
Título en español (definido en Cascaras\cover.tex)
Title in English (defined in Cascaras\cover.tex)



Trabajo de Fin de Grado
Doble grado en Ingeniería Informática y Matemáticas
Curso 2019–2020

Autor
Nombre Apellido1 Apellido2

Director
Director 1
Director 2

Colaborador
Colaborador 1
Colaborador 2

Facultad de Informática
Universidad Complutense de Madrid

Título en español (definido en
Cascaras\cover.tex)
Title in English (defined in
Cascaras\cover.tex)

Trabajo de Fin de Máster en **Ingeniería Informática**
Departamento de **XXXXXXXXXXXXXX**

Autor
Nombre Apellido1 Apellido2

Director
Director 1
Director 2
Colaborador
Colaborador 1
Colaborador 2

Dirigida por el Doctor
Director 1
Director 2

Facultad de Informática
Universidad Complutense de Madrid

1 de marzo de 2020

Dedicatoria

*A Pedro Pablo y Marco Antonio, por crear TeXiS
e iluminar nuestro camino*

Agradecimientos

A Guillermo, por el tiempo empleado en hacer estas plantillas. A Adrián, Enrique y Nacho, por sus comentarios para mejorar lo que hicimos. Y a Narciso, a quien no le ha hecho falta el Anillo Único para coordinarnos a todos.

Resumen

Título en español (definido en Cascaras\cover.tex)

Un resumen en castellano de media página, incluyendo el título en castellano. A continuación, se escribirá una lista de no más de 10 palabras clave.

Palabras clave

Máximo 10 palabras clave separadas por comas

Abstract

Title in English (defined in Cascaras\cover.tex)

An abstract in English, half a page long, including the title in English. Below, a list with no more than 10 keywords.

Keywords

10 keywords max., separated by commas.

Índice

1. Introducción	1
1.1. ¿Por qué la navegación por interiores?	2
1.2. Objetivos	3
1.3. Plan de trabajo	3
1.4. Explicaciones adicionales sobre el uso de esta plantilla	3
2. Estado de la Cuestión	5
2.1. Aplicaciones de guía	5
2.1.1. Google Maps	5
2.1.2. BlindSquare	7
2.1.3. Nearby Explorer	9
2.1.4. Lazarillo	9
2.1.5. Wayfindr	10
2.1.6. Conclusiones	10
2.2. Sistemas de posicionamiento	11
2.2.1. GPS	11
2.2.2. Wi-Fi	12
2.2.3. Balizas Bluetooth	12
3. Descripción del Trabajo	15
3.1. Previos a la implementación	15
3.1.1. Reunión en el Centro de Tiflotecnología e Innovación de la ONCE	15
3.1.2. Exactitud de los beacons	15
4. Conclusiones y Trabajo Futuro	21
5. Introduction	23
6. Conclusions and Future Work	25
Bibliografía	27
A. Título del Apéndice A	29
B. Título del Apéndice B	31

Índice de figuras

2.1. Plano de un edificio proporcionado por Google Maps.	6
2.2. Vista del interior del Madison Square Garden.	7
2.3. Ejemplo de navegación y búsqueda en Google Maps Indoors.	7
2.4. Método de triangulación GPS.	12
3.1. Interfaz de la aplicación miniapp.	16
3.2. Interfaz de la aplicación cuadrantes v1.	17
3.3. Gráfico con las distancias medidas al beacon CPne.	18
3.4. Gráfico con las distancias medidas al beacon eAaw.	18
3.5. Gráfico con las distancias medidas al beacon 8v2c.	19
3.6. Gráfico con las distancias medidas conjuntas de los beacons 8v2c y CPne, estando uno sobre otro.	19

Índice de tablas

Introducción

“Frase célebre dicha por alguien inteligente”

— Autor

En la actualidad, los *smartphones* se han convertido en los protagonistas indiscutibles de nuestro día a día. El informe anual de *Ditrendia* (Rivero, 2019) recoge que el 68 % de la población mundial (5100 millones) cuenta con un *smartphone*, mientras que este porcentaje ascienden al 96 % cuando hablamos de la población española. Es decir, aproximadamente 32,6 millones de españoles navegan por Internet a diario con su teléfono móvil.

Por otro lado, resulta prácticamente imposible imaginar un *smartphone* que no tenga instalado una aplicación de navegación, ya que este tipo de aplicaciones se han convertido en herramientas esenciales y habituales, puesto que no solo se limitan a dar la ruta óptima entre dos puntos, sino que también aportan distintas alternativas para ir a pie, con transporte público, información sobre el mismo como horarios, cambios temporales, etc. Se estima que el 75 % de los usuarios españoles utilizan aplicaciones de navegación mensualmente, siendo la tercera actividad más practicada después de la mensajería instantánea y la visualización de videos online (Rivero, 2019).

No cabe duda de lo útil que resulta poder consultar la ruta entre dos puntos pero, ¿estas aplicaciones son igual de apropiadas para todos los usuarios? ¿Se tienen en cuenta las necesidades de aquellos que padecen discapacidad visual? En España, 70.775 personas sufren *ceguera legal* según la ONCE (Gómez Ulla). Este término engloba dos tipos marcados y diferenciados, lo que se conoce como ceguera (ausencia de visión o solo percepción de luz) y la deficiencia visual (mantenimiento de un resto de visión funcional para la vida cotidiana). En ambos casos, las personas que las padecen afrontan numerosos desafíos en su vida diaria, la mayor parte de ellos derivados de la total falta de información. Un vistazo a nuestro alrededor es suficiente para darnos cuenta de cuán visuales son la mayor parte de los mensajes útiles que usamos en nuestro entorno: desde leer la etiqueta de un producto en el supermercado, hasta saber si nos encontramos en la parada de autobús correcta. De ahí que los ojos sean considerados los principales órganos sensoriales y que su pérdida conlleve una reducción considerable de independencia, ya que el acceso a la información significa autonomía. En ocasiones, esto viene acompañado de un segundo problema con el que muchos están acostumbrados a lidiar, el exceso de protección. A menudo familiares, amigos o incluso desconocidos asumen que un invidente necesita ayuda sin preguntar o sin esperar a ser llamados. Este frecuente comportamiento genera impotencia en el individuo en lugar de independencia y le quita espacio para aprender a realizar una tarea por sí mismo.

En resumen, la falta de accesibilidad es el eje central del que nacen numerosos problemas

que afectan a la vida de las personas que presentan ceguera legal. Otro ejemplo más es el caso del ocio y la tecnología. No abundan los libros adaptados. De hecho, según la *World Blind Union* “más del 90 % del material publicado no es accesible para invidentes o personas con deficiencia visual” (Envision, 2019). E igual ocurre con Internet. El grueso de las páginas web y aplicaciones no consideran las necesidades especiales de estos potenciales usuarios, dejándoles completamente al margen. Por ello, la respuesta a las dos preguntas lanzadas al comienzo de esta sección es no, actualmente son pocas las aplicaciones que tienen en cuenta a las personas que sufren discapacidad visual y, en particular, son pocas las aplicaciones de navegación que están adaptadas. Es por esto, que en nuestro trabajo de fin de grado hemos querido abordar este problema, estudiando, para ello, tecnologías accesibles que nos permitan desarrollar una aplicación de navegación que facilite una guía adaptada para estos usuarios.

1.1. ¿Por qué la navegación por interiores?

Como es natural, todos nos vemos obligados a desplazarnos en nuestro día a día. Normalmente suelen ser lugares conocidos a los que llegamos de una manera más o menos automática, sin tener que pensar mucho ya que conocemos y memorizamos todo lo que hay en dichos recorridos. Sin embargo, de manera puntual modificamos dichas rutinas, ya sea por problemas temporales que inhabilitan la ruta en cuestión, como por la necesidad de desplazarnos a un lugar al que no habíamos ido antes. Paralelamente, hay un conjunto de edificios que visitamos con cierta frecuencia y que por ende nos resultan familiares y donde nos ubicamos perfectamente, pero en ocasiones nos surge la necesidad de ir a otros por primera vez, véase un hospital, un museo o un centro comercial.

A menudo estas situaciones despiertan desorientación, incomodidad y rechazo en las personas que las viven ya que se encuentran frente a una situación de descontrol e incertidumbre debido a la falta de conocimiento. A nadie le gusta sentirse perdido, pero cuando te falta uno de los cinco sentidos y uno de los más esenciales, la vista, esto se vuelve mucho más duro, ya que, hay un gran vacío informativo. Basta pensar en cuántas personas se te cruzan por la calle, cuántos obstáculos sorteas a diario tanto en interiores como en exteriores, cuántas veces cruzas la carretera para alcanzar tu destino, cuántas veces te apoyas leyendo el nombre de una calle o un cartel en un edificio, cuántas veces bajas/subes unas escaleras o esperas al ascensor, o miras el número del autobús que está por llegar... Ahora imagina hacerlo sin ayuda de la vista. Todo esto son ejemplos de situaciones muy cotidianas que para las personas videntes no suponen ningún esfuerzo mientras que para las personas con discapacidad visual suponen un gran reto.

En los últimos años se ha estudiado mucho el sector de la navegación por exteriores, actualmente son varias las apps que mediante el GPS proporcionan una guía de origen a destino. Este hecho, acompañado de la creciente sensibilización con el problema de la ceguera y del *boom* de las tecnologías accesibles ha favorecido que cada vez más desarrolladores se interesen por la accesibilidad y la promuevan en este tipo de aplicaciones. Sin embargo, en la navegación por interiores aún vemos un claro vacío ya que es un terreno menos explorado en general y, consecuentemente, menos adaptado. Por ello, hemos decidido centrar nuestras investigaciones en este sector, buscando paliar el malestar al que estos usuarios se enfrentan en su día a día. Para la consecución de este fin, desarrollaremos una aplicación accesible que sirva de guía a invidentes por espacios interiores, más concretamente por la Facultad de Informática de la Universidad Complutense de Madrid.

1.2. Objetivos

Descripción de los objetivos del trabajo.

1.3. Plan de trabajo

Aquí se describe el plan de trabajo a seguir para la consecución de los objetivos descritos en el apartado anterior.

1.4. Explicaciones adicionales sobre el uso de esta plantilla

Si quieres cambiar el **estilo del título** de los capítulos, edita `TeXiS\TeXiS_pream.tex` y comenta la línea `\usepackage[Lenny]{fncychap}` para dejar el estilo básico de L^AT_EX.

Si no te gusta que no haya **espacios entre párrafos** y quieres dejar un pequeño espacio en blanco, no metas saltos de línea (`\\`) al final de los párrafos. En su lugar, busca el comando `\setlength{\parskip}{0.2ex}` en `TeXiS\TeXiS_pream.tex` y aumenta el valor de `0,2ex` a, por ejemplo, `1ex`.

TFMTeXiS se ha elaborado a partir de la plantilla de TeXiS¹, creada por Marco Antonio y Pedro Pablo Gómez Martín para escribir su tesis doctoral. Para explicaciones más extensas y detalladas sobre cómo usar esta plantilla, recomendamos la lectura del documento `TeXiS-Manual-1.0.pdf` que acompaña a esta plantilla.

¹<http://gaia.fdi.ucm.es/research/texis/>

Capítulo 2

Estado de la Cuestión

2.1. Aplicaciones de guía

En los últimos años ha aumentado la sensibilización tecnológica en áreas de inclusión a usuarios con discapacidad visual. De modo que las tecnologías accesibles tienen, cada vez más, un papel central en el desarrollo de aplicaciones, logrando recortar las limitaciones que antes las separaban de las personas que sufren algún tipo mayor de dificultad visual y dirigiéndose a un público más amplio.

Al igual que las personas videntes, las personas con ceguera son usuarios de aplicaciones de muy variada índole, por ello encontramos apps ya adaptadas en categorías como: redes sociales, entretenimiento, lectura, identificación de colores y objetos, etc.

En esta sección, haremos un pequeño estudio sobre las aplicaciones accesibles existentes en el campo de la navegación, bien sea por interiores o exteriores, y su funcionamiento.

2.1.1. Google Maps

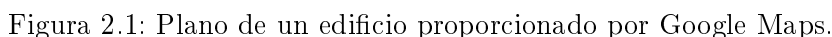
El pasado 10 de Octubre de 2019, en el “World Sight Day”, Google dió a conocer la última actualización de la famosa aplicación *Google Maps*¹. Esta incluiría una nueva característica desarrollada desde cero por y para personas con discapacidad visual que convertiría a la misma en una app accesible.

El proyecto consiste en la implementación de una nueva funcionalidad que facilita la posibilidad de recibir instrucciones de voz más detalladas y nuevos tipos de anuncios verbales muy útiles para las rutas de a pie para personas con visibilidad reducida. Algunas de las nuevas instrucciones incluidas son: informar de manera proactiva que estás en la ruta correcta, la distancia hasta el próximo giro, la dirección en la que estás caminando, avisos para cruzar con precaución si te aproximas a una gran intersección, notificaciones en caso de ser redirigido por causa de haber abandonado accidentalmente la ruta correcta, etc. De esta manera, la aplicación pretende brindar de independencia a las personas que padecen ceguera tratando de que se sientan cómodas y seguras a la hora de explorar lugares nuevos y desconocidos. La guía de voz detallada para la navegación está actualmente en desarrollo, estando ya disponible en inglés en los Estados Unidos y en japonés en Japón. Su soporte para otros idiomas y países sigue en camino.

En cuanto a la navegación por interiores, *Google Maps*² con su actualización 6.0 incor-

¹<https://blog.google/products/maps/better-maps-for-people-with-vision-impairments/>

²<https://www.google.es/intl/es/maps/about/partners/indoormaps/>



Con estos nuevos planos podrás localizar dónde están los baños, escaleras, ascensores, entradas y salidas, etc., los cuales aparecen representados mediante iconos globalmente aceptados (ver Figura 2.1). También aparecen detallados los distintos establecimientos que se localizan en el edificio e incluye la posibilidad de hacer ciertas búsquedas, tanto generales (de cafeterías, librerías, tiendas, restaurantes...) como concretas (Starbucks, McDonald's...) (ver Figura 2.3). Otra funcionalidad que no falta en la versión de interiores es la posibilidad de señalar un destino y recibir indicaciones sobre cómo llegar a él. Para ello, aparece el habitual punto azul que te acompaña e indica tu posición, actualizando el plano con cada movimiento que lleves a cabo (incluidos cambios de una planta a otra) (ver figura 2.3). Esta aplicación es un proyecto colaborativo y por ende, desde la web es posible actualizar y subir nuevos planos. Está disponible tanto para ordenador como plataformas Android e iOS.

Esta aplicación pone a nuestro servicio la utilidad de *Maps* pero en interiores. Además, nos permite colaborar, pudiendo subir nosotros mismos el plano de un edificio. Sin duda del gran avance que esta aplicación supone en la navegación por interiores, no debemos olvidar algunas de sus desventajas: el posicionamiento, al contrario que en exteriores, no es muy preciso (en la web hablan de varios metros), y las búsquedas que puedes realizar son limitadas, no pudiendo, por ejemplo, preguntar por la ubicación de los baños; esto es, puedes ver dónde están pero no puedes seleccionarlos como destino para que te vaya indicando la ruta a seguir. Pero sobre todo, tiene el inconveniente de que no es una tecnología

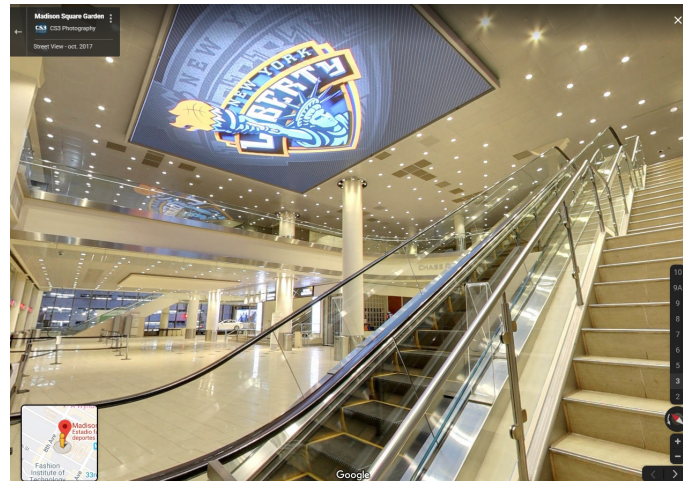


Figura 2.2: Vista del interior del Madison Square Garden.

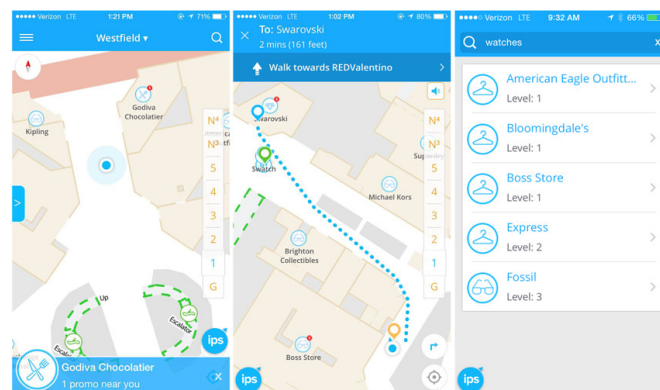


Figura 2.3: Ejemplo de navegación y búsqueda en Google Maps Indoors.

accesible: *Google Maps Indoors*³ es una aplicación completamente visual que no cuenta con soporte auditivo por lo que descarta completamente a usuarios invidentes.

2.1.2. BlindSquare

Es una de las aplicaciones de navegación más populares. Su uso se extiende a más de 130 países y está habilitada en 25 idiomas, entre los cuales se incluye el español. Esta aplicación, desarrollada para iOS y diseñada para personas con discapacidad visual, proporciona una guía completa, de origen a destino, tanto en exteriores como en interiores. Además, describe el entorno y anuncia posibles puntos de interés para el usuario (como pueden ser los lugares considerados populares o aquellos visitados frecuentemente). Su principal característica es que permite interactuar mediante voz gracias al controlador de música de Apple.

*BlindSquare*⁴ determina tu posición mediante localización *GPS* y, a partir de ahí, puede darte información sobre las proximidades utilizando *Foursquare* y *OpenStreetMap*. De este modo, es capaz tanto de guiarte a un cierto destino como de notificarte qué establecimientos hay en tu radio: restaurantes a 200m, parques más cercanos, farmacias...

Con el fin de agilizar el uso de la app, y que por tanto esta sea cómoda y rentable para

³https://www.youtube.com/watch?v=cPsTWj_03Qs

⁴<https://www.blindsquare.com>

los usuarios finales, incluye: accesos directos a funciones mediante gestos (como sacudir el móvil para que nos diga la ubicación actual y puntos cercanos) y la posibilidad de establecer filtros para recibir únicamente el tipo de información deseada. Por ejemplo, permite filtrar por restaurantes para no tener notificaciones sobre estaciones de tren o librerías.

En cuanto a la navegación por interiores, *BlindSquare*⁵ emplea un sistema de balizas bluetooth, llamadas *beacons*, que colocan en sitios estratégicos de los edificios, para solventar el problema del posicionamiento. Por lo demás, incluye las mismas posibilidades y funcionalidades que la navegación por exteriores, con la única limitación de que el edificio debe estar provisto de dichos sistemas de posicionamiento.

En su web encontramos un ejemplo de la utilización de los *beacons* en un campus⁶: una vez que entras en el edificio, uno de los *beacons* se dará cuenta de tu aplicación BlindSquare y te hará saber dónde te encuentras y cómo llegar a tu destino, indicándote los ascensores, escaleras e intersecciones más cercanas. Integrar en el campus servicios como estos promueve tanto a visitantes como a estudiantes con discapacidad visual moverse por el entorno con total autonomía y seguridad.

Entre los puntos fuertes de esta aplicación destacamos los siguientes:

- Da información sobre los metros que quedan hasta llegar a un determinado objetivo. Resulta útil porque si van disminuyendo sabes que vas por el camino adecuado.
- Utiliza indicaciones de tipo reloj (a las 10, a las 3,...) muy usadas por las personas con discapacidad visual.
- Avisa de las intersecciones.
- Cuando te da una nueva indicación y la superas, usa el sonido asociado a correcto o *check*. Así, puedes seguir sin preocuparte. Si por el contrario te equivocas, reproduce un sonido en consecuencia.
- Se pueden añadir ubicaciones en una lista de lugares marcados.
- Puedes ir girando con el móvil y te va indicando lo que tienes enfrente.
- También tiene opción de simulación, que permite prepararse un camino antes de ir.
- Te permite ser más autónomo y descubrir nuevos sitios.
- A la hora de desplazarte te indica las distintas alternativas por adelantado. Esto es, mientras que para espacios exteriores te señala la posible ruta utilizando transporte público, privado, a pie, etc. Para espacios interiores te especifica, siempre que la haya, la opción de utilizar escaleras, ascensor, escaleras mecánicas, etc., de esta manera te proporciona una idea global del espacio y de las distintas vías que puedes seguir para llegar a tu destino.
- Permite llevar las manos libres.
- Incluye un lector de códigos QR, es más cómodo porque puede dar más información que la línea braille.

Su principal punto negativo es el precio, ya que cuesta 40 libras.

⁵<https://www.youtube.com/watch?v=9jH-BdjmgB4>

⁶<https://www.blindsquare.com/2019/11/01/blindsquares-getting-straight-as-on-campus/>

Al contrario que la aplicación anterior, esta sí es una aplicación diseñada para personas con discapacidad visual. Las diferencias saltan a la vista: el modo de dar las indicaciones, avisos constantes para indicarte si vas por el camino correcto, permite más autonomía; gracias a la comunicación constante que ofrece permite llevar las manos libres, entre otras. Parece imposible pensar que el interior de un edificio pueda resultar menos seguro que una gran avenida, lo cierto es, que para personas con discapacidad visual, muchas veces es así. El interior de un gran centro comercial o una biblioteca resultan un laberinto cuando se va por primera vez, más aún si tenemos algún tipo de dificultad para leer las indicaciones que, normalmente, suelen estar en lugares altos y no adaptadas para personas con discapacidad visual. Lo que se pretende con esta aplicación es mantener la autonomía del usuario tanto dentro como fuera de un edificio ⁷.

2.1.3. Nearby Explorer

*Nearby Explorer*⁸ es otra de las aplicaciones que encuadramos en el campo de la navegación accesible por interiores y exteriores. Está habilitada tanto para Android como para iOS y su descarga se encuentra disponible en el *App Store* de manera gratuita.

La guía por exteriores se basa en la misma idea que *BlindSquare*, y por ende funciona de manera similar. Entre sus características destacan: la posibilidad de ejecutar ciertas acciones poniendo el móvil en distintas posiciones, como por ejemplo, inclinarlo verticalmente para que funcione como una brújula; y, la capacidad de filtrar la información de modo que ésta se adapte completamente a las necesidades del usuario. Entre la información que *Nearby Explorer* puede proporcionar a sus usuarios encontramos los lugares cercanos a la ubicación actual, los nombres de las calles por las que pasa, los números de los bloques de las calles por las que pasa, la distancia que hay al destino desde un punto de referencia (como casa, trabajo...), etc. Además de la posibilidad de filtrar la información deseada, las indicaciones por audio pueden ser pausadas en cualquier momento de modo que no interfieran con otras señales auditivas (como las paradas en un autobús, por ejemplo). Otra gran funcionalidad con la que cuenta *Nearby Explorer* es la de explorar una ruta por adelantado, sin tener que estar físicamente en el sitio, pudiendo incrementar o decrementar el radio de exploración.

Por otro lado, vemos que la navegación por interiores puede ser configurada de dos maneras: *ad hoc* y *mapeo completo*. Ambas utilizan los sistemas de *beacons* para geolocalizar el dispositivo en interiores (zonas a las que no llega el *GPS*) y así, poder proporcionar una guía por dicho espacio.

En el caso de la configuración *ad hoc* aparecen los siguientes problemas:

- No se puede determinar la ubicación de un *beacon*.
- No se puede obtener información del entorno a menos que te encuentres dentro del radio de detección de un *beacon*.
- Tienes que habilitar cierto soporte para detectar los *beacons* (no se detectan de manera automática).

Sin embargo, el *mapeo completo* sí nos proporciona una localización precisa. Tiene un comportamiento similar al de otras aplicaciones.

⁷<https://www.blindsquare.com/2019/10/24/independence-on-both-sides-of-the-door/>

⁸<https://play.google.com/store/apps/details?id=org.aph.nearbyonline&hl=es>

2.1.4. Lazarillo

Lazarillo (laz, 2014) es una aplicación que actualmente solo proporciona guía para exteriores. Inicialmente la idea era cubrir también la navegación por interiores pero su desarrollo no fue posible por problemas de financiación.

La navegación por exteriores cuenta con las funcionalidades básicas que ya hemos mencionado en las apps anteriores:

- Buscar lugares de interés, cercanos a la ubicación actual. Esta búsqueda se puede acotar filtrando por categorías que vienen predefinidas (transporte, bancos y cajeros, salud, comida, tiendas, etc.).
- Buscar una dirección específica a partir de la cual se desplegarán todas las posibles rutas (a pie, en transporte público, privado, etc.) y una vez seleccionada la ruta deseada, comenzarán las indicaciones mediante audio con la información pertinente (metros, giros a derecha e izquierda, etc.).
- Guardar una lista de lugares favoritos.
- Posibilidad de rastrear una dirección, previamente marcada con la opción “Seguir este lugar”, de modo que con independencia de a dónde nos estemos dirigiendo se activará una alerta a medida que nos acerquemos a dicha ubicación.
- Ajustar la configuración de las indicaciones, velocidad, tipo de voz...

En resumidas cuentas, *Lazarillo* es una aplicación que, como otras, busca mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad visual indicándoles para ello qué les rodea y proporcionándoles una mayor independencia. Ésta, sin embargo, cubre únicamente los aspectos más básicos y elementales, sin reparar en otras posibles funcionalidades o indicaciones (obstáculos, peligros...) que la convierten en una aplicación incompleta.

La app es completamente gratuita y cuenta con versión para Android y iOS.

2.1.5. Wayfindr

Wayfindr (Autores, 2014) es una aplicación cuyo objetivo es guiar a los invidentes por el metro de Londres (uno de los más complejos del mundo). Este proyecto, aún no disponible para el público, pretende llegar a esos lugares que están repletos de señales escritas, por los que las personas que ven pasan sin pensar pero que son precisamente los que más temen y evitan aquellos que tienen discapacidad visual. Investigaciones llevadas a cabo en el Reino Unido revelan que la mayor parte de este colectivo querría salir de su hogar con más frecuencia. Por ello, la sociedad británica *Royal Society for Blind Children (RSBC)* y *UsTwoo*, plataforma de innovación y tecnología digital, se unieron para desarrollar una solución, naciendo así, Wayfindr.

El funcionamiento⁹ de la aplicación es tan práctico como sencillo: se basa en una serie de *beacons*, colocados en puntos estratégicos a lo largo de las distintas estaciones de metro, que emiten unas señales que son captadas por el móvil a su paso por un cierto radio de detección. Estas señales permiten ubicar al usuario y darle la siguiente indicación para el conseguimiento de su objetivo (coger un tren o salir de la estación).

Los desarrolladores recomiendan el uso de auriculares de conducción ósea, de manera que puedan escuchar otros sonidos del exterior.

⁹<https://www.youtube.com/watch?v=mc3KmbfxuUQ>

2.1.6. Conclusiones

Tras este breve recorrido por algunas de las aplicaciones de navegación adaptadas para personas ciegas o con visibilidad reducida podemos decir que cada vez son más las opciones. Hemos visto desde aplicaciones de navegación por exteriores, como también por interiores, llegando hasta algunas tan específicas como *Wayfindr* que está dirigida al metro de Londres concretamente. Todas ellas se rigen por un patrón común: el de la simpleza, sin conllevar por ello una reducción de la funcionalidad. Pues estas aplicaciones nos permiten filtrar la información que se quiere recibir, guardar nuestros lugares más visitados, manejarlas mediante voz o con sacudidas del teléfono..., es decir, nos proporcionan un gran abanico de posibilidades que el usuario puede ejecutar de manera sencilla.

Por otro lado, si comparamos las apps, encontramos que aquellas de navegación por interiores están aún por desarrollar ya que el mapeo del interior de los edificios debe realizarse de manera particular e individual, convirtiéndose en una tarea mucho más tediosa que la que lleva a cabo el famoso coche de *Google Maps*. Además, el posicionamiento también es más complejo ya que no es posible utilizar el sistema GPS y hay que recurrir a la triangulación de señales WIFI o a las balizas bluetooth, teniendo que estudiar de nuevo cada caso concreto.

2.2. Sistemas de posicionamiento

Para la consecución de nuestro objetivo, el desarrollo de una aplicación de navegación por interiores, uno de los primeros problemas que se nos plantea es el del posicionamiento en un mapa ya que es de vital importancia poder determinar donde estamos para después indicar la ruta pertinente hacia el destino indicado. En esta sección haremos un pequeño estudio sobre las distintas tecnologías existentes que nos permiten solventar nuestro problema y determinar la posición exacta de un cierto dispositivo, y discutiremos su validez para la consecución del objetivo de este trabajo de fin de grado.

2.2.1. GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de localización, diseñado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines militares para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo. Este sistema se encuentra operativo desde enero de 1994 y se desarrolló a partir de los 24 satélites que componen la constelación NAVSTAR, cada uno de los cuales cuenta con una órbita de 26560Km de radio y un periodo de 12h (Pozo-Ruz et al., 2000).

El método mediante el cual el GPS determina la altitud, longitud y latitud de cualquier objeto que se encuentre en la superficie terrestre se conoce como triangulación. Este requiere la distancia desde el dispositivo en cuestión (receptor) a tres satélites como mínimo cuya localización es conocida de antemano. Entonces, cuando el receptor detecta el primer satélite, se genera una esfera a su alrededor cuyo radio será la distancia desde el receptor hasta dicho satélite. De este modo, el receptor se encontrará en un punto de la superficie de esa esfera, aún por determinar. Repetimos el proceso con otro satélite. Al crearse esa segunda esfera, el dispositivo receptor se encontrará en alguno de los puntos de corte de ambas esferas, por lo que el resto de puntos se descartan. De nuevo, se utiliza un tercer satélite de modo que se crea una nueva esfera que cortará a las anteriores. De este modo, con el corte de las tres esferas, y teniendo en cuenta que el dispositivo se encuentra en la superficie terrestre, tendremos el punto concreto buscado. En caso de querer conocer

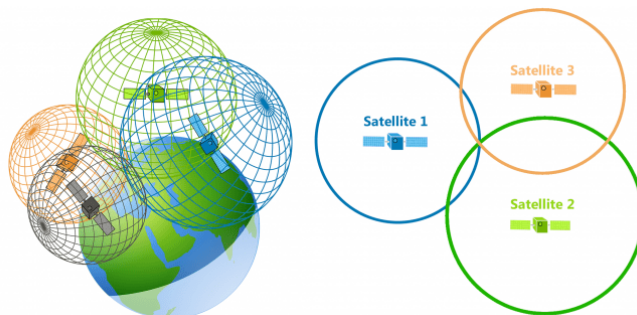


Figura 2.4: Método de triangulación GPS.

la altitud, bastará con usar un cuarto satélite como referencia y repetir el proceso. En la Figura 2.4 vemos un esquema del proceso que acabamos de explicar empleando 3 y 4 satélites.

El problema del Sistema de posicionamiento Global es que pierde mucha precisión cuando nos encontramos bajo superficies como túneles, tejados, etc. ya que la señal se debilita enormemente y el dispositivo no es capaz de llevar a cabo la triangulación de manera exacta. Es por esto, que descartamos este sistema para nuestro propósito puesto que transcurre en interiores.

2.2.2. Wi-Fi

2.2.3. Balizas Bluetooth

Los *beacons* o balizas bluetooth son pequeños dispositivos que emiten señales de radio. Estas señales los identifican de manera única y pueden ser captadas por otros dispositivos receptores, estableciéndose así un canal de comunicación que permanece vivo siempre que permanezcan en un radio de alcance de entre 10 y 30 metros como máximo, según el dispositivo. Es importante remarcar que generalmente los *beacons* no aceptan conexiones de otros dispositivos, lo que significa que no pueden registrar qué aparatos están cerca. Por tanto, esta simplicidad conlleva la necesidad de una aplicación capaz de interpretar la señal de la baliza. Otra característica de los *beacons* es que son de bajo consumo, es decir, sus baterías tienen una duración muy prolongada (aproximadamente 2 años) con una simple pila de botón, y su coste es reducido.

Esta tecnología se hizo muy popular en 2013 cuando Apple introdujo el *iBeacon* estándar y comenzó a utilizarlos para la navegación, más concretamente, para el posicionamiento en interiores. En 2015 Google, que no quiso quedarse atrás, lanzó el protocolo Eddystone, un protocolo, que a diferencia del de Apple, es de código abierto y ofrece soporte oficial tanto para iOS como para Android. Otras de las ventajas que incluye la versión de Google es que proporciona dos APIs que facilitan mucho el manejo de los *beacons* y que emite 4 paquetes distintos de información, en lugar de 1 como en el caso de los iBeacons. Estos paquetes son:

- **Eddystone-UID:** transmite un identificador de baliza único compuesto por 16 bytes, 10 de ellos referidos al espacio de nombres, que identifican a un grupo de *beacons*, y 6 que se refieren e identifican a la instancia particular dentro del grupo. Esta distinción entre espacio de nombres e instancia se pensó para optimizar el escaneo de beacons. Este paquete es idéntico al que ofrecen los *iBeacons*.
- **Eddystone-URL:** transmite una URL utilizando un formato de codificación.

- **Eddystone-TLM:** transmite información sobre la baliza. Como puede ser el nivel de la batería, los datos del sensor u otra información relevante para los administradores de balizas. Para poder usarse también como baliza necesita ir acompañado de otro tipo de marco (Eddystone-URL o Eddystone-UID).
- **Eddystone-EID:** emite un identificador encriptado que cambia periódicamente, de modo que su uso está restringido a aplicaciones y dispositivos autorizados.

Por todo esto, consideramos que el protocolo Eddystone es más ventajoso. Para el motivo de nuestro estudio, la navegación por interiores, esta tecnología bluetooth es muy útil: basta con colocar las balizas en puntos de interés (*landmarks*) del edificio en cuestión y tener una aplicación que interprete las señales que recibe para saber donde se encuentra exactamente el usuario. No obstante, hay que tener en cuenta que la disposición exacta de los *beacons* y la cantidad necesaria para mapear un área dependerá del edificio concreto.

Aunque la alternativa tecnológica Wi-Fi es también adecuada para solventar el problema del posicionamiento en interiores y cuenta con ventajas como la de aprovechar la infraestructura del edificio, también conlleva inconvenientes como que el posicionamiento basado en cliente-servidor no está soportado en dispositivos Apple, por lo que usando Wi-Fi estaríamos descartando a una gran catidad de los potenciales usuarios que cuenten con un dispositivo móvil iOS. Además entre las ventajas que nos ofrecen los *beacons* destaca su flexibilidad: podemos colocarlos donde queramos, son pequeños y ligeros y proporcionan una exactitud de 1 a 3 metros, frente a una de 5 a 15 con la señal Wi-Fi.

Capítulo 3

Descripción del Trabajo

En este capítulo abordaremos los aspectos tanto de diseño como de implementación de nuestra aplicación...TO BE CONTINUED

3.1. Previos a la implementación

3.1.1. Reunión en el Centro de Tiflotecnología e Innovación de la ONCE

3.1.2. Exactitud de los beacons

Antes de ponernos manos a la obra con la aplicación debíamos conocer cómo se comportaban los beacons en cuanto a distancias. La propia SDK de *Kontakt* nos permite conocer qué beacons están en nuestro rango en un momento determinado y actualizar esa lectura cada cierto tiempo. Además tiene implementado un sistema de categorías en función de cómo de cerca o lejos esté el dispositivo. Las categorías son las siguientes:

- IMMEDIATE: Si el dispositivo se encuentra a menos de 0,5m.
- NEAR: Si el dispositivo se encuentra entre los 0,5m y los 3m.
- FAR: Si el dispositivo se encuentra a más de 3m.
- UNKNOWN: The Unknown pone en la documentación...!!!! ?

Para comprobar la fiabilidad y exactitud de estas medidas hicimos uso de pequeñas y simples aplicaciones que nos permitieron de manera rápida y visual ir comprobando las medidas leídas con las reales tanto dentro de la facultad como dentro de otros edificios (nuestras propias casas).

3.1.2.1. Aplicación miniapp

Esta aplicación fue la primera toma de contacto con los beacons, queríamos una aplicación sencilla y visual que nos indicara la categoría de proximidad de los beacons. Como podemos ver en la Figura 3.1, los beacons considerados se encuentran debajo del panel de categorías y la categoría se resalta en verde. La lectura que se hace de los beacons se va actualizando cada x tiempo establecido.

La idea de esta aplicación fue la de establecer el grado de confianza que podíamos tener en las categorías ofrecidas por la SDK de *Kontakt*. El resultado fue muy positivo puesto

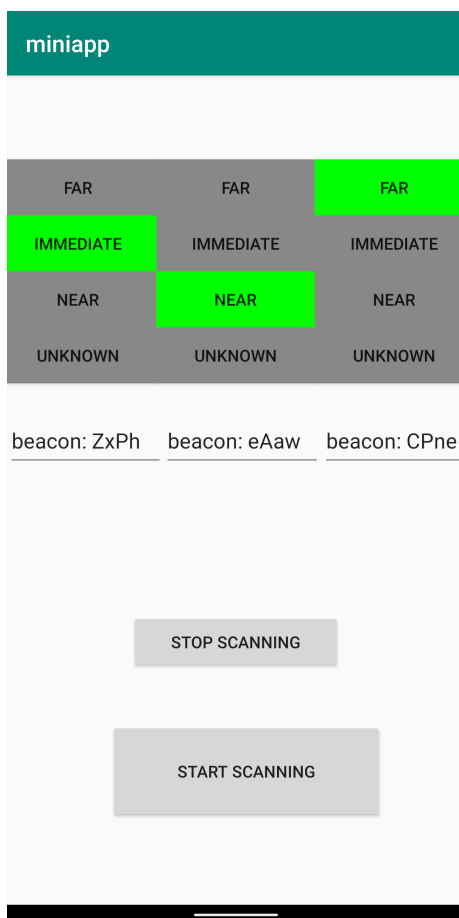


Figura 3.1: Interfaz de la aplicación miniapp.

que, a pesar de que las distancias fluctuaban, la categoría se asignaba correctamente sin grandes fluctuaciones.

3.1.2.2. Aplicación cuadrantes v1

En la Figura 3.2 vemos la interfaz principal de la aplicación *cuadrantes v1*, esta fue diseñada, en inicio, para saber a qué distancia debían estar los beacons y poder así dividir las distintas plantas de la facultad en cuadrantes, de esta manera podríamos construir un grafo cuyos nodos fueran estos cuadrantes y, que representara el mapa de la facultad.

Es una aplicación muy sencilla, cuya función es recoger cada cierto tiempo, en la figura lo hace cada dos segundos, la señal de los beacons que están a su alcance, mostrar la categoría de su distancia y la distancia a la que se encuentran en metros. La razón por la que llevamos un registro de qué está en el rango cada cierto tiempo es que notamos que las distancias fluctuaban, notoriamente en algunos casos, y quisimos hacer un estudio previo al desarrollo de la aplicación.

3.1.2.3. Resultados

A continuación presentamos los resultados de las distintas mediciones realizadas. Veamos primero los gráficos, en los que podemos ver cómo se comportan los beacons si comparamos la medida real con la dada por la aplicación.

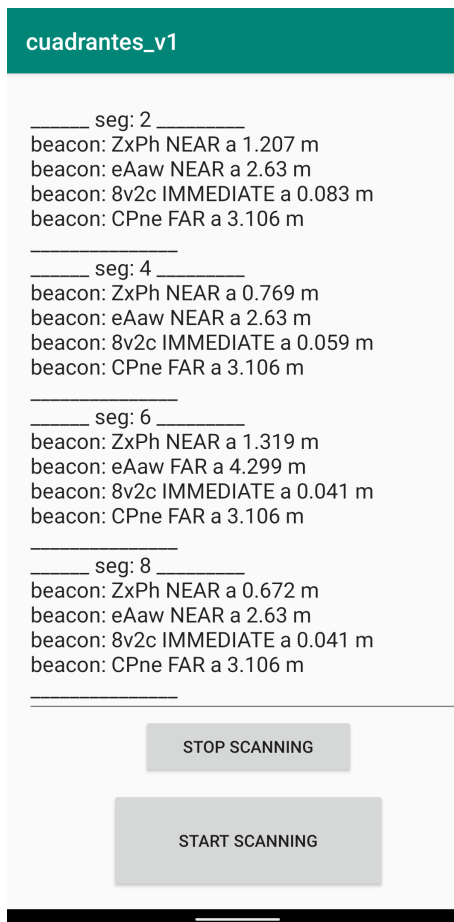


Figura 3.2: Interfaz de la aplicación cuadrantes v1.

En la Figura 3.3 vemos las lecturas que nos ha dado la aplicación *cuadrantes v1* cuando hemos leído las distancias del beacon con identificador CPne. De esta gráfica destacamos que a grandes distancias, en este caso 5m, la distancia comienza a no ser muy fiable, a la par que muy fluctuante. Sin embargo, podemos ver cómo la medida a dos metros de distancia es la bastante exacta, fluctúa en menos de un metro a lo largo de casi toda la medición. Por último, la medición a menos de un metro, que se corresponde con la línea amarilla presenta fluctuaciones muy pequeñas, poco relevantes para nuestra aplicación.

En el caso de la Figura 3.4 el comportamiento es similar, a pesar de que tenemos un par de picos importantes en los primeros segundos de medición. La Figura 3.5 recoge tres mediciones distintas para una misma distancia, cada una de ellas recoge unos valores distintos y bastante bajos, lejos de los aproximadamente 4 metros reales. Una posible explicación a este fenómeno nos lo puede dar la Figura 3.6, que recoge la medición de dos beacons situados a la misma distancia y uno encima del otro. Como vemos, la medición del beacon situado abajo es bastante más baja, en comparación. Esto nos advierte de que la señal bluetooth es bastante dependiente de los obstáculos, el entorno, ¡hasta las condiciones meteorológicas!.

3.1.2.4. Mediciones en lugares clave de la facultad

También se realizaron mediciones sobre posibles posiciones reales de los beacons dentro de la facultad. Para ello se colocaron estos beacons en lugares clave, como las puertas de

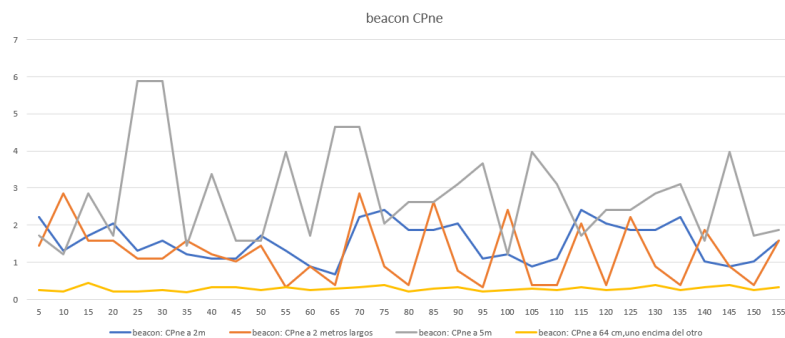


Figura 3.3: Gráfico con las distancias medidas al beacon CPne.

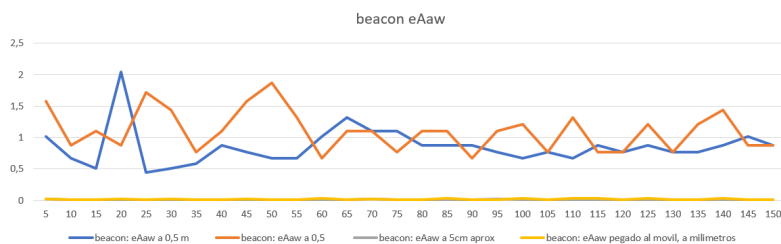


Figura 3.4: Gráfico con las distancias medidas al beacon eAaw.

la calle, de las aulas, delegación de alumnos, o secretaría, y, con ayuda de nuestra app *cuadrantes v1* se recogieron los datos medidos, que se muestran a continuación:

LOS DATOS QUE VIENEN ESTÁN EN EL ARCHIVO `medicionesFacIad.txt` QUIERO PREGUNTAR CÓMO METER ESTO Y SI METERLO TODO, en cualquier caso creo que habría que poner el mapa y donde están los beacons y todo eso.

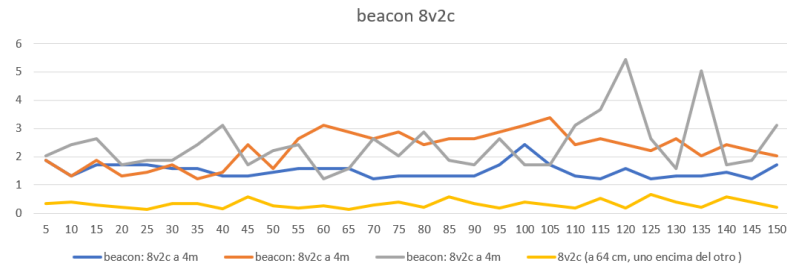


Figura 3.5: Gráfico con las distancias medidas al beacon 8v2c.

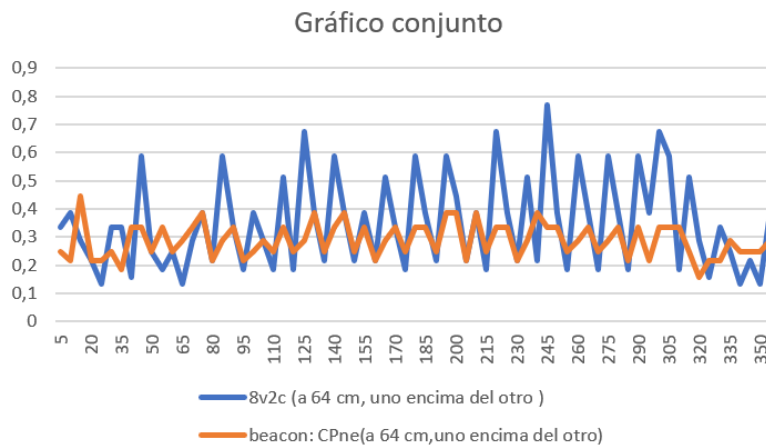


Figura 3.6: Gráfico con las distancias medidas conjuntas de los beacons 8v2c y CPne, estando uno sobre otro.

Capítulo 4

Conclusiones y Trabajo Futuro

Conclusiones del trabajo y líneas de trabajo futuro.

Antes de la entrega de actas de cada convocatoria, en el plazo que se indica en el calendario de los trabajos de fin de máster, el estudiante entregará en el Campus Virtual la versión final de la memoria en PDF. En la portada de la misma deberán figurar, como se ha señalado anteriormente, la convocatoria y la calificación obtenida. Asimismo, el estudiante también entregará todo el material que tenga concedido en préstamo a lo largo del curso.

Chapter 5

Introduction

Introduction to the subject area. This chapter contains the translation of Chapter 1.

Chapter 6

Conclusions and Future Work

Conclusions and future lines of work. This chapter contains the translation of Chapter 4.

Bibliografía

*Y así, del mucho leer y del poco dormir, se le
secó el cerebro de manera que vino a perder el
juicio.*

(modificar en Cascaras\bibliografia.tex)

Miguel de Cervantes Saavedra

Lazarillo. url<https://www.lazarillo.app/es/>, 2014.

AUTORES, V. Wayfindr. url<https://www.wayfindr.net/>, 2014.

ENVISION. Challenges blind people face when living life. Disponible en <https://www.letsenvision.com/blog/challenges-blind-people-face-when-living-life>.

GÓMEZ ULLA, F. Informe sobre la ceguera en españa. Disponible en http://www.seeof.es/archivos/articulos/adjunto_20_1.pdf.

POZO-RUZ, A., RIBEIRO, A., GARCÍA-ALEGRE, M., GARCÍA, L., GUINEA, D. y SANDOVAL, F. Sistema de posicionamiento global (gps): Descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro. *ETS ingenieros de Telecomunicaciones. Universidad de Malaga*, 2000.

RIVERO, F. Informe di trendia: Mobile en españa y en el mundo 2019. Disponible en <https://mktefa.ditrendia.es/hubfs/Ditrendia-Informe%20Mobile%202019.pdf>.

Apéndice **A**

Título del Apéndice A

Contenido del apéndice

Apéndice	B
----------	----------

Título del Apéndice B

Este texto se puede encontrar en el fichero Cascaras/fin.tex. Si deseas eliminarlo, basta con comentar la línea correspondiente al final del fichero TFMTeXiS.tex.

*–¿Qué te parece desto, Sancho? – Dijo Don Quijote –
Bien podrán los encantadores quitarme la ventura,
pero el esfuerzo y el ánimo, será imposible.*

*Segunda parte del Ingenioso Caballero
Don Quijote de la Mancha
Miguel de Cervantes*

*–Buena está – dijo Sancho –; firmela vuestra merced.
–No es menester firmarla – dijo Don Quijote–,
sino solamente poner mi rúbrica.*

*Primera parte del Ingenioso Caballero
Don Quijote de la Mancha
Miguel de Cervantes*

