado en las sesiones

A todos estos usuarios se les convocó en el Hall de la Facultad de Psicología de la Universitat de Valencia. Se les explicó en primer lugar el funcionamiento del sistema, el modo de conectividad, las propiedades más reseñables, así como el objetivo de la prueba. Una vez realizado este paso, se les indicó que debían firmar consentimiento para el tratamiento de datos.

A continuación se les tomaron datos para su análisis posterior, tras lo que se le realizó una encuesta previa para conocer los conocimientos que disponen tanto en el uso de móviles como del sistema.

Una vez recogidos estos se le realizó la prueba, consistente en tres iteraciones de las dos rutas indicadas.

Finalmente se le realizó una encuesta a posterior para que nos mostraran la percepción de la aplicación y nos indicaran posibles mejoras a añadir antes de la versión definitiva.

6.5 Gráficas de tiempo de usuarios por actividad

Inicialmente se plantearon cinco actividades, de las que se escogieron para la experimentación estas tres por ser las que contenían el mayor número de acciones en el uso de las aplicaciones móviles.

- ACTIVIDAD 5: Navegación libre: Accede a la aplicación y navega libremente.
- ACTIVIDAD 2: Navegación desde el Hall a la Cafetería.

- **ACTIVIDAD 3:** Navegación desde la Cafetería de la Facultad a la Secretaría de la misma.

Hay que notar, que la “Actividad 5” sólo se realizó en la primera iteración, ya que era una actividad planteada para el aprendizaje en el uso de la aplicación. De igual forma, esta actividad precisó de más de cinco minutos indicados como límite, en el caso de usuario con discapacidad visual, ya que hubo que explicarle el funcionamiento del dispositivo Android, ya que nunca había utilizado uno. Las otras dos actividades planificadas y no realizadas fueron: la Actividad 1, que consistía en instalar la aplicación, pero que no se realizó ya que es un prototipo y no tiene sentido realizar esta actividad hasta que no tengamos una versión “definitiva”; la Actividad 4, que consistía en realizar otra ruta más, pero tras deliberar los investigadores de la Unidad de Acceso, se llegó a la conclusión que con realizar tres iteraciones de estas dos rutas, era suficiente en esta fase de desarrollo de la aplicación.

Además, las actividades han sido divididas en tres subactividades: Selección de edificio; Selección de destino; Seguimiento de ruta indicada. De cada una de ellas se ha calculado los tiempos empleados en cada iteración, actividad y subactividad.

Puesto que el número de usuarios finales que han realizado la experimentación o prueba no es lo suficiente para extraer datos estadísticos por perfiles de usuarios, se van a sacar las conclusiones sobre los datos extraídos en los usuarios en cada una de las actividades, indicando los datos más reseñables y la causa de este dato. En el Anexo I se pueden ver los datos de todos los tiempos de cada actividad por usuarios, si bien, puesto que el Usuario 5, el usuario invidente, no pudo realizar las actividades, se han extraído los tiempos de este usuario ya que

han sido considerados como un outlier¹⁰⁹, por ello en las gráficas se visualizan todos los usuarios menos este, ya que su comportamiento podría distorsionar la realidad.

6.5.1) Actividad 2

La actividad 2 consiste en desplazarse desde el Hall del edificio de Psicología de la Universitat de València a la Cafetería (ruta A1) situada en el este de la planta baja de la misma. Mediante dicha actividad se realizan las siguientes acciones: Navegación dentro de la aplicación, selección de edificio, selección de ruta, navegación en el edificio a través de la ruta A1. De estas acciones se calculan los tiempos empleados en realizar la selección del edificio, la del destino, el tiempo en realizar la ruta desde el Hall hasta la Cafetería y el tiempo total empleado en realizar toda la actividad.

De estos tiempos vamos a estudiar los tiempos de las tres primeras subactividades (edificio, ruta y trayecto), no analizando el tiempo total, ya que entre actividad y actividad cada usuario destina un tiempo al relax o a comentar diversos aspectos de la actividad o aplicación, tiempos que no son relevantes en los de ejecución.

En primer lugar observamos que en la “Selección del edificio” sí que se produce un aprendizaje claro en los usuarios, salvo en dos ocasiones: el usuario 1 que, si bien entre las iteraciones 1 y la 3 se observa aprendizaje, con una disminución del tiempo empleado del 25%, en la iteración 2 se produce un incremento de más del 100%, pasando de 20 a 43 segundos, debido a que se equivoca en la selección del edificio; el otro caso es el del usuario 7, que si bien no se equivoca de edificio, sí que le ocurre un error en el listado, teniendo que retroceder, lo que produce un

¹⁰⁹ Outlier es un anglicismo utilizado en estadística que significa valor “atípico” y suele despreciarse.

incremento del 80%. Hay que notar que las actividades suponen un tiempo de ejecución relativamente bajo, de pocos segundos, por lo que una desviación pequeña supone elevada porcentualmente.

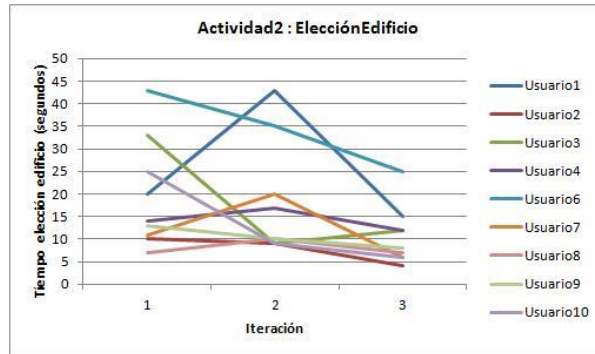


Imagen 46: Tiempo empleado en la actividad 2, subactividad Elección Edificio

Dentro de la actividad 2, la subactividad “Elección de destino” es una tarea sencilla en la que los usuarios precisan un tiempo prácticamente constante, con un ligero aprendizaje y con tiempos relativamente breves en todos los casos salvo en dos: el usuario 1 que precisa mayores tiempos, es el usuario que posee cierto retraso cognitivo y campo visual reducido, debidos a un derrame cerebral que padeció; el otro caso que precisa de tiempos más elevados es el usuario con parálisis cerebral que realizaba los movimientos con más lentitud que los demás debido a la naturaleza de sus movimientos. En este último también se observa que, pese a que se observa un aprendizaje, en la tercera iteración emplea menos que en la primera pero más que en la segunda sin una razón aparente a destacar.

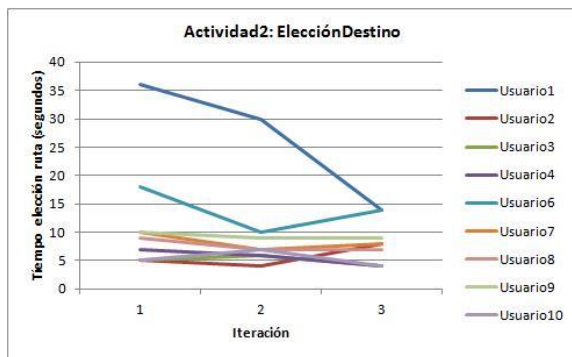


Imagen 47: Tiempo empleado en la actividad 2, subactividad Elección de Destino

Si bien las dos subactividades previas nos indican que hay un ligero aprendizaje en la ejecución de tareas, es en la tarea de “Seguimiento de rutas” donde se aprecia más este constructo. La principal razón para que esto ocurra es que el tiempo de ejecución es mayor, lo que incrementa el tiempo de observación.

Hay que destacar que en todos los casos, salvo en los usuarios 8 y 9, se produce este aprendizaje de forma clara. La razón por la que no se visualiza este aprendizaje en estos dos usuarios es porque se realizó la prueba en condiciones que podríamos llamar adversas, esto es, se realizaron el 31 de julio de 2014 por la tarde y hay que tener en cuenta que es la víspera de comienzo oficial de vacaciones estivales, con lo que se produjo un cambio en las potencias emitidas por los puntos de acceso, llegando a la desconexión de alguno de los puntos de acceso, lo que produjo que la orientación no fuera correcta, ya que no recibía las señales que se habían almacenado, lo que produjo un retardo en la recepción de la ubicación y orientación y una mala realización de esta. Es decir, la actividad se pudo realizar pero con unos retardos importantes, llegando a ser de minutos.

En el resto de usuarios, salvo en el Usuario 3 que se observa un comportamiento prácticamente plano, si bien hay un ligero aumento de 7 segundos entre la iteración 1 y la 2, este

incremento no es apreciable y se observa que disminuye en la iteración 3. En los demás se aprecia un aprendizaje claro sobre todo entre la iteración 1 y la 2.

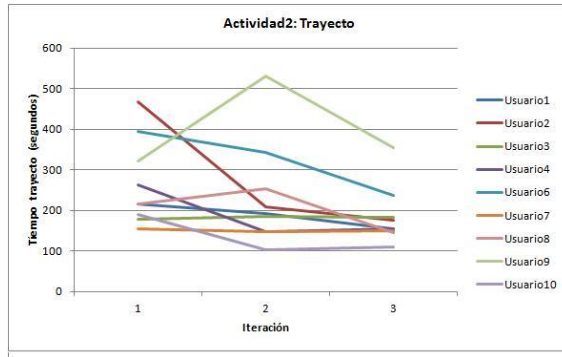


Imagen 48: Tiempo empleado en la actividad 2, subactividad Trayecto.

6.5.2) Actividad 3

La actividad 3 consiste en desplazarse desde la Cafetería a la Secretaría del centro (ruta A2), situada en el suroeste del edificio de Psicología de la Universitat de València, ambos en la planta baja del mismo. Mediante dicha actividad se realizan las siguientes acciones: Navegación dentro de la aplicación, selección de edificio, selección de ruta, navegación en el edificio a través de la ruta A2. De estas acciones se calculan los tiempos empleados en realizar la selección del edificio, la del destino, el tiempo de ruta desde la Cafetería hasta la Secretaría del mismo y el tiempo total empleado en realizar la actividad.

Al igual que en la actividad anterior vamos a estudiar los tiempos de las tres primeras subactividades (edificio, destino y ruta), no analizando el tiempo total.

De la observación se concluye que en la subactividad “Selección del edificio”, sí que se produce un aprendizaje claro en los usuarios, salvo en dos ocasiones: una en la que el Usuario 7 busca los edificios por orden alfabético y por eso aumenta el

tiempo que utiliza en la segunda iteración, volviendo a realizar el mismo tiempo en la tercera que en la primera iteración.; por otro lado, también se observa que hay otro usuario, el número 4, que en la última iteración tarda un poco más de tiempo debido a congestión en la red al cargar el edificio.

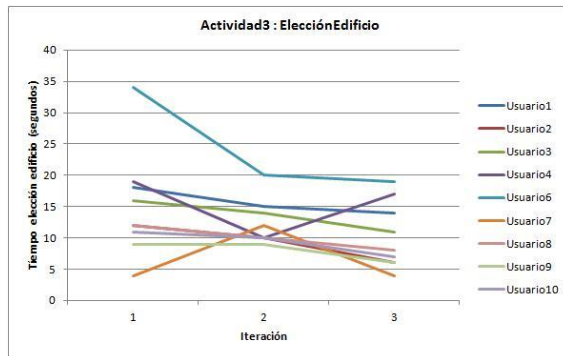


Imagen 49: Tiempo empleado en la actividad 3, subactividad Elección Edificio.

En cuanto a la tarea de “Elección de ruta” se observa que sí que tiene lugar el aprendizaje en la tarea, si bien se observa una ligera desviación en el usuario 7 sin causa a destacar.

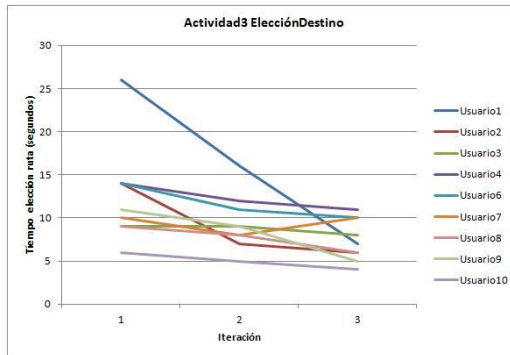


Imagen 50: Tiempo empleado en la actividad 3, subactividad Elección Destino.

En la tarea de seguir el trayecto conforme indica la ruta, en la aplicación nos encontramos con que no hay un aprendizaje tan claro como en el caso anterior, más aún en tres casos los tiempos

aumentan conforme aumenta la iteración, por lo que no se puede decir que se produce aprendizaje.

Los tres usuarios donde más se aprecia este no aprendizaje son los dos que realizaron la prueba el último día, y de entre estos dos, se aprecia más en el último en realizarla, lo que apoya nuestra hipótesis del cierre de AP's o redes. Por otro lado, se observa que el tercer usuario que más tiempo precisa es el que usa silla eléctrica para desplazarse, esto parece razonable ya que, finalmente se ha observado que los elementos electromagnéticos producen distorsión sobre la señal magnética, aumentando dicha distorsión con la proximidad entre el móvil y el elemento que provoca la distorsión. Esta conclusión se ha observado en los dos usuarios que han utilizado silla con motor y que al acercar los elementos electromagnéticos, necesarios para dirigir la misma, producían distorsión y desubicaba al usuario.

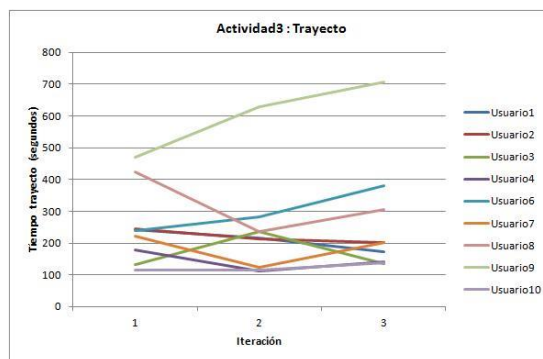


Imagen 51: Tiempo empleado en la actividad 3, subactividad Trayecto.

6.6 Resumen de resultados

En primer lugar, se ha visualizado un aprendizaje claro en el uso de la aplicación desarrollada y testada por usuarios finales.

Los usuarios recordaban los pasos a seguir en la ejecución de las tareas.

Se han de ordenar los edificios de manera alfabética para que los usuarios precisen un menor tiempo.

La carga de la red provoca un incremento en el tiempo de carga del mapa sobre el terminal móvil.

En el seguimiento de la ruta, las rutas establecidas por la aplicación no tienen en cuenta los obstáculos. Para evitarlos, puesto que se conocen las zonas donde puede haber dichas trabas en la ruta, se puede trazar una pared ficticia, de forma que los usuarios no puedan acceder a las zonas sensibles. Esta opción está presente en la aplicación, pero no está implementada en la actual versión.

Deben delimitarse mejor las zonas destino, de forma que los puntos pertenecientes a dichas áreas queden perfectamente delimitados y se produzca el menor error posible.

Al finalizar las sesiones se les hizo una encuesta de satisfacción personal a los usuarios. Dicha encuesta consta de ocho preguntas cerradas y cuatro abiertas. En las primeras se recogen datos de contestación tipo Si / No o de valoración subjetiva de la aplicación en su experiencia. En las cuatro abiertas, el usuario puede expresar razones o motivos para su uso, que es lo que más le ha gustado de la aplicación y lo que menos, así como recomendaciones para la mejora de la aplicación antes de sacar la versión definitiva.

Los usuarios, ante la pregunta de “En general, qué les ha parecido la aplicación”, de los usuarios que han realizado la prueba, a 4 les ha parecido MUY BUENA la aplicación, a 5 (incluido un usuario invidente que no pudo llevar a término la prueba) le ha parecido BUENA (de los que un usuario indica que no dice MUY BUENA porque va lenta con la red WiFi) y a una persona le pareció MALA (desde el principio llegó

pensando y planteando que con un giroscopio funcionaría mejor, a pesar que se le explicó que usaba el giroscopio del móvil y la señal WiFi). Las opciones que se indicaban eran: muy buena; buena; regular; mala; muy mala.

De los 10 usuarios a todos ellos les pareció que los objetivos explicados por los investigadores, previos a la prueba, habían sido CLAROS. Las opciones eran: claros; correctos; indiferentes; complejos; muy complejos.

Ante la pregunta de si “Ha conseguido orientarse en el edificio”, cuatro de ellos indicaron que lo habían hecho CORRECTAMENTE; cinco que lo habían hecho EN ALGUNOS MOMENTOS y uno EN ABSOLUTO. Este último corresponde a la persona ciega que no consiguió ubicarse dentro del edificio debido a un mal funcionamiento con el TalkBack que usan los invidentes en el móvil. Software que introduce un retardo que no está preparado en la aplicación. Los valores de la escala son: Correctamente; En algunos momentos; No lo suficiente; En absoluto.

Ante la pregunta de si “Ha conseguido alcanzar los objetivos planteados mediante las rutas”, ocho de los diez contestaron que SI, uno que NO (la persona invidente) y uno NS/NC, aclarando que a veces sí y a veces no, que no puede decir que no le orienta pero no siempre correctamente, por lo que a su entender los ha alcanzado pero también influido por su conocimiento del lugar en alguna ocasión.

Ante la pregunta de si “Ha utilizado el sistema de sonido de la aplicación”, nueve de ellos si la utilizaron, no haciéndolo una de ellas por desconocimiento que podía utilizarlo, un error del investigador al no incidir en el funcionamiento hasta el final en que se dio cuenta que no lo estaba escuchando debido a que el sonido estaba al mínimo, era un día con mucho ruido ambiental.

Ante la pregunta de si “Le ha resultado intuitiva la aplicación”, 9 han contestado que SI y una que NO, le parece que “a una persona usual no le parece le será intuitiva, pero a mí sí porque sé mucho, porque soy un freaky de la informática”.

Tras la pregunta de si “La considera útil en su caso”, los usuarios han contestado afirmativamente en siete ocasiones (si bien uno de ellos especificó que sin afinar el sistema más No , pero que como idea y como realización Si, aunque le falta precisión); tres contestaron que No les resulta útil, siendo una de ellas la persona invidente que no pudo ejecutarla la aplicación correctamente e indicando los otros dos usuarios, que ellos se ubican perfectamente, que tienen muy buen sentido de la orientación y que, aunque funciona correctamente, creen que no les va a ser útil debido a su gran sentido de la orientación.

Ante la pregunta de si “La aconsejaría a sus amigos o conocidos”, los usuarios han contestado de forma afirmativa en ocho ocasiones, una ha indicado que No como está actualmente, sin hacer modificaciones y una persona ha indicado que No, si bien esta última es la persona invidente, que no la puede aconsejar debido a que no la ha podido utilizar correctamente.

Esto es lo relativo a las preguntas de respuesta cerrada. Como hemos comentado, tras estas hay cuatro preguntas abiertas y son: ¿Qué es lo que más le ha gustado de la aplicación?; ¿Qué es lo que menos le ha gustado de la aplicación?; ¿Qué aspectos mejoraría en la aplicación?; Otros aspectos a mencionar.

En cuanto a lo que más les ha gustado en la aplicación, podemos resumir como aspectos a destacar:

- La sencillez de uso. Que es muy intuitivo el sistema, la simpleza del sistema.
- La usabilidad de la misma.

- La no existencia de menú es muy correcta.
- La posibilidad de ubicación y localización, lo que proporciona muchas posibilidades para todas aquellas personas, con o sin discapacidad, que se orientan mal en los edificios.
- Lo bien que marca la ruta.
- Las instrucciones vocales.
- La orientación dentro del edificio, seas o no seas de este edificio, lo conozcas o no, si bien no es muy preciso sí que guía bien.
- En general, les gusta más la ruta azul que la brújula, a pesar que la flecha roja guía mejor.
- Se puede ampliar en la pantalla la planta.

En cuanto a lo que menos les ha gustado en la aplicación, podemos resumir como aspectos a destacar:

- El margen de error observado de aproximadamente unos 2 metros que se adelanta al llegar al destino.
- Las paradas cada X metros.
- Los fallos de conexión.
- El tiempo que tarda en ubicar.
- Los tiempos que no se ajustan bien al llegar.
- La precisión no es del todo exacta, no se ubica bien.
- Las distancias en silla no están claras. 2 metros qué son, dos o tres empujones con la mano en la silla?
- Al cumplir un objetivo que aparezca otra indicación.
- No poder utilizarlo (ciego).
- No saber cuándo hacer caso y cuando no.
- Retardo elevado.
- Que no esté implantada ya en todas las plantas del edificio.

Que aspectos mejoraría de la aplicación:

- El haber tenido que quitarse las bolsas de cierres magnéticos para evitar la interferencia.
- La velocidad de recálculo de la ruta.
- La precisión final.
- Orden de elección de salas (alfabético o posible selección).
- Posicionamiento no cada 10 segundos, sino continuamente.
- Sistema mixto (WiFi + osciloscopio de móvil) para realizar un cálculo mediante un algoritmo que indique la probabilidad de que te encuentres en ese punto.
- Problema de la WiFi.
- La ubicación correcta para invidentes.
- El retardo.
- Instrucciones más precisas.
- Sincronización de voz con la ruta.
- La buena y correcta ubicación.
- La conexión, los fallos que ha habido.
- Que estuviera implementado y fuera accesible en varias plantas.
- El retardo al llegar al destino.
- Que el acelerómetro previera las paradas del usuario.
- El estar mirando el móvil te hace parecer un idiota, todos se quedaban mirando, cree en los usuarios con discapacidad más severa puede hacerles parecer más tontitos y darles vergüenza preguntar.

Otros aspectos a mencionar:

- Le ha gustado mucho que coja la señal WiFi no usando MB de la señal de internet propia, ahorrando dinero a los usuarios en MB. Si cojo la aplicación de la EMT debo

utilizar mis MB de internet y si no tengo no puedo usarla.

- Los alumnos usuales no saben dónde se encuentran la mayoría de las aulas, con la aplicación se podrían ubicar fácilmente y lo ven muy útil.
- Falta conocer la gestión, a través de una ruta adaptada, al acceder a otros pisos dentro del mismo edificio.
- Indican posibilidad de realizar la aplicación para el uso de los invidentes en el mar, para que se orientaran correctamente. Deporte adaptado de vela, el ser los ojos de un invidente en el mar, la orientación en el mar, al salir del puerto hay que indicar donde se encuentra una boya u otra para que se orienten. O se orientan con el aire o hay que orientar al usuario invidente. En el mar no es importante o significativo el margen de error porque hay que rectificar el rumbo cada tres o cuatro segundos.
- Mayor audición, volumen.
- Voz de mujer.
- Botones de acceso muy buenos e intuitivos.
- Buena usabilidad.
- Flecha roja muy interesante.
- Es muy útil pero hay que mejorar la precisión.
- Las instrucciones vocales son más útiles al no tener que manejar con la mano el dispositivo.
- Poner paredes ficticias.
- Se deben coger muestras en los APs con mayor frecuencia para modificar la ruta en caso de peligro, aunque no se produzcan indicaciones al usuario, no se dan más instrucciones, como un sistema correctivo.
- Realización del plano en 3D y no solo en 2D.
- Avisar que hay que poner el móvil lejos del bolso.

Como resumen final, de las pruebas realizadas a los usuarios, podemos decir que:

Al 90% de los usuarios les pareció Buena o Muy buena la aplicación.

Al 100 % de los usuarios les pareció que los objetivos habían sido explicados de forma clara por los investigadores que los asistían en la prueba, tanto con respecto al funcionamiento de la aplicación como de los objetivos planteados en las actividades.

El 40 % de los usuarios han conseguido orientarse correctamente, el 50 % en algunos momentos y el 10 % no lo han conseguido dadas sus particularidades propias.

El 80 % de los usuarios ha conseguido alcanzar los objetivos planteados mediante las rutas, el 10 % no lo ha conseguido y el 10 % en algunos casos sí y en otros no lo consiguieron.

El 90 % utilizaron el sistema de sonido para guiarse.

Al 90 % le ha resultado intuitiva la aplicación, al otro 10 % la considera intuitiva para su nivel pero no considera que lo será para el resto, indicando que no lo es.

El 70 % de los usuarios la considera útil en su caso y para su uso diario.

El 80 % aconsejaría a sus amigos y conocidos el uso de la aplicación.

En cuanto a los factores más positivos, podemos indicar que: la posibilidad de ubicación y localización en entornos no conocidos por los usuarios, proporciona muchas posibilidades para todas aquellas personas, con o sin discapacidad, que se orientan mal en los edificios; se trata de una aplicación muy usable e intuitiva en su uso y fácil de recordar; el guiado

mediante el trazado azul les parece mejor, aunque la localización no fuera correcta les ayuda más que la brújula, si bien esta última les proporciona un guiado mejor; de igual forma el recibir las instrucciones mediante el sonido les parece una excelente idea.

En cuanto a lo que menos les ha gustado, podemos resaltar que: no están bien definidos los puntos pertenecientes a cada área destino, por lo que al llegar al destino no lo detecta bien y les hace entrar en el mismo (caso de cafetería) o los detecta antes de entrar (caso de secretaría); el hecho de que deban parar a una distancia determinada para que reubique al usuario les supone un inconveniente a algunos usuarios, inconveniente que no ven otros usuarios ya que, según han indicado “al llegar a un cruce lo normal es parar para tomar un camino u otro”; la precisión del sistema debería ser mejor.

Además de esto indicado por los usuarios, se ha concluido que hay diversos factores que producen interferencia en la ruta A2 (Cafetería a Secretaría):

Por un lado, la aplicación intenta guiar al usuario por la ruta más corta entre origen y destino, lo que propicia que al llegar a la esquina del pasillo que va desde el origen (la cafetería) al destino, al llegar al acceso hacia el Hall desde el pasillo, intente girar nada más llegar o detectar que se encuentra el usuario sobre el punto. Esto que puede considerarse lo óptimo en otras circunstancias, no lo es en este caso ya que en esa zona suele estar situada una figura de cartón de la Facultad y en múltiples ocasiones se colocan parabanes para incluir pósteres o trabajos de diversas asignaturas, tanto de grado como de máster.

Al llegar a este punto, la aplicación intenta que el usuario gire sin tener en cuenta los obstáculos. Los usuarios con visibilidad continúan y la aplicación los reubica e indica una ruta distinta

una vez pasada la zona de obstáculos. Si bien hay que notar, que en algunos casos la aplicación seguía guiando al usuario hacia la ruta establecida inicialmente, es decir, le indicaba un giro hacia la derecha, en dirección a la pared, lo que provocaba un retardo en la orientación correcta del usuario.

Por otro lado, al llegar al pasillo de secretaría se pasa de una superficie de unos diez metros de ancho a una de menos dos metros, produciéndose el efecto de túnel, lo que provoca una concentración de señales, tanto de señales a captar como de interferencias producidas por el efecto doppler¹¹⁰, refracciones, reflexiones,...provocándose efectos multipath. Si a esto se le añade que toda señal precisa de una de referencia y que cada toma de medida se ha realizado cada tres metros, la que se encuentra adyacente a las medidas del pasillo son las que se encuentran en otra estancia, tal como la secretaría. Esto ha producido que en ocasiones los usuarios hayan notado cierto retardo en la señal que reciben ubicándoles, a su vez que un cierto error al ubicarle en la secretaría cuando aún se encuentra a dos metros de la puerta, o bien detectándolo en la entrada del pasillo, ya que considera que ya está dentro de la estancia destino, como si hubiera llegado a las ventanillas y hubiera accedido por ese punto.

¹¹⁰ El efecto doppler es un fenómeno físico en el que tiene lugar un aparente cambio de frecuencia de onda de la fuente de sonido original, que se halla en movimiento, con respecto a su observador fijo.

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE FUTURO

Se ha desarrollado el Sistema “ISMO: Indoor Signs Mobiles and Orientarion”, basado en los Servicios Basados en Localización (LBS), que constituyen un conjunto de aplicaciones y servicios basados en la capacidad de localizar la posición de un usuario, así como de ofrecerle servicios relacionados con su posición y su desplazamiento.

ISMO proporciona información sobre dónde nos encontramos, nuestra ubicación, la ruta que debemos seguir hasta llegar al destino prefijado por cada usuario, los obstáculos que nos podemos encontrar, etc...

Un importante reto para las personas con discapacidad cognitiva, en localización dentro y fuera de edificios, es cómo seguir siendo orientado, las rutinas de recuperación de caminos, así como los desplazamientos en zonas desconocidas.

En el caso de los usuarios con baja o nula visión, las principales preocupaciones son la navegación y la orientación sin ayudas en edificios desconocidos o que no le son familiares, sobre todo porque no tienen fácil acceso a los mapas de edificios, señales y otros dispositivos de orientación, lo que supone un gran desafío para ese tipo de usuarios. En los últimos años se han realizado estudios, si bien hay que decir que, a nuestro entender, no son óptimos ya que precisan la instalación de hardware específico para orientar a los usuarios, tales como guantes que intercambian datos con el móvil Android vía Bluetooth, comunicándose vía WiFi con el servidor desarrollado que acepta diversos tipos de eventos, tales como ayuda o replay... (Ganz et al., 2011).

Hay estudios en esa línea que plantean sistemas de localización Indoor para personas ciegas basados en tecnología RFID, que

almacena y recupera datos mediante el uso de etiquetas o tags RFID, de forma que estas etiquetas transmiten información almacenada que cualquier receptor RFID puede recibir e interpretar.

En nuestra, es la tecnología WiFi la más eficaz debido a la gran expansión que este tipo de tecnología ha tenido en los últimos años como transmisión de datos. Además, contamos ya con una infraestructura sobre la que poder trabajar y desarrollar nuevos servicios. No obstante, también pensamos que para conseguir una solución óptima, se deben integrar diferentes recursos como son sistemas basados en acelerómetros y giróscopos, uso de brújula e incluso la combinación de diferentes tipos de señales como la WiFi, IrDA, RFID y Beacons con Bluetooth.

En base a estas investigaciones y a las expectativas que disponemos así como al entorno de trabajo, decidimos realizarlo basándonos en el sistema WiFi instaurado en al Universitat de València.

En el funcionamiento básico de la red inalámbrica, cada punto de acceso WiFi genera una señal de radio con un identificador único, el SSID que coincide con la MAC del dispositivo inalámbrico, lo que les permite a los dispositivos móviles la identificación del punto de acceso específico. De esta manera, cualquier dispositivo con acceso a la red inalámbrica puede ser localizado en cualquier momento, y, por tanto, cualquier persona que use un terminal móvil con capacidad de acceso a la red WiFi puede ser localizado en el área de interés.

El sistema se basa en el proceso de Fingerprinting, que se basa en la medida de las potencias de las señales recibidas provenientes de diferentes puntos de acceso, cada uno identificado, en un punto determinado de un área de interés

acotada, y aplicar a esas señales el algoritmo k-ésimo más cercano, que permite determinar la posición del usuario.

Se ha seleccionado como área piloto, la planta baja de la Facultad de Psicología de la Universitat de Valencia, ya que se trata de un espacio prototípico de hall y distribuidor de los servicios de cualquier facultad. Además, al tratarse de un edificio de principio de los años sesenta y haber sufrido diferentes remodelaciones, pensamos que puede incluir la mayor parte de las dificultades que encontraríamos en cualquier otro edificio.

Una vez decidido el sistema, se ha realizado una aplicación, basándose en unas librerías que facilitan la ubicación Indoor y que han sido tomadas como punto de partida para el desarrollo. Si bien todas estas herramientas permiten un posicionamiento rápido y sencillo sobre un plano, la dificultad estriba en la capacidad de establecer rutas que nos permitan dirigirnos a una determinada zona, con una interfaz muy sencilla y potente.

Una vez tomadas las decisiones y realizada la aplicación se ha analizado la señal WiFi y se han realizado pruebas de precisión, mostrándose inicialmente que había diferentes áreas que no quedaban suficientemente cubiertas por la red WiFi de la Universitat de València, existiendo en dichas áreas una mala cobertura y, por tanto, menor precisión, impidiendo el correcto funcionamiento del sistema.

Algunas de las mejoras introducidas por el sistema mejorado son:

- Mejora en la ubicación de los usuarios.
- Mejora en el trazado de rutas desde el origen al destino.
- Mejora en las indicaciones, como consecuencia de haber introducido la flecha de indicación de dirección o

waypoint con un color que resalta, el rojo, de forma que resulta fácil e intuitivo el seguimiento de la ruta al utilizar este método de orientación.

- Mejora de la orientación al recibir las indicaciones mediante el sonido, indicándose, como nos había sugerido uno de los expertos en accesibilidad y tiflotecnólogo, la ruta que debía seguirse mediante voz.

Como conclusiones finales se pueden indicar los siguientes factores:

- Se producen errores acumulativos en los dispositivos móviles, ya que estos poseen unos sensores integrados de bajo coste (acelerómetro, brújula,...), lo que hace que sean de baja calidad y que cada uno de los dispositivos acarree un error.
- Alto nivel de exactitud en la localización en Indoor: el entorno en interiores varía de forma inapreciable para el hombre pero sí para los efectos de difracción, reflexión, scattering y otros que aparecen en los entornos de espacio interior, la aplicación requiere de un alto nivel de precisión.
- Consumo de energía: el uso continuo de los sensores internos y las necesidades de procesamiento del sistema de localización, consume energía extra en dispositivos con limitaciones energéticas como son como los teléfonos móviles de última generación, que procesan tantas aplicaciones que están continuamente conectados a redes.
- Posición del dispositivo móvil: el uso de un dispositivo móvil se realiza en múltiples posiciones y orientaciones posibles, el mantener el móvil en la mano mientras camina o el tenerlo en el bolsillo e incluso el tenerlo en

una funda protectora, afecta la recepción de la señal y, por tanto, a la potencia necesaria para la comunicación.

- También se ha observado que hay determinadas zonas, sensibles a los usuarios invidentes, tales como escaleras y pilares, donde se producen muchas reflexiones y difracciones de las señales, por lo que no se ha obtenido suficiente señal como para localizar correctamente al usuario.

Estas razones nos han hecho decidimos por mejorar el sistema, incluyendo Beacons que incrementan la precisión obtenida con el sistema WiFi en el que se basa. Dichas balizas son totalmente compatibles con el sistema y se basan en la tecnología IEEE 802.15 o también conocida como Bluetooth. Con esto conseguimos un sistema mixto consistente en la integración de la tecnología 802.11 con la 802.15.

Posteriormente, se ha realizado una evaluación del sistema y aplicación mediante observación, apoyándose en cuestionarios de satisfacción y grabación en video y/o audio para realizar una observación indirecta de forma complementaria. Una vez realizada esta prueba de usuario, y asumiendo el mínimo error, se han planteado unas conclusiones a tener en cuenta para plantearse líneas futuras de complementariedad del prototipo desarrollado. Para ello se han realizado pruebas mediante una evaluación experimental, ya que se pretende estudiar una aplicación ya implantada y su rendimiento en los usuarios finales.

Se realizó la prueba con un grupo de 10 usuarios, de edades comprendidas entre los 22 y los 42 años y se obtuvo que: al 90% de los usuarios les pareció Buena o Muy buena la aplicación; el 40 % de los usuarios han conseguido orientarse correctamente, el 50 % en algunos momentos y el 10% no lo han conseguido dadas sus particularidades propias; el 80 % de los usuarios ha

conseguido alcanzar los objetivos planteados mediante las rutas, el 10 % no lo ha conseguido y el 10 % en algunos casos sí y en otros no lo consiguieron; al 90 % de los usuarios les ha resultado intuitiva la aplicación; el 70 % de los usuarios la considera útil en su caso y para su uso diario; el 80 % aconsejaría a sus amigos y conocidos el uso de la aplicación.

En cuanto a líneas de futuro planteadas:

En primer lugar, ampliar el alcance de la aplicación a otros dispositivos basados en otros sistemas operativos, comenzando por iOS, ya que entre Android e iOS se llega al 94% de los usuarios.

Además del software sobre el que se trabaja, se debería profundizar en la línea de los sistemas inerciales de los dispositivos móviles, de forma que se potencie el uso de los mismos en diversas posiciones.

Puesto que se utiliza el sistema WiFi, dicho sistema reconoce los usuarios que hay conectados en el área de interés, por lo que se plantea la realización de una base de datos que incluya los usuarios que accedan, la frecuencia de acceso, las rutas habituales, así como las necesidades del usuario en base a las deficiencias que posea para, de este modo, cada vez que acceda al recinto proporcionarle la ruta que utiliza habitualmente y que sea más acorde con sus necesidades. Para ello, al acceder a dicha área, se detectará la MAC del dispositivo móvil, previamente registrado, y se le proporciona la última ruta realizada por el usuario desde el punto en el que se encuentra el usuario.

Hemos visto que las redes WiFi actuales plantean algunos problemas en el diseño, como son la falta de conformidad en cuanto al número de canales que utilizan, así como los saltos de frecuencia aleatorios en las distintas redes, debiendo ser los

sistemas independientes a estos cambios. Además, debe estar normativizada una política común en cuanto a edificios del mismo estilo, como pueden ser universidades, para adoptar todas las mismas políticas en cuanto a posición (distancia entre puntos de acceso, altura de posicionamiento de los mismo, distancia a haber entre un punto de acceso y una baliza o Beacon).

Se deberían crear una serie de normas a tener en cuenta en la construcción de espacios de concurrencia pública, para evitar que el mobiliario y los paneles publicitarios o docentes pudieran actuar como pantallas de la señal WiFi o de los Beacons, lo que minimizaría la aparición de obstáculos que puedan actuar como pantallas en la propagación de la señal así como de limitaciones en el deambular de los usuarios.

Otra idea es la posibilidad de que el usuario pueda seleccionar la ruta que desea realizar, de entre las rutas alternativas disponibles en la base de datos, pudiendo cambiar la ruta o volver a realizarla como lo hizo en la última ocasión. Si la ruta le parece enrevesada o bien conoce otra ruta que pueda proporcionarle acceso con mayor precisión o exactitud, puede realizarla, quedando registrada en la base de datos y proporcionándose como alternativa a otros usuarios con las mismas necesidades.

Por otro lado, al igual que otras aplicaciones para móvil realizadas en otros estudios, si una persona en silla de ruedas por ejemplo, detecta que hay otro usuario que está realizando la misma puede elegir entre, seguir la misma ruta o bien buscar una ruta alternativa. El objetivo es doble: por un lado, puede que la ruta muestre un camino que pasa por una estancia o pasillo que no admite el paso simultáneo de dos sillas de ruedas; por otro lado, puede que el usuario no se encuentre de humor ese día y no quiera entablar conversación con otro usuario, al que puede conocer, decidiendo evitar el encuentro. Esta idea la podemos

extrapolar a un sistema mixto, utilizando tecnología GSM en el exterior en aquellos puntos con baja potencia y WiFi en entornos adversos o complicados. De esta forma se proporciona acceso en entornos Indoor y Outdoor, como puede ser todo un campus, decidiendo el usuario es en todo momento si quiere o no socializarse dependiendo de su estado anímico, quedando registrada en la base de datos para un estudio posterior y para proporcionarle la última ruta escogida por el usuario.

Como se observa estas líneas de trabajo propuestas consisten en la creación de un sistema de predicción de ruta a realizar en base a un aprendizaje previo realizado por distintos usuarios.

En la misma línea de trabajo se prevé la utilización del enfoque de minería de datos, para localizar la ubicación cercana más útil para el usuario en torno a un área en particular, de forma que proporciona los datos que utilizan el sistema operativo Android de código abierto, así como los datos proporcionados en la calibración del sistema provenientes de los puntos de acceso, las cámaras que se encuentren en el área de trabajo o interés, las cámaras de los dispositivos móviles y resto de dispositivos que se encuentren en el área de interés.

Otra de las líneas de trabajo para mejorar el sistema diseñado es el uso de la realidad aumentada, que permite definir a través de un dispositivo tecnológico un entorno físico del mundo real combinándolos con elementos virtuales, de forma que se crea una realidad mixta en tiempo real, añadiendo la parte virtual a la real que disponemos con los dispositivos. De esta forma añadimos visión al computador así como reconocimiento de los objetos que se encuentran al alcance de los dispositivos, proporcionando información sobre el entorno real físico y los objetos, de forma que se almacena y puede ser recuperada dicha información para accesos posteriores, facilitando el acceso a las

distintas dependencias y las rutas seguidas de forma lo más fiable posible.

Una posibilidad sería utilizar la información capturada por las cámaras de los dispositivos móviles, así como de otras cámaras y dispositivos, como sensores, que se encuentren en el área de interés, como pueden ser cámaras de vigilancia instaladas en las distintas dependencias y conectadas a la red, para realizar las indicaciones de los caminos óptimos en tiempo real. Si dicha información estuviera en la base de datos, al acceder a la misma se podría generar la ruta en función de las necesidades del usuario, así como del entorno real del área de interés.

Actualmente las empresas están impulsando este tipo de tecnologías de realidad aumentada, que han pasado de ser prácticamente inaccesibles a los usuarios, debido al enorme coste de adquisición de los dispositivos y de desarrollo de nuevas aplicaciones, a difundirlas con dispositivos totalmente accesibles, ya que con una mínima inversión de pocos cientos de euros se puede disponer de tecnología de realidad aumentada con hardware como las Oculus Rift¹¹¹ o las I AM CARDBOARD[®].

Como puede observarse, la tecnología planteada hasta ahora adolece del principal problema de los usuarios y es que la mayoría de aplicaciones están pensadas para usuarios con visión “normal”, es decir, se utiliza el sentido de la vista en gran parte de aplicaciones, si bien, hay que tener en cuenta que la mayor inversión en España se dedica a usuarios con problemas de visión, debido, fundamentalmente, a que están muy apoyados

¹¹¹ Oculus Rift se trata de unas gafas tipo casco que posibilitan la inmersión de una persona en un entorno virtual, de forma que la persona se encuentra en un entorno distinto al real y que le produce sensación de realidad en dicho entorno. Están desarrolladas por la empresa de realidad virtual Oculus (<https://www.oculus.com>)

por la Fundación ONCE. Para salvar este problema se plantea el desarrollo de un sistema centrado en el sistema auditivo, de forma que se emitan sonidos en 3D que sean captados por los dispositivos móviles mediante la tecnología Bluetooth. Si bien sería más adecuado un sistema RFID, como los diseñados en la mayor parte de sistemas implementados actualmente para este tipo de usuarios debido a su elevada precisión, esta tecnología adolece de la necesidad de adquirir dispositivos adecuados para captar señales. Así como del costo elevado de los sensores RFID en comparación con los Bluetooth.

Otra idea que puede resultar interesante sería la creación de un sistema de proximidad en manos, cuerpo y cabeza, que mida las distancias con objetos de forma similar a un sonar tradicional pero que emitiera sonidos al estilo morse, incrementándose la frecuencia de emisión en la dirección donde se encuentra el obstáculo y siendo más suaves o nula, en la dirección que se deba tomar para realizar la ruta indicada, siendo un sonido repetitivo en caso de colisión o incluso un sonido acompañado de una vibración a elevada frecuencia.

REFERENCES

- Aboites, V., & Wilson, M. (2013). Mediciones acústicas en sitios arqueológicos del estado de guanajuato. *Acta Universitaria*, 23(2), 5-15.
- Afflerbach, P. (2000). Verbal reports and protocol analysis. *Handbook of Reading Research*, 3, 163-179.
- Alcantud, F. (1998). Diseño de escenarios educativos para courseware. *Teleformación: Diseño Para Todos*. Valencia, Servei De Publicacions Universitat De València,
- Alcantud, F. (1999). *Teleformación: Diseño para todos*. Servei De Publicacions De La Universitat De Valencia,
- Alcantud, F. (2000). Nuevas tecnologías, viejas esperanzas. VVAA. *Nuevas Tecnologías, Viejas Esperanzas: Las Nuevas Tecnologías En El Ámbito De La Discapacidad Y Las Necesidades Educativas Especiales*. Murcia: Consejería De Educación Y Universidades,
- Alcantud, F., Coret, J., Jimenez, E., Marquez, S., Moreno, F., & Perez, J. (2012). Usability remote evaluation: METBA system. Paper presented at the Interactive Collaborative Learning (ICL), 2012 15th International Conference On, 1-8.
- Alcantud, F., Guarinos, I., Roig, R., Alonso, Y., Coret, J., Crespo, M., . . . Jimenez, E. (2011). Inventario y descripción de las soluciones de accesibilidad a la web existentes para personas con discapacidad física y sensorial.
- Alghamdi, S., Van Schyndel, R., & Alahmadi, A. (2013). Indoor navigational aid using active RFID and QR-code for sighted and blind people. Paper presented at the Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, 2013 IEEE Eighth International Conference On, 18-22.
- Alizadeh-Shabdiz, F., & Pahlavan, K. (2009). Estimation of Position using WLAN Access Point Radio Propagation Characteristics in a WLAN Positioning System,
- American Psychiatric Association. (2014). *Guía de consulta de los criterios diagnósticos del DSM-5®: Spanish edition of the desk reference to the diagnostic criteria from DSM-5®* American Psychiatric Pub.
- American Speech-Language-Hearing Association. (2006). Type, degree, and configuration of hearing loss.

- APA, A. P. A. (1995). Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales: DSM IV. [Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: DSM-IV (1994) / Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales] Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: DSM-IV (1994),
- APA, A. P. A. (2000). Diagnostic and statistical manual of mental disorders, fourth edition (DSM-IV-TR). [Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition (DSM-IV-TR)] Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition (DSM-IV-TR),
- Azizyan, M., Constandache, I., & Roy Choudhury, R. (2009). SurroundSense: Mobile phone localization via ambient fingerprinting. Paper presented at the Proceedings of the 15th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, 261-272.
- Bahl, P., & Padmanabhan, V. N. (2000). RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. Paper presented at the INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE, , 2 775-784.
- Bareiss, R., & Sedano, T. (2011). Improving mobile application development. Paper presented at the 2nd Annual Workshop on Software Engineering for Mobile Application Development, MobiCASE, , 11 7-10.
- Barraga, N., & Morris, J. E. (1980). Program to develop efficiency in visual functioning American Printing House for the Blind, Incorporated.
- Bohte, W., & Maat, K. (2009). Deriving and validating trip purposes and travel modes for multi-day GPS-based travel surveys: A large-scale application in the netherlands. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 17(3), 285-297.
- Bowen III, C. L., Buennemeyer, T. K., Burbey, I., & Joshi, V. (2006). Using wireless networks to assist navigation for individuals with disabilities. Paper presented at the California State University, Northridge Center on Disabilities' 21st Annual International Technology and Persons with Disabilities Conference,
- Brunato, M., & Battiti, R. (2005). Statistical learning theory for location fingerprinting in wireless LANs. *Computer Networks*, 47(6), 825-845.

- BUREAU INTERNATIONAL D'AUDIOPHONOLOGIE. (1997).
Recomendación biap 02/1.
- Carr, W., & Kemmis, S. (2003). *Becoming critical: Education knowledge and action research* Routledge.
- Carroll, A., & Heiser, G. (2010). An analysis of power consumption in a smartphone. Paper presented at the USENIX Annual Technical Conference, 271-285.
- Chang, Y., Chu, Y., Chen, C., & Wang, T. (2008). Mobile computing for indoor wayfinding based on bluetooth sensors for individuals with cognitive impairments. Paper presented at the Wireless Pervasive Computing, 2008. ISWPC 2008. 3rd International Symposium On, 623-627.
- Chang, Y., & Wang, T. (2010). Comparing picture and video prompting in autonomous indoor wayfinding for individuals with cognitive impairments. *Personal and Ubiquitous Computing*, 14(8), 737-747.
- Chen, M. Y., Sohn, T., Chmelev, D., Haehnel, D., Hightower, J., Hughes, J., . . . Varshavsky, A. (2006). Practical metropolitan-scale positioning for gsm phones. *UbiComp 2006: Ubiquitous computing* (pp. 225-242) Springer.
- Cheng, Y., Chawathe, Y., LaMarca, A., & Krumm, J. (2005). Accuracy characterization for metropolitan-scale wi-fi localization. Paper presented at the Proceedings of the 3rd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, 233-245.
- Chittaro, L., & Dal Cin, P. (2002). Evaluating interface design choices on WAP phones: Navigation and selection. *Personal and Ubiquitous Computing*, 6(4), 237-244.
- Choo, J. H., Cheong, S. N., & Lee, Y. L. (2014). Design and development of NFC smartphone indoor interactive navigation system. *World Applied Sciences Journal*, 29(6), 738-742.
- Chumkamon, S., Tuvaphanthaphiphat, P., & Keeratiwintakorn, P. (2008). A blind navigation system using RFID for indoor environments. Paper presented at the Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2008. ECTI-CON 2008. 5th International Conference On, , 2 765-768.
- Crow, B. P., Widjaja, I., Kim, J. G., & Sakai, P. T. (1997). IEEE 802.11 wireless local area networks. *Communications Magazine, IEEE*, 35(9), 116-126.

- Dai, D., Walter, T., Enge, P., & Powell, J. D. (1998). Interoperation of distributed SBASS: Theory, experience and future perspectives. Paper presented at the Proceedings of the 11th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GPS 1998), 1355-1364.
- Dandona, L., & Dandona, R. (2006). Revision of visual impairment definitions in the international statistical classification of diseases. *BMC Medicine*, 4, 7. doi:1741-7015-4-7 [pii]
- Danesh, A., Inkpen, K., Lau, F., Shu, K., & Booth, K. (2001). GeneyTM: Designing a collaborative activity for the palmTM handheld computer. Paper presented at the Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 388-395.
- de la Constitución, P. (1978). La constitución española 1978 E-FOCUS.
- del Estado, B. O. (2003). LEY 51/2003, de 2 de diciembre, de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad.2003. LEY 51/2003, De 2 De Diciembre, De Igualdad De Oportunidades, no Discriminación Y Accesibilidad Universal De Las Personas Con Discapacidad.2003,
- del Prado Pavon, J., & Choi, S. (2003). Link adaptation strategy for IEEE 802.11 WLAN via received signal strength measurement. Paper presented at the Communications, 2003. ICC'03. IEEE International Conference On, , 2 1108-1113.
- DIN, E. (1998). 9241-11. ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)–Part 11: Guidance on usability. International Organization for Standardization,
- EB124, C. E. (2009). Prevención de la ceguera y la discapacidad visual evitables.
- Electronic Industries Association. (1969). EIA standard RS-232-C, ". Interface between Data Terminal Equipment and Data Communications Equipment Employing Serial Binary Data Interchange,
- Ericsson, K., & Simon, H. A. (1993). Protocol analysis (revised edition). Overview of Methodology of Protocol Analysis,
- Europeas, C. (1997). Tratado de amsterdam por el que se modifican el tratado de la unión europea, los tratados constitutivos de las comunidades europeas y determinados actos conexos Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.
- Fernández, Á, & Rodríguez, M. J. (2010). Dispositivos móviles iPod touch y iPad para aprendizaje en educación especial.

- Ferrer Mínguez, G. (2009). Integración kalman de sensores inerciales INS con GPS en un UAV.
- Gafni, R. (2009). Usability issues in mobile-wireless information systems. *Issues in Informing Science and Information Technology*, 6, 755-769.
- Ganz, A., Gandhi, S. R., Schafer, J., Singh, T., Puleo, E., Mullett, G., & Wilson, C. (2011). PERCEPT: Indoor navigation for the blind and visually impaired. Paper presented at the Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE, 856-859.
- Gartner, I. (2012). Gartner highlights top consumer mobile applications and services for digital marketing leaders. <http://www.gartner.com/newsroom/id/2194115>.
- Ghassemzadeh, S., Greenstein, L., Kavcic, A., Sveinsson, T., & Tarokh, V. (2003). UWB indoor path loss model for residential and commercial buildings. Paper presented at the Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Fall. 2003 IEEE 58th, 5 3115-3119.
- Glanzer, G., Bernoulli, T., Wiessflecker, T., & Walder, U. (2009). Semi-autonomous indoor positioning using MEMS-based inertial measurement units and building information. Paper presented at the Positioning, Navigation and Communication, 2009. WPNC 2009. 6th Workshop On, 135-139.
- Glanzer, G., & Walder, U. (2010). Self-contained indoor pedestrian navigation by means of human motion analysis and magnetic field mapping. Paper presented at the Positioning Navigation and Communication (WPNC), 2010 7th Workshop On, 303-307.
- González Blázquez, A., Mulas Gómez, P. P., & Rivera Retamar, R. (2007). Localización de dispositivos móviles en interiores usando redes wireless.
- Goodman, A. (1965). Reference zero levels for pure-tone audiometer. *ASHA*, 7(262), 1.
- Gorbunov, M. E., Gurvich, A., & Bengtsson, L. (1996). Advanced algorithms of inversion of GPS/MET satellite data and their application to reconstruction of temperature and humidity Max-Planck-Institut für Meteorologie Germany, Hamburg.
- Heidari, A. A., Heyrani, M., & Nakhkash, M. (2009). A dual-band circularly polarized stub loaded microstrip patch antenna for GPS applications. *Progress in Electromagnetics Research*, 92, 195-208.

- Hogan, P. (1994). Introducing the european institute for design and disability. *Usertalk*, 4(Winter), 2-3.
- Hu, W., Kaabouch, N., Yang, H., & Wang, X. (2014). Essential android technologies and google maps APIs for location-based services. 47th Annual Midwest Instruction and Computing Symposium, IEEE 802.16 Working Group. (2004). IEEE standard for local and metropolitan area networks, part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems. *IEEE Std*, 802, 16-2004.
- IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee. (1997). Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications.
- Infrared Data Association. (2000). Point and shoot profile. Version, 1, 1-34.
- ISO, I., & IEC, T. (2004). 9126-4: Software engineering-product quality-part 4: Quality in use metrics. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.Switzerland,
- Ivanov, R. (2010). Indoor navigation system for visually impaired. Paper presented at the Proceedings of the 11th International Conference on Computer Systems and Technologies and Workshop for PhD Students in Computing on International Conference on Computer Systems and Technologies, 143-149.
- Jiang, L. (2012). A WLAN fingerprinting based indoor localization technique. *A WLAN Fingerprinting Based Indoor Localization Technique*,
- Jones, R. K., & Liu, L. (2006). What where wi: An analysis of millions of wi-fi access points.
- Kaasinen, E., Aaltonen, M., Kolari, J., Melakoski, S., & Laakko, T. (2000). Two approaches to bringing internet services to WAP devices. *Computer Networks*, 33(1), 231-246.
- Kim, H., Kim, J., Lee, Y., Chae, M., & Choi, Y. (2002). An empirical study of the use contexts and usability problems in mobile internet. Paper presented at the System Sciences, 2002. HICSS. Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference On, 1767-1776.
- Kim, J., Choi, H., Lee, D., & Kang, S. (2014). A 2-stage hybrid position estimation framework in RF fingerprint WPS. *Wireless Networks*, , 1-16.
- Kjærsgaard, M. B., & Munk, C. V. (2008). Hyperbolic location fingerprinting: A calibration-free solution for handling differences in signal strength (concise contribution). Paper

- presented at the Pervasive Computing and Communications, 2008. PerCom 2008. Sixth Annual IEEE International Conference On, 110-116.
- KÖLSCH, D. (2006). The place lab project. Paper presented at the Mobile Business Seminar,
- LAN/MAN standards Committee. (2003). Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. IEEE-SA Standards Board,
- LAN/MAN Standards Committee. (2003). Part 15.4: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LR-WPANS). IEEE Computer Society,
- Legarretaetxebarria, A. (2011). Sistema de localización y seguimiento de personas en interiores mediante cámara PTZ basado en las tecnologías kinect y ubisense. Universidad Del País Vasco,
- Li, B., Dempster, A., Rizos, C., & Barnes, J. (2005). Hybrid method for localization using WLAN. Paper presented at the Spatial Sciences Conference, 341-350.
- Lita, I., Cioc, I. B., & Visan, D. A. (2006). A new approach of automobile localization system using GPS and GSM/GPRS transmission. Paper presented at the Electronics Technology, 2006. ISSE'06. 29th International Spring Seminar On, 115-119.
- Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., & Liu, J. (2007). Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions On, 37(6), 1067-1080.
- Lovse, J., Teskey, W., Lachapelle, G., & Cannon, M. (1995). Dynamic deformation monitoring of tall structure using GPS technology. Journal of Surveying Engineering, 121(1), 35-40.
- Luchini, K., Quintana, C., Krajcik, J., Farah, C., Nandihalli, N., Reese, K., . . . Soloway, E. (2002). Scaffolding in the small: Designing educational supports for concept mapping on handheld computers. Paper presented at the CHI'02 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, 792-793.
- Luckasson, R., Borthwick-Duffy, S., Buntinx, W. H., Coulter, D. L., Craig, E. M. P., Reeve, A., . . . Spreat, S. (2002). Mental retardation: Definition, classification, and systems of supports . American Association on Mental Retardation.

- Luobing, D., Shen, P., Xiangdong, Z., & Li, Z. (2014). A novel location-based services architecture based on mobile cloud computing and behavior prediction.
- Magableh, B., & Barrett, S. (2011). Self-adaptive application for indoor wayfinding for individuals with cognitive impairments. Paper presented at the Computer-Based Medical Systems (CBMS), 2011 24th International Symposium On, 1-6.
- Marron, J. (2014). Multi sensor system for pedestrian tracking and activity recognition in indoor environments.university of south florida. [Multi Sensor System for Pedestrian Tracking and Activity Recognition in Indoor Environments.University of South Florida] University of South Florida. Scholar Commons. Graduate School Theses and Dissertation,
- Mazuelas, S., Lago, F. A., González, D., Bahillo, A., Blas, J., Fernandez, P., . . . Abril, E. J. (2008). Dynamic estimation of optimum path loss model in a RSS positioning system. Paper presented at the Position, Location and Navigation Symposium, 2008 IEEE/ION, 679-684.
- Mirowski, P., Whiting, P., Steck, H., Palaniappan, R., MacDonald, M., Hartmann, D., & Ho, T. K. (2012). Probability kernel regression for WiFi localisation. *Journal of Location Based Services*, 6(2), 81-100.
- Moller, K., Toth, F., Wang, L., Moller, J., Arras, K., Bach, M., . . . Guttman, J. (2009). Enhanced perception for visually impaired people. Paper presented at the Bioinformatics and Biomedical Engineering, 2009. ICBBE 2009. 3rd International Conference On, 1-4.
- Motley, A., & Keenan, J. (1988). Personal communication radio coverage in buildings at 900 MHz and 1700 MHz. *Electronics Letters*, 24(12), 763-764.
- Naciones Unidas. (2006). Convención sobre los derechos de las personas con discapacidad.
- Nielsen, J. (1994). *Usability engineering* Elsevier.
- OMS, B. M. (2011). Informe mundial sobre la discapacidad. OMS< [Http://Www.Who.Int/Disabilities/World_report/2011/Es/Index.Html](http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/es/index.html)>[Consulta: Ago.2011],
- Open, G. (2005). Consortium Inc.; Date: 3-may-2005; Reference Number of this OpenGIS® Project Document: OGC 04-094,

- Organización Mundial de la Salud. (2012). WHO global estimates on prevalence of hearing loss. Mortality and Burden of Diseases and Prevention of Blindness and Deafness WHO, 2012,
- Organización Mundial de la Salud. (2013). Estadísticas sanitarias mundiales: Una mina de información sobre salud pública mundial. Estadísticas Sanitarias Mundiales: Una Mina De Información Sobre Salud Pública Mundial,
- Organización Mundial de la Salud/Banco Mundial. (2011). Informe mundial de la discapacidad.
- Pombinho, P., Afonso, A. P., & Carmo, M. B. (2010). Indoor positioning using a mobile phone with an integrated accelerometer and digital compass. Paper presented at the INForum,
- RaminPour, S., Ney, D. R., Johnson, P. T., Horton, K. M., & Fishman, E. K. (2012). How to develop, submit, and get an iPad application accepted to the apple store. *Journal of the American College of Radiology*, 9(6), 440-443.
- Research and Markets, I. (2013). Location-based Services—Market and technology Outlook—2013-2020., http://www.researchandmarkets.com/research/rv7rqz/location_based.
- Roos, T., Myllymäki, P., Tirri, H., Misikangas, P., & Sievänen, J. (2002). A probabilistic approach to WLAN user location estimation. *International Journal of Wireless Information Networks*, 9(3), 155-164.
- Roxin, A., Gaber, J., Wack, M., & Moh, A. N. S. (2007). Survey of wireless geolocation techniques. Paper presented at the IEEE Globecom Workshops,
- Sánchez, J., & Sáenz, M. (2008). Orientación y movilidad en espacios exteriores para aprendices ciegos con el uso de dispositivos móviles. Paper presented at the IX Congreso Iberoamericano De Informática Educativa, 1-6.
- Sataloff, R. T. (1989). Scott-brown's otolaryngology. *JAMA*, 262(18), 2614-2615.
- Sayed, A. H., Tarighat, A., & Khajehnouri, N. (2005). Network-based wireless location: Challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information. *Signal Processing Magazine, IEEE*, 22(4), 24-40.
- Schalock, R. L. (2013). La nueva definición de discapacidad intelectual, apoyos individuales y resultados personales.

- Schiller, J., & Voisard, A. (2004). *Location-based services* Elsevier.
- Seidel, S. Y., Rappaport, T., Feuerstein, M. J., Blackard, K., & Grindstaff, L. (1992). The impact of surrounding buildings on propagation for wireless in-building personal communications system design. Paper presented at the Vehicular Technology Conference, 1992, IEEE 42nd, 814-818.
- Sen, S., Radunovic, B., Choudhury, R. R., & Minka, T. (2012). You are facing the mona lisa: Spot localization using phy layer information. Paper presented at the Proceedings of the 10th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, 183-196.
- Sennott, S., & Bowker, A. (2009). Autism, aac, and proloquo2go. *SIG 12 Perspectives on Augmentative and Alternative Communication*, 18(4), 137-145.
- Shavelson, R. J., Webb, N. M., & Burstein, L. (1986). Measurement of teaching. *Handbook of Research on Teaching*, 3, 50-91.
- Shiode, N., Li, C., Batty, M., Longley, P., & Maguire, D. (2002). The impact and penetration of location-based services.
- Shneiderman, B. (1992). *Designing the user interface: Strategies for effective human-computer interaction* Addison-Wesley Reading, MA.
- Spalteholz, W., Tortella, E. P., & Pedrals, S. V. (1987). *Atlas de anatomía humana. tomo III. 13ª edición*. Editorial Labor.
- Testut, L., & Latarjet, A. (1954). *Tratado de anatomía humana. tomo III. sistema nervioso y organo de los sentidos. 9ª edición*. Salvat.
- Thomas, F., & Ros, L. (2005). Revisiting trilateration for robot localization. *Robotics, IEEE Transactions On*, 21(1), 93-101.
- Uzun, A., Salem, M., & Kupper, A. (2014). Exploiting location semantics for realizing cross-referencing proactive location-based services. Paper presented at the Semantic Computing (ICSC), 2014 IEEE International Conference On, 76-83.
- Vegni, A. M., Di Nepi, A., Neri, A., & Vegni, C. (2007). Local positioning services on IEEE 802.11 networks. Paper presented at the Applied Electromagnetics and Communications, 2007. ICECom 2007. 19th International Conference On, 1-4.
- Virrantaus, K., Markkula, J., Garmash, A., Terziyan, V., Veijalainen, J., Katanosov, A., & Tirri, H. (2001). Developing GIS-supported location-based services. Paper presented at the Web Information Systems Engineering, 2001. Proceedings of the Second International Conference On, , 2 66-75.

Wan, Z. (2014). O-mopsi: Location-based orienteering mobile game.

Whitehouse, H. J., Alsup, J., de Escobar, A., & Sullivan, S. F. (2004). A GPS sonobuoy localization system. Paper presented at the Position Location and Navigation Symposium, 2004. PLANS 2004, 414-417.

World Health Organization. (2011). Prevention of blindness and visual impairment. ICD update and revision platform: changethe definition of blindness. Prevention of Blindness and Visual Impairment. ICD Update and Revision Platform: Change the Definition of Blindness,

World Health Organization. (2013). Draft action plan for the prevention of avoidable blindness and visual impairment 2014-2019. towards universal eye health: A global action plan 2014-2019 [internet]. Sixty-Sixth World Health Assembly, , 20-28.

Yang, J., & Chen, Y. (2009). Indoor localization using improved rssi-based lateration methods. Paper presented at the Global Telecommunications Conference, 2009. GLOBECOM 2009. IEEE, 1-6.

Youssef, M., & Agrawala, A. (2008). The horus location determination system. Wireless Networks, 14(3), 357-374.

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: LBS como intersección de distintas tecnologías (Shiode et al., 2002)	22
Imagen 2: Efecto de trilateración TOA (Sayed et al., 2005).....	30
Imagen 3: Detalle de efecto de trilateración TDOA (Roxin et al., 2007).	31
Imagen 4: Posicionamiento basado en técnicas de angulación ((Sayed et al., 2005).....	32
Imagen 5: Diagrama de método de Fingerprinting (Jiang, 2012)	34
Imagen 9: Ejemplo de red inalámbrica Cisco (www.cisco.net)	45
Imagen 10: Punto de Acceso Inalámbrico Cisco	46
Imagen 8: Intensidad de sonido en diferentes fuentes (Aboites & Wilson, 2013).....	59
Imagen 9: Estructura del oído (modificación realizada de la web de la empresa oticon)	59

Imagen 10: Esquema del proceso de desarrollo del Software (Alcantud, 1998; Alcantud et al., 2012).	80
Imagen 11: Ubicación de los puntos de acceso en la planta baja de la Facultad de Psicología.....	102
Imagen 12: Rangos de frecuencias de los catorce canales permitidos (LAN/MAN standards Committee, 2003).....	105
Imagen 13: Espectro transmitido(LAN/MAN standards Committee, 2003).....	105
Imagen 14: Selección de canales con y sin solape en China y Estados Unidos y en Europa (LAN/MAN standards Committee, 2003)	106
Imagen 15: Dispositivos Aruba 61 y Aruba 105	106
Imagen 16: Pantalla de modificación de código.....	109
Imagen 17: Pantalla de arranque e inicio de la aplicación	111
Imagen 18: Secuencia de selección de destino.....	113
Imagen 19: Pasos para la selección del sonido en la aplicación.....	114
Imagen 20: Opciones del menú de la aplicación.	115
Imagen 21: Fase de creación de nuevo edificio en la aplicación indoo.rs.....	117
Imagen 22: Pantalla de edición de la planta del edificio bajo interés.	118
Imagen 23: Ejemplo de muros trazados en la imagen de planta baja.	119
Imagen 24: Plano generado y seleccionado para realizar la toma de mediciones.....	122
Imagen 25: Pantalla con selección del menú de herramienta “Device”	123
Imagen 28: Detalle de submenú Tools del software MMT	123
Imagen 29: Detalle de ejemplo de medida.	124
Imagen 28: Imágenes de las cintas delimitadoras de espacios.	127
Imagen 29: Pantalla de MMT con los puntos de fingerprints tomados	130
Imagen 30: Detalle del submenú lateral “Layers” de la aplicación MMT	130
Imagen 31: Detalle de las redes encontradas por el software MMT	131

Imagen 32: Ejemplos de mapas de calor de puntos de acceso de la planta baja.	132
Imagen 33: Medición de Fingerpoints mediante antena externa conectada mediante USB	133
Imagen 34: Ubicación propuesta de los Beacons bluetooth.....	136
Imagen 35: Muestra de mapas de calor proporcionados por Beacons	137
Imagen 36: Detalle de pantalla de selección de dispositivo para realizar la medición.	139
Imagen 37: Muestras tomadas en el calibrado.	140
Imagen 38: Detalle de las propiedades de un Fingerprint ejemplo sobre el que se ha realizado la medida.	140
Imagen 39: Plano generado y seleccionado para realizar la toma de mediciones.	143
Imagen 40: Pasos para la selección del Measurement Mode en la toma de medidas en el dispositivo móvil	143
Imagen 41: Pantalla con selección del menú de herramienta “Device”	144
Imagen 42: Pantalla de selección de dispositivo para realizar la medición.....	145
Imagen 43: Detalle de submenú Tools en el menú vertical del software MMT.....	146
Imagen 44: Detalle de ejemplo de medida.	147
Imagen 45: Fases de ejecución de aplicación.....	162
Imagen 46: Tiempo empleado en la actividad 2, subactividad Elección Edificio.....	167
Imagen 47: Tiempo empleado en la actividad 2, subactividad Elección de Destino	168
Imagen 48: Tiempo empleado en la actividad 2, subactividad Trayecto.	169
Imagen 49: Tiempo empleado en la actividad 3, subactividad Elección Edificio.....	170
Imagen 50: Tiempo empleado en la actividad 3, subactividad Elección Destino.	170

Imagen 51: Tiempo empleado en la actividad 3, subactividad
Trayecto..... 171

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de pérdidas auditivas según la ASHA
(American Speech-Language-Hearing Association, 2006)..... 62
Tabla 2: Sonidos según su intensidad (Alcantud et al., 2011)..... 62
Tabla 4: Competencias de discapacidades en uso de aplicación y
acceso al móvil 79
Tabla 5: Resumen de los usuarios que han participado en las sesiones
..... 164

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Potencia recibida a una distancia d..... 27
Ecuación 2: Pérdidas en entorno Indoor..... 28