

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**



**PROYECTO FIN DE CARRERA**

**DESARROLLO EN iOS DE APLICACIONES DE GUIADO  
GPS PARA DISCAPACITADOS VISUALES**

**Tomás Merino Mateo**

**Marzo 2013**



# **DESARROLLO EN iOS DE APLICACIONES DE GUIADO GPS PARA DISCAPACITADOS VISUALES**

**AUTOR: Tomás Merino Mateo  
TUTOR: Eduardo Boemo Scalvinoni**

**Digital System Lab  
Dpto. Tecnología Electrónica y de Comunicaciones  
Escuela Politécnica Superior  
Universidad Autónoma de Madrid  
Marzo 2013**



## Resumen

Los problemas que tienen las personas ciegas, o con deficiencia visual severa, a la hora de desplazarse por distintos entornos son numerosos y evidentes. Cualquier ayuda que se pueda facilitar para hacer que el individuo con discapacidad se mueva de la manera más autónoma posible será sin duda bien recibida por esta comunidad.

En los últimos años la telefonía móvil ha experimentado un importante crecimiento con la introducción de los teléfonos inteligentes, los sistemas operativos móviles y las plataformas de distribución de aplicaciones móviles para estos *smartphones*. Estos dispositivos poseen una gran cantidad de funcionalidades que si se aprovechan bien pueden servir de mucha ayuda a las personas con discapacidad visual.

En este proyecto se propone hacer uso de las capacidades y posibilidades que ofrecen estos dispositivos móviles a la hora de desarrollar aplicaciones, para crear un sistema de guiado para invidentes y personas con visibilidad reducida. La idea es crear una aplicación que de opción de almacenar y recrear rutas para que guíe a personas con la mencionada discapacidad por el campus de Cantoblanco de la Universidad Autónoma de Madrid.

Para ello se aprovecharán al máximo los recursos ofrecidos por la plataforma iOS de Apple que es el sistema operativo usado por dispositivos iPhone, iPod e iPad. El propósito principal es usar los sistemas de localización y dirección, basados en GPS, que posee un teléfono iPhone para desarrollar un navegador que dirija a la persona entre puntos del campus a través de instrucciones acústicas y táctiles, que sustituyan la información visual que generalmente se muestra a través de un mapa.

## Palabras clave

- Deficiencia visual
- Invidentes
- Teléfonos inteligentes
- iOS
- iPhone
- Localización geográfica
- GPS
- Navegación



## Abstract

The problems faced by blind or severely visually impaired people, when scrolling through different environments are numerous and obvious. Any kind of help that can be provided to make the impaired individual move as independent as possible will surely be welcomed by this community.

In recent years mobile telephony has grown dramatically with the appearance of smartphones, mobile operating systems and mobile applications distribution platforms. These devices have a big amount of features that if harnessed well could provide a lot of help to visually impaired people.

This project proposes to make use of these capabilities and possibilities offered by mobile devices when developing mobile applications, to create a navigation system for the blind and people with low visibility. The idea is to create an application that gives the user the option to store and then recreate routes to guide disabled people through the UAM campus of Cantoblanco.

To do so, we will make the most of the resources offered by Apple's iOS, which is the operating system used by iPhone, iPod and iPad devices. The main purpose is to use the GPS based location and direction systems inside the phone to develop a navigator which will lead the user through some points around the campus using acoustic and touch instructions that can replace visual information that is usually shown in a map.

## Keywords

- Visual impairment
- Blind
- Smartphones
- iOS
- iPhone
- Geographical location
- GPS
- Navigation





## Agradecimientos

Llegado a este punto en que pongo fin a mis estudios universitarios, creo que es sin duda el momento de recordar y agradecer a la gente con la he compartido todos estos años.

En primer lugar me gustaría dar gracias a mi tutor, Eduardo Boemo, quien me ha brindado la oportunidad y la confianza para realizar este proyecto tan ilusionante, y que se ha esforzado por conseguir cuanto fuera necesario para que mi trabajo estos meses fuera lo más sencillo y gratificante posible.

En especial me gustaría dar las gracias de todo corazón a mis padres por todo el esfuerzo que han realizado siempre por inculcarme una buena educación para que sea la persona que soy hoy. Gracias por todo el apoyo que de ellos he recibido durante esta época, en la que ha habido momentos buenos, pero en la que también ha habido momentos muy difíciles hasta el final, y que es cuando más he necesitado y sentido su cariño y su consejo. He de agradecer también a mis hermanos, Pablo y Lara, por soportarme en todos esos momentos.

Me gustaría acordarme también de mis compañeros y amigos de clase durante estos años, en especial de los más cercanos, Dani, Diego y Nacho, cuya cercanía y amistad ha sido vital para superar situaciones delicadas y conseguir llegar hasta aquí. ¡Muchas gracias camaradas, lo conseguimos!

No quisiera olvidarme tampoco de mis amigos más antiguos: Dani, Pedro, Marcos, Elo, Paula, Coro, Raúl, Luis, Polo, Amparo y Rocío, con los que he compartido muchos de los mejores momentos de esta época de mi vida, y cuyo interés por mis estudios siempre me animó a seguir adelante.

Por último, pero no por ello menos importante me gustaría agradecer a las personas con discapacidad, Samuel y Vicente, que colaboraron conmigo proporcionándome su tiempo y ayuda para orientar y evaluar el proyecto.

Querría agradecer en general a todas las personas que me aprecian y que han hecho mi vida más sencilla estos años. Gracias a todos.



## Índice de contenidos

Índice de figuras .....	XIII
Índice de tablas .....	XV
<b>1 Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivación .....	1
1.2 Objetivos .....	3
1.3 Organización de la memoria .....	4
<b>2 Tecnologías a utilizar y estado del arte .....</b>	<b>7</b>
2.1 Introducción .....	7
2.2 Desarrollo de aplicaciones móviles .....	8
2.2.1 Windows Phone.....	9
2.2.2 BlackBerry.....	10
2.2.3 Android .....	11
2.2.4 Apple iOS .....	12
2.2.5 Elección de sistema operativo y dispositivo .....	13
2.2.6 Medios a utilizar. ....	16
2.3 Localización geográfica .....	17
2.3.1 Sistemas de posicionamiento por satélite.....	17
2.3.2 Coordenadas geográficas .....	18
2.3.3 Tecnologías usadas en el dispositivo.....	19
2.4 Tecnología para personas con discapacidad visual .....	22
2.4.1 Tiflotecnología .....	22
2.4.2 Aplicaciones móviles diseñadas para personas con discapacidad visual .....	24
2.4.3 Sistemas de GPS para personas con deficiencia visual.....	26
<b>3 Diseño .....</b>	<b>29</b>
3.1 Introducción .....	29
3.2 La discapacidad visual.....	30
3.3 Movilidad en personas con discapacidad visual. ....	32
3.3.1 Problemas en la navegación.....	33
3.3.2 Posibles soluciones a los problemas en la navegación.....	35
3.4 Teléfonos inteligentes y personas con discapacidad visual .....	38
3.4.1 Problemas con el manejo del dispositivo .....	38
3.4.2 Posibles soluciones a los problemas con el manejo del dispositivo.....	39
3.5 Entrevista con persona invidente.....	42
3.6 Solución propuesta .....	44
<b>4 Desarrollo.....</b>	<b>49</b>
4.1 Introducción .....	49
4.2 El entorno de trabajo.....	50
4.2.1 Xcode .....	50
4.2.2 Objective-C , iOS y Cocoa Touch.....	51
4.2.3 Estructura de las aplicaciones para iOS.....	52
4.3 Archivos del proyecto .....	55
4.3.1 Clases definidas para el proyecto.....	55
4.3.2 ViewControllers .....	55
4.4 Apartados de la aplicación .....	57

4.4.1 Menú Principal.....	57
4.4.2 Información e instrucciones .....	58
4.4.3 Cómo llegar.....	59
4.4.4 Trayectos Propios .....	60
4.4.5 El asistente de navegación .....	63
4.4.6 Opciones.....	71
<b>5 Pruebas y resultados .....</b>	<b>75</b>
<b>5.1 Introducción .....</b>	<b>75</b>
<b>5.2 Test previos .....</b>	<b>76</b>
5.1.1 Precisión en la localización .....	76
5.1.2 Precisión en la dirección .....	80
5.1.3 Trayectos calculados por el algoritmo frente a soluciones de otros navegadores ...	81
<b>5.2 Pruebas de apartados relativos a trayectos.....</b>	<b>85</b>
5.2.1 Prueba del navegador a través de <i>Cómo llegar</i> .....	85
5.2.2 Prueba de Añadir trayecto del apartado Trayectos Propios .....	99
5.2.3 Prueba del navegador a través de <i>Trayectos guardados</i> del apartado <i>Trayectos Propios</i> .....	105
<b>5.3 Pruebas de los apartados no relativos a localización geográfica .....</b>	<b>108</b>
5.3.1 Prueba del apartado de <i>Información e instrucciones</i> .....	108
5.3.2 Pruebas de <i>Opciones</i> .....	110
<b>5.4 Prueba con persona invidente .....</b>	<b>113</b>
5.4.1 Impresiones del desarrollador.....	113
5.4.2 Impresiones del usuario .....	115
<b>6. Conclusiones y trabajo futuro .....</b>	<b>119</b>
<b>6.1 Conclusiones.....</b>	<b>119</b>
6.1.1 Elección de plataforma .....	119
6.1.2 Apartados de la aplicación.....	120
6.1.3 VoiceOver .....	121
6.1.4 Geo-localización y direccionamiento .....	121
6.1.5 Conclusiones generales. ....	122
<b>6.2 Trabajo futuro .....</b>	<b>123</b>
6.2.1 Posibles continuaciones del proyecto .....	123
6.2.2 Posibles adiciones al proyecto.....	124
<b>Glosario.....</b>	<b>127</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>128</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>129</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>130</b>
<b>Anexo A: Mapa y tablas de puntos para la caracterización del campus. ....</b>	<b>130</b>
Mapa.....	130
Puntos clave que forman el grafo.....	131
Edificios del campus .....	134
<b>Anexo B: Tabla de información de navegación.....</b>	<b>135</b>
<b>PRESUPUESTO .....</b>	<b>136</b>
<b>PLIEGO DE CONDICIONES .....</b>	<b>137</b>

## Índice de figuras

Figura 2 - 1 Dispositivos de los distintos sistemas operativos móviles. ....	13
Figura 2 - 2 Número de aplicaciones móviles ofrecidos por sistema operativo. ....	13
Figura 2 - 3 Número de descargas de aplicaciones móviles por sistema operativo. ....	14
Figura 2 - 4 Ejemplo de uso de Google Maps para obtener coordenadas geográficas.	19
Figura 2 - 5 Capturas de pantalla mostrando los ajustes de los servicios de localización y la aplicación Mapas haciendo uso de estos servicios como muestra el icono próximo al consumo de batería. ....	20
Figura 2 - 6 Capturas de pantalla mostrando el uso de la aplicación Brújula, que hace uso de la brújula digital interna del teléfono para calcular la dirección respecto al norte magnético. ....	21
Figura 3 - 1 Capturas de pantalla del menú de Accesibilidad de las opciones del teléfono y de un ejemplo de introducción de texto por dictado de voz. ....	40
Figura 3 - 2 Esquema general de los apartados de la aplicación. ....	46
Figura 4 - 1 Representación esquemática de los componentes necesarios para desarrollar una aplicación en iOS. ....	52
Figura 4 - 2 Representación esquemática de la estructura Model-View-Controller (MVC) en la que se basan las aplicaciones iOS. ....	53
Figura 4 - 3 Captura de pantalla del Menú Principal con una simulación de la información recibida al tocar cada uno de los botones con VoiceOver activado. .	57
Figura 4 - 4 Captura de pantalla del menú general del apartado <i>Información e Instrucciones</i> con una simulación de la información recibida al tocar cada uno de los botones con VoiceOver activado. ....	58
Figura 4 - 5 Capturas de pantalla mostrando un ejemplo del resultado de seleccionar la opción <i>Cómo llegar</i> . ....	60
Figura 4 - 6 Capturas de pantalla mostrando un ejemplo del uso del apartado <i>Trayectos Propios</i> . ....	63
Figura 4 - 7 Captura de pantalla de una aplicación de ejemplo mostrando la situación en la que se ha almacenado cada uno de los edificios a los que se puede acceder en la opción <i>Cómo llegar</i> . ....	65
Figura 4 - 8 Captura de pantalla de una aplicación de ejemplo mostrando el grafo creado por los caminos resultantes al unir los puntos añadidos por los cuales se calculará un trayecto en la opción <i>Cómo llegar</i> . ....	65
Figura 4 - 9 Diagrama de flujo que representa el funcionamiento del navegador. ....	70
Figura 4 - 10 Captura de pantalla del menú <i>Opciones</i> de la aplicación. ....	73
Figura 5 - 1 Capturas de pantalla de Google Maps mostrando la situación elegida para hacer la prueba. ....	77
Figura 5 - 2 Captura de pantalla representando los datos devueltos en el test y detallados en la tabla anterior. ....	78
Figura 5 - 3 Capturas de pantalla de Google Maps mostrando las localizaciones donde se ha realizado las siguientes pruebas. ....	79

Figura 5 - 4 Capturas de pantalla de la aplicación y de Google Maps comparando el primer trayecto.....	82
Figura 5 - 5 Capturas de pantalla de la aplicación y de Google Maps comparando el segundo trayecto.....	83
Figura 5 - 6 Capturas de pantalla de la aplicación y de Google Maps comparando el tercer trayecto.....	84
Figura 5 - 7 Foto realizada del punto de inicio del trayecto.....	87
Figura 5 - 8 Foto tomada del primer tramo del trayecto a partir de la dirección indicada. ....	90
Figura 5 - 9 Foto tomada en el lugar donde la aplicación nos avisa de que hemos alcanzado el siguiente punto.....	91
Figura 5 - 10 Captura de pantalla tomada del momento en que nos indica una nueva dirección, y fotografías de los momentos, primero incorrecto y luego correcto, en que nos indica la dirección a seguir.....	93
Figura 5 - 11 Foto tomada del punto donde nos avisa de que hemos alcanzado una rotonda con las direcciones, incorrecta y correcta, a seguir. ....	94
Figura 5 - 12 Foto tomada del siguiente tramo de camino a realizar con la dirección indicada tras superar la rotonda. ....	95
Figura 5 - 13 Foto tomada del siguiente punto y la dirección a seguir indicada por la aplicación.....	95
Figura 5 - 14 Fotos tomadas de las posiciones donde nos avisa en dos situaciones distintas. ....	96
Figura 5 - 15 Captura de pantalla de Google Maps mostrando la rotonda. Los círculos rojos muestra las localizaciones aproximadas donde hemos añadido puntos, y la línea el trayecto recorrido entre ellos.....	102
Figura 5 - 16 Capturas de pantalla mostrando el trayecto almacenado. La línea roja representa todos los puntos que ha devuelto a lo largo de trayecto y la verde una los pines que representan los puntos clave almacenados por el usuario. ....	104
Figura 5 - 17 Comparación de la captura de Google Maps anterior con el resultado de la aplicación. ....	105
Figura 5 - 18 Capturas de pantalla mostrando el manejo del menú de <i>Información e instrucciones</i> . ....	109
Figura 5 - 19 Capturas de pantalla mostrando el acceso a las instrucciones desde el apartado <i>Cómo llegar</i> . ....	109
Figura 5 - 20 Capturas de pantalla del resultado de aplicar la opción de <i>Buscar edificio como posición de partida</i> . ....	111
Figura 5 - 21 Capturas de pantalla del resultado de aplicar la opción de <i>Usar puntos del mapa al cargar</i> . ....	112
Figura 5 - 22 Capturas de pantalla del resultado de aplicar la opción de <i>Cambiar colores para mayor contraste</i> . ....	112
Figura 5 - 23 Fotos tomadas durante la prueba de la aplicación realizada por el colaborador. ....	116

## Índice de tablas

Tabla 3 - 1 Datos estadísticos de las personas con deficiencia visual en España. ....	31
Tabla 5 - 1 Resultados del primer test de precisión de localización. ....	77
Tabla 5 - 2 Distancia en metros desde los puntos devueltos por la aplicación al punto calculado en Google Maps de las localizaciones donde hemos realizado las pruebas. ....	79
Tabla 5 - 3 Valores de dirección devueltos por el teléfono en un punto lejano a un edificio. ....	80
Tabla 5 - 4 Valores de dirección devueltos por el teléfono en un punto cercano a un edificio. ....	81
Tabla 5 - 5 Capturas de pantalla de la aplicación mostrando el proceso de uso del apartado <i>Cómo llegar</i> . ....	87
Tabla 5 - 6 Capturas de pantalla de la aplicación mostrando las tres pestañas del apartado <i>Navegación</i> . ....	88
Tabla 5 - 7 Capturas de pantalla de la aplicación mostrando el proceso de comenzar a usar el navegador. ....	89
Tabla 5 - 8 Capturas de pantalla de la aplicación mostrando el proceso de uso del navegador al adquirir una dirección.....	90
Tabla 5 - 9 Capturas de pantalla de la aplicación mostrando el momento en que se alcanza el siguiente punto. ....	91
Tabla 5 - 10 Capturas de pantalla de la aplicación mostrando el momento en que se alcanza el siguiente punto, de tipo rotonda esta vez.....	94
Tabla 5 - 11 Capturas de pantalla mostrando los avisos recibidos al llegar al último punto del trayecto. ....	96
Tabla 5 - 12 Capturas de pantalla mostrando un ejemplo de introducción del nombre de un trayecto a través del dictado de voz. ....	100
Tabla 5 - 13 Capturas de pantalla del proceso al empezar a almacenar un trayecto. .	101
Tabla 5 - 14 Capturas de pantalla del proceso de finalizar el trayecto. ....	103





# 1 Introducción

## 1.1 Motivación

Según datos de la OMS, en el mundo hay aproximadamente 285 millones de personas con discapacidad visual, de las cuales 39 millones son ciegas y 246 millones presentan baja visión. Además, aproximadamente un 90% de la carga mundial de discapacidad visual se concentra en los países en desarrollo.

Existe un costo económico y social de la ceguera que contribuye a empeorar economías de por sí débiles. Como indica el Director General de la OMS: "Los costos que suponen la educación, la rehabilitación y la pérdida de productividad por causa de la ceguera tienen importantes repercusiones en las personas, las familias, las comunidades y las naciones, en particular en las zonas más pobres del mundo"<sup>1</sup>. La ceguera y la debilidad visual son consideradas padecimientos con repercusiones de "gran envergadura para el desarrollo humano, social y económico del individuo, así como en su calidad de vida".

Resulta evidente que las personas ciegas o con visibilidad reducida no tienen las mismas posibilidades que las personas que sí ven a la hora de realizar tareas cotidianas. Según la ONCE "el 80% de la información necesaria para nuestra vida cotidiana implica el órgano de la visión. Esto supone que la mayoría de las habilidades que poseemos, de los conocimientos que adquirimos y de las actividades que desarrollamos las aprendemos o ejecutamos basándonos en información visual"<sup>2</sup>.

Para aclarar un poco el público al que nos referimos con al hablar de discapacidad visual citamos de nuevo a la ONCE: "La visión representa, de esta forma, un papel central en la autonomía y desenvolvimiento de cualquier persona. Las diferentes patologías y alteraciones oculares pueden reducir en diversos grados o anular la entrada de esta información visual imprescindible para nuestro desempeño diario y bienestar. En este sentido, cuando hablamos en general de ceguera o deficiencia visual nos estamos refiriendo a condiciones caracterizadas por una limitación total o muy seria de la función visual. Es decir, nos estamos refiriendo a personas que, o bien no ven absolutamente nada, o bien, en el mejor de los casos, incluso llevando gafas o utilizando otras ayudas ópticas, ven mucho menos de lo normal y realizando un gran esfuerzo".

---

<sup>1</sup> <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2003/pr73/es/>

<sup>2</sup> <http://www.once.es/new/servicios-especializados-en-discapacidad-visual/discapacidad-visual-aspectos-generales>

Esta deficiencia supone distintos trastornos a quienes la padecen. En este sentido la ONCE indica que: “Ésta pérdida grave de funcionalidad de la visión se va a manifestar, por un lado, en limitaciones muy severas de la de la persona para llevar a cabo de forma autónoma sus desplazamientos, vida diaria, o el acceso a la información. Por otro, en restricciones para el acceso y la participación de la persona en sus diferentes entornos vitales: educación, trabajo, ocio, etc., y que adoptan la forma, no sólo de barreras físicas y arquitectónicas, sino también sociales y actitudinales”.

La principal motivación de este proyecto es la de tratar de facilitar algunos aspectos de la vida cotidiana a personas con discapacidad visual, principalmente a la hora de superar las limitaciones en los desplazamientos debidas a las mencionadas barreras físicas y arquitectónicas.

Por ello, en este proyecto se propone la creación y desarrollo de equipos electrónicos de bajo costo de ayuda para discapacitados visuales. Mas concretamente la idea es diseñar, desarrollar y probar un pequeño programa informático o aplicación que consista en un sistema de guiado o navegación y sirva como ayuda a personas de visión reducida a la hora de desplazarse por zonas parametrizadas, pero en su mayor parte desconocidas.

En la actualidad, un teléfono de coste medio reemplaza ventajosamente a un sistema tradicional basado en un circuito impreso con un microprocesador estándar. Aspectos como velocidad, tamaño, consumo, fiabilidad, e integración con Internet son difícilmente igualables. Adicionalmente, el volumen de mercado de estos dispositivos hace que su costo sea bajo, su funcionalidad muy conocida y su grado de penetración en la población muy amplio.

Además los teléfonos inteligentes actuales poseen, generalmente, un módulo de geolocalización que los permite calcular su posición por satélite o por triangulación de antenas y ofrecer así con una precisión bastante alta la ubicación del dispositivo en el globo. A partir de los esos datos, y con la ayuda de un sistema de mapas bien conseguido se pueden conseguir sistemas de navegación muy exactos a la hora de desplazarse por lugares desconocidos. Estos sistemas han tomado mucha importancia últimamente y han sustituido casi en su totalidad a los mapas físicos y callejeros a la hora de buscar indicaciones para alcanzar destinos de la manera más rápida y cómoda.

Así pues se propone el uso de teléfonos inteligentes como unidad central de trabajo. Pensamos que a día de hoy son la plataforma idónea para desarrollar una aplicación, por su amplio despliegue actual, su fácil distribución y la multitud de posibilidades que ofrecen.

## 1.2 Objetivos

Se proponen los siguientes objetivos con el fin de conseguir llevar a cabo la idea expuesta anteriormente.

A. Elegir una plataforma para desarrollar la aplicación. Se considera crucial el hecho de elegir una plataforma apropiada donde posteriormente se ejecutará la aplicación. Por ello el primer objetivo será estudiar los posibles sistemas operativos y dispositivos móviles en los que podemos desarrollar la aplicación y elegir de entre ellos el que se considere más apropiado. Se tratará de aprender y adquirir una cierta experiencia en el desarrollo para el sistema obtenido.

B. Planteamiento y desarrollo de un prototipo de la aplicación centrada en el campus de Cantoblanco de la Universidad Autónoma de Madrid.

Dado que se trata de una versión de prueba la aplicación se centrará únicamente en el campus de Cantoblanco. Por ello el objetivo principal será que la aplicación sea capaz de ofrecer información valiosa para personas con discapacidad visual a la hora de moverse por el campus. Este objetivo se divide a su vez en varios sub-objetivos:

- Información útil y precisa respecto a la geo-localización. La idea principal es conseguir que la aplicación pueda almacenar rutas seguras dentro del campus y posteriormente pueda guiar al usuario a través de dichas rutas haciendo uso de indicaciones sensoriales distintas a las visuales, como pueden ser acústicas y hápticas (vibración).
- Facilidad en el manejo para personas que no ven la pantalla. La aplicación debe ser accesible. Se busca que la aplicación disponga la mayor cantidad de información de forma auditiva en sustitución a los estímulos visuales. Además se intentará que los controles de manejo sean sencillos para que haya menor probabilidad de equivocarse.
- Aprendizaje y ayudas. La aplicación habrá de contar con algunos apartados auto-explicativos, como unas instrucciones, y todo tipo de indicaciones posibles sobre su uso para que un nuevo usuario pueda aprender a usar la aplicación sin necesidad de consultar ningún manual externo.

C. Realizar pruebas de campo para comprobar la usabilidad de la aplicación y la fiabilidad de los sistemas de geo-localización que usa.

Una vez desarrollada la aplicación se pretende realizar pruebas de todos los posibles apartados para analizar los resultados obtenidos. El objetivo principal es comprobar la funcionabilidad de la aplicación con respecto a la precisión de los caminos que ofrece, la exactitud de las indicaciones que da y las posibles dificultades en su uso.

### 1.3 Organización de la memoria

Este documento se divide en varios capítulos cada uno de los cuales corresponde a una facción de trabajo realizada a lo largo del proyecto.

1. El primer capítulo es el de motivación y objetivos. En él se explica brevemente qué motivos son los que han llevado a plantear este proyecto y que se persigue conseguir con él.
2. En el segundo capítulo se hablará del estado del arte y los medios a utilizar. Así pues haremos un balance de las tecnologías que se pueden usar y elegiremos la más adecuada. Además veremos qué trabajo se ha realizado previamente con respecto a los temas que abarcamos, es decir aplicaciones móviles y sistemas de guiado dirigidas a personas con discapacidad visual.
3. El tercer capítulo es el de diseño, donde plantearemos más a fondo el problema al que nos enfrentamos y trataremos de obtener soluciones para realizar el prototipo, dando al final una idea general esquemática de la aplicación y sus apartados.
4. El cuarto capítulo se centrará en el desarrollo de la aplicación. En él nos familiarizaremos primero con el entorno de trabajo, contando brevemente las pautas a seguir para el desarrollo de una aplicación en la plataforma escogida. Posteriormente se explicará con detalle los pasos que se han seguido a la hora de desarrollar el código de la aplicación.
5. El capítulo número cinco se centrará en las pruebas de campo realizadas. Se tratará de comprobar la funcionabilidad de la aplicación previa a un uso real en personas con discapacidad. Se estudiarán asuntos como precisión, viabilidad, exactitud en los resultados y otros apartados de importancia. Se hará una prueba con un usuario con discapacidad.
6. En el sexto y último capítulo trataremos de sacar algunas conclusiones tras haber probado el prototipo y posteriormente se hablará sobre el trabajo futuro a realizar y la relación del proyecto con otros que también se está realizando sobre el tema, que complementan el uso de la aplicación.





## 2 Tecnologías a utilizar y estado del arte

### 2.1 Introducción

En este apartado se tratará de explicar las decisiones tomadas a la hora de elegir una plataforma para la realización del programa. Para ello veremos algunos trabajos previos realizados en este campo, estudiaremos las posibles plataformas a utilizar, y explicaremos qué es necesario para utilizar la plataforma que se haya escogido.

Primero haremos un breve repaso de la actualidad de los teléfonos inteligentes, viendo las opciones ofrecidas en el mercado, elegiremos una basándonos en las especificaciones de cada una de las posibilidades y estudiaremos los recursos necesarios para desarrollar la aplicación en dicha plataforma.

A continuación explicaremos en qué consiste la geo-localización, qué tecnologías se usan para ello, los usos que se le dan más frecuentemente y un poco más en concreto las posibilidades que ofrece al respecto el dispositivo escogido para el desarrollo.

Por último nos centraremos en sistemas electrónicos previos realizados para un público con deficiencia visual. En este apartado veremos qué tecnologías se centran principalmente en este público, pero también veremos trabajos previos con respecto a los dos temas que nos incumben: aplicaciones móviles y uso de geo-localización.

## 2.2 Desarrollo de aplicaciones móviles

Desde la aparición, hace no demasiados años, de la telefonía móvil comercial a nivel usuario, se han sucedido una serie de mejoras continuas con el fin de ofrecer al usuario la oportunidad de estar continuamente conectado. Las prestaciones que ofrecen los dispositivos móviles han ido aumentando de una manera incesante, así como la capacidad de información que se puede intercambiar entre ellos a través de las redes de telecomunicación.

En la actualidad los llamados teléfonos inteligentes o *smartphones* se han convertido en la opción que un gran número de personas han elegido para aprovechar esta conexión continua en la que se vive en la actual sociedad de la información.

El tirón de los teléfonos inteligentes se debe en gran parte a que ofrecen la posibilidad de llevar en el bolsillo un pequeño ordenador en el que se pueden instalar multitud de programas ofrecidos especialmente para estas plataformas de un precio generalmente no muy elevado, y de fácil adquisición en tiendas online propias de las respectivas plataformas. Estos programas o aplicaciones tienen finalidades muy dispares, desde algunas destinadas al ocio como los juegos o las redes sociales hasta otras más potentes como editores de imágenes o algunas dedicadas al ambiente profesional como gestores de correo electrónico o editores de texto que pueden ser muy útiles en la vida laboral.

Esto supone un escenario nuevo para multitud de personas que quieren dedicarse al desarrollo de aplicaciones, puesto que ofrece un mercado relativamente nuevo con un gran número de usuarios a los que satisfacer y además parece que se presenta un buen futuro al respecto. Por ello el desarrollo y la distribución de aplicaciones móviles ha experimentado un crecimiento excepcional en los últimos años.

En este proyecto se quiere aprovechar este tirón y usar un teléfono inteligente como plataforma para nuestra aplicación, ya que consideramos que a día de hoy es el mejor método de hacer llegar una aplicación a un gran número de usuarios, y además contando con el respaldo de grandes compañías a la hora de programar y distribuir el producto final.

Por tanto, una vez concluido que vamos a realizar el proyecto en un teléfono inteligente, queda por decidir qué sistema operativo y qué dispositivo usaremos para ello. Si analizamos con mayor profundidad los diferentes sistemas operativos para dispositivos móviles, llegamos a la conclusión de que existen cuatro candidatos reales a albergar nuestra aplicación: Windows Phone, Blackberry, Android y Apple iOS.



Pese a que aún es de los más extendidos, no hemos considerado Symbian de Nokia ya que no continuarán su implantación en nuevos terminales a partir de 2016 al no considerarlo competidor de los mencionados anteriormente.

A continuación haremos un breve resumen de cada uno de estos sistemas operativos, mencionando sus ventajas e inconvenientes. Nos fijaremos especialmente en las funcionalidades de accesibilidad que ofrecen ya que será un aspecto clave en nuestro proyecto. En gran medida nos fijaremos en su relación con respecto al mercado de las aplicaciones móviles, ya que es un dato a tener en cuenta la cantidad de usuarios del sistema operativo si queremos tratar de abarcar un público lo mas numeroso posible. Una vez planteados estos asuntos trataremos de compararlos entre los distintos candidatos para tomar una decisión y elegir el que consideremos más .

### 2.2.1 Windows Phone

Ha sido el último en llegar al mercado de los dispositivos móviles. La primera versión llamada Windows Phone 7 salió al mercado en 2010. La versión actual es la reciente Windows 8.

Se trata de un sistema cerrado, robusto, basado en la sencillez y ofrece una interfaz fluida y simple. Se ofrece en un número bastante amplio de modelos de diferentes marcas, cuyos dispositivos están a la altura de los mejores del mercado. En general se puede decir que los teléfonos con Windows Phone tienen un rendimiento muy bueno.

Como principales puntos a favor desde el punto de vista de desarrollo podemos señalar que se ha creado un estándar en la resolución del sistema que supondrá un beneficio a la hora de realizar sólo una la interfaz gráfica. Otra ventaja es que Microsoft provee de un entorno de trabajo a la altura de los mejores, con una gran cantidad de APIs que hacen que la programación resulte lo más sencilla posible.

La mayor desventaja es que su tardía llegada al mercado ha hecho que le sea muy difícil competir con otros sistemas como Android o iOS que ya disponían de una amplia cuota de mercado, y al no ofrecer grandes saltos de calidad con respecto a estas alternativas es difícil convencer al usuario para que cambie de plataforma. Por ello el número de aplicaciones existentes es mucho menor que en el de los sistemas citados anteriormente.

Con respecto a la accesibilidad, la última versión, Windows 8<sup>3</sup>, ofrece opciones como cambiar el tamaño del texto, utilizar temas con alto contraste, usar lupa para ampliar partes de pantalla o comandos de voz para realizar un determinado número de tareas.

### 2.2.2 BlackBerry

Fueron los primeros en incorporar tecnologías de red para un uso permanente de ella. Su principal característica es el uso de teclado físicos en contraposición a las pantallas táctiles si bien es cierto que algunos de los últimos modelos ya usan este tipo de tecnología.

Pese a que en un principio estos dispositivos compitieron con iOS y Android, no han sido capaces de aguantar el tirón de las pantallas multitáctiles y eso es precisamente lo que ha hecho que su cuota de mercado descienda considerablemente en los últimos años.

A favor se puede decir que siguen ofreciendo terminales de baja gama para copar una cierta cuota de mercado. Además se está haciendo un enorme esfuerzo por actualizar su sistema operativo, y tratar de migrar a móviles táctiles y tablets. Prueba de ello es la reciente presentación de la última versión, Blackberry 10, con la que se pretende sacar a flote de nuevo a la compañía.

Sin embargo, la mayoría de sus dispositivos tienen teclados físicos, lo que limita sin duda las posibilidades de desarrollo frente a los dispositivos con pantallas táctiles. En general muchos desarrolladores ven un fin relativamente próximo y esto hace que se echen atrás a la hora de elegirla como plataforma.

Como prestaciones de accesibilidad<sup>4</sup> cabe destacar que sus últimas versiones ofrecen un lector de pantalla. Además ofrecen otras opciones similares a las de Windows como ofrecer colores con más contraste, aumentar el tamaño de la letra y otras de las que podemos destacar el poder personalizar las vibraciones según el tipo de notificación o confirmaciones de audio para ciertas acciones.

---

<sup>3</sup> <http://www.windowsphone.com/es-ES/how-to/wp8/basics/accessibility-on-my-phone>

<sup>4</sup> <http://us.blackberry.com/legal/accessibility.html#h:/legal/accessibility/vision.html>

### 2.2.3 Android

El sistema operativo móvil de Google se ha convertido en el más extendido y uno de los más populares sin ninguna duda. La primera versión se lanzó en 2008 y ha evolucionado realmente rápido haciendo que su cuota de mercado haya aumentado hasta más de un 70%. Su versión actual se encuentra en la 4.2.2 Jelly Bean.

Android es un sistema abierto basado en Linux que puede ser implementado por cualquier dispositivo que lo soporte. Esta es la principal ventaja de este sistema que ha puesto a muchos fabricantes de su lado en la lucha contra Apple. Gracias a ello, se han sacado al mercado multitud de terminales con características y precios muy distintos que han conseguido abarcar una gran cantidad de sectores distintos de usuarios, viendo así como las ventas de los dispositivos con Android se disparaban en los últimos años.

Como desarrollador, las principales ventajas que encontramos son el enorme número de usuarios y la facilidad a la hora de empezar a desarrollar y posteriormente probar y distribuir la aplicación. Además a día de hoy algunos dispositivos Android son igual de potentes o más que los iPhone, que era una de las cosas que siempre tenía a favor la marca de la manzana.

Sin embargo, las principales virtudes también suponen cierto problemas. El hecho de que haya evolucionado tan rápido hace que existan muchos dispositivos distintos, con cualidades hardware muy distintas. Esto supone que las diferencias en rendimiento o en resolución de pantalla entre dispositivos sean muy grandes. Resulta una tarea complicada para el desarrollador poder garantizar el rendimiento óptimo y/o una visualización correcta de las aplicaciones en varios dispositivos y asegurar la compatibilidad con modelos más antiguos.

Con respecto a la accesibilidad<sup>5</sup> nos encontramos con los mismos problemas que acabamos de mencionar, ya que la amplia mayoría de modelos ofrecen opciones distintas. En las últimas versiones Android ofrece un lector de pantalla llamado TalkBack que permite interactuar con el teléfono a personas que no vean la pantalla. Además ofrece las opciones más habituales como zoom o cambiar el tamaño de la letra. Como punto fuerte se puede destacar un sistema reconocedor de voz de Google, que puede resultar muy útil para sustituir la entrada de texto por teclado virtual.

---

<sup>5</sup> <http://developer.android.com/design/patterns/accessibility.html>

## 2.2.4 Apple iOS

Apple lanzó al mercado iPhone, con la primera versión de iOS en el verano de 2007. Actualmente se ha lanzado ya la última actualización a la versión 6.1. La principal característica principal del sistema iOS es su exclusividad ya que sólo se utiliza en los dispositivos de la marca Apple.

Apple iOS ha sido sin duda la referencia durante mucho tiempo, hasta la aparición de Android. Apple siempre ha ofrecido la mejor experiencia al usuario de la industria cuidando los detalles al máximo y haciendo las cosas de manera sencilla.

La principal ventaja de iOS es que al ser Apple los creadores del hardware también, se puede diseñar el sistema para optimizar los recursos, sin problemas de compatibilidad y así poder sacarle el máximo partido a los terminales. Además, conscientes de este potencial, Apple creó el AppStore y con él la posibilidad de desarrollar para terceros (siempre controlado por ellos eso sí) consiguiendo de este modo que el sistema se enriqueciera de gran manera, y suponiendo el principio de este *boom* de las aplicaciones móviles.

En contra se puede decir que los dispositivos de Apple son en general bastante caros y por ello no están al alcance de todo el mundo. Además, si bien es cierto que no hay problemas de compatibilidad, si conviene tener en cuenta la existencia de las tablets iPad a la hora de dirigir las aplicaciones a un tipo de dispositivo u otro. Otra pega es que se requiere de una licencia de pago para empezar a desarrollar.

En cuanto a la accesibilidad<sup>6</sup>, iOS dispone de más alternativas que el resto. Para empezar ofrece un sistema de lectura de pantalla muy completo llamado VoiceOver, que una vez se aprende a usar resulta de gran utilidad para usar el teléfono sin ver la pantalla. Dispone también de las funcionalidades enumeradas en los otros sistemas como la posibilidad de ampliar la pantalla mediante un zoom, se pueden ampliar el tamaño de las letras, cambiar los colores a los opuestos para mejorar el contraste o configurar el acceso directo a alguna opción mediante el botón de inicio. Además las últimas versiones de iOS incorporan un reconocedor de voz con el que se puede interactuar, y es muy útil para un acceso rápido a muchas tareas, además de dar la posibilidad de introducir texto por voz en lugar de por teclado.

---

<sup>6</sup> <http://www.apple.com/es/accessibility/iphone/vision.html>



Figura 2 - 1 Dispositivos de los distintos sistemas operativos móviles.

### 2.2.5 Elección de sistema operativo y dispositivo

Para obtener una visión un poco general del mercado de las aplicaciones móviles según el sistema operativo vamos a fijarnos en estas gráficas realizadas con datos sobre el mercado de las aplicaciones móviles<sup>7</sup>.

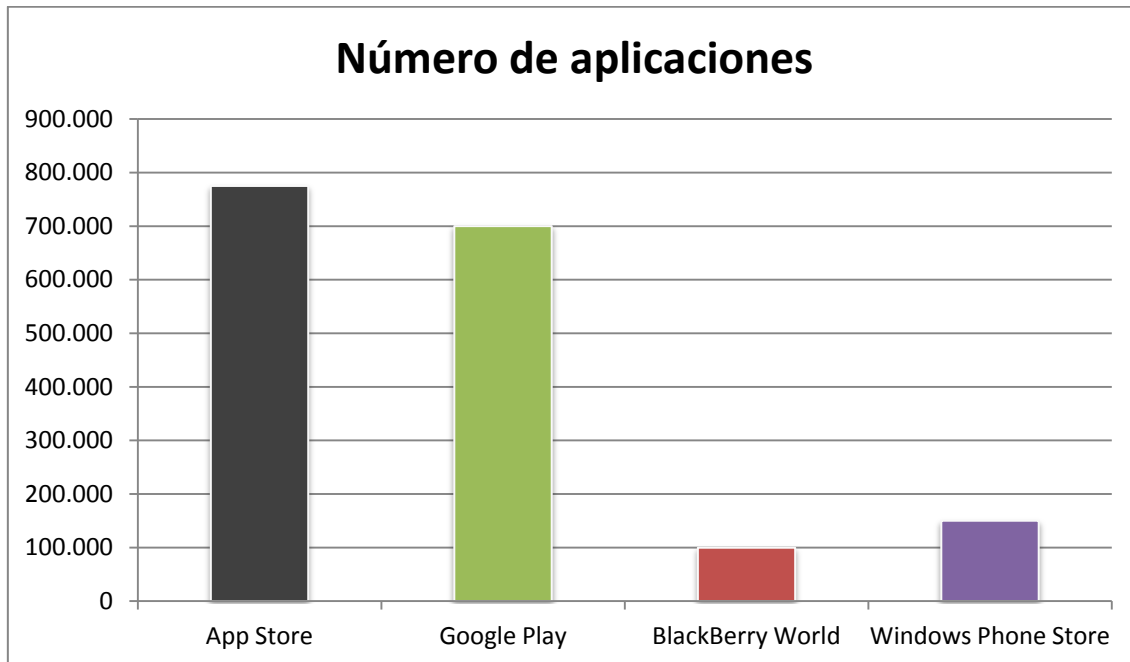


Figura 2 - 2 Número de aplicaciones móviles ofrecidos por sistema operativo.

<sup>7</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_digital\\_distribution\\_platforms\\_for\\_mobile\\_devices](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_digital_distribution_platforms_for_mobile_devices)

Como puede apreciarse en la gráfica App Store de iOS y Google Play de Google le sacan una gran ventaja a Windows y BlackBerry en número de aplicaciones ofrecidas. Vamos a ver ahora el número de descargas por plataforma.

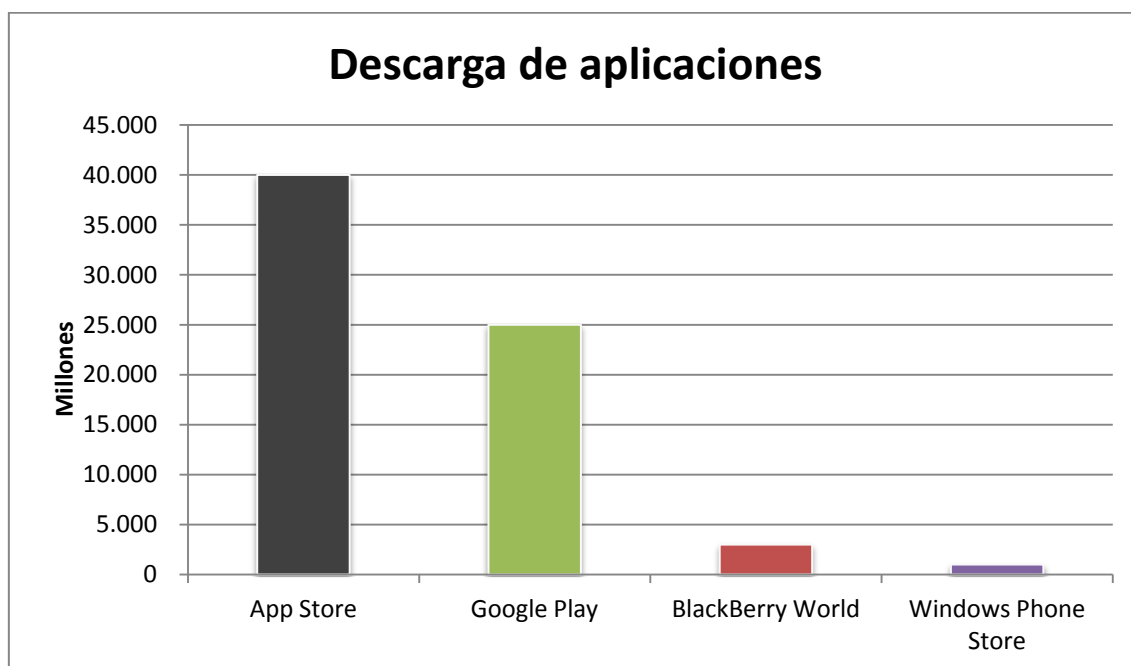


Figura 2 - 3 Número de descargas de aplicaciones móviles por sistema operativo.

Como puede apreciarse en este aspecto se nota también una ventaja de iOS y Android frente a BlackBerry y Windows, además se aprecia una notable superioridad de las descargas en iOS frente a las de Android.

Una vez vistas y estudiadas las posibilidades, y tras analizar el estado del mercado de las aplicaciones móviles, consideramos que tanto Windows Phone como BlackBerry no tienen un cuota de mercado suficiente para decantarnos por alguna de ellas.

Entre la otras dos, Android ha superado ampliamente a iOS en cuanto a cuota de mercado, pero lo cierto es que en el momento de empezar este proyecto la oferta de aplicaciones y número de descargas era todavía mayor en iOS y a día de hoy se encuentran bastante parejas. Además la proporción de teléfonos que usan la plataforma de descarga es mayor en iOS. En datos de mercado parece que el futuro se acerca más a Android, pero el presente está bastante igualado.

Hemos querido hacer una indagación más y hemos encontrado que en la página de CIDAT (Centro de Investigación, Desarrollo y Aplicación Tiflotécnica) de la ONCE se ofrece un apartado con ayuda para el manejo de iPhone por personas ciegas<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> <http://cidat.once.es/home.cfm?id=1101&nivel=2>

Haciendo un balance total, y a la vista de este último descubrimiento nos ha terminado por convencer más iOS sobre todo por el tema de accesibilidad. Sin embargo está claro que Android también ha sido considerada hasta el final, y no se descarta realizar una versión de la misma aplicación para esta plataforma.

### 2.2.6 Medios a utilizar.

Una vez decantados por iOS, vamos a describir los elementos necesarios para desarrollar en esta plataforma nuestra aplicación<sup>9</sup>.

Elementos Hardware:

- La creación de aplicaciones para iOS requiere de un ordenador Macintosh de la marca Apple. En este proyecto se usará principalmente el modelo Mac Mini disponible en el laboratorio de trabajo. El ordenador funciona con el sistema operativo OS X 10.7.5 Lion.
- Si bien no es estrictamente necesario, es muy aconsejable el uso de un dispositivo iOS para probar los resultados. En nuestro caso es necesario el uso de uno para ciertos aspectos y hemos usado el modelo iPhone 4S que es a día de hoy la penúltima versión. El teléfono funciona con el sistema operativo iOS 6.0.

Elementos Software:

- Cuando se desarrollan aplicaciones para iPhone se requiere el SDK (software development kit) de iOS junto con el entorno de desarrollo de Apple Xcode. Ambas cosas pueden ser descargadas de forma gratuita de la página de Apple. La programación en este entorno se desarrolla en el lenguaje Objective-C y presenta, especialmente para estas plataformas, las librerías Cocoa Touch para implementar las aplicaciones.
- El SDK incluye un simulador en el que se pueden testar nuestras aplicaciones sin necesidad de usar un dispositivo real. Sin embargo no se puede simular en el ordenador aspectos como la cámara, la localización o las aplicaciones que usen el giroscopio y el acelerómetro.

Otros:

- Para descargar los elementos mencionados anteriormente es necesario una cuenta de usuario de Apple y además registrarse como desarrollador. Si además se quiere tener la posibilidad de probar las aplicaciones en dispositivos reales es necesario obtener una licencia especial para ello que conlleva un coste anual.

---

<sup>9</sup> <https://developer.apple.com/programs/ios/>



## 2.3 Localización geográfica

Uno de los aspectos más importantes de la aplicación es que se basa en geo-localización. Para ello debemos conocer las tecnologías que se usan en este campo de las telecomunicaciones y más concretamente las que dispone el teléfono. El proyecto no pretende controlar el módulo GPS del teléfono, ni tampoco se pretende interpretar las tramas que nos informan de la ubicación, a las cuales no se tiene acceso directamente, simplemente se tratará de explicar en un sentido general el funcionamiento de estas tecnologías, así como las funcionalidades que el dispositivo puede obtener de ellas a partir del hardware instalado.

### 2.3.1 Sistemas de posicionamiento por satélite

Un sistema de posicionamiento por satélite, o sistema global de navegación por satélite, consiste en una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre. Permiten determinar las coordenadas geográficas y la altitud de un punto dado como resultado de la recepción de las mencionadas señales por antenas terrestres.

El origen de estos sistemas es militar. La finalidad perseguida era poder fijar objetivos con una precisión no conseguida anteriormente. Con el paso del tiempo se ha adaptado su uso a aspectos civiles. Son utilizados en navegación aérea civil desde hace tiempo y en los últimos años han adquirido multitud de otros usos como pueden ser sistemas de localización de emergencias, sistemas de seguimiento de la fauna, con fines geodésicos, hidrográficos o agrícolas, en geomática y otras actividades afines. A nivel usuario han alcanzado bastante popularidad los sistemas de ayuda en la navegación tanto de personas como de vehículos.

Actualmente existen dos sistemas de posicionamiento por satélite

- NAVSTAR-GPS (NAVigation System and Ranging – Global Position System), conocido simplemente como GPS, es el sistema operado por Estados Unidos y es el único completamente operativo a fecha actual. Está formado por una constelación de 24 a 27 satélites que se mueven en órbita de 20.000 km aproximadamente, alrededor de seis planos con una inclinación de 55 grados. Utiliza mediciones de distancia para determinar la posición y la hora de forma precisa, con un error nominal de unos 15 m.

- GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema), es el sistema operado por la Federación Rusa y es utilizado como reserva por algunos receptores comerciales de GPS. El sistema perdió operatividad tras disolverse la URSS, pero actualmente se encuentra en uso de nuevo. Consta de 31 satélites que orbitan a una altitud de 19.100 km, situados en tres planos y con una inclinación de 64,8 grados

Existen otros países que están tratando de desarrollar sus propios sistemas para no depender de los anteriores. Algunos de estos proyectos son:

- Galileo: desarrollado por la Unión Europea
- BNTS (BeiDou/Compass Navigation Test System) por la República Popular China
- QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) de Japón
- IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) desarrollado por India

### 2.3.2 Coordenadas geográficas

Las coordenadas geográficas son un sistema de referencia que utiliza las dos coordenadas angulares, latitud (Norte y Sur) y longitud (Este y Oeste) y sirve para determinar los ángulos laterales de la superficie terrestre. Se tratan de dos coordenadas angulares medidas desde el centro de la tierra y se suelen expresar en grados sexagesimales.

- La latitud es el ángulo que existe entre un punto cualquiera y el Ecuador, medida sobre el meridiano que pasa por dicho punto. Las líneas de latitud se denominan paralelos.
- La longitud mide el ángulo a lo largo del ecuador desde cualquier punto de la Tierra. Se acepta que Greenwich en Londres es la longitud 0 en la mayoría de las sociedades modernas. Las líneas de longitud son círculos máximos que pasan por los polos y se llaman meridianos.

En nuestro proyecto nos valdremos de valores de coordenadas geográficas para localizar los puntos del campus, y trabajaremos con ellos para situar al usuario del teléfono en relación a otros puntos fijos del campus. Estas coordenadas pueden ser obtenidas fácilmente usando Google Maps<sup>10</sup>, así que nos valdremos de esta página para obtenerlas. Por poner un ejemplo la siguiente imagen muestra la escuela buscada en dicha página y las coordenadas de un punto cercano a la puerta principal.

---

<sup>10</sup> <http://maps.google.es/>

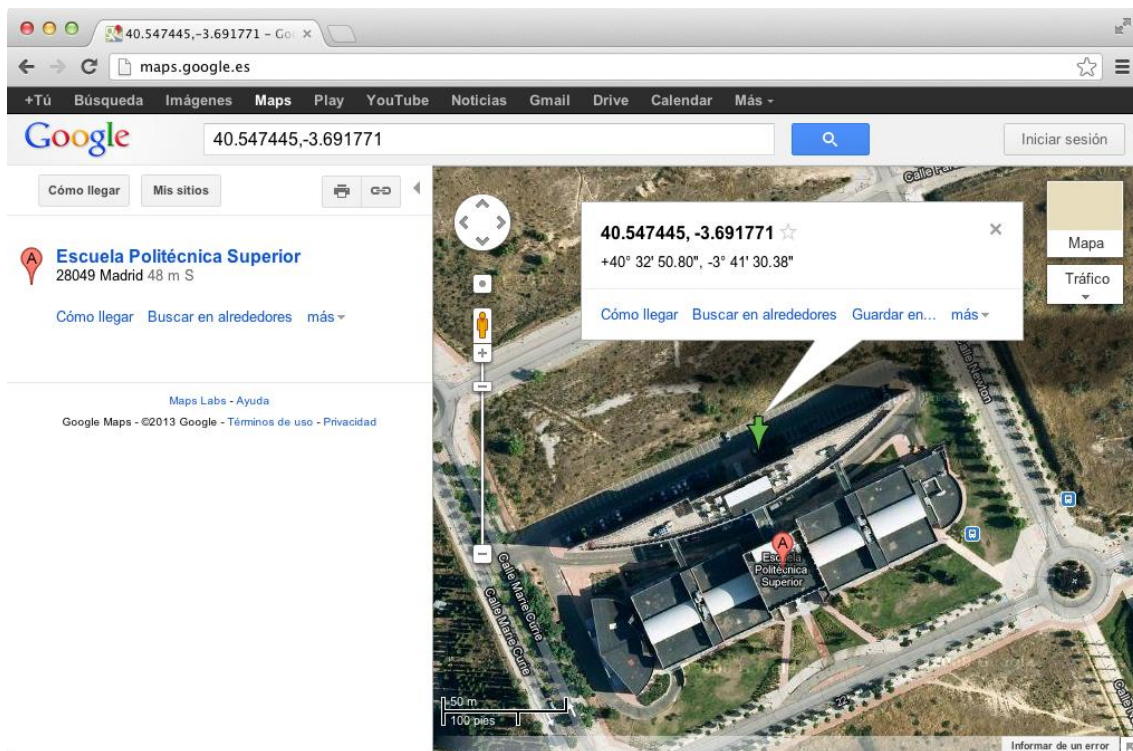


Figura 2 - 4 Ejemplo de uso de Google Maps para obtener coordenadas geográficas.

### 2.3.3 Tecnologías usadas en el dispositivo

Una vez conocemos los sistemas de posicionamiento y los datos que devuelven vamos a pasar a conocer los recursos de este tipo que utiliza el dispositivo elegido.

En la especificaciones del teléfono ofrecidas en la web<sup>11</sup>, encontramos un apartado referido a localización geográfica que indica que el teléfono dispone de los siguientes recursos al respecto:

- GPS y GLONASS asistido
- Brújula digital
- Wi-Fi
- Redes móviles

Como vemos utiliza los sistemas descritos en el sub-apartado anterior, pero añade la palabra asistido. Esto se refiere a que el teléfono utiliza un módulo de localización capaz de funcionar tanto con GPS como con GLONASS, pero que además se trata de un módulo A-GPS, o GPS asistido, que puede utilizar información de las redes de telefonía (UMTS, GSM, OMA) o conexiones Wi-Fi para mejorar el tiempo de búsqueda y la precisión en la búsqueda de la posición del teléfono<sup>12</sup>.

<sup>11</sup> <http://www.apple.com/es/iphone/iphone-4s/specs.html>

<sup>12</sup> <http://www.anandtech.com/show/4971/apple-iphone-4s-review-att-verizon/9>

Si miramos en los ajustes del teléfono, en el apartado de Localización, tenemos un interruptor que nos permite activar o desactivar estos servicios. Debajo puede leerse una frase que confirma lo que acabamos de decir: “Los servicios de localización utilizan GPS, junto con datos de antenas de telefonía móvil y puntos activos de conexión Wi-Fi para determinar su ubicación aproximada”. A continuación da la opción de elegir qué aplicaciones queremos que tengan acceso a los servicios de localización.



Figura 2 - 5 Capturas de pantalla mostrando los ajustes de los servicios de localización y la aplicación Mapas haciendo uso de estos servicios como muestra el icono próximo al consumo de batería.

Por otro lado, para calcular la dirección en que apunta el teléfono, se incluye una brújula digital. Una brújula digital consiste en un pequeño chip, que tras una calibración inicial permite calcular la posición del teléfono con respecto al campo magnético terrestre. Este tipo de chips llevan dentro tres sensores, o en ocasiones seis para una mayor precisión, que son sensibles al magnetismo y que están colocados en tres posiciones diferentes, lo que hace posible que la brújula detecte los tres ejes (X,Y,Z)<sup>13</sup>. Hay que tener en cuenta que estos sensores pueden sufrir interferencias por campos electromagnéticos y en ese caso se informará de que es necesaria una recalibración como se muestra en la siguiente figura.

<sup>13</sup> <http://3gmemories.com/2009/06/20/%C2%BFque-es-la-brujula-digital/>



Figura 2 - 6 Capturas de pantalla mostrando el uso de la aplicación Brújula, que hace uso de la brújula digital interna del teléfono para calcular la dirección respecto al norte magnético.

## 2.4 Tecnología para personas con discapacidad visual

El concepto más llamativo del proyecto es, probablemente, que se trate de un sistema cuyo público objetivo son personas con visibilidad reducida. Las personas ciegas tienen muchas más dificultades a la hora de realizar tareas cotidianas que al resto nos resultan sencillas, y el uso de aparatos electrónicos tales como los teléfonos inteligentes es un ejemplo de ello.

En este apartado explicaremos qué es la tiflotecnología y ahondaremos en este campo viendo qué soluciones se ofrecen, tecnológicamente hablando, para personas con deficiencias visuales. Por otro lado veremos algunos ejemplos de aplicaciones en dispositivos móviles destinadas a personas que no ven y al final haremos un breve estudio de proyectos previos referentes al uso de GPS en la navegación para personas con discapacidad visual.

### 2.4.1 Tiflotecnología

La tiflotecnología<sup>1415</sup> es el conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico de los conocimientos tecnológicos aplicados a personas ciegas o con baja visión. Es por tanto una tecnología de apoyo.

La sociedad en la que nos encontramos ha sido calificada como la sociedad de la información y el conocimiento, apoyada, de forma preponderante, en las denominadas Tecnologías de la Información y la Comunicación. De este modo, el desarrollo personal y social de las personas está determinado en gran medida por su cualificación para el uso de estas tecnologías.

Sin embargo, no todos los dispositivos existentes están adaptados para ser utilizados fácilmente por cualquier individuo, lo cual supone que ciertos sectores puedan quedar excluidos en el uso de estas nuevas tecnologías por su discapacidad. Es entonces cuando se corre el riesgo de la info-exclusión, es decir, que un determinado colectivo quede marginado de la mencionada sociedad de la información. Por tanto, es necesario que desde un principio estas tecnologías se diseñen teniendo en cuenta las necesidades de todos los usuarios para asegurar el uso en igualdad de condiciones.

Por otro lado, la aplicación de la tecnología, en general, ha supuesto una fuente constante de soluciones para las personas con ceguera o deficiencia visual en los

---

<sup>14</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Tiflotecnolog%C3%ADa>

<sup>15</sup> <http://www.once.es/new/servicios-especializados-en-discapacidad-visual/tecnologias-de-la-informacion-y-de-la-comunicacion/tiflotecnologia>

diferentes ámbitos de su autonomía y bienestar. En este sentido la tiflotecnología surge para procurar a las personas con ceguera o deficiencia visual los medios oportunos para la correcta utilización de la tecnología.

Llamaremos ayudas tiflotécnicas a los refuerzos y dispositivos técnicos adaptados para personas con ceguera y deficiencia visual. En este apartado veremos algunas de estas tecnologías, dividiéndolas en dos grupos principales.

Los primeros que veremos son los equipos adaptados. Estos son aquellos equipos que no han sido diseñados específicamente para este colectivo, por lo que se necesita incorporar algún programa para que puedan ser usado por personas con diversidad funcional visual. La principal ventaja es que si surge algún problema se puede solicitar ayuda a una persona que si vea. En esta categoría entrarían las prestaciones de accesibilidad que mirábamos al elegir un sistema operativo.

Según el dispositivo que se use hablamos de:

- Programas de ordenador para la accesibilidad. Se han desarrollado numerosas adaptaciones, a continuación se mencionan algunas.
  - Lectores de pantalla. Son aplicaciones que identifican e interpretan el texto que aparece por pantalla y la presenta al usuario mediante sintetizadores de voz, iconos sonoros o una salida Braille. Algunos ejemplos son Jaws o Windows-Eyes para Windows, Orca para Gnu/Linux y VoiceOver para Macintosh.
  - Magnificadores de pantalla. Son programas que permiten ampliar caracteres y configurar los colores dependiendo de la necesidad que posea el usuario. Generalmente los sistemas operativos más importantes tienen incorporada esta opción.
  - Programas parlantes. Los hay de distintos tipos como pueden ser navegadores de internet, reconocedores de texto impreso, calculadoras o relojes.
  - Dispositivos Braille. Son equipos que conectados a un ordenador ofrecen la información de pantalla en Braille para usuarios ciegos. Algunos incorporan conversores que se encargan de eliminar las contracciones que se dan en ocasiones en lenguajes anglosajones. También hay teclados e impresora Braille.

- Teléfonos y PDAs. En el apartado de elección del terminal ya se habló sobre este tema. Básicamente se puede decir que los teléfonos actuales poseen casi todas las especificaciones mencionadas para los ordenadores.

El segundo grupo de ayudas tiflotécnicas son los equipos específicos. Éstos son los equipos diseñados específicamente para personas ciegas o deficientes visuales que les permitan gestionar su información. Cabe destacar en este apartado dos tipos de dispositivos principalmente según el grado de discapacidad.

- Para personas ciegas los anotadores parlantes electrónicos. Se trata de unos dispositivos electrónicos que carecen de pantalla y que tienen teclado Braille para almacenar información y recuperarla mediante voz (sintetizador) o Braille. Su función principal es la edición de textos, aunque suelen tener más prestaciones, como pueden ser reloj, cronómetro, calendario, agenda, calculadora, etc. Además disponen de ciertas conexiones para realizar copias de seguridad de la información.
- Para personas con algún grado de resto visual existen las lupas de televisión. Estas consisten en circuitos cerrados de televisión que amplían el texto escrito mostrándolo por una pantalla.

#### 2.4.2 Aplicaciones móviles diseñadas para personas con discapacidad visual

Cuando vimos los sistemas operativos móviles existentes, vimos que muchos ofrecen ya una amplia gama de ayudas tiflotécnicas o de accesibilidad. Por ello algunos desarrolladores se han lanzado ya a crear aplicaciones pensando en un público con discapacidad visual. A continuación veremos algunas que hemos encontrado buscando en las tiendas virtuales de distintas plataformas<sup>16 17</sup>.

- Juegos. Existen algunos juegos adaptados para poder usarlos sin necesidad de ver la pantalla.
  - En iOS se han encontrado por ejemplo un buscaminas o un tragaperras accesibles específicamente para personas ciegas.
  - En Android se ha encontrado también un buscaminas accesible que junto con un juego de golf y otro denominado Zarodnik, también accesibles, ha sido desarrollados por alumnos de la UCM<sup>18</sup>.

---

<sup>16</sup> <https://itunes.apple.com/es/genre/ios/id36?mt=8>

<sup>17</sup> <https://play.google.com/store?hl=es>

<sup>18</sup> <http://eprints.ucm.es/16107/>



- Orientación. Estos son los que más nos incumben.
  - En iOS existe una aplicación desarrollada por CIDAT (Centro de Investigación, Desarrollo y Aplicación Tiflotécnica) de la ONCE, que esta pensada para personas con discapacidad visual y que dispone los mapas de metro de las principales ciudades españolas y calcula trayectos entre estaciones.
  - También en iOS hemos encontrado una aplicación llamada Ariadne GPS, que tiene varias funciones para ayudar a personas ciegas como puede ser avisar cuando se esta cerca de casa u ofrecer información sobre lo que hay cerca, pero que no tiene función de guiado.
  - En Android existe una aplicación creada por la UAB que tiene por fin calcular trayectos en bus por algunas ciudades como Madrid, Barcelona o Roma y guiar a la persona a lo largo del recorrido dando indicaciones e información de la espera en las paradas de los buses<sup>19</sup>.
- Otros. Existen algunas aplicaciones destinadas a personas con discapacidad visual que tienen otros fines.
  - En iOS se pueden encontrar multitud de aplicaciones que usan la cámara del teléfono para reconocer colores. De este modo al apuntar con la cámara a algún objeto la aplicación dice de que color es, lo cual puede ser útil a la hora de elegir una vestimenta.
  - Otra aplicación similar disponible para iOS, pero mucho más elaborada, es una llamada oMoby. Esta aplicación también utiliza la cámara para tomar imágenes de donde se apunta, pero en lugar de reconocer colores reconoce marcas y productos comerciales. Requiere de una conexión a internet y está en inglés.
  - Existe una aplicación llamada Fleksy que consiste en un teclado altamente predictivo. Si se conoce aproximadamente la situación de las letras en un teclado QWERTY, se puede escribir sin necesidad de ver la pantalla y reconoce lo que se quiere escribir aunque se tenga multitud de fallos. De momento solo existe en inglés y la plataforma es iOS. La versión completa es de pago
  - En Android hemos encontrado una aplicación llamada Mobile Accessibility que consiste en un conjunto de 10 aplicaciones (Teléfono, Contactos, SMS, Alarma, Calendario, Email, Web, Dónde estoy, Aplicaciones y Ajustes) que han sido especialmente diseñadas para que personas ciegas puedan usar un teléfono Android de manera intuitiva, fácil y simple. Lo hay en varios idiomas pero tiene un elevado precio.

---

<sup>19</sup> <http://www.uab.es/servlet/Satellite/noticias/detalle-de-una-noticia/crean-el-primer-gps-para-invidentes-1099409749848.html?noticiaid=1340258260255>

Algunas de estas aplicaciones realizan tareas parecidas a las que nosotros queremos implementar. Sin embargo dado que algunas tienen un precio elevado para descargarlas y que tampoco nos hemos querido dejar influir mucho por el trabajo de estas personas la mayoría de ellas ni si quiera las hemos probado.

### 2.4.3 Sistemas de GPS para personas con deficiencia visual

Con los recientes avances en las tecnologías de la información y las redes de telecomunicación muchos son los estudios que se han hecho a la hora de implementar sistemas de navegación para los ciegos. En este sentido se han usado una gran cantidad de tecnologías para hacer que estos sistemas sirvan de ayuda tanto dentro como fuera de edificios.

Para estudios dentro de edificios se han usado sensores de ultrasonidos para calcular la posición junto con la ayuda de ordenadores de bolsillo [1]. En otras ocasiones se ha usado radiofrecuencia (RFID) junto con GPRS en lugar de sensores [2][3], o se ha hecho uso de la tecnología NFC para mejorar los resultados de estos sistemas basados en RFID [4]. Sin embargo en estos casos el uso del GPS no parece muy apropiado dado al rango de error aproximado que nos limita en gran medida en estos escenarios.

Desde que se comercializó el GPS de uso civil, son varios los proyectos que han perseguido el objetivo de utilizar esta tecnología para crear herramientas de apoyo a la orientación de personas ciegas, sobre todo en este caso para estudios en exteriores. Hay algunos estudios en los que se hace uso de GPS usando dispositivos propios creados con un microcontrolador[4], y otros en los que ya se intentaba hacer uso de teléfonos móviles[5][6]. Sin embargo muchos de estos sistemas sufren de los problemas básicos de interacción entre el usuario ciego y el dispositivo. Por ello otros ya incluyeron reconocimiento de voz y dispositivos parlantes[7]. Hay otros estudios que también hacen uso de visión artificial y reconocimiento de imágenes[8] para complementar la información GPS, y obtener información sobre posibles obstáculos, y algunos que intentan juntar varias de las tecnologías arriba propuestas.

También existen, a parte de estudios, algunos de estos sistemas comerciales como son: BrailleNote GPS de Sendero Group U.C., Victor Trekker, De MoBic, y en España el sistema Orienta. Todos ellos presentan características similares de funcionamiento[9].

Nos vamos a centrar brevemente en el sistema Orienta. Este sistema es el resultado de un proyecto, el proyecto Tormes<sup>20</sup>, de la ONCE a través de CIDAT son la colaboración de distintas empresas especializadas en navegación por satélite. Los componentes de

---

<sup>20</sup> [http://www.esa.int/esl/ESA\\_in\\_your\\_country/Spain/Tecnologia\\_Espacial\\_para\\_ayudar\\_a\\_los\\_ciegos](http://www.esa.int/esl/ESA_in_your_country/Spain/Tecnologia_Espacial_para_ayudar_a_los_ciegos)

los que consta son un anotador parlante con Ms-Dos donde se ejecutará el programa, un receptor GPS y una tarjeta de 128 MB donde se almacena el programa Orienta y las bases de datos cartográficas.

El objetivo de este sistema es el de calcular la localización del usuario mediante el receptor GPS. Comparará los datos recibidos por el GPS con los datos cartográficos guardados en la base de datos e informará al usuario de su ubicación mediante el anotador parlante. Además tiene función de guiado, pudiendo introducir un destino y guiando con instrucciones de voz al usuario hasta el punto escogido.

Presenta algunos problemas e inconvenientes ya que llevar el sistema completo por la calle junto con el bastón resulta un poco aparatoso. Además de los problemas de portabilidad existen los problemas relacionados con el GPS. El receptor GPS funciona bien a cielo abierto pero en las ciudades con los edificios cerca se pierde la señal con frecuencia. Además en el mejor de los casos tiene un error de unos 10 m por lo que no se puede asegurar nunca un 100% de precisión, lo cual supone un problema cuando se va por sitios no conocidos.



## 3 Diseño

### 3.1 Introducción

En este apartado queremos elaborar un prototipo esquemático de la aplicación y sus partes. Esto incluirá una descripción detallada de las funcionalidades y opciones que queremos que estén disponibles en la aplicación antes de empezar a programarla. Trataremos de identificar y abordar los problemas a los que se enfrentan las personas ciegas o con baja visión, y así nos haremos una idea del problema al que nos enfrentamos nosotros al desarrollar la aplicación.

Para ello primero haremos un breve estudio sobre la discapacidad visual, detallando sus tipos, causas y principales grupos de riesgo, para comprender mejor los posibles trastornos de esta deficiencia.

Posteriormente plantearemos algunos problemas básicos relacionados con la movilidad para personas con visibilidad reducida y trataremos de ofrecer algunas soluciones que se podrían incluir en la aplicación.

Por último se buscarán problemas derivados del uso de un dispositivo móvil por una persona incapaz de ver la pantalla, y así tratar de pensar cómo hacer el mejor uso posible de las prestaciones de accesibilidad ofrecidas por el teléfono para poder dar la mejor experiencia posible a personas discapacitadas visuales.

### 3.2 La discapacidad visual

Según la Organización Mundial de la Salud la discapacidad es "cualquier restricción o carencia (resultado de una deficiencia) de la capacidad de realizar una actividad en la misma forma o grado que se considera normal para un ser humano. Se refiere a actividades complejas e integradas que se esperan de las personas o del cuerpo en conjunto, como pueden ser las representadas por tareas, aptitudes y conductas"<sup>21</sup>.

Respecto a la discapacidad visual, con arreglo a la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10, actualización y revisión de 2006), la función visual se subdivide en cuatro niveles: visión normal, discapacidad visual moderada, discapacidad visual grave y ceguera. La discapacidad visual moderada y la discapacidad visual grave se reagrupan comúnmente bajo el término "baja visión"; la baja visión y la ceguera representan conjuntamente el total de casos de discapacidad visual.

Para la ONCE, la ceguera o deficiencia visual se refieren a "condiciones caracterizadas por una limitación total o muy seria de la función visual"<sup>22</sup>.

Más concretamente especifica que "se habla de personas con ceguera para referirnos a aquellas que no ven nada en absoluto o solamente tienen una ligera percepción de luz (pueden ser capaces de distinguir entre luz y oscuridad, pero no la forma de los objetos)".

Mientras que a la hora de definir las personas con deficiencia visual, las describe como "aquellas personas que con la mejor corrección posible podrían ver o distinguir, aunque con gran dificultad, algunos objetos a una distancia muy corta". Además indica que estas personas pueden llegar a leer la letra impresa, aclarando sin embargo que esto ocurre en el mejor de los casos y si la letra es suficientemente grande y que lo normal es que lo consigan "de forma más lenta, con un considerable esfuerzo y utilizando ayudas especiales".

Por mencionar algunos datos estadísticos, podemos resaltar:

- Las principales causas de discapacidad visual son los errores de refracción (miopía, hipermetropía o astigmatismo) no corregidos (43%), las cataratas (33%) y el glaucoma (2%).
- Aproximadamente un 90% de la carga mundial de discapacidad visual se concentra en los países en desarrollo.

---

<sup>21</sup> <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/es/index.html>

<sup>22</sup> <http://www.once.es/new/servicios-especializados-en-discapacidad-visual/discapacidad-visual-aspectos-generales/concepto-de-ceguera-y-deficiencia-visual>

- Los mayores de 50 años constituyen un 65% de las personas con discapacidad visual, y existen unos 19 millones (cerca de un 7%) de niños menores de 15 años con discapacidad visual, de los cuales 1,4 sufren ceguera irreversible.
- El 80% de los casos de discapacidad visual son prevenibles o curables.

En España, según datos del INE los datos de personas que tienen algún tipo de discapacidad visual aumentan a 23,19 por cada mil, 17,8 en caso de sólo hombres y 28,4 sólo mujeres. En la tabla X se muestran los datos correspondientes a la gente que padece esta discapacidad según los distintos tipos de discapacidad visual<sup>23</sup>.

	Total de personas			En porcentaje		
	Varones	Mujeres	Ambos	Varones	Mujeres	Ambos
Defic. visual	371.400	607.800	979.200	1,784 %	2,839 %	2,319 %
Mala visión	280.500	469.500	750.000	1,260 %	2,062 %	1,666 %
Ceguera total	19.600	28.000	47.600	0,088 %	0,123 %	0,106 %

Tabla 3 - 1 Datos estadísticos de las personas con deficiencia visual en España.

Las personas a la que se dirige este proyecto son las personas que padecen ceguera total o un resto visual muy leve y que por ello requieren de ayudas para las tareas que implican la visión.

<sup>23</sup> <http://www.ine.es/jaxi/tabla.do?type=pcaxis&path=/t15/p418/a2008/hogares/p01/modulo1/I0/&file=02015.px>

### 3.3 Movilidad en personas con discapacidad visual.

Es evidente que las personas con discapacidad visual no tienen las mismas facilidades que las personas que ven correctamente en muchos aspectos. Como bien se decía en la introducción, cerca de un 80% de la información que recibimos la interpretamos mediante el órgano de la visión, y el hecho de estar privado o gravemente incapacitado de ella hace que muchas de las tareas diarias sean un reto para las personas con este tipo de discapacidad.

Uno de los aspectos de mayor importancia para todas las personas, incluidas las que padecen deficiencias visuales, es sin duda el movimiento independiente. Todo el mundo debe disponer de una buena autonomía a la hora de desplazarse, de lo contrario, dependerá de otros para el desarrollo de sus actividades cotidianas.

Sin embargo, uno de los mayores retos a los que se puede enfrentar una persona incapacitada de la vista, es el de la movilidad o capacidad de desplazarse de forma independiente y segura, tanto por el hogar como en entornos cercanos. Por ello es de suma importancia que la persona sepa orientarse, es decir, conocer su posición respecto a los objetos y lugares que le rodean y la relación con el resto de objetos de su entorno.

Las personas ciegas utilizan distintos métodos para orientarse. La descripción verbal del entorno por personas cercanas y el uso del bastón largo o el perro guía son los métodos básicos en este aspecto. Además las personas privadas de la visión agudizan los otros sentidos con el fin de suplir las carencias que supone no ver. En el caso de la orientación probablemente el oído es el sentido más destacado, pues les sirve para obtener referencias y situarlas espacialmente.

No obstante, el rápido avance en la tecnología hace que cada día se puedan ofrecer más sistemas de ayuda a la orientación para personas ciegas, como pueden ser detectores de obstáculos, dispositivos para la identificación de lugares y los que a nosotros nos incumben, sistemas de orientación por satélite. La inclusión de este último tipo de sistemas en los dispositivos móviles, junto con las ayudas para calcular mejor la localización, como triangular la posición mediante antenas de telefonía, brindan una magnífica oportunidad para la creación de aplicaciones de orientación al alcance de todo el mundo.

Aún así, estos dispositivos se basan en la manipulación de pantallas táctiles y la mayoría de las aplicaciones basan su funcionamiento en la interpretación de recorridos mostrados en un mapa. Ambas cosas requieren la visión para optimizar la



interactuación con el dispositivo, lo cual supone un gran problema para nuestro público objetivo.

A continuación se plantearán los problemas principales derivados de estar privado de la vista respecto a la movilidad. Hemos tratado de centrarnos principalmente en el contexto que se trata en el proyecto, así que se buscarán dificultades principalmente pensando en el campus. Después se propondrán algunas soluciones a dichos problemas orientadas a incluirlas en la aplicación.

### 3.3.1 Problemas en la navegación

El propósito general de este proyecto es el de crear una aplicación móvil que sirva como asistente para personas con discapacidad visual a la hora de moverse por el campus de Cantoblanco de la Universidad Autónoma de Madrid. Sin embargo, el propósito es muy amplio, ya que existen muchos aspectos en los que una persona con deficiencia visual puede tener problemas a la hora de desplazarse de un sitio a otro.

Además siempre es difícil moverse por un ámbito desconocido, se tenga o no discapacidad. Por poner un ejemplo sencillo, supongamos un alumno nuevo en la Escuela Politécnica Superior que no conozca bien el campus todavía y tenga que ir al rectorado por cualquier motivo. Lo normal es que no sepa donde está el rectorado ni como llegar hasta allí. Una persona sin discapacidad visual podría tomar varias opciones:

- Seguramente lo más correcto sería acceder a la página web de la Universidad y buscar información sobre la localización del rectorado dentro del campus. En ella encontraría sin muchas dificultades un mapa donde localizaría ambos puntos (principio y fin) y con el que podría guiarse sin necesidad de más ayuda.
- Otra posibilidad, probablemente la que más se repetiría a día de hoy, sería buscar como llegar de un sitio a otro en algún programa informático como Maps (de Google, Apple o Windows). En tal caso, dicho programa deberá reconocer tanto el principio como el final del trayecto, lo cual puede no ser evidente si se trata de lugares muy específicos como las distintas facultades. En caso de no reconocerlos, deberíamos introducir la dirección exacta donde se encuentran tanto la escuela como el rectorado (nombre de la calle y número), y proceder a que nos diga la forma más sencilla de llegar de un sitio a otro.
- En un último caso, cuando no se pudiera disponer de ninguna de las opciones anteriores, o simplemente se prefiera, se puede preguntar a alguien si nos

puede indicar la forma de llegar. En este caso hemos de suponer que la persona preguntada conoce el camino y que seremos capaces de interpretar sus indicaciones sin equivocarnos.

En cualquiera de los casos, no parece una tarea complicada. Aún así entraña una serie de posibles dificultades o problemas que pueden acabar suponiendo un trastorno, ya sea porque tardemos más o menos en encontrar el camino o porque una vez emprendido, nos extraviemos de algún modo. Es evidente que este es un ejemplo muy simple en el que poca gente tendría dificultades a la hora de alcanzar el destino.

Sin embargo, si pensamos en personas con discapacidad visual, nos daremos cuenta de que ninguno de los métodos mencionados anteriormente son válidos para alcanzar el destino:

- En el primer caso, suponiendo que la persona dispusiera de los elementos para manejar el ordenador y navegar por internet, e incluso suponiendo que encontrara el mapa, está claro que una persona invidente no podría interpretar dicho mapa puesto que no lo ve. Por lo tanto esta no sería una opción válida en ningún caso.
- En el segundo caso, al igual que anteriormente, suponiendo que la persona ha accedido al programa en cuestión y ha conseguido identificar en él los puntos de principio y fin del trayecto, le resultaría igualmente imposible interpretar las indicaciones propuestas en un mapa.

Una parte interesante a favor de este método sería que se listan las indicaciones para alcanzar el destino. Sin embargo, estas indicaciones utilizan constantemente instrucciones del tipo: “en la rotonda tome la primera salida” o “avanzar hacia el noroeste” que suponen tener una referencia visual de la carretera o información sobre los puntos cardinales. Por tanto estas instrucciones estarán descontextualizadas sin el mapa, y no serán de mucha utilidad para personas invidentes sin algún otro tipo de ayuda adicional.

- En el último ejemplo, se podría decir prácticamente lo mismo que en el caso anterior. Las indicaciones dadas por la persona deberían ser muy precisas y correctas, y aún así, sería prácticamente imposible de interpretar para una persona ciega indicaciones como: “la segunda calle a mano izquierda”, “girar por la calle ...” o “avanzar tantas manzanas”.

Por tanto, como podemos apreciar, existen multitud de inconvenientes al respecto. En el caso de las personas invidentes hay que tener en cuenta además que incluso

tratándose de trayectos conocidos no son capaces de identificar un gran número de obstáculos en el camino como pueden ser :

- Obras en alguna zona de la calzada, que supongan un cambio de rumbo inesperado cuando ya se disponía de un camino conocido para alcanzar el objetivo.
- Posibles desperfectos en el pavimento que no sean fácilmente detectables con el bastón, y que puedan suponer un traspies a la hora de chocar con ellos.
- En las cercanías de un paso de cebra, si no existen semáforos que regulen el tráfico y a la vez tengan señales acústicas, puede no existir la seguridad necesaria para cruzar una calle.
- Otro tipo de obstáculos como pueden ser pivotes, la marquesina de un autobús, un árbol, zanjas, bordillos, etc.

### **3.3.2 Posibles soluciones a los problemas en la navegación**

Si bien es cierto que con el bastón o con un perro guía las personas incapacitadas visualmente pueden andar solas por zonas conocidas, siempre habrá muchas posibles dificultades que puedan alterar el trayecto. Siendo conscientes de que estas dificultades siempre existirán, lo que se pretende es encontrar algún tipo de ayuda para algunos de estos problemas. Por supuesto, no se pretende en ningún caso sustituir al bastón o al perro guía, sino complementarlos con otro tipo de información.

Más concretamente la aplicación pretende abarcar los problemas relacionados con la búsqueda del trayecto, la orientación y movilidad dentro del campus y cómo proporcionar las indicaciones necesarias para ir de un sitio a otro. Así pues el proyecto no se centrará en los posibles obstáculos que se puedan encontrar en la acera a lo largo del recorrido, para lo cual sería necesario algún tipo de sistema con sensores, de lo cual existen otros proyectos que se mencionarán con posterioridad en la memoria.

Tras tener claros los problemas en los que nos vamos a centrar, hemos pensado posibles soluciones para algunas de estas dificultades que decíamos anteriormente relacionadas con la orientación y movilidad y el cálculo de un trayecto.

### ***3.3.2.1 Localizar un destino***

Tal y como decíamos en el ejemplo propuesto y en sus soluciones, incluso para personas sin problemas en la visión, puede resultar complicado encontrar un destino muy concreto dentro del campus como pueda ser el pabellón de servicios universitarios o el edificio de las fundaciones dentro de la UAM. Para encontrar un sitio como éste en una aplicación del tipo Maps habría que conocer la dirección exacta.

Dado que el prototipo de la aplicación que se propone en este proyecto incluye únicamente el campus de Cantoblanco, se propone hacer una lista de los edificios incluidos en el campus dentro de la aplicación. Para ello, cada uno de los edificios dentro del campus estará almacenado en la aplicación junto con su posición geográfica representada por una longitud y una latitud.

La idea es que en una de las opciones de la aplicación se pueda solicitar información de cómo ir de un sitio a otro del campus de entre una lista de sitios predefinidos, y de este modo tendremos cubierta una gran parte de los posibles destinos que podremos seleccionar de una manera más sencilla.

### ***3.3.2.2 Interpretar unas direcciones***

Uno de los problemas mencionados con anterioridad, es el de poder indicar que hay que girar por una calle determinada, o avanzar una cierta distancia a una persona que no ve por donde está andando, ni puede ver un mapa con el que hacerse una idea previa.

Por ello hemos pensado en una solución similar a la del punto anterior. A lo largo del campus habrá un determinado número de puntos clave que hay que tener en cuenta a la hora de moverse de un sitio a otro. Estos puntos son los cruces entre calles, las rotondas, las bocacalles, los pasos de peatones y otros del estilo. Así pues se ha pensado parametrizar la universidad con estos puntos. De este modo, los puntos quedarán almacenados en el teléfono junto con su posición. Cuando el usuario del teléfono se aproxime a alguno de estos puntos se le podrá dar información útil de dónde se encuentra y que hacer a continuación.

### ***3.3.2.3 Posibles obstáculos***

Como se dijo anteriormente, la aplicación no pretende solucionar todos los posibles problemas que surjan a lo largo del trayecto. Así pues la aplicación por sí misma no será capaz de avisar en caso de un obstáculo inesperado o si hay una papelera, banco

o árbol en medio del camino, pero tendremos en cuenta obstáculos de otro tipo como los pasos de cebra o los cruces.

Así pues parte de los puntos clave que se mencionaban en el punto anterior tendrán, a parte de una función orientativa, una función informativa de un peligro potencial por el hecho de que exista la posibilidad de cruzar una calle con tránsito de vehículos.

#### ***3.3.2.4 Escoger un camino***

En el ejemplo que se propuso, uno de los problemas era que una persona ciega, al no poder ver un mapa, no puede interpretarlo y es necesario que alguien calcule la ruta que habrá de seguir.

Para ello se propone que, una vez caracterizado el campus con los edificios principales, los puntos clave y los de posibles peligros, se realice un esquema de la universidad en modo de grafo, donde los puntos mencionados estarán relacionados entre sí mediante conexiones específicas. A la hora de calcular un camino de un punto a otro, se podrá hacer uso de algún algoritmo del camino más corto entre los vértices adyacentes del grafo que representa la universidad. De este modo nos aseguraremos que los posibles caminos que se propondrán se desarrollarán por puntos conocidos del campus en los que se pueda asegurar un cierto nivel de seguridad.

### 3.4 Teléfonos inteligentes y personas con discapacidad visual

En el segundo apartado de la memoria ya se trató sobre la tiflotecnología y la oferta actual en tecnología pensada para ciegos o personas con baja visión. En este apartado ahondaremos en estos aspectos centrándonos más en el campo de la telefonía móvil.

Más concretamente veremos los aspectos que afectan al haber elegido como elemento tecnológico el teléfono inteligente que se utiliza en el proyecto. Veremos las dificultades que surgen de manejar el dispositivo a ciegas.

Posteriormente detallaremos las opciones que da el teléfono y cómo pueden sustituir la información visual. Nos referimos a las opciones de accesibilidad ofrecidas en el menú de ajustes del teléfono que sirven como tecnología de apoyo a personas con deficiencias visuales. Una vez planteados esos aspectos, trataremos de aprovechar al máximo estos recursos y se propondrán otras ideas con el fin de hacer una experiencia de usuario lo más agradable posible.

#### 3.4.1 Problemas con el manejo del dispositivo

Uno de los problemas mayores que se plantean en el proyecto es de la interacción usuario-aplicación. Este problema supone desde el principio varios retos que se deben plantear con precaución antes de empezar el desarrollo en sí de la aplicación. Por ello, como se explicó en el segundo apartado, uno de los factores principales por los que se ha escogido el iPhone es porque ofrece unas ciertas prestaciones de accesibilidad que hacen más sencillo su uso para un usuario con discapacidad visual.

Generalmente los dispositivos electrónicos basan su uso en una interfaz gráfica mostrada por una pantalla de mayor o menor tamaño. La tendencia que están siguiendo los dispositivos móviles actuales es la de prescindir de cualquier tipo de teclado y ofrecer a cambio unas pantallas cada vez mayores con mejor definición y nitidez. De este modo cada vez se puede incluir un cantidad mayor de información visual en una pantalla, que al ser táctil funciona a su vez de medio de entrada. Las interfaces visuales son sin duda una excelente opción para la mayoría de los usuarios, pero si no disponen de un sistema de voz como un lector de pantalla no serán útiles para las personas con mala o nula visión.

Como ya se ha mencionado anteriormente muchos dispositivos actuales cuentan con soluciones de accesibilidad para solucionar esto. En el segundo punto de la memoria se vieron muchas de estas soluciones, y se mencionaron por encima las que ofrecen los

teléfono inteligentes, es decir, los lectores de pantalla para personas con ceguera total y aumentadores de pantalla (zoom) o la posibilidad de cambiar a colores con alto contraste para personas con baja visión. Además las últimas versiones de muchos de estos teléfonos traen reconocedores de voz para sustituir la necesidad de introducir texto por medio del teclado virtual.

### **3.4.2 Posibles soluciones a los problemas con el manejo del dispositivo**

En nuestra aplicación deberemos hacer uso de estas funciones que se ofrecen en el sistema operativo para tratar de sustituir la mayor parte de información visual por auditiva, y hacer la aplicación lo más accesible que se pueda. En concreto el teléfono usado en el proyecto (iPhone) y su sistema operativo (iOS) nos proporciona las siguientes características para personas con discapacidad visual:

#### **3.4.2.1 VoiceOver**

Se trata de un lector de pantalla reconvertido desde el sistema operativo de los ordenadores de la misma marca (Mac OS de Apple). VoiceOver es sin duda el elemento más útil para las personas con discapacidad visual, sin embargo requiere de un aprendizaje previo puesto que, una vez activado, los gestos con los que se usa el teléfono son distintos.

Lo principal que hay que saber es que cuando se toca un elemento de la pantalla, VoiceOver leerá el texto incluido en ese elemento, dirá qué tipo de elemento es, e incluso en las ocasiones en que se pueda accionar el elemento, como un botón o un interruptor, puede dar información de cómo se acciona y el resultado de hacerlo. Por otro lado para accionar un elemento ya seleccionado basta con pulsar dos veces la pantalla. Existe una amplia gama de gestos para completar las distintas funciones que se pueden realizar si no está activado. Para los desarrolladores, da opción también de emitir notificaciones de voz en determinados momentos, como por ejemplo al cargar una pantalla, lo cual da opción de situar los elementos en la pantalla una vez aparezca.

#### **3.4.2.2 Otras opciones**

Si la persona no padece ceguera total, y puede ver aunque sea poco la pantalla, se podrá hacer uso de otros aspectos para mejorar la utilización del teléfono. Así pues se ofrece una opción de ampliar la pantalla mediante un Zoom, para ver los elementos a un tamaño mayor. Además se puede configurar el texto para que tenga un tamaño de hasta 56 puntos. Otra opción que ofrece es la de invertir los colores para pasar a colores con distinto contraste que puede resultar interesante para algunas personas.

### 3.4.2.3 Introducción de texto por voz

Una de las cosas más útiles que traen algunos de los últimos teléfonos inteligentes, es la posibilidad de sustituir los teclados virtuales por el dictado de voz. De este modo, tras accionar un comando, se puede hablar hacia el micrófono del teléfono, que reconocerá lo que se ha dicho y lo transcribirá en forma de texto escrito. Esta es una opción muy interesante para nuestro proyecto, e intentaremos aprovecharla en la manera que sea posible.



Figura 3 - 1 Capturas de pantalla del menú de Accesibilidad de las opciones del teléfono y de un ejemplo de introducción de texto por dictado de voz.

Además de esto, al plantear el proyecto en un principio, previo a conocer las características del teléfono, surgieron algunas ideas de cómo se podría implementar la aplicación para que la usara una persona que no ve. A continuación plantearemos estas ideas y veremos si son factibles o si son compatibles con los sistemas de accesibilidad ofrecidos por el teléfono.

### 3.4.2.4 Pantalla dividida en amplias zonas

Se planteó que si no se pueden distinguir los elementos de la pantalla, cuantos menos haya y mayor tamaño tengan, más fácil serán de encontrar. Así se podrán dar



indicaciones del tipo “tocar la parte superior de la pantalla” donde sólo habrá un elemento y por tanto la probabilidad de equivocarse será menor. Esta opción se considera posible de realizar, y no choca con ninguna de las opciones del teléfono.

#### ***3.4.2.5 Manejo mediante gestos para las distintas tareas***

Dado que los teléfonos con pantallas táctiles se manejan mediante gestos, y son capaces de reconocer un amplio abanico de gestos, se pensó que una opción interesante sería catalogar cada gesto posible de modo que cuando se hiciera un determinado gesto se realizara una acción de las que ofrezca la aplicación. Sin embargo, si se tiene activada la opción VoiceOver para que se lea lo que aparece por pantalla, el teléfono se maneja de un modo distinto y los gestos ya tienen unas funciones determinadas por el sistema operativo, por lo que no sería compatible con la opción propuesta.

#### ***3.4.2.6 Colores***

En el caso de que la persona que lo use no padezca ceguera total, sería importante que los colores de la aplicación fueran otra posible ayuda. Por ello se pensó que los distintos apartados de la aplicación podrían estar divididos en colores. De este modo cada apartado estaría relacionado con un color, y así sería siempre fácil de saber en que apartado nos encontramos por el color de sus elementos. Por otro lado se pensó en ofrecer una opción con colores de alto contraste, que resultan de mayor utilidad a personas con baja visión para distinguir unos elementos de otros en la pantalla como pueden ser el texto del fondo.

#### ***3.4.2.7 Vibración y sonidos***

En un principio se pensó hacer grabaciones de voz con las indicaciones que debería dar la aplicación, introducirlas en la aplicación y reproducirlas cuando fuera necesario. Esta idea quedó desechada cuando se supo de las posibilidades que ofrecía el lector de pantalla. Sin embargo, además del lector de pantalla, el cual se considera imprescindible, se pensó que podría resultar útil el uso de otros métodos de audio de aviso al usuario como la reproducción de algunos tonos en ciertos momentos o la vibración.

### 3.5 Entrevista con persona invidente

Todos los aspectos mencionados anteriormente son consideraciones que nosotros hemos tenido a la hora de pensar en una persona ciega. Sin embargo es evidente que nosotros nunca podremos ponernos completamente en su lugar a la hora de plantear todas las dificultades que existen cuando una persona con discapacidad visual se desplaza por la calle.

Por ello hemos decidido hablar con una persona ciega para que nos cuente de primera mano sus principales inquietudes a la hora de moverse y sus experiencias personales con el uso de aparatos electrónicos, y de este modo poder planificar nuestro proyecto de mejor manera.

Más concretamente concerté una entrevista con un hombre ciego de una edad cercana a los 50 años. Esta persona es un amigo de mis padres que en un principio se mostró algo nervioso a la hora de tratar de ayudarnos, pero que en seguida se ofreció a resolver todas nuestras dudas resultando la entrevista en una charla muy agradable. Le realizamos algunas preguntas respecto a los siguientes temas.

- Métodos de orientación
- Movilidad por zonas conocidas
- Movilidad por zonas desconocidas
- Manejo de instrumentos electrónicos
- Uso breve del teléfono iPhone con VoiceOver activado
- Opinión sobre el proyecto a realizar

Tras plantear estos temas y charlar un rato con él, se han podido sacar las siguientes conclusiones.

- Utiliza el bastón como principal ayuda para la movilidad. Cuando se desplaza por la calle le es extremadamente útil la información acústica, utilizando los ruidos como referencias. La presencia de edificios cercanos o de gente alrededor lo considera de gran ayuda para no sentirse desorientado.
- Para hacer largos recorridos a zonas conocidas hace uso del autobús y el metro. Si conoce de memoria las calles hasta su destino puede realizar el trayecto caminando sin grandes dificultades siempre que la distancia no sea muy larga.
- Si por alguna causa necesita desplazarse a algún sitio desconocido utilizará un taxi siempre que le sea posible. Si está caminando por una calle, y ha de cruzar por un paso de peatones, nos dice que nunca lo haría por sí solo sin un semáforo que le indique cuando hacerlo.
- Respecto al uso de dispositivos electrónicos, posee un teléfono móvil convencional, no un teléfono inteligente. Dado que posee un teclado numérico

simple se desenvuelve bien a la hora de realizar y recibir llamadas. Nos cuenta que la ONCE les ofrece un servicio de configuración de teléfonos móviles. Por otro lado nos cuenta que trabajó durante años vendiendo cupones, manejando una maquina que los dispensaba la cual tuvo que aprender a utilizar durante un tiempo. Nos dice que esta máquina daba instrucciones acústicas constantes de los pasos a seguir, y tratando de confirmar lo que se quería hacer. También nos habla de que es capaz de manejar las maquinas expendedoras de billetes de metro ya que estas van diciendo las instrucciones en voz alta para que las puedan usar personas ciegas. Sin embargo reconoció que no le gustaban mucho los aparatos electrónicos, que prácticamente sólo usaba el móvil, y por comodidad, y que nunca había manejado un iPhone u otro tipo de teléfono inteligente.

- Se le propuso usar el teléfono con el lector de pantalla VoiceOver activado, utilizando primero una pantalla de entrenamiento en el uso de los gestos y posteriormente se le propuso navegar brevemente entre algunos menús. Lo cierto es que nos reconoció de primeras que no sentía muy cómodo usándolo y la verdad es que se vio que tenía muchos problemas para realizar acciones básicas. Pasados unos minutos sin embargo identificó ciertos gestos y fue capaz de realizar algunas acciones que le proponíamos. Nos comentó aun así que conocía a otra persona ciega que poseía un iPhone y que pensaba que esta persona se manejaría mejor.
- Tras proponerle la idea del proyecto nos dijo que le parecía una gran idea pero que encontraba complicado que un teléfono por si solo le diera la seguridad suficiente para algunos aspectos como por ejemplo el antes mencionado de cruzar una calle. Nos dijo que lo que él consideraría más útil de todo es que la aplicación diera mucha información hablada. Que estuviera hablando constantemente indicando la situación de los elementos en la pantalla.

Consideramos que la entrevista fue muy productiva, aunque pensamos que cada persona es distinta y probablemente otro ciego nos habría dado otros consejos y probablemente nos hubiera destacado otros aspectos. Creemos que la edad y el hecho de no haber utilizado previamente un teléfono inteligente ha lastrado un poco las pruebas realizadas sobre el teléfono. En aspectos de movilidad nos echó un poco atrás la idea de que no consideraba cruzar un semáforo sin la ayuda de un semáforo o de otra persona. Pero nos dice que una persona con perro guía si sería capaz de hacerlo. Otro aspecto que nos llamó bastante la atención es el de que le gusta sentir paredes y gente cerca de él, ya que en muchas zonas del campus no hay muchas gente por las calles, y los edificios suelen estar separados de las aceras por zonas ajardinadas con césped o setos, lo cual supone un problema en ese sentido.

### 3.6 Solución propuesta

Una vez hemos planteado los problemas que queremos tratar, habiendo visto las herramientas de las que disponemos para enfrentarnos a ellos y tras haber charlado con la persona ciega para terminar de hacernos una idea de las inquietudes del público objetivo, en este punto realizaremos una aproximación de los aspectos que consideramos ha de ofrecer la aplicación, y como se relacionarán entre ellos.

Recopilando las ideas expuestas en los puntos anteriores, podemos decir que las claves para el éxito de la aplicación, respecto a la interfaz y el manejo de la misma, serán las siguientes:

- Pensando en personas ciegas:
  - Ofrecer mucha información vocal, que informe constantemente de los elementos disponibles en la pantalla actual, su ubicación dentro de la misma, cómo se accionan y el resultado de accionarlos.
  - Dividir la pantalla en zonas grandes y fácilmente identificables, para que no suponga una gran dificultad encontrar algún elemento pese a que no se vea la pantalla.
  - Tratar de evitar en la medida de lo posible la introducción de texto, ya que el teclado de la pantalla táctil no supone un buen elemento para personas ciegas, dado que los botones que representan cada letra son muy pequeños y están muy juntos. Siempre que se pueda usar el reconocedor de voz.
  
- Pensando en personas con baja visibilidad:
  - En lo respectivo al color tratar de usar colores que tengan un gran contraste entre sí en las distintas zonas de la pantalla, para que sea más fácil diferenciar unas de otras. Usar además distintos colores para las distintas partes de la aplicación.
  - Poner el tamaño del texto que aparece en pantalla de un tamaño bastante grande, pero teniendo en cuenta siempre que debe caber toda la información necesaria para su uso.

En cuanto a la movilidad, hemos considerado que para que la aplicación resulte lo más útil posible en el sentido de orientarse dentro del campus han de cumplirse los siguientes requisitos:

- Ofrecer la opción de elegir el destino de entre una lista de los posibles sitios a los que se puede ir dentro del campus, y obtener las indicaciones de cómo alcanzar dicho destino desde la posición actual.
- Ofrecer otra opción en la que se puedan guardar trayectos propios para poder acceder a sitios que no aparezcan en la lista mencionada anteriormente, como pueden ser puertas secundarias, o para almacenar caminos que se prefieran por algún motivo.
- A la hora de realizar un determinado trayecto debe haber un asistente que vaya dando información constantemente de la posición en la que se encuentra el usuario en cada momento con respecto a distintos puntos del trayecto.
- Pese a no ser de utilidad para personas ciegas, se considera que haya un apartado que muestre en un mapa el trayecto completo por si se puede solicitar ayuda a una persona vidente. Otro aspecto interesante será ofrecer unas indicaciones generales de todo el camino al principio para que el usuario se pueda hacer una idea general del trayecto a realizar.

Así pues pasamos a detallar una primera aproximación a los apartados finales de la aplicación. Se ha considerado poner como primera pantalla un menú principal desde el que se acceda al resto de apartados o módulos. A cada módulo se accederá a través de un botón de un color distinto para poder diferenciarlos mejor en caso de que el usuario posea un cierto resto visual.

A partir del menú se accederá a otros apartados. Estos apartados serán por orden los siguientes:

- **Información e instrucciones.** Hemos considerados que es muy importante explicar bien todas las posibilidades que se dan en la aplicación. Por ello se piensa que es buena idea que el primer apartado de todos sea el que proporcione toda esta información. En este apartado se han de explicar las instrucciones para usar la aplicación pero también hemos considerado importante que se explique brevemente las posibilidades que ofrece el teléfono al usarlo con el lector de pantalla activado ya que se maneja de una manera distinta.
- **Cómo llegar.** Hemos decidido nombrar a este apartado así basándonos en la función de Google maps que da la opción de poner un punto de partida y uno de llegada y ofrece un camino para alcanzar ese destino. Nosotros sin embargo entendemos que cuando se quiera hacer uso de esta función será para llegar a algún sitio del campus a partir de la situación actual del usuario. Por ello no

será exactamente igual que la función que acabamos de explicar, sino que se calculará la posición actual y se dará a elegir una lista de destinos predefinidos.

- **Trayectos Propios.** Hemos pensado que la función *Cómo Llegar* puede ser de gran utilidad para destinos generales pero evidentemente tiene sus limitaciones. Por ello en este tercer apartado se dará la opción de crear un camino almacenando ciertos puntos clave que el usuario decida a la hora de crear el recorrido. Una vez almacenado este trayecto podrá ser recuperado de una lista de trayectos guardados y así poder repetirlo las veces que se desee siguiendo las instrucciones que de la aplicación. Se entiende que la primera vez que se realiza uno de estos trayectos se hace en compañía de alguien que lo conoce y puede guiar a la persona con deficiencia visual, de modo que las siguientes veces lo pueda realizar por su cuenta.
- **Opciones.** El menú de opciones deberá dar distintas posibilidades sobre algunos aspectos de la aplicación. Se considera que las personas que usen la aplicación pueden sufrir un distinto grado de discapacidad por ello se podrán seleccionar algunos aspectos que ofrezcan mejor experiencia según las preferencias del usuario.
- **Navegación.** Hemos decidido nombrar así al asistente de navegación que estará encargado de guiar al usuario a través de los puntos de un trayecto hasta alcanzar su destino. Este apartado ha de dar información general antes de empezar el trayecto y además ir actualizándola en tiempo real mientras se va realizando el camino. A este apartado se accederá a partir de los apartados *Cómo Llegar* y *Trayectos Propios*, en los cuales se selecciona el camino o el destino que se quiere alcanzar.

Por todo esto hemos diseñado un esquema de cómo será el comportamiento entre las distintas partes de la aplicación que se muestra en la siguiente figura.

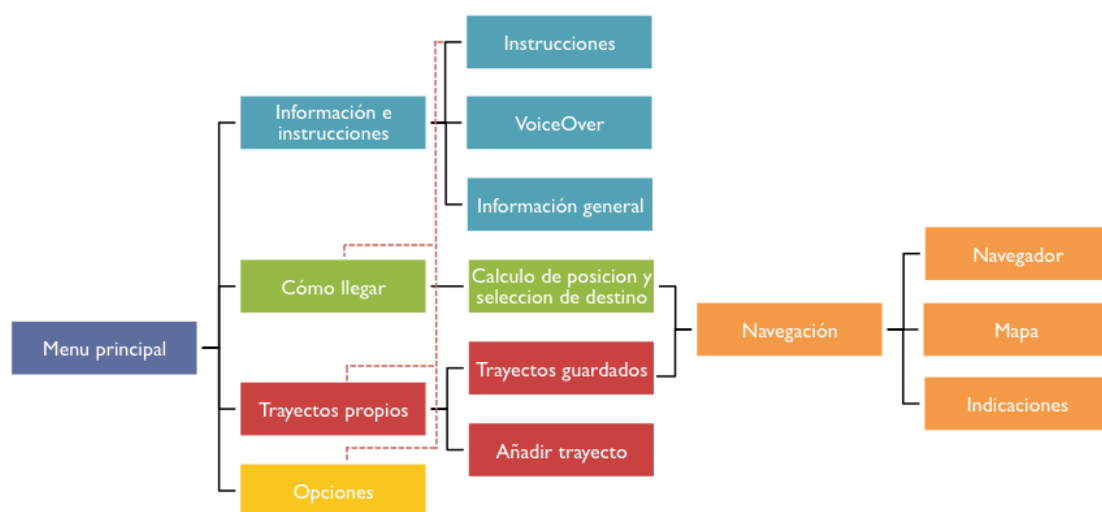


Figura 3 - 2 Esquema general de los apartados de la aplicación.

Como se puede apreciar en la figura, habrá acceso directo a las instrucciones desde los otros apartados de la aplicación. Otra cosa que también se puede apreciar es que el asistente de navegación tendrá a su vez tres apartados para los distintos tipos de ayuda que se ofrecen.

Una vez realizado un esquema general de cómo será la aplicación podemos pasar a desarrollarla, lo cual se explica con detalle en el siguiente capítulo.





## 4 Desarrollo

### 4.1 Introducción

En el apartado anterior de diseño, nos centramos en estudiar el problema, proponer soluciones y esquematizar un prototipo de la aplicación. En este apartado explicaremos cómo se ha llevado a cabo el desarrollo de la aplicación en sí a partir del modelo diseñado.

En una primera parte haremos una introducción al entorno de trabajo. Explicaremos qué programas y recursos hemos usado en cada momento. Hablaremos brevemente sobre el lenguaje de programación que se utiliza, así como de las principales APIs ofertadas y usadas. Por último explicaremos un poco la estructura que siguen las aplicaciones para dispositivos iOS, y los principales tipos de archivos que las componen.

Posteriormente contaremos con mayor detalle la estructura de la aplicación. Hablaremos sobre sus apartados más detalladamente explicando las funciones de cada uno de ellos, la relación entre las distintas partes y la organización de la información. Se detallarán las clases que se han usado en cada apartado. Hablaremos también de la caracterización de la universidad mediante un grafo y el algoritmo usado para calcular rutas en el apartado que corresponde.

Por último mostraremos el resultado final y se hablará de forma breve sobre el manejo básico. En este apartado trataremos sobre el uso y navegación entre las distintas pantallas y sus distintas opciones, pero no se harán pruebas de la funcionalidad de los apartados de guiado que se realizarán a posteriori y se explicarán y analizarán en el siguiente apartado de la memoria.

## 4.2 El entorno de trabajo

En el apartado dos se mencionaron los medios que eran necesarios para el desarrollo del proyecto. Sin embargo sólo se indicaron por encima los elementos requeridos para el desarrollo de aplicaciones iOS. Ahora explicaremos un poco más en detalle en qué consiste y para qué se ha usado cada uno de ellos.

### 4.2.1 Xcode

Xcode es el entorno de trabajo que proporciona Apple para los desarrolladores. Se descarga de forma gratuita desde la tienda de aplicaciones de Apple, AppStore, y proporciona los recursos que se requieren para programar y desarrollar aplicaciones tanto para los dispositivos móviles iPhone, iPod e iPad, como para los ordenadores Mac.

En lo que a nosotros respecta, Xcode será la herramienta central de trabajo. Viene incluido en el SDK de iOS que incluye además el resto de elementos que vamos a necesitar para desarrollar la aplicación. Xcode nos permite crear proyectos directamente destinados a ser aplicaciones para dispositivos con iOS y dispone varias plantillas distintas según la finalidad que se le quiera dar a la aplicación. Además ofrece poderosas herramientas de gran utilidad para realizar dichos proyectos de la manera más sencilla posible.

Una de las cosas más útiles que proporciona Xcode con respecto al desarrollo para iOS es Interface Builder. Con Interface Builder se le da la opción al desarrollador de interactuar directamente con las pantallas de la aplicación, ofreciendo la posibilidad de arrastrar directamente a unas plantillas o lienzos de pantallas los elementos y objetos que se quieran usar en dicha pantalla, y así poder ordenarlos haciéndose una idea de cómo será el resultado final. Además previamente sólo se podían diseñar estas pantallas de una en una con unos archivos llamados .xib (pronunciado nib). Ahora es posible juntar varios en un mismo archivo llamado StoryBoard, lo cual da la posibilidad de, además de diseñarlos individualmente, poder poner la relación entre ellos. Esto resulta muy cómodo cuando se quiere diseñar una aplicación en que se navegará entre muchas ventanas.

Otro aspecto bastante importante es que el SDK de iOS incluye varias herramientas más, como es un simulador de iPhone e iPad. El simulador resulta necesario para probar las aplicaciones en caso de no disponer de un dispositivo o la licencia requerida para probar las aplicaciones en dispositivos reales. Sin embargo como se explicó en el apartado dos, el simulador no puede recrear algunos aspectos del teléfono como por

ejemplo la cámara, el módulo GPS ni la brújula electrónica por lo que nosotros necesitaremos el uso de un dispositivo real para comprobar el funcionamiento de la aplicación.

#### 4.2.2 Objective-C , iOS y Cocoa Touch

Objective-C es el lenguaje que se utiliza para la programación de las aplicaciones de Apple. Se trata de una extensión de C, pero tiene las características de un lenguaje orientado a objetos, por lo que se añaden opciones como definir nuevas clases y métodos o invocar métodos de objetos mediante mensajes.

Las clases dividen su código en dos tipos de archivos, las cabeceras (.h), donde se declaran los métodos y propiedades de las clases, y los archivos de implementación de códigos (.m o .mm si se quiere incluir código C++). Las clases soportan encapsulado como en muchos otros lenguajes de POO. Una vez definida una clase, los objetos se crean como una instancia de la clase mediante la asignación de memoria y posteriormente su inicialización.

La programación para aplicaciones de dispositivos Apple requiere el uso de unas librerías, llamadas frameworks, a las que podremos acceder a través de sus APIs. Xcode proporciona mediante estas APIs, publicadas como archivos de tipo cabecera, la mayoría de las clases y métodos básicos incluidos en los diferentes frameworks que se requieren para desarrollar aplicaciones móviles para iPhone.

El sistema operativo iOS está dividido en cuatro capas: Core OS, Core Services, Media y Cocoa Touch. Cada capa está encargada de unas funciones y Apple dispone una serie de frameworks divididos por capas y ofrece las respectivas APIs para el uso de los desarrolladores. Las tres primeras capas coinciden en el sistema operativo móvil y el de ordenadores. Sin embargo dado que los dispositivos móviles se usan mediante una pantalla táctil los frameworks de la capa Cocoa Touch son específicos para dispositivos iOS.

Cocoa Touch incluye el framework UIKit que recoge los objetos necesarios para construir la interfaz gráfica de usuario de las aplicaciones basadas en el uso de las pantallas táctiles y los multi-gestos. Este framework recoge además las clases relativas al uso de VoiceOver como desarrollador, es decir las opciones de accesibilidad. Otro framework que usaremos nosotros y que incluye esta capa es MapKit, que es el encargado de todas las clases relativas al manejo de mapas en la aplicación.

En menor medida hemos usado las APIs de la capa media. Por defecto las aplicaciones incluyen el framework CoreGraphics, encargado de los gráficos 2D de la aplicación. De esta capa hemos añadido además AVFoundation que permite el uso de archivos de audio.

Por otro lado, los servicios de localización y de manejo y almacenamiento de datos se manejan desde la capa Core Services, a través de los frameworks CoreLocation y CoreData respectivamente. Además también en esta capa se encuentra el framework Foundation, incluido por defecto, que incluye los elementos básicos para la creación de aplicaciones Apple.



Figura 4 - 1 Representación esquemática de los componentes necesarios para desarrollar una aplicación en iOS.

#### 4.2.3 Estructura de las aplicaciones para iOS

Las aplicaciones para iOS siguen un patrón de diseño denominado Model-View-Controller (MVC). Según este patrón se definen tres componentes básicos a la hora de crear una aplicación.

- El objeto modelo define los datos y la lógica de manejo de dichos datos. Es por tanto el almacén de la información de la aplicación y no define cómo se comportará la aplicación ni que aspecto tendrá.
- El objeto vista es el que nos proporcionará la apariencia que tendrá la aplicación. Será este tipo el que defina la interfaz de usuario, diciendo qué elementos aparecerán en pantalla para que el usuario interactúe con ellos.
- El objeto controlador se puede ver como un enlace entre los dos tipos de objetos anterior. Generalmente van asociados a una vista, de la cual reciben las ordenes de lo que hace el usuario y reaccionan en consecuencia. Como enlace entre los tipos anteriores, puede actualizar una vista con información

de un modelo, o cambiar datos en el modelo como resultado de la interacción del usuario con la vista.

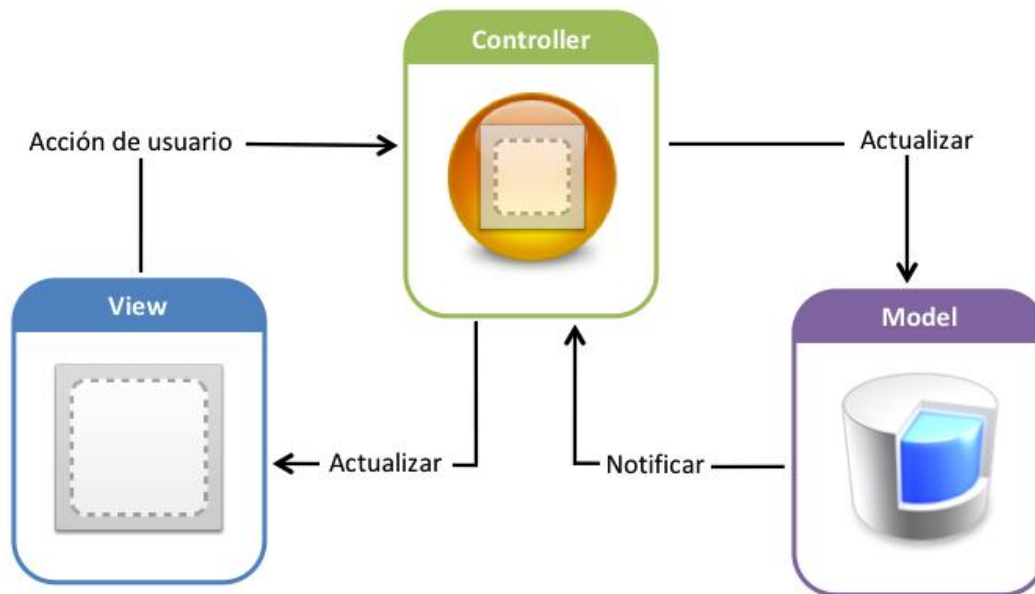


Figura 4 - 2 Representación esquemática de la estructura Model-View-Controller (MVC) en la que se basan las aplicaciones iOS.

Además hay que explicar algunos tipos de archivos básicos que nos encontraremos según vayamos desarrollando nuestra aplicación.

- AppDelegate (.h y .m). Estos archivos se generan automáticamente al crear un proyecto para una aplicación. Se encargan de gestionar ciertos aspectos del ciclo de vida de la aplicación, como el inicio o cuando entra en estado de inactividad o vuelve de él. Heredan de una clase llamada UIResponder que define una interfaz para objetos que manejan o responden a eventos.
- UIViewController (.h y .m). Se trata de la clase que sirve de controlador de las vistas explicadas previamente. Cada vista que queramos que aparezca en la pantalla y queramos que haga algo deberá estar definido en su ViewController. En nuestra aplicación haremos uso de multitud de ViewControllers que heredarán de este tipo de clase y de las que hablaremos mas adelante.
- Storyboards (.storyboard). Como se dijo al hablar de Xcode, en este archivo se definen las vistas que supondrán las interfaces de usuario y las conexiones entre ellas mediante los llamados Segues (dicho segway). Así podemos conectar un botón de una vista con otra vista mediante un segue, lo que significa que al pulsar ese botón pasaremos a la pantalla a la que está conectada. Además usaremos estos segues para pasar información de una pantalla a otra. Para hacer uso de estas opciones es necesario definir un UINavigationController, que maneja la navegación entre las distintas vistas. Los

storyboards no son estrictamente necesarios para la creación de una aplicación, pero si resultan de muchísima utilidad.

- Modelos de datos (.xcdatamodeld). Se corresponden con el objeto modelo del patrón MVC mencionado. Las aplicaciones permiten el almacenamiento interno de datos mediante unas bases o modelos de datos definidas en este tipo de archivos. Se manejan a través del framework CoreData mencionado anteriormente. Nosotros hemos definido uno para guardar caminos propios de los usuarios.
- Listas de propiedades (.plist). En nuestro caso hemos tomado esta opción para almacenar los datos referentes a los puntos clave y edificios que se guardan en la aplicación. Son archivos XML pero se pueden manipular fácilmente en el editor de Xcode.
- Protocolos (.h y .m). Los protocolos definen un numero determinado de métodos que se podrán implementar en un momento determinado. En muchas ocasiones es necesario hacer que las clases que definimos implementen algunos de los protocolos definidos por las distintas APIs ofrecidas.
- UITableView y UITableViewController (.h y .m). Son los objetos creados con el fin de manejar las tablas que aparezcan en la aplicación. Constan de celdas, las cuales mostrarán información en forma de lista. Los objetos de tipo UITableView se añaden como sub-vista dentro de un ViewController. Los objetos de tipo UITableViewController directamente funcionan como controlador de una vista.

## 4.3 Archivos del proyecto

La aplicación estará dividida en distintos apartados que se definieron en el apartado de diseño. Ahora explicaremos las especificaciones de cada uno de esos apartados y veremos como se manejan cada uno de ellos a través de los distintos archivos y clases que hemos definido e implementado.

### 4.3.1 Clases definidas para el proyecto.

Con el fin de aprovechar al máximo los recursos del lenguaje, hemos creado las siguientes clases de las que harán uso algunos apartados de la aplicación.

- Path.h/Path.m. Se trata de un tipo de clase que hereda de la clase NSObject que es la clase raíz del lenguaje Objective-C. El objetivo de esta clase es crear objetos de tipo camino donde almacenar la información de los caminos propios que quieran guardar los usuarios. Posteriormente se almacenarán en el modelo de datos/ base de datos.
- MyAnnotation.h/MyAnnotation.m. También hereda de la clase NSObject, pero hemos hecho que implemente el protocolo MKAnnotation. Esto significa que los objetos de este tipo podrán hacer uso de ciertos métodos que están definidos en el protocolo MKAnnotation relativos a anotaciones en un mapa. Las letras “MK” vienen de MapKit que como dijimos es la API que nos permite trabajar con mapas en la aplicación.
- NavigationManager.h/NavigationManager.m. Es un tipo de objeto creado con la finalidad de implementar una serie de métodos que usaremos a la hora de la navegación por el campus. Hemos definido aquí por ejemplo el algoritmo del camino más corto, y otros para calcular las direcciones a seguir en una ruta ya calculada. Más adelante se hablará de algunos de estos métodos.

### 4.3.2 ViewControllers

Como hemos dicho anteriormente, las vistas de la aplicación estarán relacionadas con un controlador (ViewController), que será el encargado de determinar qué acción realizar según la entrada obtenida como consecuencia de los gestos del usuario. A continuación veremos los controladores definidos en la aplicación.

- MenuViewController (.h y .m). Hereda de UIViewController. Este archivo estará encargado de manejar distintos menús de la aplicación como por ejemplo el menú principal o los menús de instrucciones.

- InfoViewController (.h y .m). Hereda de UIViewController. Este archivo controlará los textos con la información e instrucciones que aparecerán según el apartado de la aplicación del que se quiera saber.
- ChoosePathViewController (.h y .m). Hereda de UIViewController e implementa los protocolos: CLLocationManagerDelegate, UITableViewDataSource y UITableViewDelegate. Este controlador es el encargado de la vista que aparece en la opción Como llegar. Debe calcular la posición y ofrecer en una lista, implementada como una tabla de tipo TableView, los destinos posibles.
- NavigationViewController (.h y .m). Hereda de UIViewController e implementa el protocolo CLLocationManagerDelegate. Este es el controlador de la vista del navegador. Se encargará de calcular la posición del usuario y la dirección en que apunta el teléfono, y a dar las indicaciones para alcanzar los sucesivos puntos hasta el final del trayecto.
- MapViewController (.h y .m). Hereda de UIViewController e implementa los protocolos MKMapViewDelegate y CLLocationManagerDelegate. Este controlador manejará la vista en la que aparecerá un mapa con el camino a recorrer resaltado.
- IndicationsViewController (.h y .m). Hereda de UITableViewController. Es el controlador de la vista que tiene las indicaciones totales del camino a recorrer. Las mostrará en una tabla del tipo TableView y dado que es lo único que aparecerá en esta vista se ha hecho que herede de UITableViewController que ya implementa los protocolos necesarios para el uso de estas tablas.
- ListOfPathsViewController (.h y .m). Hereda de UITableViewController. Es el controlador de la vista en la que se ofrecen en forma de TableView los caminos guardados por el usuario. Para ello deberá cargarlos de la base de datos.
- NewPathViewController (.h y .m). Hereda de UIViewController. Se encarga de manejar la vista que aparece cuando el usuario esta guardando su propio camino para después guardarlo en el teléfono.
- OptionsViewController (.h y .m). Hereda de UIViewController e implementa los protocolos UITableViewDataSource y UITableViewDelegate. Será el encargado de controlar el menú de las opciones.



## 4.4 Apartados de la aplicación

A continuación haremos una descripción de los distintos apartados que dispone la aplicación y qué relación tienen con los archivos anteriormente mencionados. Además se detallará el trabajo complementario a la programación que se ha realizado en algunos de estos apartados. Los apartados son seis y a continuación se detallarán uno por uno.

### 4.4.1 Menú Principal

El menú principal será la primera vista que nos encontraremos al abrir la aplicación. A partir de este menú podremos acceder a los distintos apartados de la aplicación. Esta vista estará controlada por el controlador MenuViewController, aunque en realidad la única finalidad del mismo será abrir la siguiente vista según donde se pulse.

Sin embargo hay algunos aspectos a tener en cuenta. El menú debe estar configurado para el uso por una persona ciega, por ello en el caso de que esté activado VoiceOver debe decir lo que hace cada elemento cuando se seleccione. Como se ve en la imagen, el menú consta de cuatro botones para acceder a los distintos apartados, y si se toca cada uno de los botones dice la información que aparece al lado.

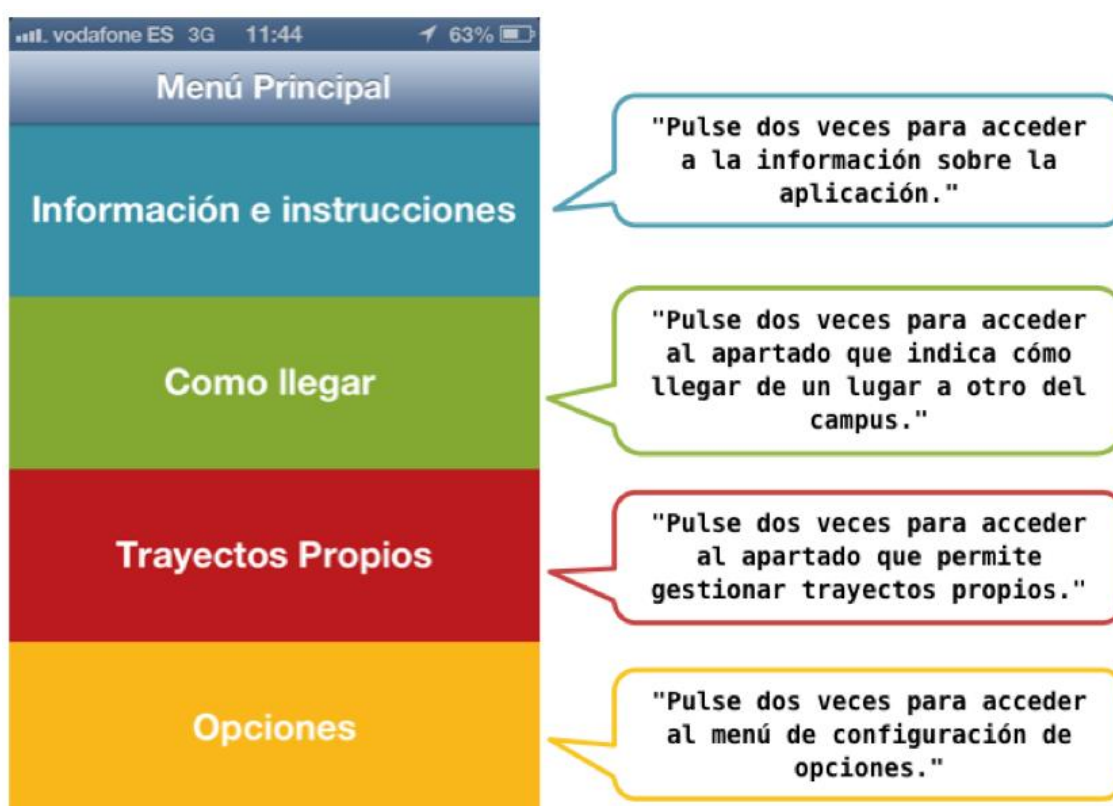


Figura 4 - 3 Captura de pantalla del Menú Principal con una simulación de la información recibida al tocar cada uno de los botones con VoiceOver activado.

#### 4.4.2 Información e instrucciones

Este es el primer apartado de los cuatro que tiene la aplicación. Se accede al menú de instrucciones a partir del menú principal, pulsando el botón azul con el mismo título. En caso de estar activado VoiceOver habrá que hacer doble "tap" una vez esté seleccionado. Existen otras formas de acceder a algunos de los sub-apartados del menú de información, pero se verán más adelante.

La idea principal de este apartado es la de explicar todas las opciones posibles que tiene la aplicación. La información sobre la aplicación esta dividida en tres partes a las que se accede desde un menú similar en disposición al menú principal pero que sólo consta de tres botones, sustituyendo el primer botón por una etiqueta de texto. Dado que son tan similares también esta manejado por el controlador MenuViewController. En la imagen se muestra el aspecto de este menú y la información que da cuando se pulsa con el lector de pantalla activado.

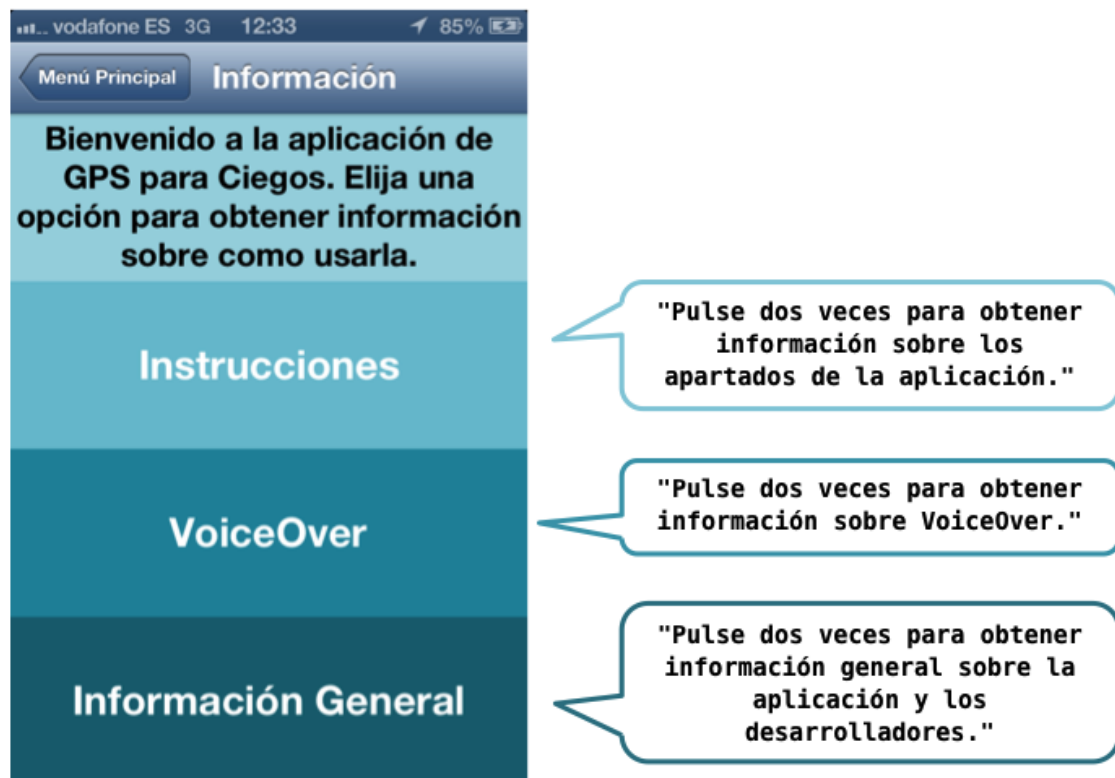


Figura 4 - 4 Captura de pantalla del menú general del apartado *Información e Instrucciones* con una simulación de la información recibida al tocar cada uno de los botones con VoiceOver activado.

Los sub-apartados a los que se puede acceder desde el menú de información son los siguientes:

- Instrucciones. Si accedemos a este apartado volverá a aparecer un menú con el mismo aspecto pero con distintas opciones, ya que ahora los botones servirán para seleccionar de qué apartado de la aplicación queremos obtener las

instrucciones. Cuando pulsemos uno de los botones accederemos a una vista con texto donde se detallarán las instrucciones para el uso del apartado que se haya seleccionado.

- VoiceOver. Puesto que la mayor parte de la aplicación está dirigida al uso de VoiceOver, y este requiere un cierto aprendizaje previo, se ha incluido un apartado con información sobre este aspecto. Al abrirlo volverá a salir otro menú del mismo aspecto, y nos ofrecerá tres opciones con distinta información sobre VoiceOver, la primera con información general, la segunda con una lista de gestos básicos para su manejo y por último un enlace a la información que se ofrece sobre VoiceOver en la web de Apple.
- Información General. El tercer botón nos lleva a un campo de texto donde se habla un poco sobre los desarrolladores, las finalidades con las que se ha planteado el proyecto, la versión de la aplicación y otros aspectos de este estilo.

#### 4.4.3 Cómo llegar

Este apartado será accesible desde el menú principal pulsando el segundo botón, de color verde. El objetivo de este apartado es calcular la posición del usuario y ofrecer en una lista los posibles destinos a elegir dentro del campus. A continuación proporciona esta información al siguiente apartado que es el asistente de navegación para que calcule una ruta apropiada para alcanzar el destino determinado.

Este apartado intentará calcular la posición del usuario según se acceda a ella, sin necesidad de accionar ningún botón. Para ello es necesario que estén activados los servicios de localización del teléfono. Además hay que entender que para que la ruta que se calcule posteriormente sea correcta, el punto calculado debe ser bastante preciso. Por ello la aplicación no ofrecerá datos de la posición hasta no asegurarse de que la precisión con la que se está devolviendo el dato de localización es de al menos 10 m.

Mientras no se haya conseguido dicha precisión en la pantalla aparecerá una etiqueta informando de ello y no aparecerá la lista con los destinos. Una vez calculada se cambiará de color la etiqueta y ofrecerá la localización respecto a alguno de los edificios del campus. Además se ofrecerá la lista con los posibles destinos.

Esta vista está controlada por el controlador ChoosePathViewController. Para cargar los datos de los posibles destinos, así como ubicar al usuario respecto a un edificio cercano, se carga una lista de propiedades (pointsOfInterest.plist) que posee la información sobre la ubicación de cada uno de los edificios del campus.

En la parte superior de la vista, en la barra de navegación entre las pantallas de la aplicación, aparecen el botón *atrás*, para volver a la pantalla anterior, el título de la vista y un botón redondo con una “i”. Pulsando ese botón accederemos al sub-apartado del menú de información que explica el uso de *Cómo llegar*, junto con el uso del navegador posterior, del que hablaremos en breve.



Figura 4 - 5 Capturas de pantalla mostrando un ejemplo del resultado de seleccionar la opción *Cómo llegar*.

#### 4.4.4 Trayectos Propios

Este es el tercer apartado al que se puede acceder a través del menú principal, correspondiente al tercer botón, con el mismo nombre y de color rojo. La finalidad de este apartado es la de guardar los recorridos que realicen los usuarios y quieran guardar con el fin de repetirlos posteriormente. En principio se entiende que estos recorridos se harán en un primer momento acompañados de una persona vidente que conozca el camino.

Este apartado dispone de tres vistas. La primera es un menú, controlada por MenuViewController, que dispone de dos grandes botones para acceder a las otras vistas o sub-apartados. Además también dispone de un botón de información para acceder de manera rápida a las instrucciones sobre este apartado.

Si se pulsa el botón superior, en el cual pone *Trayectos Guardados*, se accederá a la segunda vista de este apartado. En esta vista aparecerá una lista con los trayectos que

se hayan guardado previamente. Estarán dispuestos de arriba abajo en celdas con el texto “DE: (lugar de inicio)” seguido de “A: (lugar de destino)”. Cuando se pulse uno de estos trayectos se accederá al asistente de navegación al igual que se accedía desde el apartado *Cómo llegar*, y que se explicará pronto.

Esta vista esta controlada por el controlador `ListOfPathsViewController`, y obtendrá los trayectos del modelo de datos `PathsModel.xcdatamodeld`. Se ha creado este modelo de datos, con la entidad `Paths` (asociada a la clase `Paths.h/Paths.m`) para guardar en memoria interna del teléfono los trayectos propios de los usuarios. Cuando se abre esta vista, la aplicación carga el modelo de datos, mediante los métodos ofrecido en el framework `CoreData`, y se encarga de ofrecerlas en la lista para que se pueda elegir uno de ellos. Evidentemente hay que haber guardado algún camino antes para que se muestre algo en la lista.

Para ello hay que volver al menú de trayectos propios, y pulsar el segundo botón en el que pone *Añadir trayecto*. Esta vista está controlada por el controlador `NewPathViewController` y es una de las vistas que puede entrañar más dificultad al usuario ciego, ya que requiere la entrada de texto. Una de las mejores opciones que se puede tomar para no introducir el texto letra por letra es encontrar la tecla de dictado de voz en el teclado, situada a la izquierda de la barra espaciadora. Una vez pulsada se puede introducir el texto por voz.

Nada más abrirse la vista aparecerá un campo de texto a rellenar, seguido de un botón de “Ok” para aceptar cuando se halla acabado, y posteriormente el teclado. En el campo de texto hay que introducir el nombre del sitio de partida del trayecto a guardar. Cuando se haya introducido se pulsa “Ok”, la pantalla tendrá el mismo aspecto pero ahora habrá que introducir el nombre del destino. Se pulsa “Ok” de nuevo y de este modo tendremos nombrado el recorrido.

En ese momento la pantalla mostrará un aspecto distinto dividido en tres zonas de arriba abajo. En la parte superior se mostrará mediante una etiqueta los nombres que se han introducido y los puntos guardados. La parte intermedia es un botón en el que pone *Empezar*. La parte inferior es otro botón en el que pone *Añadir punto*. Este último botón no sirve de nada si no se ha pulsado previamente el botón de *Empezar*.

El modo de uso es el siguiente:

- Después de haber introducido los nombres del principio y el final, se pulsa el botón *Empezar*, que cambiará su texto automáticamente por *Parar*.
- Una vez dado, la aplicación empieza a actualizar la localización.
- Para añadir un punto clave del camino, donde se quiera ser avisado al repetirlo posteriormente, se aprieta el botón *Añadir Punto*. Esto sólo se podrá hacer cuando se disponga de una precisión mínima que asegure que la posición que

se va a guardar es la correcta. Para saber que se dispone de la precisión necesaria el teléfono vibrará cuando esté disponible.

- Se repite ese proceso, añadiendo tantos puntos como se desee, hasta que se llegue al destino. Es necesario añadir manualmente también los puntos de inicio y fin.
- Cuando se haya llegado al final y se hayan añadido todos los puntos, se pulsa el botón intermedio que ahora pone *Parar*. Esto también se puede hacer durante el camino si se quiere hacer una pausa. Una vez pulsado se dejará de actualizar la posición y se cambiará el texto de nuevo a *Empezar* por si se quiere continuar. Además no se podrán añadir puntos y en su lugar el botón inferior dará la opción de almacenar definitivamente el trayecto que se estaba realizando ya que ahora pondrá *Guardar*.
- Una vez pulsado se almacenará el trayecto en el modelo de datos y se volverá al menú de trayectos propios. Ahora estará disponible el nuevo trayecto en la lista de trayectos guardados.



Figura 4 - 6 Capturas de pantalla mostrando un ejemplo del uso del apartado *Trayectos Propios*.

#### 4.4.5 El asistente de navegación

El asistente de navegación es un apartado de la aplicación que no es accesible desde el menú principal. Como hemos visto en los apartados de *Cómo llegar* y *Trayectos propios*, una vez se ha elegido un trayecto se accede a este apartado. La finalidad de este apartado es la de guiar al usuario desde el punto de partida hasta el destino. Para

ello primero calculará el camino apropiado, en caso de ser necesario, y posteriormente debe dar indicaciones de dirección y distancia respecto de los puntos intermedios hasta alcanzar el objetivo. Este apartado es sin duda el más importante de la aplicación, ya que el resto de apartados tienen fines informativos o son un previo a este apartado, salvo el apartado de guardar un camino. No obstante este apartado conlleva un trabajo previo de caracterización del campus que se detalla a continuación.

#### **4.4.5.1 Caracterización del campus de Cantoblanco mediante un grafo**

Si se hace uso de la opción *Cómo llegar*, hay que guiar a una persona de un lugar a otro dentro del campus, por lo que la aplicación ha de calcular un camino óptimo entre los dos puntos. Para ello, debe tener constancia de los posibles caminos, es decir de las calles de campus, y a continuación obtener las direcciones a seguir y así poder ofrecer una lista de indicaciones que será necesario llevar a cabo con el fin de alcanzar el destino. Obviamente también es necesario que tenga constancia de la ubicación del usuario así como de los edificios que pueden ser los puntos de partida o los objetivos. Para caracterizar las calles del campus, en el diseño se propuso la realización de un grafo. Para ello, es necesario obtener unos puntos clave que consistirán en los vértices del grafo. Estos puntos clave son las posibles bifurcaciones de las calles, es decir los cruces. Las separaciones entre estos puntos clave o vértices, es decir las calles, representarán las aristas del grafo. Al alcanzar uno de estos puntos el usuario puede tener varios caminos a seguir. La aplicación habrá calculado la opción correcta y deberá comunicarla cuando se esté aproximando al punto.

Pero el teléfono debe ser consciente de que estamos cerca de ese punto para poder avisar. Es necesario entonces que la aplicación tenga almacenados en memoria las coordenadas geográficas de estos puntos, además de las de los edificios, para poder compararla con la ubicación del usuario y juzgar entonces si está cerca o no. Además los puntos del mapa deben estar correctamente conectados entre ellos, representando los tramos de calles que formarán manzanas o bloques. De otro modo, la ruta calculada como más corta, sugeriría con gran probabilidad atravesar edificios o descampados. Estos puntos se almacenan en dos listas de propiedades, una de ellas ya mencionada, `pointsOfInterest.plist` para los edificios, y `totalPoints.plist` para los puntos clave y sus conexiones.

En las siguientes figuras se muestran capturas de pantalla de un mapa del campus con un pin en cada edificio y en la otra se muestran las líneas que representan el grafo con los posibles caminos. En el anexo A se añaden las tablas con los datos de los puntos almacenados en las dos listas de propiedades así como un mapa de la UAM que se ofrece en la web, y que es en el que nos hemos basado para identificar los edificios.





Figura 4 - 7 Captura de pantalla de una aplicación de ejemplo mostrando la situación en la que se ha almacenado cada uno de los edificios a los que se puede acceder en la opción *Cómo llegar*.



Figura 4 - 8 Captura de pantalla de una aplicación de ejemplo mostrando el grafo creado por los caminos resultantes al unir los puntos añadidos por los cuales se calculará un trayecto en la opción *Cómo llegar*.

#### 4.4.5.2 Algoritmo del camino más corto

Para calcular el camino más corto entre los dos puntos se ha optado por implementar un algoritmo del camino más corto, más concretamente el algoritmo de Dijkstra. Con este algoritmo se calcula el camino más corto dado un vértice origen al resto de vértices en un grafo con pesos en cada arista. En nuestro caso el peso de las aristas será la distancia entre los puntos.

Elegido un nodo como el nodo inicial, el algoritmo sigue las siguientes pautas:

1. Todos los nodos llevan asociados una variable distancia al punto inicial. Esta variable se inicializa a infinito para todos los nodos, ya que se desconoce esa distancia en un principio, salvo el inicial que tendrá distancia 0.
2. Tomamos como nodo actual el que tenga distancia menor y no haya sido visitado. En un primer caso será el nodo inicial.
3. Se recorren los nodos adyacentes al nodo actual salvo que ya hayan sido visitados.
4. Se calcula la distancia en esos nodos sumando el valor de la distancia del nodo actual mas la distancia desde el nodo actual hasta el nodo adyacente. Si dicha distancia es menor que la que había previamente se sustituye. Nosotros hemos marcado además en cada nodo, el nodo del que se proviene.
5. Marcamos el nodo actual como visitado.
6. Volvemos al segundo punto y repetimos los siguientes pasos hasta que todos los puntos sean visitados.

Una vez recorridos todos los puntos elegiremos el destino y recorreremos el camino a la inversa hasta el inicial para obtener la lista de puntos que habrá que recorrer de un punto a otro, obteniendo así el camino mas corto entre los dos puntos.

#### 4.4.5.3 Implementación del asistente de navegación

Para la implementación del asistente de navegación hemos hecho uso de un tipo de controlador especial, que nos permite tener más de una vista en una. Este tipo de controlador se llama `TabViewController`, y ofrece una series de pestañas en la parte inferior de la pantalla con el fin de intercambiar entre las distintas vistas. Cada una de las vistas tiene asociado un controlador.

En este caso hemos implementado tres vistas, con tres funciones distintas, cada una con un tipo de información.

- La primera y más importante es la que hemos nombrado *Navegador*, ya que será este sub-apartado el que realice las funciones de guiado durante el trayecto. La vista dispone de dos grandes zonas, una etiqueta en la parte superior de la pantalla, en la que se indicará la información relativa al estado

del trayecto, y un botón en la parte inferior con el fin de que los usuarios interactúen. Más adelante se explicará detalladamente la manera de usar este sub-apartado. Esta vista está controlada por `NavigationViewController`.

- La segunda consiste en un mapa. En dicho mapa aparecerá el camino a realizar marcado con una línea roja, así como dos pines indicando el principio y el fin del trayecto. Este apartado tiene como fin ofrecer una ayuda extra en caso de poder requerir de la ayuda de una persona vidente, o si el usuario tiene algún resto visual que le permita usarlo. El controlador de esta vista se llama `MapViewController`.
- La tercera pestaña es una lista de indicaciones. En este apartado se pueden leer desde el principio todas las indicaciones necesarias para llegar al destino, como la distancia al siguiente punto, que tipo de cruce nos encontraremos allí y la dirección a seguir una vez alcanzado. El controlador para este apartado es `IndicationsViewController`.

Todos los apartados de esta vista son intercambiables a través de las pestañas que hay en la parte inferior de la pantalla. Pese a que estas pestañas no son de un tamaño muy grande, hemos considerado esta una buena opción para el asistente de navegación, ya que las vistas son fácilmente intercambiables sin que se detengan los procesos que están activos en cada una de las vistas. Esto es importante porque si se está a mitad de camino y se quiere revisar las indicaciones generales, o se quiere preguntar a alguien enseñándole el mapa, posteriormente se puede volver a la pestaña del navegador donde la habíamos dejado sin necesidad de volver a empezar.

#### **4.4.5.4 Funcionamiento del navegador**

El navegador y su funcionamiento ha supuesto uno de los mayores retos del proyecto. No cabe duda de que es el apartado más crítico de la aplicación, ya que para que resulte útil a una persona con discapacidad visual, hemos de conseguir que los usuarios confíen plenamente en las indicaciones que se dan durante el trayecto. Esto supone evidentemente una responsabilidad a la hora de plantear este apartado. Ahora hablaremos más detalladamente de la utilización y el funcionamiento de las distintas vistas mencionadas anteriormente.

Como hemos dicho, la primera vista, la del navegador, es la más importante, ya que es la que debe calcular en tiempo real las indicaciones que hay que dar hasta el siguiente punto. Existen dos posibilidades de acceso a esta pantalla.

- Si accedemos desde *Cómo llegar*, se habrán recibido los puntos de inicio y fin del trayecto, y lo primero que hace es calcular el camino más corto con el algoritmo de dijkstra, que está implementado en un objeto de la clase `NavigationManager` que ha sido brevemente descrita con anterioridad, y que habremos de inicializar.

- Si accedemos desde *Trayectos propios*>*Trayectos guardados*, el camino no se habrá de calcular a no ser que se especifique lo contrario mediante una de las opciones en el menú opciones, pero esto lo mencionaremos más adelante. Por lo general como se ha contado el camino esta guardado en el modelo de datos asociado a los nombre de inicio y fin de trayecto.

En cualquiera de los dos casos se ofrecerá en la etiqueta la información básica del trayecto, es decir, el punto de inicio, el de fin, la distancia a recorrer e metros y los puntos clave que separan los dos extremos. Por otro lado en el botón pondrá *Empezar recorrido*. La manera de uso es la siguiente.

- Pulsamos el botón, una vez pulsado la aplicación entenderá que se ha comenzado el trayecto y que el primer objetivo es localizar el siguiente punto. Para saber qué dirección se debe seguir, hay que mover el teléfono lentamente hacia los lados, éste nos avisará cuando estemos apuntando en la dirección correcta. Esto se realiza de la siguiente forma:
  - La dirección al siguiente punto se calcula mediante un triángulo formado por el punto al que hay que dirigirse, la posición actual del teléfono y un tercer punto auxiliar al norte de esta posición. A continuación se calcula el ángulo que se forma en ese triángulo desde el norte hasta el punto al que hay que dirigirse.
  - Al igual que es capaz de calcular la localización, el teléfono posee una brújula digital y puede calcular la dirección a la que se está apuntando respecto al norte magnético.
  - Una vez obtenido el ángulo al que hay que dirigirse, se compara con el valor que devuelve la brújula del teléfono y si coinciden ambos valores es que ésa es la dirección a seguir. Además sabiendo la diferencia entre ambos valores se puede indicar al usuario si ha de girar a la izquierda o al derecha el teléfono.
  - Al igual que en el apartado de guardar un trayecto, hay que esperar a obtener una precisión mínima para calcular la posición, ya que el triangulo a partir del que se calcula la posición depende de que ese valor sea correcto y preciso. De otro modo la dirección que nos indique podría ser errónea.
- Una vez encontrada la dirección, se avisa de ello al usuario, y se pone en la etiqueta información sobre el siguiente punto, y la distancia al mismo, que se actualizará según nos acerquemos. Se puede volver a calcular la dirección siempre que se quiera pulsando de nuevo el botón y repitiendo el caso anterior.
- Cuando nos estemos acercando bastante a un punto, el usuario debe ser informado de ello. Esto se realiza de la siguiente manera:

- El teléfono está actualizando la posición constantemente, recibiendo las coordenadas de la posición en la que se encuentra. Además se conocen las coordenadas del punto al que se quiere llegar.
- Constantemente se calcula la distancia entre ambos puntos mediante una función disponible en la API de localización del programa. Cuando esta distancia es menor que un valor fijado, la aplicación avisará de que se está acercando lo suficiente al siguiente punto como para considerar que se ha llegado a él.
- En ese momento se puede calcular la dirección al siguiente punto repitiendo los pasos explicados anteriormente.
- Sin embargo una vez calculada la dirección al siguiente punto, un persona ciega puede perder la referencia con respecto al punto al que se está llegando. Por ello el teléfono vibrará siempre que se mantenga dentro de un perímetro desde el punto más cercano, para saber que todavía se está, o no, en las cercanías del punto.
- Estos procesos se repiten hasta alcanzar el destino, donde se avisará específicamente que se ha llegado a donde se deseaba llegar.

En el siguiente capítulo de la memoria se verán ejemplos reales del uso del navegador. La siguiente figura muestra un diagrama de flujo con el funcionamiento básico del navegador. La tabla del anexo B muestra la información que se ofrece en las distintas zonas de la pantalla, así como de los mensajes de voz, según el momento de uso a lo largo del trayecto en que nos encontremos.

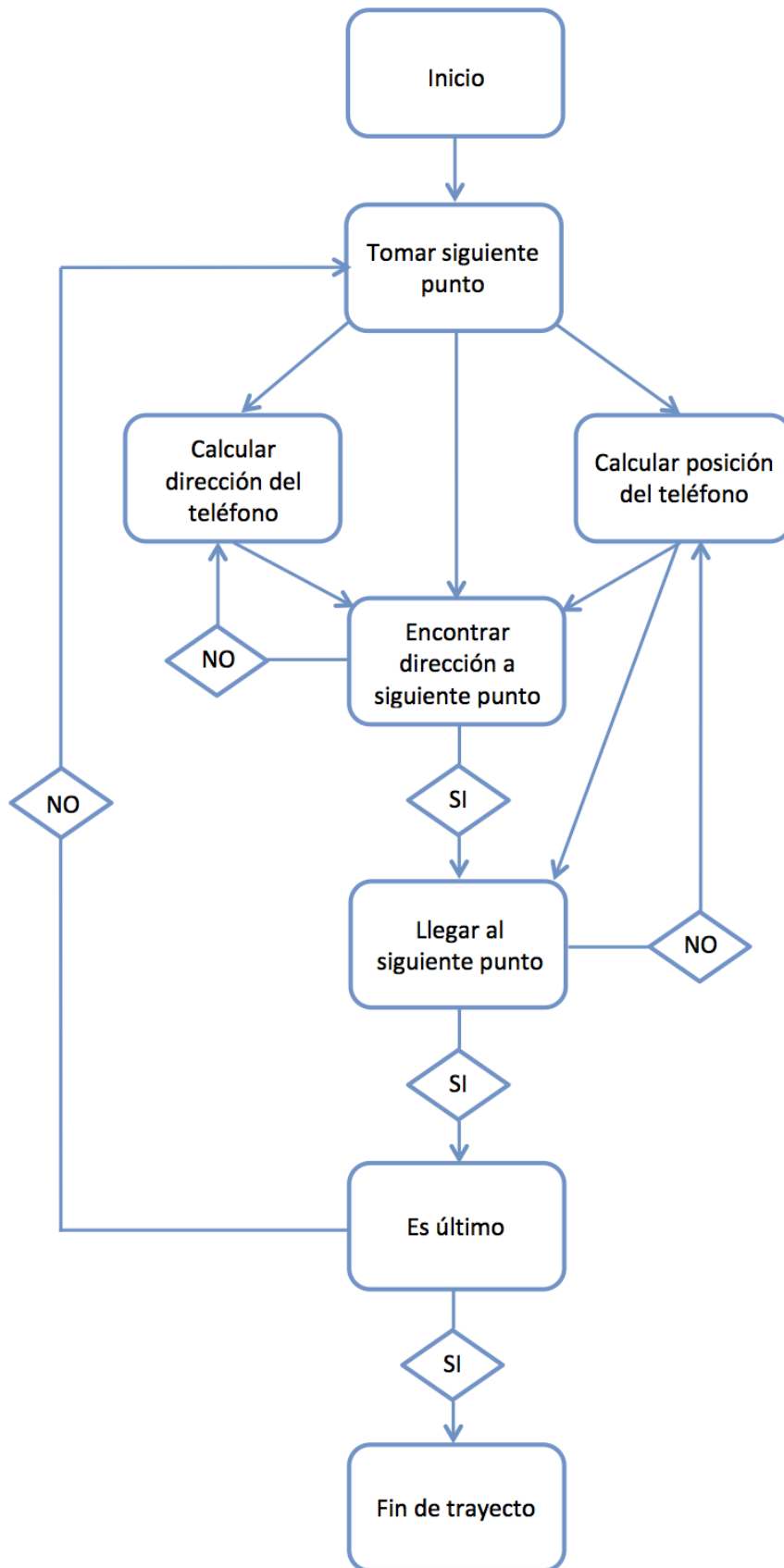


Figura 4 - 9 Diagrama de flujo que representa el funcionamiento del navegador.

Por otro lado las otras pestañas son mas sencillas de usar. La vista con el mapa puede enseñar la ruta en varias formas distintas según el apartado del que se proceda. En todas ellas se podrá ver una línea marcando el camino, resaltando el principio y el fin y la posición actual del usuario.

La vista de las indicaciones debe calcular el trayecto completo, y las direcciones a seguir en cada punto. Puesto que en la navegación nos valemos de la posición actual del usuario para calcular la dirección , y ahora esto no es posible, se ha planteado otro método para calcular estas direcciones. Para ello se siguen los siguientes pasos:

- Se toman las posiciones de tres puntos consecutivos en el mapa, centrándonos en ellos de dos en dos, es decir en primer lugar tomamos el primero y el segundo y después el segundo y el tercero.
- Calculamos la dirección entre los pares de puntos en relación a los puntos cardinales. Para ello comparamos las coordenadas y según la posición de la segunda respecto a la primera sabemos si esta al norte, sur, este u oeste. Hacemos lo mismo con el segundo par de puntos.
- Sin embargo, las direcciones cardinales no resultan de utilidad a no ser que se sepa donde esta el norte, y resultan sin duda de poca ayuda para las personas ciegas.
- Por ello, una vez tenemos dos direcciones cardinales (sureste, noroeste, etc.), las comparamos, y sabemos que si se viene en una dirección y después de un punto se ha de continuar en otra dirección, habrá que torcer a la derecha, a la izquierda o seguir recto. Clasificamos estas combinaciones y así podemos ofrecer información útil respecto del trayecto completo.

#### 4.4.6 Opciones

El apartado de opciones ofrece la posibilidad de cambiar algunos aspectos relativos al aspecto y manejo de la aplicación. Se accede a el mediante el último botón, de color amarillo, del menú principal, y al abrirlo se muestra un menú con cinco opciones, cada una de ella con un interruptor para activar o desactivar la opción correspondiente. Este menú esta asociado con el controlador `OptionsViewController`. También ofrece un botón de información para acceder de manera rápida a la instrucciones de este apartado.

Las opciones que se ofrecen en este apartado son de distintos tipos, y están dirigidas a optimizar el uso de la aplicación según el grado de discapacidad visual del usuario o según el manejo que ya se tenga de la aplicación. Son la siguientes:

- Buscar edificio como posición de partida. Es una opción referente al apartado “Cómo llegar”. Si está activada, cuando accedamos a dicho apartado la

localización que ofrecerá como la actual será la puerta principal del edificio más cercano en vez de la posición verdadera del usuario. Esta opción tiene por fin facilitar la creación de caminos de un edificio a otro, ya que la localización del teléfono es algo menos precisa cuando se está muy cerca o dentro de un edificio. Por ello, si el usuario sabe que está en la puerta de un edificio y tiene esta opción activada, se asegurará de que la posición de partida será correcta.

- Desactivar las notificaciones al iniciar cada pantalla. Esta es una opción dirigida al público con ceguera total. Cuando se usa la aplicación con VoiceOver activado, el lector de pantalla va leyendo los elementos que tocamos en la pantalla y la información adicional que se ha añadido a cada uno de ellos. Sin embargo para una persona que no vea la pantalla le será difícil hacerse una idea de primera del aspecto que tiene. Por ello se han añadido unas notificaciones al principio de las vistas, indicando los elementos disponibles en la vista actual, su ubicación en la pantalla y el resultado de activar los elementos que se pueden accionar. Sin embargo puede resultar un poco cargante escuchar toda la descripción si ya se dispone de un manejo relativamente bueno de la aplicación y sus vistas. Con esta opción podemos desactivar las notificaciones si se desea.
- Usar puntos del mapa al cargar. En el apartado de trayectos propios, cuando guardamos un trayecto, los puntos que se añaden son puntos añadidos personalmente por el usuario, mientras que en la opción de cómo llegar se usan los puntos predefinidos por la aplicación. Nosotros como desarrolladores no podemos asegurar que los puntos guardados sean totalmente fiables, sin embargo sí podemos asegurar los que están añadidos para caracterizar el campus. Si activamos esta opción, la aplicación usará estos puntos para encontrar un camino seguro entre los puntos de principio y final del trayecto propio ignorando en ese caso los que se han guardado personalmente.
- Cambiar colores para mayor contraste. Esta opción va destinada a los usuarios que padecen una ceguera parcial pero tienen un resto visual que les permite ver la pantalla. Si accionamos esta opción, toda la aplicación cambiará de color, mostrando los fondos en negro y gris oscuro, y el texto en amarillo. De este modo se ofrece una opción en la que el contraste es mayor y permite al usuario elegir la interfaz que prefiera entre dos configuraciones visuales distintas.
- No mostrar alertas, (activar sonidos de aviso). En algunos momentos de la aplicación se muestran alertas, consistentes en un recuadro con texto que aparece en medio de la pantalla. Estas alertas sirven para advertir al usuario de ciertos aspectos importantes, pero si se tiene activado VoiceOver puede resultar un poco pesado escuchar estas alertas continuamente. Por ello se da la opción de sustituir las alertas por unos tonos que, una vez identificados, equivalen a la misma información.



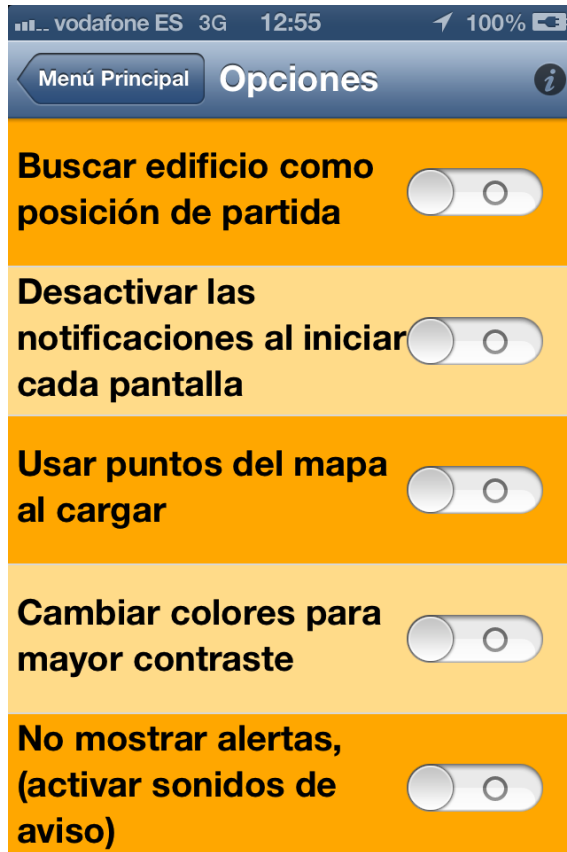


Figura 4 - 10 Captura de pantalla del menú *Opciones* de la aplicación.



## 5 Pruebas y resultados

### 5.1 Introducción

En este apartado vamos a testar la aplicación realizando algunas pruebas reales con el dispositivo en la mano. La aplicación tiene varios apartados, de los cuales las instrucciones y las opciones no requieren más prueba que observar brevemente los resultados de cambiar algunas de las opciones o la navegación entre menús de instrucciones. Comentaremos brevemente aspectos relativos a estos apartados porque consideramos que es recomendable, previo al comienzo de un trayecto, haber leído o escuchado previamente las instrucciones y tener las opciones fijadas con nuestras preferencias. Sin embargo los apartados relativos a la realización de un trayecto dependen de factores externos y los valores que devuelva el teléfono en cada situación. Por ello, antes de probar estos apartados en sí, haremos unas pruebas previas, en las que trataremos de obtener algunos datos sobre la fiabilidad y precisión de los datos que nos proporciona el teléfono en distintos casos. Una vez hecho esto, será necesario probar los apartados relativos a trayectos recorriendo algunos caminos y ver qué resultados obtenemos de ellos, fijándonos en factores como precisión, rapidez de respuesta o utilidad de la información.

## 5.2 Test previos

Uno de los aspectos que más nos ha llamado la atención, y en el que más atentos hemos tenido que estar es el de la precisión de los datos del teléfono respecto a datos de localización y dirección. Si se indaga un poco a cerca de la precisión del GPS, se obtiene que de media podemos tener una precisión de unos 10 m, llegando incluso a 5. Parece ser que la precisión para aplicaciones militares puede superar ampliamente estos valores. Para hacernos una idea de que margen de fiabilidad tenemos nosotros con el teléfono a la hora de usar estos datos devueltos, vamos a hacer unas pruebas anteriormente a realizar algún recorrido.

La librería de Xcode que nos ofrece recursos relativos a localización geográfica ya fue mencionada en el capítulo anterior, se llama CoreLocation. Para hacer uso del módulo GPS del teléfono hemos de añadir esta librería e instanciar un objeto de la clase CLLocationManager que a su vez implemente el protocolo CLLocationManagerDelegate. Una vez instanciado e inicializado podemos fijar un cierto valor de precisión con la que queremos trabajar, en nuestro caso hemos usado la mejor, pese a que esto supone un mayor gasto de batería. Además este protocolo nos permite hacer uso de un método que es el que nos devuelve información de la localización geográfica. Este método nos devuelve un objeto de la clase CLLocation cada vez que se actualiza la posición, que incluye información como las coordenadas geográficas, la altitud, la dirección y la precisión en metros con que se pueden considerar estos datos.

A continuación se relatarán unas pruebas previas al uso de los apartados de la aplicación para comprobar la precisión con que trabajamos, tanto en la localización como en la dirección. Además haremos unas comparaciones entre los caminos que nos ofrece nuestro algoritmo del camino más corto a través del grafo que caracteriza el campus frente a caminos ofrecidos por Google maps.

### 5.1.1 Precisión en la localización

En un primer caso haremos la siguiente prueba. Elegimos algunas posiciones fácilmente reconocibles del campus y obtenemos a partir de Google maps las coordenadas de estos puntos. Posteriormente nos situaremos con el teléfono en la mano en estas posiciones y obtendremos la localización devuelta por la aplicación diez veces separando diez segundos entre cada dato. Una vez tenemos estos datos calcularemos la distancia en metros entre las posiciones que hemos calculado y la que habíamos obtenido de internet.

Hemos realizado esta prueba en algunos sitios con distintas características, en relación a edificios cercanos o presencia de árboles. Vamos a detallar el primer caso y posteriormente mostraremos el resto de resultados.

Para el primer ejemplo nos hemos situado en la entrada del edificio A, pero más bien cerca de la acera. En la siguiente imagen se muestra la situación que hemos tomado de Google maps.

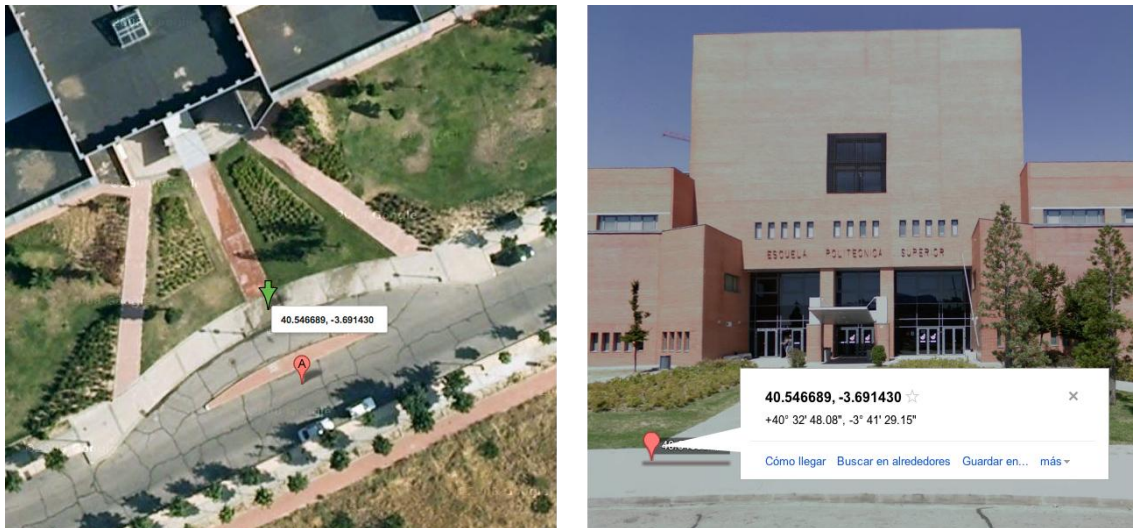


Figura 5 - 1 Capturas de pantalla de Google Maps mostrando la situación elegida para hacer la prueba.

Una vez situados en este lugar, cuyas coordenadas obtenidas tienen los valores de 40.546689 y -3.69143 de latitud y longitud respectivamente, procedemos a activar los servicios de localización y almacenar diez datos recibidos cada diez segundos. Estos son los resultados obtenidos y sus localizaciones en el mapa.

Número de intento	Latitud	Longitud	Distancia al punto en m
1	40.546731	-3.691398	5.359772
2	40.546731	-3.691398	5.359772
3	40.546699	-3.691353	6.607350
4	40.546699	-3.691353	6.607350
5	40.546662	-3.691317	10.006599
6	40.546651	-3.691297	12.061033
7	40.546604	-3.691324	12.992793
8	40.546590	-3.691365	12.273693
9	40.546590	-3.691365	12.273693
10	40.546625	-3.691324	11.425070

Tabla 5 - 1 Resultados del primer test de precisión de localización.



Figura 5 - 2 Captura de pantalla representando los datos devueltos en el test y detallados en la tabla anterior.

Se obtiene una media de aproximadamente 9.5 m de diferencia entre las posiciones obtenidas por el teléfono y la obtenida en Google. Como puede apreciarse, en este caso la localización del punto donde hemos hecho la prueba es cercana a un edificio aunque no excesivamente.

A continuación vamos a ver otros ejemplos. Hemos probado en el espacio que hay entre el edificio B y el edificio C de la EPS, que tiene edificios bastante cercanos a ambos lados. Hemos probado en dos rotondas cercanas a la escuela, una al norte y otra al sur, en las que los edificios están bastante alejados y hemos probado como último escenario un lugar en medio de dos pasos de cebra con un pino bastante frondoso muy cercano. A continuación se muestran estas localizaciones en el mapa y en la tabla las distancias en metros que se han obtenido.



Figura 5 - 3 Capturas de pantalla de Google Maps mostrando las localizaciones donde se ha realizado las siguientes pruebas.

	<b>Puerta edificio c</b>	<b>Rotonda sur EPS</b>	<b>Rotonda norte EPS</b>	<b>Paso de cebra</b>
<b>1</b>	13.169499	8.532488	2.397936	2.776142
<b>2</b>	13.169499	10.778511	2.397936	3.578164
<b>3</b>	13.169499	10.778511	2.397936	5.368489
<b>4</b>	13.169499	6.587489	2.397936	5.368489
<b>5</b>	13.169499	6.587489	2.397936	5.368489
<b>6</b>	19.439034	6.392707	2.397936	5.368489
<b>7</b>	26.875084	6.392707	2.397936	5.368489
<b>8</b>	26.583842	4.659659	2.397936	20.048934
<b>9</b>	26.583842	4.659659	2.397936	20.048934
<b>10</b>	20.630632	0.497400	2.397936	20.048934
<b>Media</b>	18.595993	7.263247	2.397936	9.334355

Tabla 5 - 2 Distancia en metros desde los puntos devueltos por la aplicación al punto calculado en Google Maps de las localizaciones donde hemos realizado las pruebas.

Tras ver las pruebas realizadas obtenemos una media de desviación de unos 9.45 m. Por tanto consideramos que los datos devueltos por el teléfono pueden llegar a tener de media un error de 10 m. Además como puede apreciarse hay situaciones en las que devuelve el mismo dato repetidamente, lo cual tiene sentido ya que no nos movemos. Pero en la mayoría de ocasiones, para una misma localización, los datos devueltos varían entre puntos que llegan a estar incluso 15 m separados el uno del otro.

En general consideramos que la precisión es bastante buena, pero no es perfecta, y falla más cerca de edificios o árboles. Por ello se ha decidido poner un margen de 10 o 20 m de radio para avisar a la llegada de los puntos. Este margen ha de ser tratado con cuidado porque hará que en ocasiones nos avise demasiado pronto y en otras ocasiones puede que algo tarde. Cuando se detallen las pruebas de trayectos realizadas se explicará mejor este aspecto.

### 5.1.2 Precisión en la dirección

Hemos realizado otro test, esta vez con el fin de ver la precisión de la dirección calculada por el teléfono. Para ello hemos cogido el teléfono con una mano apuntando al norte, manteniéndolo lo más fijo que hemos. Para ver las diferencias entre datos que va devolviendo se ha abierto la aplicación brújula y hemos apuntado hacia el norte. Cuando hemos visto que la dirección que nos mostraba era 0 grados se cerraba la aplicación y se volvía a abrir apuntando el valor que devolvía en es momento, esperando diez segundos cada vez.

Esta prueba fue realizada en dos sitios. La primera vez en la rotonda al sur de la EPS mencionada previamente, que esta bastante separada de los edificios. Se obtuvieron 10 valores que son los siguientes:

Intento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grados	357	354	354	356	1	354	358	0	352	355
Diferencia	3	6	6	4	1	6	2	0	8	5

Tabla 5 - 3 Valores de dirección devueltos por el teléfono en un punto lejano a un edificio.

La desviación máxima respecto al norte es de 8 grados, la media es de 4,1 grados y la desviación máxima entre valores devueltos es de 9. Por otro lado hemos repetido la prueba en la salida del edificio c por la puerta trasera, muy cerca de un edificio. Los resultados son los siguientes:



Intento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Grados	4	1	23	356	16	2	358	356	0	7
Diferencia	4	1	23	4	16	2	2	4	0	7

Tabla 5 - 4 Valores de dirección devueltos por el teléfono en un punto cercano a un edificio.

En este caso la diferencia máxima respecto del norte es de 23 grados, la media 6,3 y la desviación máxima entre dos valores devueltos es de 27 grados.

Como puede apreciarse este valor también ofrece peores resultados cuando se está cercano a un edificio. Además hay que tener en cuenta que la variación entre datos devueltos apuntando al mismo sitio llega ser un valor bastante grande como son 27 grados. Por otro lado hay que sumar el problema de la localización ya que cuando queremos calcular una dirección a seguir, comparamos la dirección devuelta por el teléfono con un dato obtenido por puntos fijos y por la localización momentánea del dispositivo. Si tenemos en cuenta ambos fallos de precisión a la vez este cálculo puede ser bastante erróneo en algunos momentos.

### 5.1.3 Trayectos calculados por el algoritmo frente a soluciones de otros navegadores

Para esta prueba vamos a situarnos en un lugar concreto, la puerta del edificio A de la EPS, y vamos a abrir la opción *Cómo llegar* y elegir unos destinos dentro del campus. En primer lugar elegiremos un destino cercano, uno de los edificios más próximos como es la biblioteca de ciencias. Después seleccionaremos el rectorado que se encuentra algo mas lejos. Por último elegiremos un destino que esté bastante lejos como puede ser la estación de cercanías. Después veremos qué camino ofrece Google maps para ello y compararemos los resultados en el sentido de semejanza en caminos y facilidad en la selección de los extremos.

En el primer caso, para ir de la EPS a la biblioteca de ciencias, obtenemos los siguientes resultados, el primero en nuestra aplicación y el segundo en Google maps.

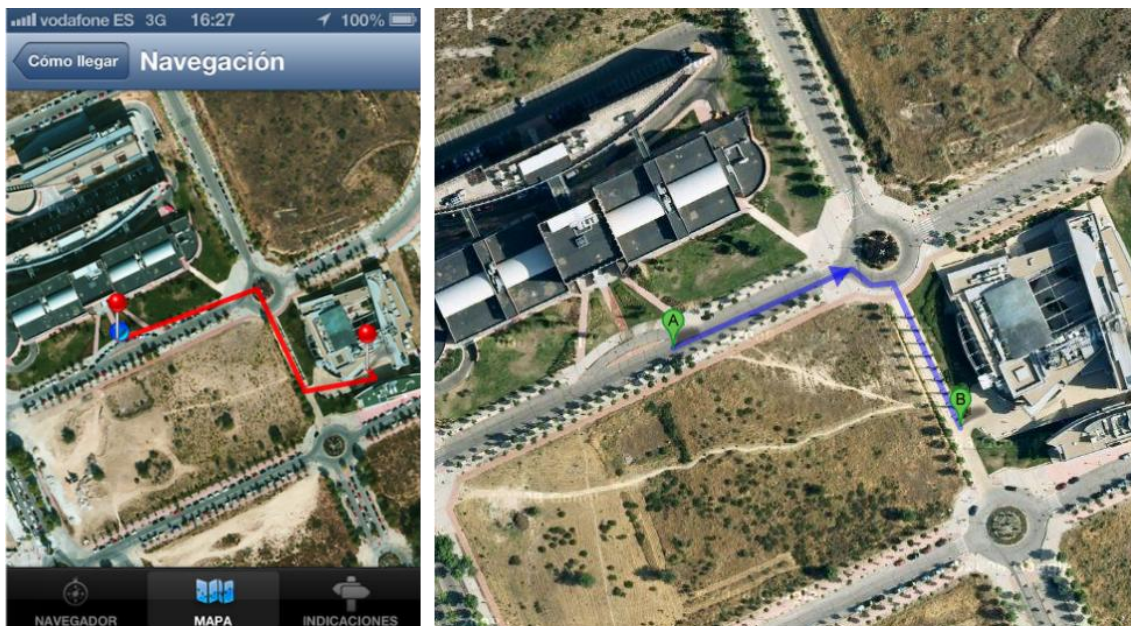


Figura 5 - 4 Capturas de pantalla de la aplicación y de Google Maps comparando el primer trayecto.

Como puede apreciarse los resultados son bastante parecidos. Sin embargo podemos destacar algunas diferencias. En primer lugar al buscar los edificios en Google maps se encontró la EPS pero no la biblioteca de ciencias, punto que hubo que situar a mano. Por otro lado el resultado de Google no alcanza la puerta de ninguno de los dos edificios mientras que nuestra aplicación si. Sin embargo apreciamos que el resultado de Google tiene en cuenta la rotonda, cosa que nuestra aplicación al contar con un solo dato de localización en ese punto no puede hacer. En cuanto a distancia, el resultado de Google nos indica que hay 160 m entre los dos puntos, mientras que nuestra aplicación suma un total de 242 m de trayecto.

En el siguiente caso veremos el trayecto desde el mismo punto de partida siendo el destino esta vez el rectorado. Obtenemos los siguientes resultados.

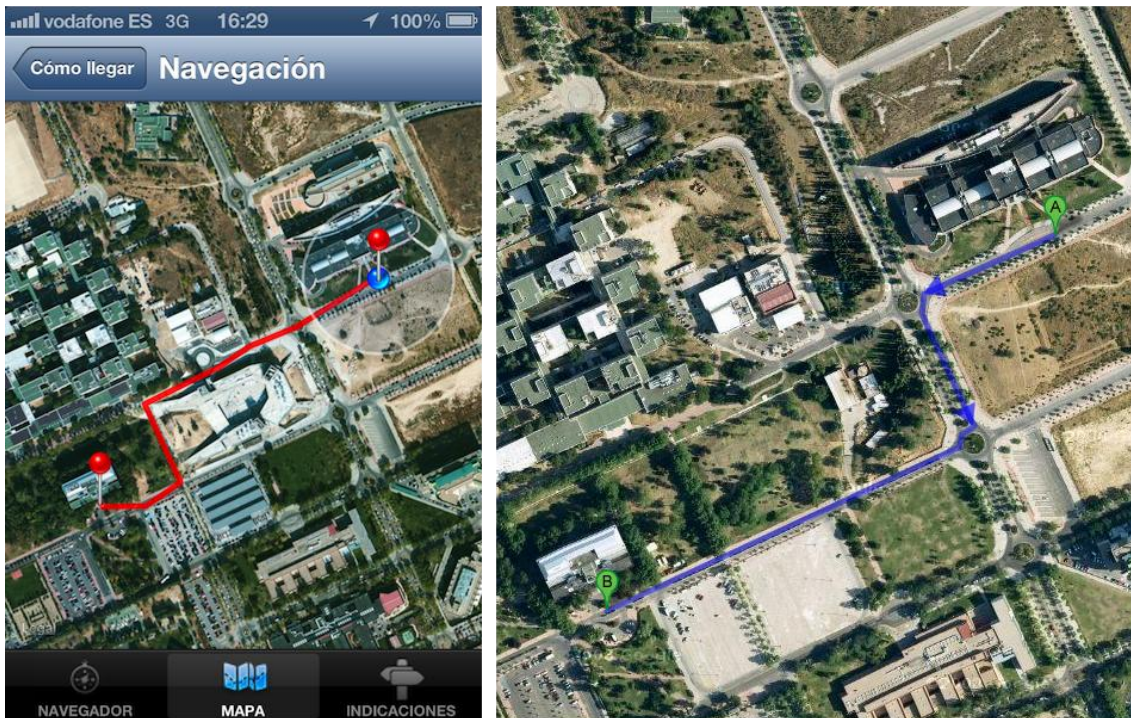


Figura 5 - 5 Capturas de pantalla de la aplicación y de Google Maps comparando el segundo trayecto.

Como puede apreciarse en este caso los recorridos son algo más distintos. De hecho Google nos manda torcer por una calle anterior que la nuestra. Cabe destacar que en el mapa de Google todavía no está presente la Plaza Mayor de la UAM y el trozo de calle que queda al norte de dicho edificio es algo distinto. En otros aspectos podemos decir que Google tampoco reconoció el rectorado como destino válido, y las distancias indicadas son de 550 m en Google frente a 540 en la aplicación.

En el siguiente caso el destino seleccionado será la estación de tren y los resultados los siguientes.

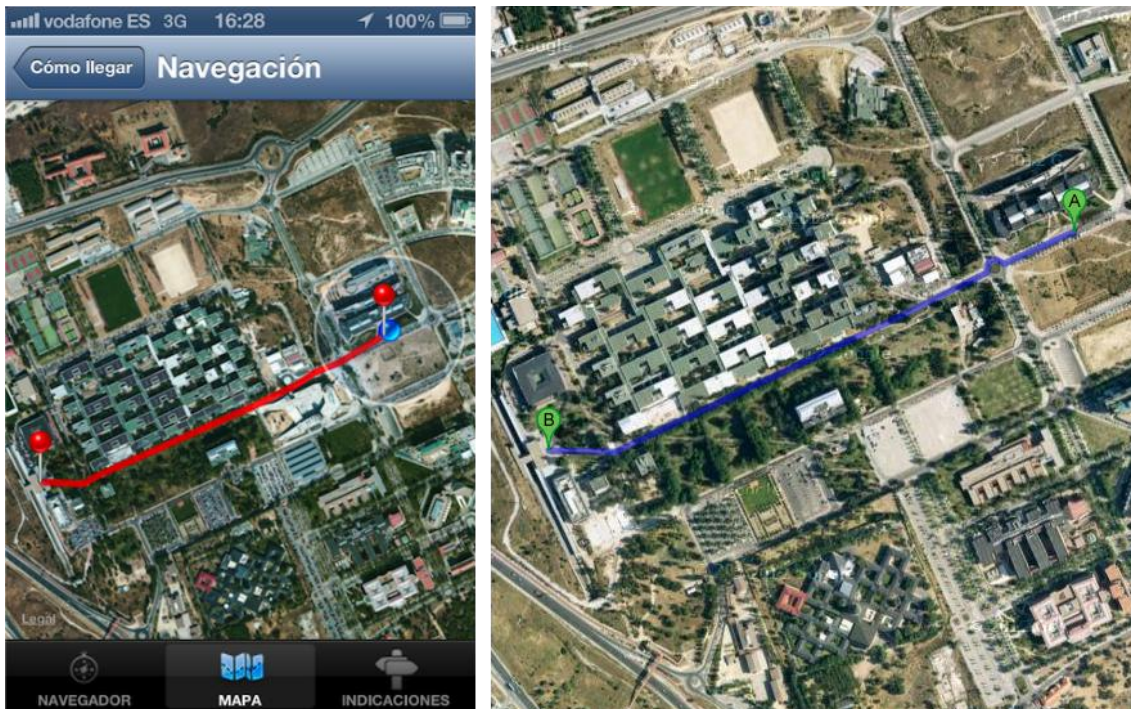


Figura 5 - 6 Capturas de pantalla de la aplicación y de Google Maps comparando el tercer trayecto.

En este caso la distancia que ofrecen ambos recorridos es idéntica salvo por el aspecto de la rotonda explicado anteriormente. En este tercer caso tampoco se pudo encontrar directamente el destino en el buscador, y la distancia en metros es de 800 m en Google frente a 812 en la aplicación.

Si hacemos un balance general para valorar los resultados que ofrece la aplicación, lo cierto es que pensamos que son muy positivos. En uno de los dos casos nos ofreció un resultado distinto al de Google, pero igualmente correcto, y en todos los casos la distancia era muy parecida para las dos soluciones por lo que podemos considerar que el algoritmo calcula bien los caminos a través del grafo realizado. En otros aspectos pensamos que la idea de ofrecer los edificios en una lista favorece en gran medida encontrar los sitios concretos del campus, que fueron más difíciles de encontrar en Google maps.

## 5.2 Pruebas de apartados relativos a trayectos

Las pruebas de los apartados relativos a la realización de trayectos a través de la universidad se refiere a todos los apartados que requieren el uso de los sistemas de localización y orientación. Dividiremos este sub-apartado a su vez según las funciones que ofrece la aplicación al respecto, que son tres.

Pensamos que una buena opción es comparar el funcionamiento de los tres apartados realizando el mismo camino en ocasiones distintas, haciendo uso cada vez de uno de los apartados de la aplicación. Así pues realizaremos en primer lugar pruebas con el apartado *Cómo llegar*, realizando un trayecto concreto en más de una ocasión, y observando el comportamiento del navegador con los puntos del mapa preestablecidos. A continuación probaremos a almacenar el mismo camino con la opción *Añadir trayecto* de *Trayectos propios*. Por último probaremos el navegador a través de la opción *Trayectos guardados* de *Trayectos propios* repitiendo el trayecto guardado previamente.

### 5.2.1 Prueba del navegador a través de *Cómo llegar*

Cómo se ha se dicho a lo largo de la memoria, el apartado *Cómo llegar* tiene por fin calcular la posición del usuario y dar a elegir un punto del campus al que se quiere ir. Una vez hecho esto nos lleva al navegador que calculará el camino más corto a través de los puntos clave de la universidad y posteriormente da instrucciones para ir alcanzando estos puntos uno por uno hasta el destino.

Para probar este apartado hemos decidido fijarnos en los siguientes aspectos, y así poder juzgar la utilidad real de la aplicación.

- Precisión en la localización. Es un aspecto indudablemente crucial para el correcto funcionamiento de la aplicación. Tras las pruebas realizadas previamente se intentará ver con que precisión se calcula la posición del usuario esta vez en movimiento, fijándonos en aspectos como la distancia a ciertos puntos.
- Precisión en el calculo de la dirección. Este es otro aspecto bastante importante, que sin embargo depende en parte de lo anterior. Como ya vimos en las pruebas, si la precisión con la que se calcula la posición no es suficiente se cometerán errores al calcular la dirección a seguir, que también dependerá de la exactitud de la brújula digital.
- Rapidez de respuesta. Está claro que es muy importante que los datos de posición y dirección sean correctos, pero también es importante que la

aplicación no tarde mucho en conocer esos datos con la precisión requerida. Por ello veremos cuanto tarda en general la aplicación en conseguir estos datos.

- Utilidad y facilidad en la información. Una de las cosas que más nos preocupa es si la información será de verdad útil para el usuario. Se ha intentado poner la mayor cantidad de ayudas posibles para alcanzar los objetivos medios y final de manera correcta y de la forma más fácil y segura posible, sin embargo esto depende en gran medida de los aspectos anteriores y de cómo seamos capaces de hacérselo saber al usuario.
- Otros aspectos. Intentaremos ver aquí otras posibles razones por las que la consecución del objetivo pueda resultar complicada de una manera u otra y que no tengan que ver con lo expuesto en los puntos anteriores.

Una vez aclarados estos aspectos vamos a plantear alguna ruta para probarla y poder juzgar los puntos mencionados anteriormente con objetividad. Queremos probar un trayecto relativamente corto para que no sea muy largo de explicar pero que incluya suficientes obstáculos para ver el comportamiento de la aplicaciones en distintos casos. Dado que el proyecto se ha realizado en el edificio C de la EPS, probaremos un camino realizado desde un punto cercano a la puerta trasera de dicho edificio hasta un edificio cercano. Se ha elegido como destino el edificio de las fundaciones, que se encuentra a una distancia algo inferior a medio kilómetro hacia el sur-este, cerca de la biblioteca de ciencias. A continuación se explica paso a paso la experiencia y posteriormente valoraremos en líneas generales los aspectos a evaluar.

Abrimos la aplicación y seleccionamos la opción *Cómo llegar*. Esperamos que encuentre la posición actual, que como hemos dicho requiere una precisión concreta. Cuando ha calculado la posición nos la indica, además de la lista con todos los posibles objetivos. Nos desplazamos por la lista hacia abajo hasta encontrar el destino y lo seleccionamos. En este caso como se puede apreciar, indica que estamos en un punto cercano al centro de microanálisis de materiales, ya que la posición almacenada de este edificio se encuentra más cerca que la de la EPS que la sitúa en el edificio A de la escuela. Una vez hemos seleccionado como destino el edificio Fundaciones, pasamos a realizar el trayecto. En la figura 5-7 se puede ver el punto de partida del trayecto y en la tabla 5-5 se muestra el proceso de vistas de la pantalla en que se muestran los procesos para calcular la posición y elegir el objetivo.



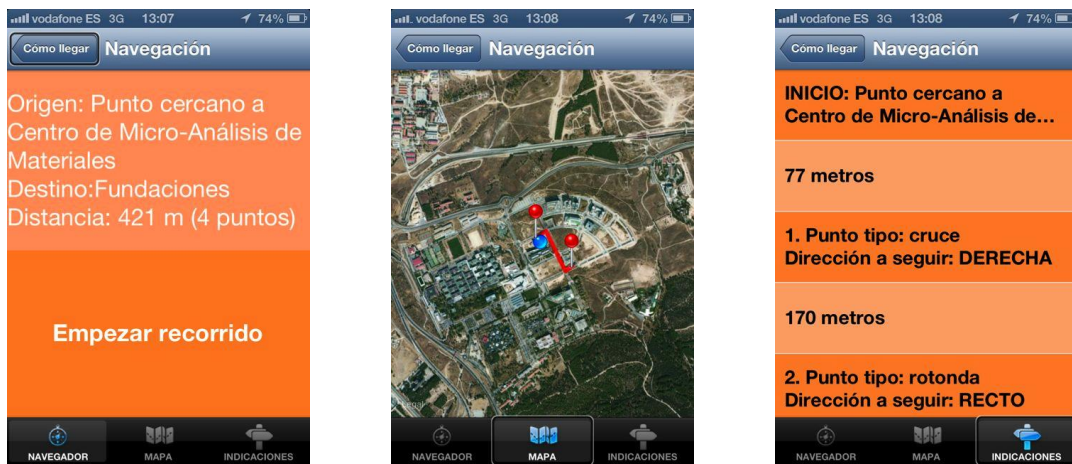
Figura 5 - 7 Foto realizada del punto de inicio del trayecto.



<p>Seleccionar apartado en el menú principal.</p>	<p>Esperar a que alcance una precisión para calcular la posición.</p>	<p>Calculada la posición se ofrece la lista de destinos.</p>	<p>Se busca el destino y se selecciona.</p>
---	---	--	---

Tabla 5 - 5 Capturas de pantalla de la aplicación mostrando el proceso de uso del apartado *Cómo llegar*.

En cuanto seleccionemos un destino aparecerá la vista de navegación. Por defecto aparece directamente en el navegador que como se muestra en la figura da información genérica del trayecto, origen, destino y distancia entre ellos en metros y los puntos a alcanzar entre medias. Cabe destacar que la distancia no se refiere en línea recta punto a punto sino la distancia a recorrer a través de los distintos puntos. Por otro lado antes de empezar conviene acceder a las otras pestañas para hacer uso de su información. Como se ha mencionado previamente la pestaña del mapa no resultará de gran utilidad si la persona padece ceguera total y no hay alguien que vea y pueda ayudarle. Pero la pestaña de las indicaciones pensamos que resulta de gran utilidad para hacerse un idea general del trayecto. Como puede apreciarse se van alternando los puntos que se van a recorrer con la distancia entre ellos, y en cada punto se indica la dirección a seguir una vez alcanzado.



Pestaña del navegador

Pestaña del mapa

Pestaña de la indicaciones

Tabla 5 - 6 Capturas de pantalla de la aplicación mostrando las tres pestañas del apartado *Navegación*.

Pulsamos el botón para comenzar el trayecto. En este momento el teléfono además de la posición estará calculando la dirección. Tomando como referencia el norte comparados datos de dirección para avisar cuando se apunta en la dirección correcta. Para que resulte más sencillo se indica de primeras en la etiqueta hacia donde se debe apuntar para encontrar la dirección correcta. En este caso indica que apuntemos a la izquierda, movemos el teléfono en la dirección indicada y cuando coinciden la dirección buscada con la que apunta el teléfono se notifica mediante un aviso. Este paso lo hemos repetido varias veces para comprobar que la dirección es buena. Una vez calculada esta dirección cerramos el aviso y vemos u oímos la información que se nos ofrece respecto al siguiente punto, que se refiere a la distancia y al tipo de punto.





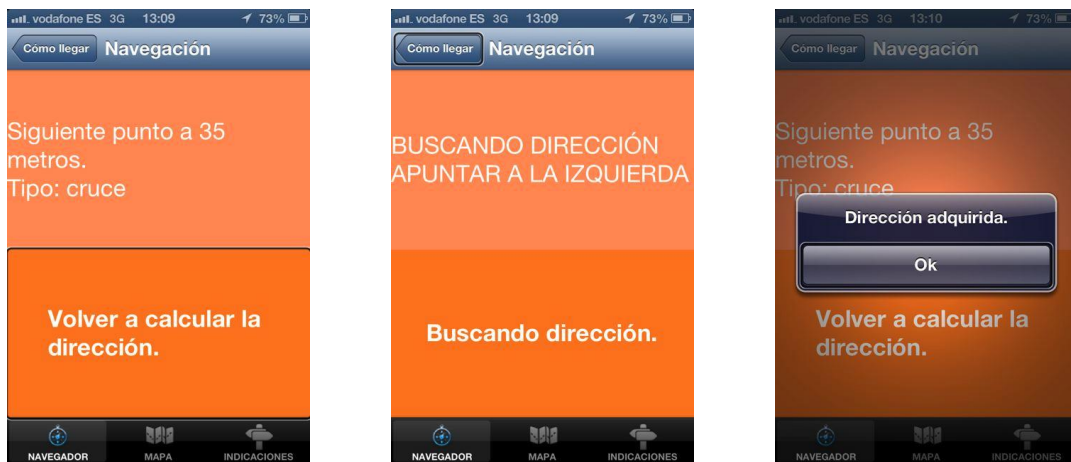
Se pulsa el botón	Se nos indica hacia donde apuntar el teléfono	Cuando damos con la dirección correcta salta una alerta	La cerramos y vemos la información sobre el siguiente punto
-------------------	---	---	---

Tabla 5 - 7 Capturas de pantalla de la aplicación mostrando el proceso de comenzar a usar el navegador.

Avanzamos hacia el siguiente punto siguiendo la dirección indicada. Según se avanza se va actualizando la etiqueta con la distancia al siguiente punto. En caso de despistarse, o simplemente por seguridad, se puede volver a calcular la dirección pulsando de nuevo el botón y repitiendo los pasos explicados en el punto anterior, atendiendo a las indicaciones de la etiqueta de texto para saber donde apuntar. Es recomendable comprobar de vez en cuando si se esta siguiendo la dirección correcta. Como vemos en la figura en nuestro caso lo hemos hecho mas o menos a mitad de camino.



Figura 5 - 8 Foto tomada del primer tramo del trayecto a partir de la dirección indicada.



A una distancia media se vuelve a pulsar el botón

Otra vez se nos indica hacia donde apuntar

Y de nuevo cuando apuntemos en la dirección correcta nos avisará

Tabla 5 - 8 Capturas de pantalla de la aplicación mostrando el proceso de uso del navegador al adquirir una dirección.

Cuando nos estamos aproximando lo suficiente al siguiente punto, la aplicación nos informará de ello mediante un aviso. Dado que en este caso el punto al que nos acercamos es de tipo cruce y hay posibilidad de cruzar, nos avisará cuando estemos a 20 m. Este dato es algo que hay que tener en cuenta de una forma realtiva, ya que el fin no es llegar al punto en concreto que esta situado en medio de la calzada. Por eso, teniendo en cuenta que la precisión no es perfecta en todos los casos, se avisa con 20

m de distancia, pero hemos de ser conscientes que con casi total probabilidad habrá que avanzar un poco más como se puede ver en la siguiente imagen que muestra el momentos donde nos ha avisado. Con este aviso se da el punto por encontrado y a partir de ahora se buscará el siguiente punto intermedio.



Figura 5 - 9 Foto tomada en el lugar donde la aplicación nos avisa de que hemos alcanzado el siguiente punto.



<p>Cuando llegamos a menos de 20 m salta la alerta.</p>	<p>Si la cerramos podemos acceder a la información sobre el punto.</p>
---	--

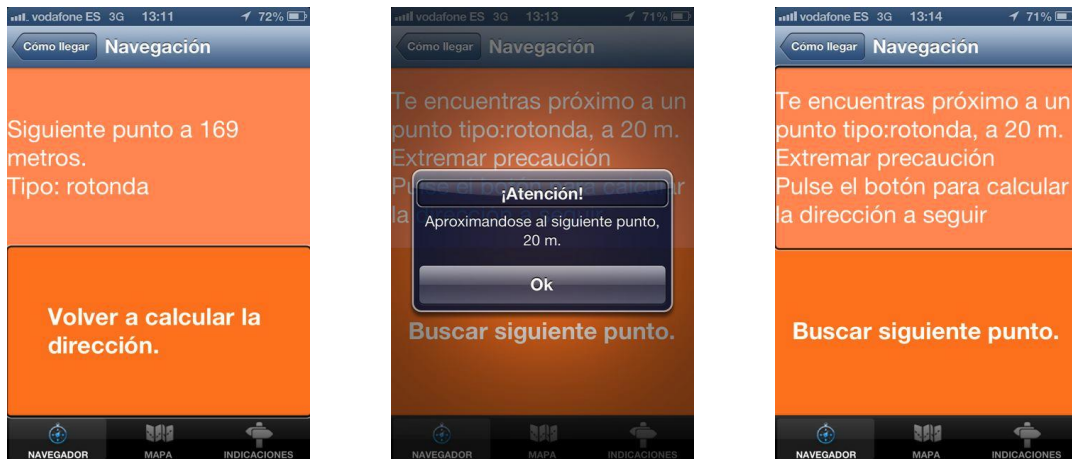
Tabla 5 - 9 Capturas de pantalla de la aplicación mostrando el momento en que se alcanza el siguiente punto.

La manera de proceder ahora será buscar la dirección al siguiente punto. Sin embargo, tal y como acabamos de decir, el aviso llega en un momento en que todavía no hemos llegado al cruce, como se puede apreciar en la imagen. Por tanto no se ha alcanzado el punto exacto donde habría que torcer, en caso de que hubiera que torcer, y en ese caso la dirección que nos indique no será correcta. Esto es un problema para una persona con ceguera total. Sabiendo que es bastante probable que tengamos que avanzar mas, la idea es que se calcule la dirección a seguir y se pruebe con cuidado si es posible avanzar en esa dirección. De no ser posible se ha de continuar un poco más hacia el punto cercano y volver a calcular la dirección. Mientras se mantenga dentro de un perímetro de 20 m del punto el teléfono estará vibrando, y así siempre tendrá referencia del punto más cercano.



Figura 5 - 10 Captura de pantalla tomada del momento en que nos indica una nueva dirección, y fotografías de los momentos, primero incorrecto y luego correcto, en que nos indica la dirección a seguir.

Se continúa por la dirección que se ha indicado hasta llegar al siguiente punto. En este caso el siguiente punto es una rotonda y también se nos avisa con un margen de 20 m. Repetimos los procesos anteriores, y calculando la dirección a seguir hacia el siguiente punto obtenemos que hay que seguir recto. Sin embargo seguir recto supone atravesar la rotonda directamente lo cual evidentemente es una instrucción errónea. En lugar de eso habrá de rodear media rotonda, incluyendo un paso de cebra, y continuar hasta el siguiente punto. Se trata de una de las posibilidades con más dificultad para una persona con ceguera total ya que en la rotonda solo tendremos noción de la posición con respecto al camino porque el teléfono vibrará si se está a menos de 20 m del punto guardado. Más adelante analizaremos con más detalle este problema.



Tras obtener la dirección se informa sobre el siguiente punto

Una vez alcanzado salta la alerta para avisar de la cercanía al punto

Cerrado el aviso vemos la información y tenemos la opción de buscar el siguiente punto

Tabla 5 - 10 Capturas de pantalla de la aplicación mostrando el momento en que se alcanza el siguiente punto, de tipo rotonda esta vez.



Figura 5 - 11 Foto tomada del punto donde nos avisa de que hemos alcanzado una rotonda con las direcciones, incorrecta y correcta, a seguir.

Tanto en el proceso de rodear la rotonda, como una vez superada, sería conveniente recalcular la dirección al siguiente punto con regularidad para no perder referencia de hacia donde debemos dirigirnos, y asegurarnos de que siempre este vibrando el teléfono para saber que seguimos cerca de la rotonda. En este caso, una vez superada la rotonda, vemos que el camino que nos indica es peatonal pero con escaleras. Además la aplicación nos informa de que el siguiente punto también es una rotonda.

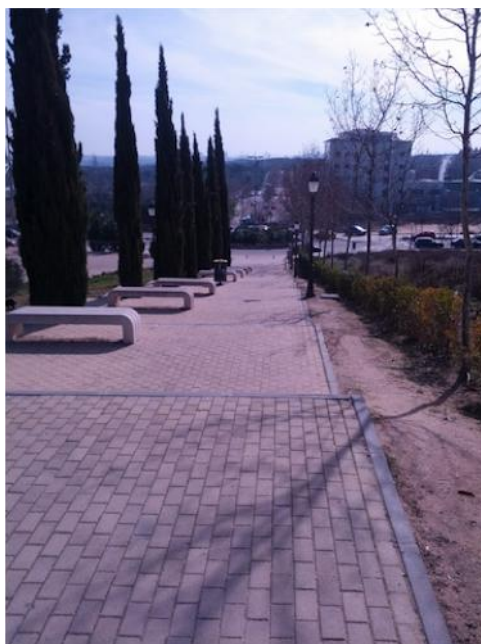


Figura 5 - 12 Foto tomada del siguiente tramo de camino a realizar con la dirección indicada tras superar la rotonda.

Si avanzamos hasta el siguiente punto llegamos a otra rotonda. Cuando nos acercamos lo suficiente la aplicación nos lo dirá mediante el aviso correspondiente. Calculamos la siguiente dirección en este caso nos indica que hemos de torcer a la izquierda. Este es por tanto un caso más sencillo en principio, pero siempre habrá que tener en cuenta que hay que rodear parte de la rotonda. La información por pantalla es similar a la mostrada en puntos anteriores. La dirección que nos indica seguir es la que se muestra en la imagen.



Figura 5 - 13 Foto tomada del siguiente punto y la dirección a seguir indicada por la aplicación.

Seguimos en la dirección indicada. El siguiente punto ya es el último. Nos indica que es de tipo acera, eso supone dos cosas, la primera es que las conexiones de ese punto no suponen en ningún caso la posibilidad de cruzar y la segunda que nos avisará cuando estemos más cerca, a una distancia de 10 m en lugar de 20. Cuando nos acercamos nos avisa de que nos hemos aproximado a un punto y que además es el final de trayecto. Alcanzado el destino se informa al usuario y así se da por finalizado el trayecto.



Calculamos la dirección al siguiente punto de tipo acera	Cuando estamos a 10 m o menos nos avisa de que hemos alcanzado el punto	Además nos avisa específicamente de que es el destino	Alcanzado el destino se notifica en la etiqueta y el botón queda inutilizable
--	---	---	---

Tabla 5 - 11 Capturas de pantalla mostrando los avisos recibidos al llegar al último punto del trayecto.



Figura 5 - 14 Fotos tomadas de las posiciones donde nos avisa en dos situaciones distintas.

Una vez acabado el trayecto vamos a pasar a valorar los aspectos en los que anteriormente comentamos que íbamos a fijarnos especialmente.

- Precisión de la localización. Por lo general se han obtenido buenos resultados. El problema principal es decidir el punto en que se avisa que se ha llegado un punto.



Tras la prueba arriba relatada, realizada numerosas veces, hay momentos en que se avisa quizás un poco tarde de que se ha llegado al punto. Se trata sin duda de un error en la precisión de la localización el cual puede hacer que el desarrollo del trayecto se vea afectado. Este problema no se debe confundir con lo que se comentó previamente de que una vez se avisa la llegada a un punto puede que halla que avanzar un poco más que es debido al hecho de que se nos avisa con un margen de 20 m de anticipación al punto. Como vimos en las pruebas de precisión de localización, el dato puede tener un error medio de unos 10 m y por tanto hay casos en que se puede estar devolviendo un dato de posición algo retrasado con respecto a la situación real y por ello se estará calculando con un cierto error la distancia entre ambos puntos que puede suponer que no avise con espacio suficiente para certificar una seguridad. Dicho de otra manera, podemos estar a 20 m de un punto marcado en medio de una rotonda, pero la aplicación esta devolviendo que estamos a 25 o 30 m. La distancia a la que nos debe avisar de que estamos cerca de una rotonda es 20m pero como para la aplicación todavía no se ha alcanzado esa distancia seguiremos avanzando y puede que nos avise cuando estemos demasiado cerca de la calzada. Esto ocurre solamente en algunas ocasiones, principalmente cuando estamos cerca de un edificio donde la precisión es bastante peor. Por esta razón también ocurre a veces que al alcanzar el destino nos avisa en una posición algo distinta a la puerta.

- Precisión de la dirección. Como se dijo arriba este cálculo también depende en parte de la localización y por ello es algo más inestable. Como se ha explicado en alguna ocasión previa este cálculo se consigue obteniendo una dirección en grados respecto al norte hacia el siguiente punto, y comparando ese dato con el que devuelve la brújula digital del teléfono. Como ya vimos la dirección que devuelve el teléfono puede fallar por interferencias electromagnéticas y a veces es complicado que devuelva una dirección muy precisa en los primeros intentos. Por ello es conveniente repetir el proceso dos o tres veces hasta que coincidan los resultados obtenidos para asegurarnos de que la dirección hallada es correcta.
- Rapidez de respuesta. En general este aspecto ha funcionado bastante bien. Para los cálculos de localización es necesario que la posición devuelta por el teléfono sea bastante precisa para que los cálculos que se hacen con ella sean los más correctos posibles. Por ello se ha fijado una precisión mínima que se debe conseguir para que se tenga en cuenta el dato y puede tardar algún tiempo en alcanzarla. Sin embargo hemos comprobado que en espacios abiertos generalmente es instantáneo y en el peor de los casos tarda unos segundos en lograr esta precisión. En el interior de un edificio tarda mucho más en alcanzar estos valores, por ello no se recomienda usar como punto de inicio el interior de un edificio.

- Utilidad y facilidad de la información. Este punto es el primero que depende únicamente de nuestro criterio y no de los datos que devuelven los módulos internos del teléfono. Lo cierto es que la información es constante y siempre se pone a disposición del usuario la distancia al siguiente punto y la posibilidad de calcular la dirección a dicho punto. Por otro lado la lista con las indicaciones generales del trayecto resulta bastante útil para escuchar al principio ya que nos da una idea general de los pasos a realizar durante el trayecto. Además el mapa proporciona información muy útil en caso de que el usuario posea un resto visual suficiente para interpretarlo. Por otro lado hay ciertos aspectos en los que se encuentran algunas pegas. Cuando se alcanza el destino generalmente se está muy cerca de la puerta del edificio al que nos dirigimos pero resulta de extremada dificultad ofrecer información de la situación exacta de dicha puerta. Por otro lado si el trayecto es realizado con VoiceOver activado conviene tener el volumen suficientemente alto, ya que, aunque por muchas zonas de la autónoma no circulan demasiados coches, si hay situaciones en los que el ruido ambiente puede perjudicar la escucha de las instrucciones dadas por la aplicación en un momento determinado. Otra cosa a la que puede costar acostumbrarse es a tocar la pantalla constantemente para escuchar lo que hay escrito, es importante realizarlo a menudo pero con cuidado, puesto que si se pulsa el botón de volver a atrás sin querer se perderán los datos del trayecto y habrá que empezar uno nuevo. Esto puede no suponer mucha pega ya que la aplicación podrá calcular de nuevo una ruta desde el punto en que se halla cerrado hasta el destino, pero sin duda puede suponer un trastorno para alguien que no vea la pantalla y no se de cuenta de que ha salido del navegador. Por último hemos de decir que una de las ayudas auditivas existentes, calcula la distancia al edificio más cercano y si está a menos de una distancia determinada se informa de ello. Esto se realiza desde el principio repitiéndose cada minuto y puede que cuando nos avise de esto interrumpa otra información que este dando en ese momento. Simplemente hay que volver tocar lo que se estuviera oyendo y así lo podremos oír tranquilamente.
- Otros aspectos. Lo cierto es que todos los problemas mencionados anteriormente tienen una solución bastante sencilla, ya que si se avanza a una velocidad no muy rápida, se tiene calma, y se calculan las direcciones al menos dos o tres veces por posición, los resultados son correctos y bastante precisos. Sin embargo hay muchas pegas de las que nos damos cuenta que la aplicación no puede ayudarnos a la hora de alcanzar estos destinos. Como se ha visto en las imágenes, durante el recorrido de los distintos puntos , se suceden numerosos obstáculos que son difíciles de tratar con la simple ayuda de un teléfono, como puede ser superar una rotonda con pasos de peatones, bajar unas escaleras, o que halla pivotes o unas vallas en mitad del camino. Todos estos problemas no serán tratados en este momento, pero algunos se pueden solucionar haciendo uso de los otro apartados de la

aplicación. Otros sin embargo no son competencia de los objetivos de este proyecto por sí sólo y los mencionaremos con más calma en el apartado de trabajo futuro.

### 5.2.2 Prueba de Añadir trayecto del apartado Trayectos Propios

El apartado *Trayectos Propios* pretende suplir o complementar en la medida de lo posible las debilidades del apartado *Como Llegar*. En este sentido el apartado anterior solo da opción a ir a ciertos puntos predefinidos de la universidad a través de otros puntos también preestablecidos, lo cual implica evidentes limitaciones. Para empezar hay multitud de lugares que no se incluyen en la lista de objetivos de dicho apartado. Por otro lado surgen problemas como el de rodear una rotonda que se explicó con antelación.

Con este apartado se da opción de crear trayectos personalizados a medida de cada usuario. Para ello es necesario introducir un origen y un destino y después recorrer el camino entre ellos añadiendo tantos puntos clave como se desee. Así pues con estos puntos propios se puede añadir más información geográfica a la hora de realizar un camino, y puede suponer una solución para problemas mencionados anteriormente.

En el lado negativo hay que decir que cada vez que se añade un punto se depende de la precisión de teléfono en ese preciso instante, y existe la posibilidad de que se almacene con algo de error. En ese caso puede suponer un problema a la hora de repetir el trayecto en ocasiones posteriores.

Además es evidente que en el caso de tratarse de una persona con ceguera total el trayecto ha de guardarse en compañía de una persona vidente, como se ha repetido en multitud de ocasiones

Para probar este apartado hemos decidido fijarnos en algunos de los mismos aspectos que en el caso anterior a la hora de juzgar la utilidad de este apartado, prescindiendo de la precisión en el cálculo de la dirección ya que no se hará uso de estos servicios en esta parte. Por tanto nos quedan:

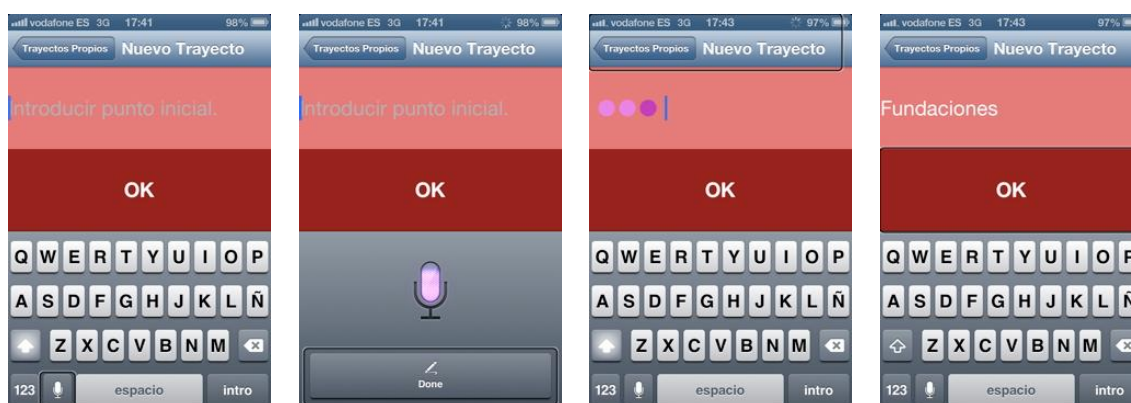
- Precisión en la localización.
- Rapidez de respuesta.
- Utilidad y facilidad en la información.
- Otros aspectos.

Para comprobar las diferencias que existen entre los dos métodos, en esta parte del capítulo guardaremos con la opción de *Añadir Trayecto* el camino que previamente hemos recorrido con las instrucciones de *Cómo Llegar*, explicando paso por paso lo que

hay que hacer. Posteriormente, en el siguiente apartado de la memoria, recorreremos este camino con las indicaciones almacenadas ahora.

A continuación se detallan los pasos seguidos y posteriormente valoraremos en líneas generales los aspectos a evaluar.

Lo primero es acceder al apartado *Trayectos Propios* desde el menú principal y a partir de ahí al sub-apartado *Añadir Trayecto*. En este momento nos encontraremos con el campo de texto pidiendo el nombre del punto de inicio, el botón Ok para almacenarlo y el teclado para introducirlo. Nosotros podemos escribirlo, pero la idea es que la persona con discapacidad visual no se vea afectada a la hora de usar un teclado virtual en el que le será difícil localizar las distintas letras. Por ello se puede usar si se quiere el dictado de voz. Las indicaciones de la posición de los distintos elementos en la pantalla nos indica donde se encuentra el botón para acceder a ello. Una vez introducido el inicio pulsamos Ok y ahora nos pide que introduzcamos el nombre del destino, repetimos la operación y pulsamos Ok. El dictado requiere una conexión a internet



<p>Cuando nos pide el nombre de los puntos podemos seleccionar el dictado de voz</p>	<p>Una vez abierto podemos decir el nombre del sitio y posteriormente pulsar</p>	<p>Cuando le damos a aceptar el sistema de dictado trata de reconocer lo que se ha dicho</p>	<p>Una vez reconocida la o las palabras pulsamos OK y pasamos a guardar el trayecto</p>
--	--	--	---

Tabla 5 - 12 Capturas de pantalla mostrando un ejemplo de introducción del nombre de un trayecto a través del dictado de voz.

En este momento la pantalla nos muestra la información que acabamos de introducir junto con los puntos introducidos que como podemos ver en un principio son 0. Cuando estemos situados en la posición exacta donde queremos partir le damos a empezar. Es necesario añadir un punto en ese momento para que se asocie el primer punto con el nombre del punto de inicio. Sin embargo para añadir puntos, al igual que en el apartado Como llegar, hay que esperar a tener una cierta precisión para asegurarnos de que esta guardando la posición que queremos. Si disponemos de esta

precisión el teléfono vibrará. Si pulsamos el botón sin tenerla nos avisara de que tenemos que esperar a tener esta precisión.



Una vez introducidos los nombres podemos empezar	Cuando se pulsa el botón empezar se comienza a actualizar la localización	Si intentamos añadir un punto sin tener la precisión requerida nos avisará de ello	Cuando sí se pueda aparecerá un icono y el teléfono vibrará, en ese caso el punto se añade
--	---	--	--

Tabla 5 - 13 Capturas de pantalla del proceso al empezar a almacenar un trayecto.

Una vez pulsado vemos que se actualiza el contador de puntos y pone que ya tiene uno. Lo siguiente que deberemos hacer es avanzar hasta el siguiente punto y añadirlo a la lista, y repetir este proceso las veces que haga falta o que consideremos necesario. En el caso en que nos encontramos vemos que en seguida llegamos a la rotonda en la que tuvimos problemas anteriormente. Por ello, para guiar al usuario de una forma más específica, en esta ocasión pondremos varios puntos a lo largo de la rotonda. En la siguiente imagen se muestra el escenario y donde se han añadido los puntos.

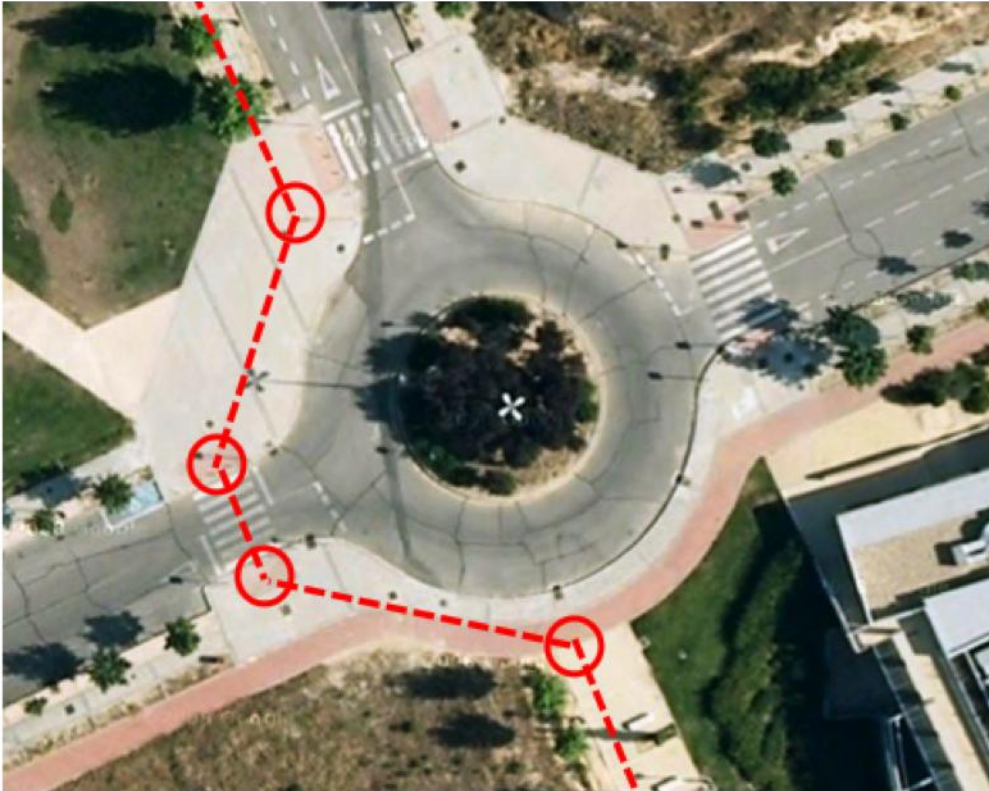
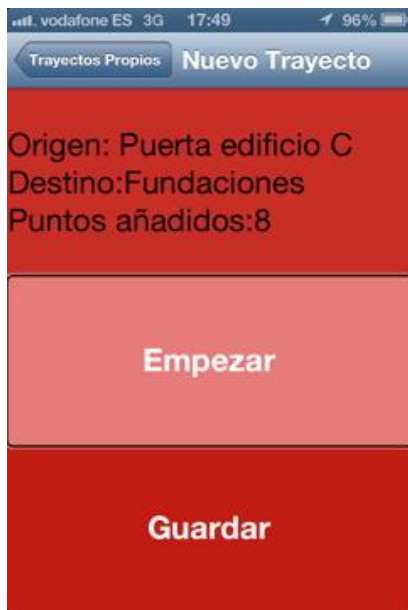


Figura 5 - 15 Captura de pantalla de Google Maps mostrando la rotonda. Los círculos rojos muestra las localizaciones aproximadas donde hemos añadido puntos, y la línea el trayecto recorrido entre ellos.

Una vez superada la rotonda continuamos hasta completar los siguientes puntos. En este caso añadimos dos más, al llegar a la siguiente rotonda y ya el punto final. Cuando hemos acabado pulsamos el botón de parar y si queremos guardar el trayecto, como es nuestro caso, le damos a guardar. Esto se refiere a que una vez se de a parar se dejan de actualizar las posiciones que devuelve el teléfono, pero se puede volver a seguir sin perder la información de los puntos guardados anteriormente. Sin embargo si pulsamos guardar ese trayecto quedará almacenado y ya no se podrá modificar salvo para eliminarlo.



Llegado al final le damos a parar y vemos que nos da opción de guardar el trayecto

Si pulsamos Guardar se almacena en memoria y volvemos al menú de trayectos propios

Tabla 5 - 14 Capturas de pantalla del proceso de finalizar el trayecto.

Una vez llegado al punto vamos a valorar los aspectos que comentábamos al principio de la prueba.

- Precisión. Para fijarnos en la precisión vamos a abrir el camino almacenado y fijarnos en los datos que se han guardado. En la primera figura se muestra el recorrido hecho con todos los puntos que ha devuelto el teléfono mientras se completaba el trayecto y en la segunda se muestra sólo los puntos guardados como clave.



Figura 5 - 16 Capturas de pantalla mostrando el trayecto almacenado. La línea roja representa todos los puntos que ha devuelto a lo largo de trayecto y la verde una los pines que representan los puntos clave almacenados por el usuario.

Como puede apreciarse la línea roja, que es la que muestra todo el camino realizado, tiene algunos errores, ya que por momentos hace eses y se mete levemente en la calzada o en unos matorrales, lo cual evidentemente no ha pasado al guardar el camino. Sin embargo es un resultado realmente bueno considerando que la mayor parte de la línea refleja a la perfección el trayecto que se quería realizar. Por otro lado la línea verde une los puntos que se han guardado como claves. Estos puntos también se han guardado con un precisión bastante buena.

Si nos fijamos en la siguiente imagen, resultante de ampliar al máximo el mapa y quitando la línea verde, y comparando con la imagen previa extraída de Google Maps, vemos que el resultado es extremadamente parecido y quizás se alejan unos pocos metros sin llegar a 5 en ningún caso. Como se dijo en el apartado *Cómo llegar*, se notan peores resultados cerca de los edificios ya que indica que, tras el punto de inicio, hemos hecho un movimiento hacia el edificio c, cuando tampoco lo hemos hecho.





Figura 5 - 17 Comparación de la captura de Google Maps anterior con el resultado de la aplicación.

- Rapidez de respuesta. En este sentido lo cierto es que en seguida ha alcanzado la precisión requerida en la localización. Por otro lado, probando a parar y volver a retomar el camino, vemos que en general tampoco tarda mucho, apenas un par de segundos, en volver a alcanzar la precisión. Por tanto no tenemos excesiva queja en este aspecto lo cual es sin duda una buena noticia.
- Utilidad y facilidad de la información. Lo cierto es que este apartado tiene un momento crítico al principio, a la hora de añadir los nombres de principio y fin del trayecto. Sin embargo se da bastante información de cómo proceder en ese caso, y creemos que puede resultar más fácil o más difícil según la destreza general a la hora de manejar el teléfono del usuario.
- Otros aspectos. Uno de los principales asuntos a tener en cuenta en este caso es que el trayecto a guardar ha de realizarse con alguien que conozca el camino y pueda acompañar y guiar a la persona con deficiencia visual. Esto supone un estorbo en el sentido de que esta aplicación esta pensada precisamente para tratar de dar una cierta autonomía a las personas que padecen algún tipo de ceguera. Sin embargo creemos que, aún así, es un método muy útil, y que realizar una primera vez el trayecto acompañado servirá al usuario para, además de almacenar el trayecto en el teléfono, tomar una experiencia clave que no se puede comparar a enfrentarse de primeras a un camino que nunca se ha realizado.

### 5.2.3 Prueba del navegador a través de *Trayectos guardados* del apartado *Trayectos Propios*

Una vez hemos almacenado el camino vamos a probar a realizarlo, por tercera vez, ahora guiado por las instrucciones del navegador al leer los puntos que hemos guardado en el apartado anterior. Dado que el proceso es muy similar al que se explicó

en *Cómo llegar*, no lo repetiremos paso por paso, sino que no nos centraremos en las diferencias más notables.

Accedemos a la lista de trayectos y elegimos el que queremos recorrer. En este caso se trata del que va de la puerta del edificio c hasta fundaciones. Seleccionado el trayecto se abrirá el navegador listo para dirigirnos al objetivo. Un aspecto importante en este apartado es que hemos de partir del punto concreto en que lo hicimos cuando se guardó el trayecto. Nos situamos en la puerta trasera del edificio c de la EPS y ya podemos comenzar.

El comienzo del trayecto es un poco diferente que cuando empezamos un camino con *Cómo llegar*. Dado que uno de los puntos guardados está precisamente donde estamos situados, en cuanto le damos a *empezar trayecto* reconoce que estamos en un punto y nos muestra el aviso mientras busca la dirección. Este primer momento ha resultado algo confuso, ya que está buscando la dirección del punto donde ya nos encontramos, que además le cuesta encontrar puesto que está muy cercana y porque además al estar cerca de un edificio se recibe peor la señal y a la aplicación le cuesta más saber exactamente donde estamos situados. De todos modos si pulsamos de nuevo para buscar la dirección ya buscará el siguiente punto y nos dirige hacia la esquina en la que habíamos guardado el siguiente punto.

Cuando estamos llegando al punto nos avisa de ello con un margen de diez metros, que es el que hemos establecido para los puntos propios. Esto supone que nos avise antes del punto exacto donde hay que torcer, al igual que en *Cómo llegar*, ya que aunque el margen de aviso es menor, 10 m frente a 20, el punto esta vez está situado en la acera por lo que el momento de aviso es prácticamente el mismo que en caso de *Cómo llegar*.

El siguiente punto clave es la rotonda. En este aspecto si hemos notado una mejora muy considerable. Al haber guardado un punto en cuanto nos adentramos en el tramo de acera de la rotonda nos avisa de que estamos llegando con suficiente espacio. Además como hemos guardado un total de cuatro puntos nos dirige mucho mejor a la hora de rodear la rotonda. Sin embargo el peligro del paso de cebras sigue existiendo. Como se dijo al plantear el proyecto la aplicación por si sola no podría abordar todos los contratiempos y solucionar todos los obstáculos del camino. Aún así hablaremos brevemente sobre este problema posteriormente en la memoria.

El resto del trayecto se desarrolla prácticamente igual que en caso de *Cómo llegar*. Una vez llegado al final del trayecto se nos avisa de ello y podremos dar el recorrido por terminado.

Con respecto a los temas que hemos tratado anteriormente, precisión, rapidez y los demás, los resultados obtenidos son muy similares a las pruebas anteriores, sin embargo podemos hacer algunos comentarios sobre asuntos concretos de este trayecto.

- Precisión de localización. A parte del asunto de la cercanía de los edificios, los resultados son bastante buenos. Cabe comentar sin embargo que cuando se está en los puntos de la rotonda hay que estudiarlos con cuidado. Cuando realizamos cualquier tipo de camino, sabemos de la cercanía a un punto porque nos avisa la aplicación mediante una alerta y además porque el teléfono vibrará constantemente siempre que estemos a menos de una cierta distancia, 10 o 20 metros según el punto. Por tanto una forma de saber que hemos abandonado las cercanías de un punto y nos estamos aproximando al siguiente es cuando notamos que el teléfono deja de vibrar. Sin embargo los puntos que hemos guardado en la rotonda están bastante juntos, y es probable que el teléfono vibre constantemente mientras recorremos los cuatro puntos sin para en ningún momento. Esto puede causar algo de confusión porque se puede dudar de si hemos abandonado un punto y estamos ya en el siguiente o no. Hay que tener en cuenta sin embargo que siempre que nos aproximemos a un punto nuevo saltará un aviso que sólo saldrá una vez por cada punto, sabiendo esto la duda queda resuelta. De todos modos, se recomienda calcular la dirección a seguir suficientes veces para asegurar la dirección a los puntos.
- Precisión de la dirección. No cabe mucho que decir. Salvo el incidente del primer punto en el que le cuesta encontrar la dirección porque ya estamos en el punto que busca, los resultados son similares a los casos anteriores, habiendo que repetir el cálculo de la dirección dos o tres veces en algunas ocasiones. Cabe destacar que el problema del primer punto puede suceder también en Cómo llegar si al buscar un camino nos encontramos cerca del primer punto que nos propone el programa.
- En el resto de aspectos no hemos encontrado nada que pueda suponer información adicional a la que ya hemos dicho con anterioridad en las otras pruebas.

### 5.3 Pruebas de los apartados no relativos a localización geográfica

Los apartados de *Información e instrucciones* y *Opciones* no requieren el uso de los servicios de localización del teléfono. Sin embargo se consideran igualmente importantes en un principio ya que es necesario aprender a utilizar la aplicación y poder elegir algunas opciones que hagan su uso lo más cómodo posible según el usuario. Por ello ahora mostraremos brevemente el uso de estos apartados.

#### 5.3.1 Prueba del apartado de *Información e instrucciones*

Como ya vimos en el apartado de desarrollo, se accede al menú de información a través del primer botón del menú principal. En el primer menú podemos acceder a otros dos submenús, uno con las instrucciones de los apartados y otro con información sobre el lector de pantalla VoiceOver, a partir de los dos primeros botones. Con el último botón accedemos a una pantalla con un campo de texto que tiene información sobre nosotros como desarrolladores de proyecto y las motivaciones y finalidades que perseguimos. En los otros submenús se accede también a campos de texto con la información del campo seleccionado, y en el submenú de VoiceOver se puede acceder a información más detallada en la página web de Apple. En la siguiente imagen se muestra un par de ejemplos del uso de estos menús.

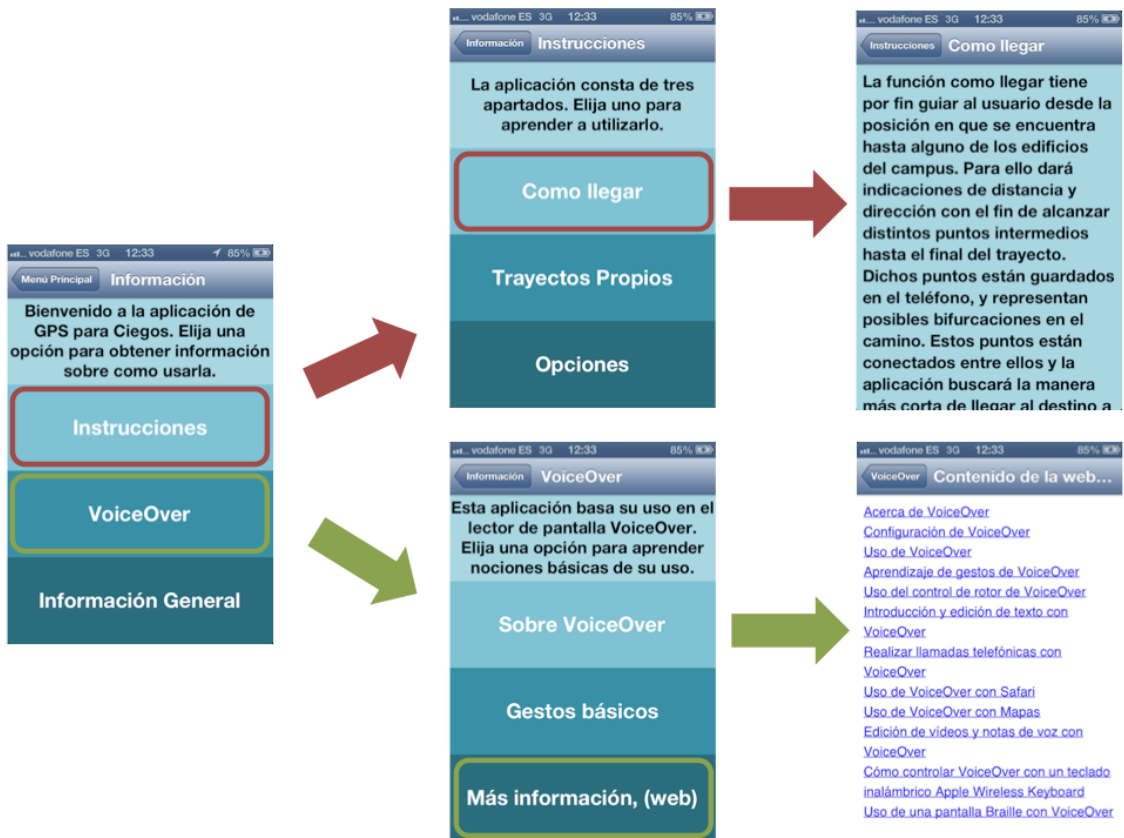


Figura 5 - 18 Capturas de pantalla mostrando el manejo del menú de *Información e instrucciones*.

Existe otra opción para acceder a las instrucciones de los apartados que es a través de un botón de información situado en la esquina superior derecha de las pantallas de dichos apartados. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo.



Figura 5 - 19 Capturas de pantalla mostrando el acceso a las instrucciones desde el apartado *Cómo llegar*.

Hemos tratado de hacer las instrucciones lo más completas posibles para que pueda resolver cualquier duda que se tenga sobre el uso de la aplicación y por ello han quedado unos textos bastante largos. Si tenemos VoiceOver activado y queremos que lea todo el texto del tirón podemos deslizar dos dedos hacia arriba por la pantalla con lo que leerá todo lo que en ella aparece. Si queremos que pare de leer podemos tocar con dos dedos y si volvemos a tocar con dos dedos volverá a leer desde donde se había detenido.

### 5.3.2 Pruebas de *Opciones*

El menú de opciones deja a la elección del usuario la activación o no de algunos ajustes de la aplicación. Estos ajustes se detallaron en el apartado de desarrollo y ahora veremos el resultado de tener activas o no algunas de ellas.

La primera opción permite elegir como punto de partida de un trayecto del apartado *Cómo llegar* el edificio más cercano en lugar de la posición que devuelve como actual. En algunos casos notamos que si el punto de partida está muy cercano a edificios por los dos lados puede tardar bastante en encontrar la posición correcta. Por ello si se activa esta opción se puede usar el edificio más cercano como punto de partida, pero para ello tenemos que estar seguros de que estamos en la puerta de dicho edificio o de lo contrario el principio del camino puede no ser correcto.

En la siguiente imagen se muestra el resultado de tenerlo o no activado.



Figura 5 - 20 Capturas de pantalla del resultado de aplicar la opción de *Buscar edificio como posición de partida*.

La segunda opción, al igual que la última, se refiere a ajustes sobre aspectos de audio, que ya fueron explicadas en el capítulo de desarrollo y cuyo resultado no se puede demostrar en esta memoria.

La tercera opción nos permite calcular un trayecto parecido a uno guardado pero usando los puntos preestablecidos en el mapa. En este sentido puede resultar útil a veces comparar si el trayecto que hemos guardado es también realizable de otra manera a través de los puntos del mapa. En la imagen se muestran las dos opciones, donde el rojo representa el camino entero, el azul el camino con los puntos de la aplicación y el verde los puntos almacenados por el usuario.



Figura 5 - 21 Capturas de pantalla del resultado de aplicar la opción de *Usar puntos del mapa al cargar*.

Por último la cuarta opción consiste en cambiar la apariencia entera de la aplicación para que tenga un fondo negro o gris oscuro y las letras amarillas para que la información esté en colores con alto contraste entre sí, pensando en usuario con resto visual. En la siguiente imagen se muestra el resultado de activarlo.

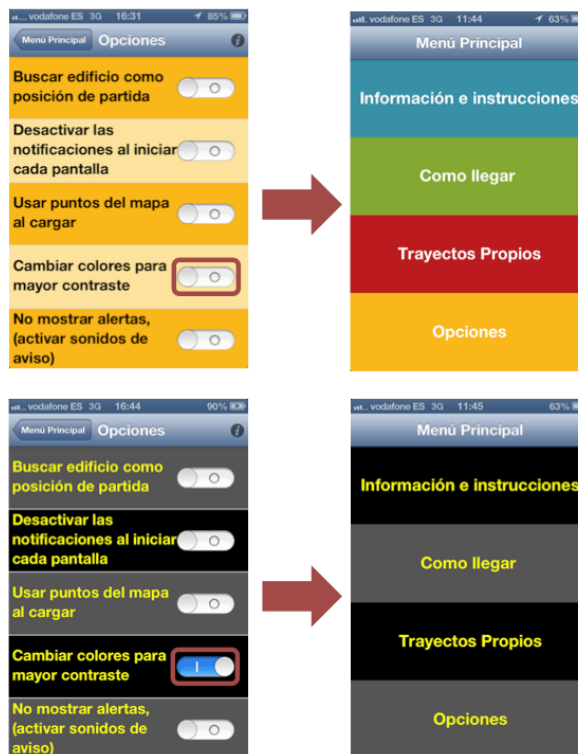


Figura 5 - 22 Capturas de pantalla del resultado de aplicar la opción de *Cambiar colores para mayor contraste*.



## 5.4 Prueba con persona invidente

Una vez se han probado los distintos apartados, y se han visto sus puntos más fuertes y su puntos más débiles, queríamos conocer la opinión de una persona con discapacidad visual, preferiblemente alumno de la UAM, para comprobar si nuestras sensaciones coinciden con las suyas. Para ello nos pusimos en contacto con la oficina de Acción Solidaria de la UAM, donde existe un departamento de ayuda a personas con discapacidad. Hablamos con las trabajadoras de este departamento, Eva y Julia, y les explicamos brevemente el proyecto y nuestra intención de probarlo con alguna persona invidente. Ellas se pusieron en contacto con un alumno de la UAM que tras haber acabado sus estudios de Filosofía esta realizando unos cursos de idiomas.

Nos citamos con esta persona en la oficina situada en la Plaza de la UAM y le propusimos ayudarnos a evaluar algunos aspectos del proyecto. Principalmente queríamos comprobar el apartado del navegador, que es el que más complicaciones y peligros conlleva y que supuestamente los usuarios van a utilizar sin compañía. Para ello utilizamos la opción *Cómo llegar* para recorrer el trayecto entre dicha oficina y la EPS, ya que era una zona desconocida para él. Se intentó que el usuario manejara solo el teléfono pero siempre estuvo acompañado por mí. Después de ese trayecto realizamos la vuelta y subimos hasta la facultad de filosofía, realizando un trayecto conocido por él. A continuación nos sentamos a hablar para que me contara sus impresiones y así poder comparar con lo que yo había visto.

### 5.4.1 Impresiones del desarrollador

Pasaré ahora a contar un poco la experiencia tal y como yo la viví, intentando fijarme en los mismos aspectos de los que se hablaron al hacer nosotros la prueba.

Cabe mencionar que previamente a realizar los trayectos con esta persona hice algunas pruebas ya que el día estaba algo lluvioso y los servicios de localización funcionaron algo peor por momentos. Aún así consideré que esto sería una prueba más para comprobar los resultados cuando el día no es soleado.

- Precisión de la localización. Este aspecto nos dio algunos fallos puntuales, como por ejemplo en una rotonda tardo demasiado en avisar ya que nos dijo que estábamos cerca de la rotonda cuando estábamos casi alcanzando la calzada. A parte de eso en general funcionó bastante bien. Además creo que el usuario entendió perfectamente los márgenes de aviso de 10 y 20 metros según el punto y la posibilidad de tener que avanzar un poco más en ciertas ocasiones aún habiendo recibido ya el aviso de llegada al punto.

- Precisión de la dirección. Este fue sin duda el peor punto. En las pruebas realizadas previamente por nuestra cuenta ya dijimos que convenía repetir dos o tres veces para confirmar la dirección. En algunos casos nos calculó la dirección correctamente, pero en otras no, y si yo no hubiera acompañado al usuario, corrigiéndole estas direcciones erróneas, podría haberse desorientado sin ninguna duda. Además le recomendé que comprobara la dirección si se sentía desorientado en algún momento pero visto que a veces fallaba no parecía fiarse mucho. Cabe mencionar que cuando peor funcionó fue en la proximidades de edificios y árboles.
- Rapidez de respuesta. En este aspecto, debido a las condiciones climatológicas que hacía, sufrimos algo más que cuando se probó en un día soleado ya que hubo veces en que tardó un poco en alcanzar la precisión requerida y esto no pareció entenderlo muy bien.
- Utilidad y facilidad de la información. En este aspecto la verdad que si estoy contento. Creo que se hizo bastante bien con el manejo de la aplicación, sobre todo para ser la primera vez que cogía un teléfono de este tipo. Me pareció que encontró muy útil que la distancia al siguiente punto se fuera actualizando, ya que constantemente escuchaba esta distancia para hacerse una idea de lo cerca o lejos que estaba de dicho punto. También pareció resultarle bastante útil la información sobre el punto, si era un rotonda, una acera, un cruce o un tramo peatonal. Por poner una pega le costó mucho cerrar los avisos que se mostraban, ya que le costaba encontrar el botón para cerrarlo. Sin embargo en el segundo trayecto activamos la opción en que en lugar de avisos suena un tono cuando se llega a un punto o se encuentra una dirección, y esto sin duda le resultó más útil y sencillo. También me pareció que consideraba buena idea el hecho de que el teléfono vibrara cuando se permanecía cerca de los puntos.
- Otros aspectos. Sin duda alguna el aspecto clave a tratar aquí vuelve a ser el de las rotondas y los cruces. El usuario ciego entendió perfectamente el problema que suponía el aproximarse a una rotonda, y que la aplicación sólo era capaz de avisarle que estaba cerca de ella pero no cómo rodearla. Este tipo de puntos sólo fue capaz de superarlos con mi ayuda, ya que me aprecio bastante peligroso dejar que él solo tratar de superar la rotonda a la que nos enfrentamos. Por otro lado lo más positivo que saco es que me pareció que se desenvolvía bastante bien con el teléfono. En comparación con el invidente con el que hablamos al principio del proyecto se encontró mucho mas cómodo al hora de usar el teléfono siguiendo las indicaciones que se le daban. Sin embargo también hay que tener en cuenta que era la primera vez que se usaba, y le tuve que ayudar en algunas cosas, pero creo que con algo más de práctica lo manejaría perfectamente.

#### 5.4.2 Impresiones del usuario

El sujeto comentó que en general lo consideraba una buena idea y que si se mejoraban ciertos aspectos lo encontraba un complemento de gran utilidad. Más concretamente, tras charlar un rato con el recogí estas impresiones del uso de la aplicación:

- Le gustó la idea de que al abrirse cada pantalla se describieran los elementos que en ella había. Sin embargo nos cuenta que le costó un poco entender en qué consistían estos elementos. Es decir le costó un poco entender la diferencia entre un botón y una etiqueta, y el concepto de navegación entre pantallas.
- Me comentó que la voz del lector de pantalla le pareció muy agradable y que no cansaba. Me dijo sin embargo que otros invidentes podrían preferir un tono de voz masculino y que eso se podría añadir. Traté de explicarle que eso era cosa del teléfono y que no dependía de mi, pero el insistió en que le gustaría poder elegir entre varias voces.
- Me dijo que en general le pareció sencillo de manejar, sobre todo una vez desactivada la opción de mostrar avisos sustituyéndolos por tonos. Ciertamente es que a veces tocaba elementos de la barra superior del teléfono, donde dice la compañía telefónica, la batería o la hora, lo cual le despistó un poco.
- Respecto a la información relativa al viaje, me dijo que echó en falta algo más de información al alcanzar un punto. Recordemos que cuando se está suficientemente cerca de un punto el teléfono vibra para dar a entender que estamos dentro de un radio de 10 o 20 metros, pero el usuario que lo ha probado considera que además de indicar la proximidad al punto se debería indicar hacia donde queda con respecto a la posición actual.
- Con respecto a cuando se alcanza un destino, comentó que evidentemente ellos necesitan saber dónde queda la puerta. Ya se comentó que cerca de los edificios los cálculos de posición y dirección son algo más imprecisos, y puede avisar en un momento en que aún no se esté exactamente en la puerta. Tras comentarle esto dijo que entendía esta situación pero que en ese caso le resultaría muy útil que al llegar a estos puntos se le indicara al menos hacia donde queda la puerta. Esto es posible de hacer pero dado que el cálculo de la dirección no funcionó demasiado bien ese día, en general no se quedó con muy buena impresión de este aspecto.
- Por último comentó que le resultaría muy útil añadir más puntos a elegir. Es decir, considera útil que de la opción de ir a los distintos edificios, como por

ejemplo el de Filosofía, que es en el que estudió. Pero nos comenta que sería muy útil que se ofrecieran distintas oficinas de atención al estudiante o de administración, que estuvieran situadas en algún edificio y que al seleccionarlas te lleve a la respectiva facultad, o a la Plaza de la UAM o donde se encuentre esta oficina, ya que nos explica que muchas veces no tiene por qué saber donde se encuentran estas oficinas.

En general me quedo con un sabor un poco agridulce porque considero que el día que probamos no fue el que mejor funcionó la aplicación. Sin embargo nuestro colaborador fue muy simpático y muy amable, y me animó a continuar con el trabajo para mejorar estos aspectos en los que él encontraba más pegas, recordándome sin embargo que consideraba que había hecho un buen trabajo y que le agradaba haber tenido la posibilidad de probarlo.



Figura 5 - 23 Fotos tomadas durante la prueba de la aplicación realizada por el colaborador.





## 6. Conclusiones y trabajo futuro

En los objetivos que planteamos al principio se proponía la creación del prototipo de una aplicación que sirviera de ayuda a discapacitados visuales a la hora de guiarse por el campus. Llegado a este punto se da la aplicación por diseñada, desarrollada y probada, así pues es momento de hacer un balance general de los resultados obtenidos y sacar conclusiones del trabajo realizado.

Por otro lado está claro que el proyecto no está acabado definitivamente. Pensamos que la visión de cada persona a cerca de este tipo de aplicaciones puede añadir nuevas y mejores ideas para alcanzar un resultado aun mas útil que el que nosotros hemos alcanzado. Por ello se tratarán brevemente algunos aspectos sobre el posible trabajo futuro a realizar en relación con este proyecto.

### 6.1 Conclusiones

El trabajo realizado no ha sido sencillo ya que no es continuación de ningún otro proyecto sino que se empezó desde cero. Hubo que investigar los aspectos relacionados con la movilidad de personas discapacitadas visualmente y pensar cuales de ellas queríamos abordar, cuales no, y en que medida podríamos aprovechar nuestras habilidades y la tecnología existente para conseguir nuestros objetivos. Haciendo una evaluación colectiva, tras la realización de numerosas pruebas, incluida la experiencia con el usuario discapacitado, pensamos que los resultados obtenidos son en general bastante satisfactorios.

No obstante hay muchos aspectos que se podrían haber hecho de otras maneras y nosotros al final tuvimos que tomar algunas decisiones. Por ello vamos a ir viendo estas opciones tomadas, y trataremos de juzgar a posteriori si han sido mas o menos acertadas, o en que medida se podrían haber hecho de otra forma. A continuación juzgaremos el resultado final de la aplicación, viendo sus puntos fuertes y aquellos en los que flaquea algo más. Una vez aclaremos estos aspectos pasaremos a hacer una valoración respecto a si consideramos que la aplicación esta en un punto apto para el uso de discapacitados visuales de manera autónoma.

#### 6.1.1 Elección de plataforma

En primer lugar vamos a valorar la decisión tomada a la hora de utilizar el sistema operativo móvil de Apple y uno de sus teléfonos como plataforma para la aplicación.

Hay que reconocer que una de las razones por la que nos decantamos por Apple iOS era que se consideraba productos de muy alta gama, y que el objetivo perseguido en este proyecto bien merecía el uso de los mejores productos. Sin embargo esto presenta el lado negativo de que son productos bastante costosos y es posible que sean inaccesibles para algunos usuarios.

Por otro lado lo cierto es que el resultado de trabajar para iOS es fantástico. Todas las herramientas facilitadas, así como el resultado final en el teléfono son de una calidad muy alta, y nos ha facilitado el trabajo de una manera en la que no estamos seguros que se hubiera logrado con otra plataforma. Aún así, desarrollar para iOS también tiene sus pegas, ya que la adquisición de la licencia de desarrollador no fue fácil de conseguir. Además, una vez conseguida, hay algunos certificados que instalar para hacer que un dispositivo quede registrado como unidad apta para el desarrollo y en general fue un proceso muy pesado que retrasó el proyecto un tiempo considerable hasta que se pudieron probar aplicaciones propias en un dispositivo real.

Sin embargo se considera en general una decisión acertada, ya que se ha conseguido hacer en esta plataforma todo lo que nos propusimos, y además ofrece un resultado bastante más que aceptable a nuestra forma de ver.

### **6.1.2 Apartados de la aplicación**

En este aspecto estamos bastante contentos ya que hemos desarrollado la aplicación tal y como la planteamos. Cuando estudiamos los problemas que padecen en sus desplazamientos las personas con discapacidad visual, fuimos conscientes de cuales queríamos tratar en esta aplicación y cuales no, centrándonos en la orientación y búsqueda de trayectos. En este aspecto pensamos que se han cumplido bastante bien los objetivos, ya que la aplicación ofrece soluciones a estos problemas que pensamos pueden llegar a ser de gran utilidad.

Si bien es cierto que el diseño propuesto inicialmente al final del capítulo 3 se ha cumplido a la perfección, era un diseño general al que hemos ido añadiendo y quitando ciertos matices, ya que constantemente se nos ocurrían posibles adiciones de las cuales muchas tuvieron que ser descartadas para no tratar de complicar en exceso el manejo de la aplicación.



### 6.1.3 VoiceOver

El lector de pantalla era sin duda uno de los puntos clave a la hora de planificar el proyecto y su comportamiento una vez desarrollada la aplicación nos ha dejado un gran sabor de boca. Para empezar podemos decir que la voz que ofrece tiene una fluidez que la hace bastante agradable de oír sin que parezca demasiado robótica. Consideramos además que de cara al público invidente es sin duda una gran elección ya que tras probar la aplicación con el usuario ciego creemos que VoiceOver proporciona una experiencia de usuario mejor que la que podríamos haber encontrado en las otras plataformas.

Lo cierto es que hasta que uno se hace con el manejo del dispositivo con los controles especiales de VoiceOver puede resultar algo difícil de usar la aplicación, pero de lo que no cabe duda es que se trata de un recurso de inestimable valor para que los desarrolladores hagan las aplicaciones lo más accesibles que sea posible. En nuestro caso hemos tratado de darle tanto uso como hemos podido, ya que se ha considerado fundamental que se pueda usar la aplicación sin necesidad de ver en absoluto la pantalla.

En este sentido estamos bastante contentos, ya que se da información auditiva constante sobre lo que se puede hacer en cada momento y cómo hacerlo, y también se da opción de quitar parte de esa información una vez se conozca por si resulta de algún modo cansina, manteniendo sin embargo la información principal activada.

Como pega que sacamos es que en ocasiones las frases que dice se pisan, es decir que si se esta diciendo algo y salta otro aviso, no se espera a acabar la frase para decir la siguiente sino que corta la primera y dice la segunda. Además al manejarse con gestos distintos a los habituales no es difícil equivocarse de gesto sin querer y que interprete alguna instrucción que no es la que queríamos hacer en ese momento.

### 6.1.4 Geo-localización y direccionamiento

Este es el apartado en que más pegas encontramos. Los servicios de localización del teléfono pueden alcanzar unos resultados espectaculares, pero la verdad es que por momentos pueden ser un poco desesperantes.

Para hacer uso de estos servicios no es estrictamente necesario el uso de una red de datos o una conexión Wi-Fi, aunque si muy recomendable, ya que la precisión que se alcanza de otra forma es bastante peor. En cualquier caso, nosotros siempre hemos

usado estos servicios con una red 3G, y como se ha observado en las pruebas los resultados al aire libre son prácticamente perfectos en muchas situaciones. Sin embargo hay momentos en que, sin razón aparente tarda mucho más en alcanzar la precisión, o cuesta mucho que nos señale en la dirección correcta, y hay que repetir el proceso de búsqueda del siguiente punto hasta cinco o seis veces, porque la dirección en que supuestamente esta apuntando el teléfono no es correcta o la localización posee un error de varios metros. Ciertamente es que esto no ocurre muchas veces, y sobre todo se nota más en los primeros puntos cuando se está cerca de algún edificio, pero los momentos en los que sucede resulta bastante pesado y puede que a un usuario final le confundiera.

Le hemos dado vueltas a este problema pero no hemos sido capaces de llegar a una solución mejor. Con esto no se quiere decir que no funcione bien, ya que como se vio en las pruebas los resultados son bastante satisfactorios. Aun así por momentos funciona peor de lo que esperábamos o tarda más de lo que nos gustaría en conseguir el resultado correcto.

#### **6.1.5 Conclusiones generales.**

Lo cierto es que haciendo balance del comportamiento general de todos los apartados de la aplicación estamos muy contentos con el resultado. Creemos que se han cumplido los objetivos propuestos, y que como prototipo de la aplicación cumple con los requisitos que esperábamos. Sin embargo nos hemos dado cuenta de que se puede mejorar en muchos aspectos, se le pueden añadir otros tipos de ayuda e información. Por todo ello hemos concluido que no estamos cien por cien seguros de que la aplicación sea apta para su uso por un público con discapacidad visual de una manera autónoma. Como hemos ido explicando a lo largo de la memoria, hay muchos problemas que pensamos que se consiguen solucionar, pero que pueden no ofrecer la seguridad necesaria para que lo use una persona ciega sin ayuda adicional. Por poner un ejemplo, en la entrevista que mantuvimos con la primera persona discapacitada visual, ciego de nacimiento, nos dijo que no se atrevería a cruzar una calle sino había algún tipo de señal acústica como las que emiten los semáforos, y es evidente que en ese aspecto no hay nada que nosotros podamos hacer. Cuando lo probamos con el alumno de la UAM nos dimos cuenta sin embargo que era bastante lanzado en cuanto a cruzar pasos de cebra, pero pienso que probablemente fuera por saber de mi presencia acompañándole. Aun así pensamos que la aplicación ofrece una información muy útil, que puede ser incluso aprovechada por personas que no tengan deficiencia visual, y que si es complementada con otros proyectos y el uso de otras tecnologías se puede lograr sin duda el objetivo principal de conseguir hacer que una persona ciega se mueva de forma independiente por zonas desconocidas del campus.

## 6.2 Trabajo futuro

Como acabamos de decir pensamos que hay aspectos de la aplicación que todavía pueden ser pulidos, y que puede que todavía nos encontremos en una versión beta que debe ser manejada con cuidado. Sin embargo pensamos que esto puede solucionarse en cierto modo con módulos adicionales o implementando algunas mejoras. A continuación vamos a hablar del trabajo futuro que se puede realizar para continuar con este proyecto, pero también de otros proyectos que podrían complementar nuestra aplicación añadiendo algunas funcionalidades por el bien del usuario.

### 6.2.1 Posibles continuaciones del proyecto

Como se ha comentado con anterioridad, este proyecto es nuevo y todo el trabajo ha sido empezado desde cero. Es cierto que nos hemos basado en programas parecidos, como Google maps, o los GPS que utilizan los vehículos, para elaborar este proyecto, pero la realidad es que la amplia mayoría de soluciones propuestas son propias, para bien y para mal. Como en todo proyecto y programa informático, cada desarrollador lo hace de la manera que considera mejor para él, lo cual puede suponer no siempre ser la mas correcta para el usuario final.

En nuestro caso es evidente que si otra persona hubiera realizado el proyecto, probablemente lo habría hecho de otro modo, y que la persona que lo trate continuar encontrará algunas partes mejores que otras, sustituyendo probablemente algunos aspectos, añadiendo otros, cambiando ciertos apartados o en general haciendo lo que considere correcto con el fin de mejorar el funcionamiento y la experiencia final de la aplicación.

Hay sin embargo algunos aspectos en los que ya hemos pensado que se podrían mejorar o continuar, en caso de que se desee seguir con la solución que nosotros hemos propuesto en este proyecto. Para el apartado *Cómo llegar* se caracterizó la universidad mediante unos puntos clave situado en bifurcaciones a través de los cuales se generarían rutas para unir dos puntos del campus. Sin embargo como hemos visto un tipo de punto, que además se repite bastante, es la rotonda, que supone un obstáculo con una gran dificultad de superar por una persona de nuestro público objetivo. Nos hemos dado cuenta de que el hecho de que estén caracterizadas por un solo par de coordenadas geográficas puede no ser la mejor solución. La idea que se propone es caracterizar la universidad con más puntos de los ya existentes para asegurar los trayectos de una forma similar a cuando se añaden personalmente. Este puede ser un trabajo laborioso pero que sin duda puede dar sus frutos.

Otra cosa en la que se ha pensado que se puede añadir, es almacenar los datos de las rutas en un servidor on-line. Esto tiene algunos aspectos a favor y otros en contra. A favor se puede decir que los datos no ocuparían espacio en la memoria interna del teléfono, y además, si se implementa algún apartado adicional, se podrían compartir caminos propios entre distintos usuarios. En contra está el asunto de que se depende de la conexión al servidor para el buen funcionamiento de la aplicación.

En otros aspectos, es evidente que la aplicación también puede ser implementada en otros sistemas operativos móviles. En el momento en que se escribía este proyecto se estaba realizando una versión similar de la aplicación para el sistema operativo Android de Google. Como vimos en el capítulo dos estos son los dos sistemas operativos punteros a nivel de telefonía móvil en estos momentos, pero siempre habrá la posibilidad de realizarlo en Windows o BlackBerry si se cuenta con los recursos necesarios para ello.

Por último cabe decir que, como bien se ha mencionado a lo largo de la memoria, esta aplicación se trata de un prototipo. Si la idea funcionara bien y los resultados fueran satisfactorios en general por un cierto público tras hacer uso de la aplicación para desplazarse por el campus, no es descabellado pensar ampliar horizontes y realizar versiones para lugares de mayor tamaño como ciudades. Sin embargo esto evidentemente conllevaría un trabajo mucho mayor, y habría que hacer uso de los datos cartográficos de Google o Apple para calcular recorridos, ya que caracterizar una ciudad entera no parece una solución factible a realizar por una persona sola como trabajo de fin de carrera.

### **6.2.2 Posibles adiciones al proyecto**

Otro de los problemas que hemos comentado, es el de los pasos de peatones, que probablemente deberían ofrecer más seguridad para que la persona ciega se decida a cruzarlo sin ayuda de nadie. En este sentido se está planteando un proyecto para complementar el uso de la aplicación consistente en el uso de sensores y comunicación Bluetooth para situar una especie de balizas a lo largo del campus que se comuniquen con el teléfono y sean capaces de ofrecer información al usuario sobre aspectos del entorno, incluyendo temperatura, humedad, y en las cercanías de los pasos de cebra puedan detectar la presencia o ausencia de vehículos para notificárselo al usuario. De todos modos, de momento es una idea que se propone y que debe ser estudiada y pensada con cuidado todavía.

En un aspecto más general, este proyecto se incluye dentro de un proyecto de mayor tamaño, de carácter internacional en colaboración con universidades de Sudamérica,

en el que existen varias ramas de investigación abiertas con dispositivos Bluetooth que utilizan sensores de proximidad para la detección de obstáculos cercanos como pudieran ser arboles o vayas situadas en medio de un trayecto. Algunos de estos dispositivos se encuentran en pruebas pero es posible que se puedan usar en conjunto con la aplicación.



## Glosario

- iOS: iPhone Operating System.
- ONCE: Organización Nacional de Ciegos Españoles.
- CIDAT: Centro de Investigación Desarrollo y Aplicación Tiflotécnica.
- GPS: Global Positioning System.
- GLONASS: Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
- RFID: Radio Frequency IDentification.
- GPRS: General Packet Radio Service.
- NFC: Near Field Communication.
- SDK: Software Development Kit.
- API: Application Programming Interface.
- MK: MapKit.
- CL: CoreLocation.
- NS: NextStep.
- UI: UserInterface.
- EPS: Escuela Politécnica Superior

## Referencias

- [1] M.H. Choudhury, D. Aguerrevere, and A.B. Barreto, "A Pocket-PC Based Navigational Aid for Blind Individuals," In Proc. of IEEE Int. Conf. on Virtual Environments, Human-Computer Interfaces, and Measurement Systems, pp. 43-48, 2004.
- [2] S. Chumkamon, P. Tuvaphanthaphiphat, and P. Keeratiwintakorn, "A blind navigation system using RFID for indoor environments," In Proc. of Int. Conf. on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, pp. 765-768, 2008.
- [3] B. Ding, H. Yuan, X. Zang, and L. Jiang, "The Research on Blind Navigation System Based on RFID," In Proc. of Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, pp. 2058-2061, 2007.
- [4] M.A. Shah, S.H.A. Musavi, and S.A. Malik, "Blind Navigation via a DGPS-based Hand-held Unit," Australian J. of Basic and Applied Sciences, vol. 4, no. 6, pp. 1449-1458, 2010.
- [5] H. Makino, I. Ishii, and M. Nakashizuka, "Development of navigation system for the blind using GPS and mobile phone combination," In Proc. of IEEE Int. Conf. Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 506-507, 1996.
- [6] F. Mata, A. Jaramillo, and C. Claramunt, "A mobile navigation and orientation system for blind users in a metrobus environment," In Proc. of Int. Conf. on Web and wireless geographical information systems, 2011.
- [7] C.So-In, S.Arch-Int, C.Phaudphut, K.Tujirakul and N. Weeamongkonlert, "A New Mobile Phone System Architecture for the Navigational Travelling Blind" in Ninth Interational Joint Conference on Computer Science ans Software Engineering (JCSSE), 2012.
- [8] A.Brilhault, S.Kammoun, O.Gutierrez, P.Truillet, C.Jouffrais, "Fusion of Artificial Vision and GPS to Improve Blind Pedestrian Positioning", in Centre de Recherche Cerveau & Cognition, CNRS & Université de Toulouse 3, France, 2011.
- [9] M.Morales Torres y M.Berrocal Arjona "El GPS como sistema de ayuda a la orientación de personas ciegas", ONCE –Dirección administrativa de Málaga, II Congreso Virtual INTEREDVISUAL sobre La Autonomía Personal de Personas con Ceguera o Deficiencia Visual, 2005.



## Bibliografía

- V. Nahavandipoor, “iOS 5 Programming Cookbook”, O'Reilly 2012.
- A.Allan, “Geolocation in iOS”, O'Reilly 2012.
- A.Mishra, G.Backlin, “iPhone and iPad App 24-Hour Trainer”, Wrox 2012.
- E.Sadun “The iOS Developer’s Cookbook”, Addison Wesley 2012.
- M.Neuberg, “Programming iOS 5”, O'Reilly 2012
- A.Allan “Learning iOS Programming”, O'Reilly 2012.
- C.Adamson and B.Dudney, “iOS SDK Development”, The Pragmatic Programmers 2012.
- R.Lewis “iPhone and iPad Apps for Absolute Beginners iOS5 Edition”, Apress 2012.

# Anexos

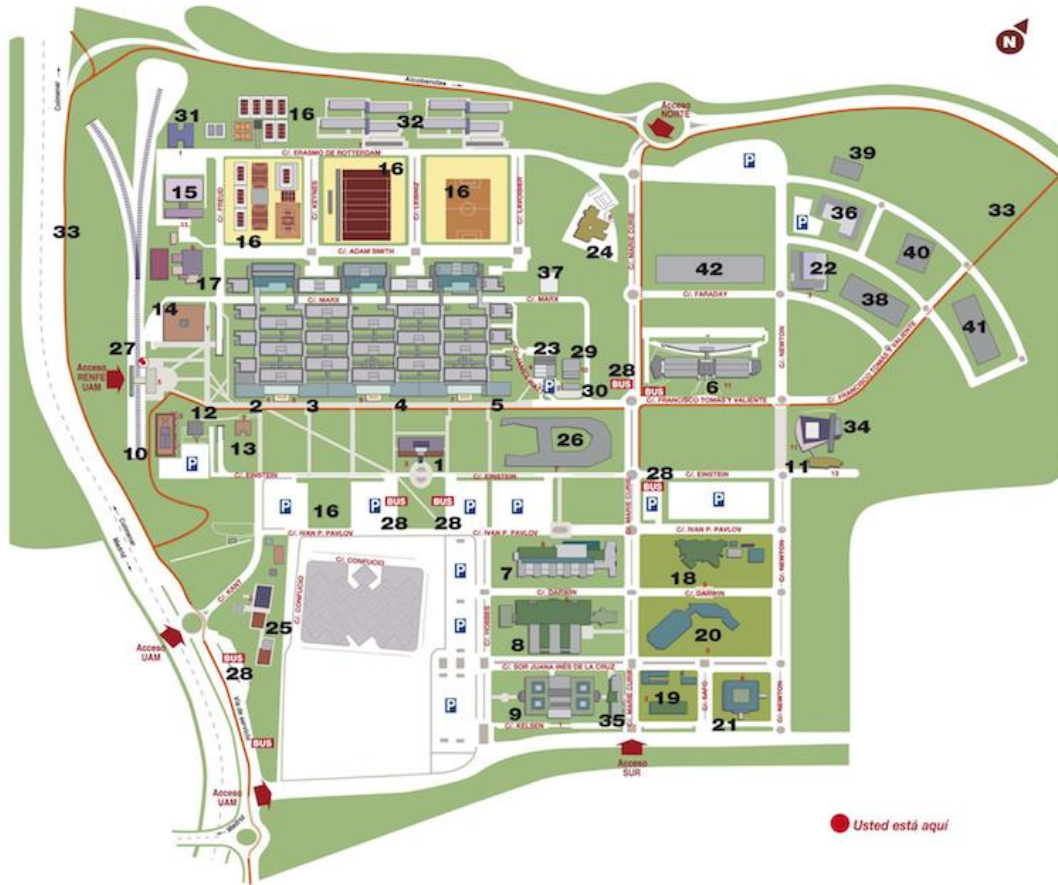
## Anexo A: Mapa y tablas de puntos para la caracterización del campus.

### Mapa



## Campus de la Universidad Autónoma de Madrid

Campus de Cantoblanco  
Ctra. Colmenar Viejo, km. 15 - 28049 MADRID



- |  |   |  |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Rectorado y Servicios Centrales</li> <li>2. Facultad de Filosofía y Letras</li> <li>3. Facultad de Formación de Profesorado y Educación</li> <li>4. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales</li> <li>5. Facultad de Ciencias (Edificio Ciencias)</li> <li>6. Escuela Politécnica Superior</li> <li>7. Facultad de Psicología</li> <li>8. Facultad de Ciencias (Edificio Biología)</li> <li>9. Facultad de Derecho</li> <li>10. Biblioteca de Humanidades</li> <li>11. Fundaciones</li> <li>12. Idiomas / Centro Superior de Música</li> <li>13. Centro de Estudios de Posgrado</li> <li>14. Pabellón de Servicios Universitarios</li> <li>15. Polideportivo</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>16. Instalaciones Deportivas</li> <li>17. Piscinas cubierta y al aire libre</li> <li>18. Centro Nacional de Biotecnología - CSIC</li> <li>19. Instituto de Catálisis y Petroleoquímica - CSIC</li> <li>20. Instituto de Ciencia de Materiales - CSIC</li> <li>21. Instituto de Cerámica y Vidrio - CSIC</li> <li>22. Centro de Micro-Análisis de Materiales</li> <li>23. Segainvex</li> <li>24. Escuela Infantil Bárbel Inhelder</li> <li>25. Colegio Príncipe de Asturias</li> <li>26. Plaza de la UAM</li> <li>27. Estación de tren de Cercanías</li> <li>28. Paradas de autobuses</li> <li>29. Ingeniería Química y Tecnología de Alimentos (Facultad de Ciencias)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>30. Laboratorio de Altas Energías (Facultad de Ciencias)</li> <li>31. Servicio de Deportes</li> <li>32. Residencia universitaria</li> <li>33. Carril Bici</li> <li>34. Biblioteca de Ciencias</li> <li>35. Ciencias Jurídicas, Políticas y Económicas</li> <li>36. Centro de Biología Molecular "Severo Ochoa"</li> <li>37. Invernadero de investigación</li> <li>38. Servicios Centrales de Apoyo a la Investigación (SCAI)</li> <li>39. APADUAM</li> <li>40. Centro de Investigación de Alimentos (CIAL)</li> <li>41. Instituto de Ciencias Matemáticas y Física Teórica</li> <li>42. Facultad de Formación de Profesorado y Educación (en construcción)</li> </ul> |
|--|---|--|

## Puntos clave que forman el grafo

Num	Tipo	Latitud	Longitud	Conexiones	Cerca de
0	curva	40.547265	-3.694100	5, 7,	Ingeniería Química y Tecnología de Alimentos
1	cruce	40.547547	-3.685512	2, 85,	Instituto de Matemáticas y Física Teórica
2	cruce	40.548554	-3.686579	1, 3, 10,	Instituto de Matemáticas y Física Teórica
3	rotonda	40.549295	-3.685754	2, 9,	Instituto de Matemáticas y Física Teórica
4	cruce	40.543054	-3.698408	8, 86,	Idiomas / Centro Superior de Música
5	cruce	40.546911	-3.695200	0, 6, 32,	Invernadero de investigación
6	rotonda	40.545729	-3.693655	5, 7, 64,	Plaza de la UAM
7	cruce	40.545961	-3.693200	0, 6, 50,	Laboratorio de Altas Energías
8	cruce	40.543189	-3.697635	4, 23, 33, 55, 57,	Centro de Estudios de Posgrado
9	rotonda	40.550172	-3.687652	3, 10, 17,	Centro de Investigación de Alimentos
10	rotonda	40.549357	-3.688060	2, 9, 11, 16,	Centro de Investigación de Alimentos
11	rotonda	40.548501	-3.688441	10, 48, 49,	Servicios Centrales de Apoyo a la Investigación
12	cruce	40.542235	-3.688757	14, 15, 35,	Instituto de Cerámica y Vidrio - CSIC
13	rotonda	40.541012	-3.692116	14, 38, 82,	Facultad de Derecho
14	rotonda	40.541836	-3.689841	12, 13, 40, 82,	Ciencias Jurídicas, Políticas y Económicas
15	cruce	40.542602	-3.687642	12, 41,	Instituto de Cerámica y Vidrio - CSIC
16	cruce	40.549540	-3.689895	10, 17, 51,	Centro de Biología Molecular "Severo Ochoa"
17	rotonda	40.550445	-3.689863	9, 16, 18,	Centro de Biología Molecular "Severo Ochoa"
18	cruce	40.550021	-3.692084	17, 19, 51,	APADUAM
19	rotonda	40.549222	-3.694380	18, 27, 47,	Escuela Infantil Bärbel Inhelder
20	cruce	40.543487	-3.694320	21, 22, 44, 67,	Paradas de autobuses
21	cruce	40.544214	-3.694698	20, 23, 46, 62, 65, 67, 83,	Rectorado y Servicios Centrales
22	cruce	40.543246	-3.695040	20, 23, 33, 66,	Paradas de autobuses
23	cruce	40.543996	-3.695410	8, 20, 21, 22, 55, 58, 61, 66, 83,	Rectorado y Servicios Centrales
24	cruce	40.547257	-3.700957	25, 31, 74,	Servicio de Deportes
25	cruce	40.547779	-3.699476	24, 26, 30,	Residencia universitaria
26	cruce	40.548325	-3.697877	25, 27, 29,	Residencia universitaria
27	cruce	40.548880	-3.696268	19, 26, 28,	Escuela Infantil Bärbel Inhelder
28	rotonda	40.547583	-3.695485	27, 29,	Invernadero de investigación
29	rotonda	40.547013	-3.697083	26, 28, 30,	Invernadero de investigación
30	rotonda	40.546450	-3.698703	25, 29, 31,	Instalaciones deportivas
31	cruce	40.545920	-3.700130	24, 30, 32, 74,	Piscinas cubierta y al aire

					libre
32	cruce	40.545309	-3.699755	5, 31, 72, 73,	Pabellón de Servicios Universitarios
33	cruce	40.542496	-3.697255	8, 22,	Colegio Príncipe de Asturias
34	rotonda	40.544045	-3.689846	36, 37, 43,	Centro Nacional de Biotecnología - CSIC
35	rotonda	40.543097	-3.689274	12, 40, 41,	Instituto de Ciencia y Materiales - CSIC
36	rotonda	40.544404	-3.691429	34, 39, 43, 44, 46, 81,	Facultad de Psicología
37	rotonda	40.544445	-3.688715	34, 39, 41,	Centro Nacional de Biotecnología - CSIC
38	rotonda	40.541942	-3.692685	13, 40, 42,	Facultad de Ciencias (Edificio Biología)
39	rotonda	40.545252	-3.689166	36, 37, 45,	Fundaciones
40	rotonda	40.542700	-3.690474	14, 35, 38, 43,	Ciencias Jurídicas, Políticas y Económicas
41	rotonda	40.543450	-3.688146	15, 35, 37,	Instituto de Cerámica y Vidrio - CSIC
42	rotonda	40.542855	-3.693221	38, 43, 44, 80,	Facultad de Ciencias (Edificio Biología)
43	rotonda	40.543637	-3.690968	34, 36, 40, 42, 80,	Facultad de Ciencias (Edificio Biología)
44	cruce	40.543629	-3.693704	20, 36, 42, 81,	Facultad de Psicología
45	rotonda	40.546010	-3.689659	39, 46, 49, 77, 85,	Fundaciones
46	rotonda	40.545235	-3.691944	21, 36, 45, 50, 65,	Plaza de la UAM
47	rotonda	40.547616	-3.693446	19, 48, 50,	Ingeniería Química y Tecnología de Alimentos
48	cruce	40.548382	-3.691172	11, 47, 49, 51,	Centro de Micro-Análisis de Materiales
49	rotonda	40.547005	-3.690292	11, 45, 48, 50, 77, 79,	Biblioteca de Ciencias
50	rotonda	40.546173	-3.692524	7, 46, 47, 49, 79,	Laboratorio de Altas Energías
51	cruce	40.549214	-3.691612	16, 18, 48,	Centro de Micro-Análisis de Materiales
52	peatonal	40.544657	-3.699625	69, 71, 73, 88,	Pabellón de Servicios Universitarios
53	peatonal	40.544163	-3.699261	54, 68, 69, 71,	Estación de tren de Cercanías
54	peatonal	40.543837	-3.699019	53, 68, 69, 70, 84, 86,	Centro de Estudios de Posgrado
55	peatonal	40.544039	-3.698292	8, 23, 56, 68,	Centro de Estudios de Posgrado
56	peatonal	40.544308	-3.697527	55, 57, 59,	Facultad de Formación de Profesorado
57	acera	40.543481	-3.696991	8, 56, 58,	Colegio Príncipe de Asturias
58	acera	40.543721	-3.696318	23, 57, 59,	Paradas de autobuses
59	peatonal	40.544553	-3.696830	56, 58, 60,	Facultad de Ciencias Económicas
60	peatonal	40.544816	-3.696232	59, 61, 63,	Facultad de Ciencias Económicas
61	peatonal	40.544447	-3.696063	23, 60, 62,	Facultad de Ciencias Económicas

62	peatonal	40.544750	-3.695138	21, 61, 63,	Rectorado y Servicios Centrales
63	peatonal	40.545103	-3.695376	60, 62, 64,	Facultad de Ciencias (Edificio Ciencias)
64	peatonal	40.545329	-3.694716	6, 63, 65, 68,	Facultad de Ciencias (Edificio Ciencias)
65	acera	40.544471	-3.694199	21, 46, 64,	Rectorado y Servicios Centrales
66	acera	40.543631	-3.695417	22, 23, 67,	Paradas de autobuses
67	acera	40.543615	-3.694542	20, 21, 66,	Paradas de autobuses
68	peatonal	40.544004	-3.698619	53, 54, 55, 64, 70, 71,	Centro de Estudios de Posgrado
69	peatonal	40.543898	-3.700073	52, 53, 54,	Estación de tren de Cercanías
70	peatonal	40.544330	-3.698957	54, 68, 72,	Facultad de Filosofía y Letras
71	peatonal	40.544352	-3.699358	52, 53, 68,	Pabellón de Servicios Universitarios
72	acera	40.545107	-3.699507	32, 70,	Pabellón de Servicios Universitarios
73	acera	40.545209	-3.699923	32, 52, 88,	Pabellón de Servicios Universitarios
74	acera	40.546352	-3.700483	24, 31, 75,	Polideportivo
75	peatonal	40.546183	-3.700961	74, 76,	Polideportivo
76	peatonal	40.545871	-3.700657	75,	Piscinas cubierta y al aire libre
77	peatonal	40.546362	-3.689896	45, 49, 78,	Biblioteca de Ciencias
78	peatonal	40.546443	-3.689312	77,	Biblioteca de Ciencias
79	acera	40.546687	-3.691436	49, 50,	Escuela Politécnica Superior
80	acera	40.543199	-3.692166	42, 43,	Facultad de Ciencias (Edificio Biología)
81	rotonda	40.544043	-3.692616	36, 44,	Facultad de Psicología
82	acera	40.541426	-3.691002	13, 14,	Facultad de Derecho
83	rotonda	40.544204	-3.695320	21, 23,	Rectorado y Servicios Centrales
84	peatonal	40.543550	-3.699453	54,	Biblioteca de Humanidades
85	acera	40.546261	-3.689234	1, 45,	Fundaciones
86	peatonal	40.543402	-3.698823	4, 54, 87,	Idiomas / Centro Superior de Música
87	peatonal	40.543301	-3.699038	86,	Idiomas / Centro Superior de Música
88	peatonal	40.544907	-3.699764	52, 73,	Pabellón de Servicios Universitarios

## Edificios del campus

Nombre del Edificio	Latitud	Longitud
Rectorado y Servicios Centrales	40.544247	-3.695349
Facultad de Filosofía y Letras	40.544250	-3.698176
Facultad de Formación de Profesorado	40.544351	-3.697848
Facultad de Ciencias Económicas	40.544813	-3.696567
Facultad de Ciencias (Edificio Ciencias)	40.545317	-3.695144
Escuela Politécnica Superior	40.546875	-3.691550
Facultad de Psicología	40.543858	-3.692509
Facultad de Ciencias (Edificio Biología)	40.543137	-3.692136
Facultad de Derecho	40.541475	-3.691081
Biblioteca de Humanidades	40.543516	-3.699520
Fundaciones	40.546295	-3.689133
Idiomas / Centro Superior de Música	40.543317	-3.699056
Centro de Estudios de Posgrado	40.543864	-3.698445
Pabellón de Servicios Universitarios	40.544938	-3.699823
Polideportivo	40.546181	-3.700966
Instalaciones deportivas	40.546764	-3.700403
Piscinas cubierta y al aire libre	40.545869	-3.700658
Centro Nacional de Biotecnología - CSIC	40.544388	-3.690049
Instituto de Catálisis y Petroleoquímica - CSIC	40.542309	-3.689690
Instituto de Ciencia y Materiales - CSIC	40.543562	-3.689550
Instituto de Cerámica y Vidrio - CSIC	40.542492	-3.688232
Centro de Micro-Análisis de Materiales	40.548595	-3.691133
Segainvex	40.546036	-3.694360
Escuela Infantil Bärbel Inhelder	40.548532	-3.694590
Colegio Príncipe de Asturias	40.542497	-3.696850
Plaza de la UAM	40.545378	-3.693292
Estación de tren de Cercanías	40.543874	-3.700049
Paradas de autobuses	40.543617	-3.695361
Ingeniería Química y Tecnología de Alimentos	40.546418	-3.693588
Laboratorio de Altas Energías	40.546245	-3.693521
Servicio de Deportes	40.547167	-3.701626
Residencia universitaria	40.548187	-3.699067
Biblioteca de Ciencias	40.546501	-3.689372
Ciencias Jurídicas, Políticas y Económicas	40.542196	-3.690243
Centro de Biología Molecular "Severo Ochoa"	40.549862	-3.690471
Invernadero de investigación	40.547445	-3.695357
Servicios Centrales de Apoyo a la Investigación	40.548945	-3.689036
APADUAM	40.550645	-3.691032
Centro de Investigación de Alimentos	40.549964	-3.688687
Instituto de Matemáticas y Física Teórica	40.549393	-3.686896

## Anexo B: Tabla de información de navegación

		POSICIÓN RESPECTO DEL TRAYECTO				
		PUNTO DE INICIO	BUSCANDO DIRECCIÓN AL SIGUIENTE PUNTO	AVANZANDO HACIA EL SIGUIENTE PUNTO	PUNTO INTERMEDIO	PUNTO FINAL
P A R T E D E L A P A N T A L L A	E T I Q U E T A	<u>Información general del trayecto:</u> -Origen -Destino -Distancia en metros -Numero de puntos intermedios	(según precisión) <u>Sin precisión:</u> Esperando a tener precisión <u>Con precisión:</u> Buscando dirección + izquierda o derecha <u>HINT:</u> mueva el teléfono para encontrar el siguiente punto	<u>Información sobre el siguiente punto:</u> -Distancia -Tipo -Dirección a seguir después.	<u>Advertir proximidad. Información sobre el punto:</u> -Distancia -Tipo -Dirección a seguir. <u>Advertir precaución. Usar botón para encontrar siguiente punto.</u>	<u>Advertir proximidad a punto final. Información sobre el punto:</u> -Distancia -Tipo -Dirección a seguir. <u>Advertir precaución. Usar botón para encontrar encaminarse a edificio</u>
	B O T Ó N	<u>Activado:</u> Si <u>Descripción de la acción:</u> Empezar recorrido <u>HINT:</u> pulse dos veces para empezar	<u>Activado:</u> No <u>Descripción de la acción:</u> Buscando siguiente punto <u>HINT:</u> botón deshabilitado	<u>Activado:</u> Si <u>Descripción de la acción:</u> Volver a calcular dirección <u>HINT:</u> pulse dos veces para recalcular la dirección a seguir	<u>Activado:</u> Si <u>Descripción de la acción:</u> Buscar siguiente punto <u>HINT:</u> pulse dos veces para recalcular la dirección a seguir	<u>Activado:</u> Si <u>Descripción de la acción:</u> Buscar dirección a edificio <u>HINT:</u> pulse dos veces para calcular la dirección a seguir
	V O Z	<u>Información sobre los elementos de la pantalla:</u> una etiqueta con información arriba y un botón de acción abajo	<u>Sin precisión:</u> Esperando precisión <u>Con precisión:</u> Buscando dirección, girar a la izquierda o derecha	<u>Aviso cuando se encuentre dirección:</u> Dirección al siguiente punto adquirida	<u>Aviso cuando se alcance punto:</u> te encuentras próximo a... (Además el móvil vibra siempre que este cerca de un punto de este tipo)	<u>Aviso cuando se alcance punto:</u> has llegado a punto más cercano al destino

## PRESUPUESTO

### 1) Ejecución Material

- Compra de ordenador personal (Software incluido)..... 2.000 €
- Alquiler de impresora láser durante 6 meses ..... 50 €
- Material de oficina ..... 150 €
- Total de ejecución material..... 2.200 €

### 2) Gastos generales

- 16 % sobre Ejecución Material ..... 352 €

### 3) Beneficio Industrial

- 6 % sobre Ejecución Material ..... 132 €

### 4) Honorarios Proyecto

- 640 horas a 15 € / hora ..... 9600 €

### 5) Material fungible

- Gastos de impresión ..... 60 €
- Encuadernación ..... 200 €

### 6) Subtotal del presupuesto

- Subtotal Presupuesto..... 12060 €

### 7) I.V.A. aplicable

- 21% Subtotal Presupuesto..... 2532.6 €

### 8) Total presupuesto

- Total Presupuesto ..... 14592.6 €

Madrid, Febrero de 2013

El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo.: Tomás Merino Mateo  
Ingeniero Superior de Telecomunicación



## PLIEGO DE CONDICIONES

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de un *DESARROLLO EN iOS DE APLICACIONES DE GUIADO GPS PARA DISCAPACITADOS VISUALES*. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho sistema. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

### Condiciones generales

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.

2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.

3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.

4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.

5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.

6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.

7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.

8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.

9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.

11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.

13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.

14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.

15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.

16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.

17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.

18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.

19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.

20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la misma, por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.

21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.

22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.

23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad "Presupuesto de Ejecución de Contrata" y anteriormente llamado "Presupuesto de Ejecución Material" que hoy designa otro concepto.

### **Condiciones particulares**

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.
2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.
3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.

4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.
5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.
6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.
7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.
8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.
9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.
10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.
11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.
12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.