



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Grado en Ingeniería Informática



TFG del Grado en Ingeniería Informática

Aplicación móvil para la generación de rutas
turísticas sostenibles basadas en OSM y
modelos LLM para promoción de ODS11



Presentado por Fernando Pisot Serrano
en Universidad de Burgos — 13 de agosto
de 2024

Tutor: Carlos López Nozal



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Grado en Ingeniería Informática



D. Carlos López Nozal, profesor del departamento de Ingeniería Informática, área de Lenguajes y Sistemas Informáticos.

Expone:

Que el alumno D. Fernando Pisot Serrano, con DNI 70873328R, ha realizado el Trabajo final de Grado en Ingeniería Informática titulado título de TFG.

Y que dicho trabajo ha sido realizado por el alumno bajo la dirección del que suscribe, en virtud de lo cual se autoriza su presentación y defensa.

En Burgos, 13 de agosto de 2024

Vº. Bº. del Tutor:

D. tutor

Resumen

Se busca construir una aplicación móvil con Flutter que proponga al usuario rutas turísticas, generadas mediante la utilización de modelos de lenguaje de gran escala *Large Language Models (LLM)* y el framework **LangChain**. La ruta turística conectará estos lugares que llamaremos puntos de interés y la información será mostrada al usuario a través de herramientas opensource como *Open Street Map (OSM)*.

La aplicación se enfocará en las preferencias del usuario y promocionará rutas optimizadas para ciclistas y peatones, que conecten estos *Punto de Interés (POI)* de manera que se fomente la **movilidad sostenible** en el lugar a visitar.

Esta aplicación se alinea con el concepto de **Smart City**, promoviendo activamente los *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*, con un enfoque particular en el *Ciudades y Comunidades Sostenibles (ODS11)*.

Descriptores

LLM, LangChain, ODS, ODS11, OSM, Smart City, Flutter, Turismo Sostenible, Movilidad Sostenible

Abstract

The goal is to build a mobile application with Flutter that suggests tourist routes to users, generated using large language models *Large Language Models* (LLM) and the **LangChain** framework. The tourist route will connect various locations, referred to as points of interest, and the information will be displayed to the user through open-source tools such as *Open Street Map* (OSM).

The application will focus on user preferences and promote routes optimized for cyclists and pedestrians, connecting these *Punto de Interés* (POI) in a way that fosters **sustainable mobility** in the destination.

This application aligns with the concept of *Smart City*, actively promoting the *Objetivos de Desarrollo Sostenible* (ODS), with a particular focus on *Ciudades y Comunidades Sostenibles* (ODS11).

Keywords

LLM, LangChain, SDGs, SDG11, OSM, Smart City, Flutter, Sustainable Tourism, Sustainable Mobility

Índice general

Índice general	iii
Índice de figuras	v
Índice de tablas	vi
1. Introducción	1
2. Objetivos del proyecto	3
2.1. Objetivos Funcionales	3
2.2. Objetivos Técnicos	4
2.3. Objetivos Personales	4
3. Conceptos teóricos	5
3.1. Large Language Models (LLM)	5
3.2. Retrieval-Augmented Generation (RAG)	6
3.3. Agentes	6
3.4. Imágenes	6
3.5. Listas de items	7
3.6. Tablas	8
4. Técnicas y herramientas	9
4.1. LangChain	9
5. Aspectos relevantes del desarrollo del proyecto	11
5.1. Elección de agentes	12
6. Trabajos relacionados	13

7. Conclusiones y Líneas de trabajo futuras	19
Bibliografía	21

Índice de figuras

3.1. Autómata para una expresión vacía	7
6.1. Chatbot de Wanderlog	14

Índice de tablas

3.1. Herramientas y tecnologías utilizadas en cada parte del proyecto	8
6.1. Aplicaciones Similares	16
6.2. Comparación de aplicaciones similares	17

1. Introducción

El crecimiento de población en las ciudades [5] y el turismo como catalizador de la gentrificación supone el gran campo de batalla para gobiernos locales de los países occidentales que han visto como la falta de una legislación controlada del turismo supone un grave problema afectando múltiples niveles de la convivencia, economía y el medio ambiente. A pesar de los avances en la promoción de un nuevo modelo urbano, muchas urbes aún enfrentan desafíos significativos en la integración de prácticas sostenibles en la vida cotidiana de sus habitantes. La falta de información accesible y personalizada sobre rutas y actividades que promuevan la movilidad sostenible y el turismo responsable es un marco común que se debe desarrollar si se quiere evitar que el conflicto crezca sin fin. Esta brecha de información impide que tanto residentes como turistas adopten hábitos más sostenibles que beneficien a la comunidad local y al medio ambiente en un marco global.

Fomentar el Turismo Sostenible fomentando el *Ciudades y Comunidades Sostenibles* (ODS11) supone una gran oportunidad para intentar contrarrestar la deriva actual. Y es que el turismo es un motor fundamental de la economía a nivel global y por tanto tiene la capacidad de transformarse para ayudar a la sostenibilidad del planeta como bien recoge Vaid [6] indicando metas para que el turismo facilite la consecución de los *Objetivos de Desarrollo Sostenible* (ODS). Destaca en este marco de trabajo el ODS11, que se centra en hacer que las ciudades y los asentamientos humanos sean sostenibles. Según el informe de la *UNESCO* sobre el ODS 11 [2], este objetivo no solo es crucial por sí mismo, sino que actúa como un multiplicador, influyendo indirectamente en la consecución de otros ODS debido a su enfoque integral y transversal.

En este contexto, la aplicación móvil que proponemos se alinea con estos esfuerzos al proporcionar una herramienta práctica y accesible para la

promoción del *Ciudades y Comunidades Sostenibles* (ODS11) y la movilidad sostenible. La aplicación producto de este TFG, desarrollada en Flutter, utiliza modelos de lenguaje a gran escala (*Large Language Models* (LLM)) y el marco de trabajo **LangChain** para generar rutas turísticas personalizadas que conecten puntos de interés (*Punto de Interés* (POI)) que se visualizan mediante herramientas de código abierto como *Open Street Map* (OSM). La aplicación se enfoca en las preferencias del usuario, ofreciendo rutas optimizadas para ciclistas y peatones promoviendo así la movilidad sostenible. Al integrar datos y tecnología avanzada, esta solución no solo facilita una experiencia turística enriquecedora, sino que también fomenta prácticas sostenibles como la deslocalización del turismo que lejos de suponer un impacto negativo para los turistas [4] puede también sostener la forma de vida las comunidades locales, **generando así un impacto positivo en el ámbito local y en medio ambiente global.**

2. Objetivos del proyecto

2.1. Objetivos Funcionales

Estos objetivos se centran en las funcionalidades y características que debe tener la aplicación para satisfacer las necesidades y expectativas de los usuarios. A continuación se detallan los objetivos funcionales del proyecto:

- **Propuesta de Rutas Turísticas Personalizadas:** La aplicación debe ser capaz de generar rutas turísticas personalizadas basadas en las preferencias del usuario utilizando modelos de lenguaje de gran escala (*Large Language Models (LLM)*) y el framework **LangChain**.
- **Obtener los Puntos de Interés (*Punto de Interés (POI)*):** La aplicación debe identificar y conectar diversos puntos de interés, proporcionando información relevante sobre cada uno.
- **Visualización de Rutas en Mapa:** La aplicación debe mostrar las rutas sugeridas en un mapa utilizando herramientas libres como *Open Street Map (OSM)*.
- **Optimización para Ciclistas y Peatones:** La aplicación debe promover la movilidad sostenible sugiriendo rutas optimizadas para ciclistas y peatones.
- **Interfaz Intuitiva y Amigable:** El usuario debe interactuar con la aplicación de manera intuitiva, siendo fácil de usar por los usuarios las diferentes funcionalidades.

2.2. Objetivos Técnicos

Los objetivos técnicos se refieren a los desafíos y metas técnicas que se deben abordar para desarrollar el software. Estos objetivos abarcan aspectos como la arquitectura del sistema, las tecnologías a utilizar y las metodologías de desarrollo. A continuación se detallan los objetivos técnicos del proyecto:

- **Implementación de *Large Language Models (LLM)* y *LangChain*:** Integrar modelos de lenguaje a gran escala (**LLM**) y el framework **LangChain** para la generación de rutas y procesamiento de información relevante y ser capaz de integrar dicho conocimiento para ser mostrada en la aplicación móvil así como en un prototipo que muestre de manera incremental la mejora obtenida por parte de los modelos usando diferentes técnicas a la hora de interactuar con ellos como puede ser el uso de técnicas *Retrieval Augmented Generation (RAG)*, agentes, etc.
- **Uso de Herramientas Open-Source:** Emplear medios abiertos, libres y gratuitos como *Open Street Map (OSM)* para la visualización de mapas y rutas en vez de utilizar servicios que puedan incurrir en gastos para el usuario.

2.3. Objetivos Personales

- **Conocimiento avanzado en **LLM**:** dada la evolución de esta tecnología, los amplios campos en los que se puede utilizar, obtener una base de conocimientos sería un objetivo que me permitiría expandir mi futuro académico y por tanto distinguir mi perfil profesional especializándome en este sector que se encuentra en fuerte expansión.
- **Creación de aplicación móvil profesional:** de igual manera poner en práctica lo aprendido en varios cursos de **Dart y Flutter** puede contribuir a que la aplicación de este proyecto sea parte de mi portfolio con aplicaciones que muestren mis habilidades a futuros empleadores.
- **Consecución del **TFG** y conclusión de Grado:** al no haber terminado la Ingeniería Técnica Informática por no haber realizado un Proyecto Fin de Carrera en mi pasado, la consecución de este **TFG** sirve para convertirme en ingeniero al ser la última asignatura del Grado y supone la consecución de una carga personal de casi veinte años.

3. Conceptos teóricos

En este capítulo se llevará a cabo una descripción de los conceptos necesarios para comprender el funcionamiento de la aplicación desarrollada. Es necesario tener un conocimiento acerca de los modelos del lenguaje que proporcionan el origen de datos en los que se basan los *Punto de Interés (POI)*.

3.1. Large Language Models (LLM)

Empezamos por el concepto más general para luego ir acercándonos a la parte más concreta del desarrollo de la aplicación. Los modelos de lenguaje a gran escala es un tipo de inteligencia artificial que ha sido entrenado para comprender *Procesamiento del Lenguaje Natural (NLP)* que es la manera en que se comunican las personas. Estas inteligencias artificiales son entrenadas entonces con ingentes cantidades de datos que los hacen capaces de comprender peticiones, responder a las mismas en los mismos términos de lenguaje generando una especie de comunicación entre el usuario y la máquina.

Uso de LLMs en la aplicación de este TFG

Y subsecciones.

3.2. Retrieval-Augmented Generation (RAG)

Generación Aumentada por Recuperación es una técnica usada los modelos de inteligencia artificial en la cual se obtiene información para nutrir a un modelo de gran escala que ya ha sido entrenado, de esta manera amplía su conocimiento y es capaz de generar una respuesta más precisa, actualizada y completa. Para ello, selecciona la información más afín de los datos aportados que se le han facilitado con la información requerida por la entrada del modelo. Veamos cómo lo consigue:

1. Vectorización: también llamada embeddings: consiste en transformar la información facilitada y representarla en vectores de n dimensiones.
2. segundo item.

Uso de RAGs en la aplicación de este TFG

3.3. Agentes

Pese a que los LLM como se ha visto en su descripción son herramientas muy poderosas que han cambiado la visión del mundo en todos sus campos productivos, sufren de una limitación: el momento en el que terminan su entrenamiento los modelos y son puestos en marcha para el público supone una brecha de entrada de conocimiento del mundo que le rodea y por tanto si una pieza vital de información es requerida en dicho periodo de tiempo, el modelo puede alucinar o no dar con una salida satisfactoria. Para cubrir este hueco de información surgen los Agentes. Estos elementos pueden ser vistos como aplicaciones que alimentarán al modelo con un conjunto de herramientas tales como motores de búsqueda, bases de datos, páginas web, etc. Una vez provisto con esta información el modelo es capaz de razonar acerca de las acciones que debe cumplir para obtener el mejor resultado.

3.4. Imágenes

Se pueden incluir imágenes con los comandos standard de \LaTeX , pero esta plantilla dispone de comandos propios como por ejemplo el siguiente:



Figura 3.1: Autómata para una expresión vacía

Las referencias se incluyen en el texto usando cite [7]. Para citar webs, artículos o libros [3], si se desean citar más de uno en el mismo lugar [1, 3].

3.5. Listas de items

Existen tres posibilidades:

- primer item.
- segundo item.

1. primer item.
2. segundo item.

Primer item más información sobre el primer item.

Segundo item más información sobre el segundo item.

■

Herramientas	App	AngularJS	API REST	BD	Memoria
HTML5		X			
CSS3		X			
BOOTSTRAP		X			
JavaScript		X			
AngularJS		X			
Bower		X			
PHP			X		
Karma + Jasmine		X			
Slim framework			X		
Idiorm			X		
Composer			X		
JSON		X	X		
PhpStorm		X	X		
MySQL				X	
PhpMyAdmin				X	
Git + BitBucket		X	X	X	X
MikTeX					X
TeXMaker					X
Astah					X
Balsamiq Mockups		X			
VersionOne		X	X	X	X

Tabla 3.1: Herramientas y tecnologías utilizadas en cada parte del proyecto

3.6. Tablas

Igualmente se pueden usar los comandos específicos de \LaTeX o bien usar alguno de los comandos de la plantilla.

Algunos conceptos teóricos de \LaTeX ¹.

¹Créditos a los proyectos de Álvaro López Cantero: Configurador de Presupuestos y Roberto Izquierdo Amo: PLQuiz

4. Técnicas y herramientas

Esta parte de la memoria tiene como objetivo presentar las técnicas metodológicas y las herramientas de desarrollo que se han utilizado para llevar a cabo el proyecto. Si se han estudiado diferentes alternativas de metodologías, herramientas, bibliotecas se puede hacer un resumen de los aspectos más destacados de cada alternativa, incluyendo comparativas entre las distintas opciones y una justificación de las elecciones realizadas. No se pretende que este apartado se convierta en un capítulo de un libro dedicado a cada una de las alternativas, sino comentar los aspectos más destacados de cada opción, con un repaso somero a los fundamentos esenciales y referencias bibliográficas para que el lector pueda ampliar su conocimiento sobre el tema.

4.1. LangChain

En el último año LangChain se ha establecido como uno de los marcos de trabajo más populares del mercado. Esta herramienta multiusos aúna aplicaciones tan necesarias para el mundo de los *Large Language Models (LLM)* como pueden ser base de datos de vectores, memoria, prompts, herramientas, agentes como ya hemos visto en la sección 3.3 y cadenas de pensamiento (de así su nombre chain). En el prototipo de prompting de este TFG se puede ver el anidamiento de componentes como son estas cadenas para obtener la mejor entrada posible al modelo y obtener la mejor salida posible, estas cadenas pueden unir componentes como prompts, retrievers, processors, tools o incluso otras cadenas para procesos más complejos. Con todo ello LangChain supone una manera de combinar el poder de los LLM con la lógica de cualquier aplicación.

5. Aspectos relevantes del desarrollo del proyecto

Este apartado pretende recoger los aspectos más interesantes del desarrollo del proyecto, comentados por los autores del mismo. Debe incluir desde la exposición del ciclo de vida utilizado, hasta los detalles de mayor relevancia de las fases de análisis, diseño e implementación. Se busca que no sea una mera operación de copiar y pegar diagramas y extractos del código fuente, sino que realmente se justifiquen los caminos de solución que se han tomado, especialmente aquellos que no sean triviales. Puede ser el lugar más adecuado para documentar los aspectos más interesantes del diseño y de la implementación, con un mayor hincapié en aspectos tales como el tipo de arquitectura elegido, los índices de las tablas de la base de datos, normalización y desnormalización, distribución en ficheros³, reglas de negocio dentro de las bases de datos (EDVHV GH GDWRV DFWLYDV), aspectos de desarrollo relacionados con el WWW... Este apartado, debe convertirse en el resumen de la experiencia práctica del proyecto, y por sí mismo justifica que la memoria se convierta en un documento útil, fuente de referencia para los autores, los tutores y futuros alumnos.

En este apartado se justificarán las decisiones tomadas acerca del desarrollo de la aplicación, tanto en la construcción de los prototipos como en la generación de la aplicación móvil y sus herramientas y documentación.

Este apartado pretende recoger los aspectos más interesantes del desarrollo del proyecto, comentados por los autores del mismo. Debe incluir desde la exposición del ciclo de vida utilizado, hasta los detalles de mayor relevancia de las fases de análisis, diseño e implementación. Se busca que no sea una mera operación de copiar y pegar diagramas y extractos del

código fuente, sino que realmente se justifiquen los caminos de solución que se han tomado, especialmente aquellos que no sean triviales. Puede ser el lugar más adecuado para documentar los aspectos más interesantes del diseño y de la implementación, con un mayor hincapié en aspectos tales como el tipo de arquitectura elegido, los índices de las tablas de la base de datos, normalización y desnormalización, distribución en ficheros³, reglas de negocio dentro de las bases de datos (EDVHV GH GDWRV DFWLYDV), aspectos de desarrollo relacionados con el WWW... Este apartado, debe convertirse en el resumen de la experiencia práctica del proyecto, y por sí mismo justifica que la memoria se convierta en un documento útil, fuente de referencia para los autores, los tutores y futuros alumnos.

5.1. Elección de agentes

A la hora de obtener información que procesar por el método **RAG** se valoraron muchas fuentes de datos. Uno de los orígenes de datos de información turística favoritos de los usuarios es Tripadvisor. Contar con la información actualizada de este gigante turístico suponía un gran aliciente. Sin embargo se desestimó su uso por varias razones: la información se podía obtener a través del método scraping o webscraping que toma la información en bruto de la página web y se podía postprocesar, sin embargo, dicha práctica incumpliría los Terminos de Uso del Servicio, ya que Tripadvisor usa un acceso a través de API para obtener la información de su base de datos. Una vez más y cómo ya pasara con ciertos servicios de Google, son gratuitos en un principio pero depende de su uso. En primer lugar se necesita una forma de pago para poder empezar a usar el servicio y su utilización si sobrepasa las 5.000 peticiones al mes incurriría en gastos al desarrollador. En este caso y como pasara con Google y OSM se buscó alternativas que funcionaran de manera análoga a Tripadvisor para nutrir el **RAG**.

6. Trabajos relacionados

A continuación, se comparan aplicaciones de referencia o similares usadas por usuarios que puedan ser objetivos.

Tripadvisor

Tripadvisor permite a los usuarios planificar y organizar sus viajes, con recomendaciones basadas en reseñas y experiencias de otros viajeros. Se puede planificar un viaje personalizado indicando fechas pero prioriza los tours de pago, lo que hace difícil seleccionar rutas saludables gratuitas. Además establecimientos pueden promocionar en la plataforma para mejorar su visibilidad lo que interfiere con la objetividad cuando se busca un lugar a visitar.

Wanderlog

Wanderlog es una aplicación para la planificación de viajes que simplifica la creación de itinerarios, permitiendo agregar lugares de interés fácilmente. La aplicación tiene infinidad de funcionalidades. Tiene una versión Pro con asistente IA pagando 5 euros al mes. Gratuitamente se pueden enviar 5 mensajes, pero carece de contexto el chat. En la imagen se muestra como da lugares de visita de Salamanca por defecto (que se podría obtener de cualquier LLM usando un prompting sencillo) y luego como cambia y no tiene en contexto la respuesta anterior:

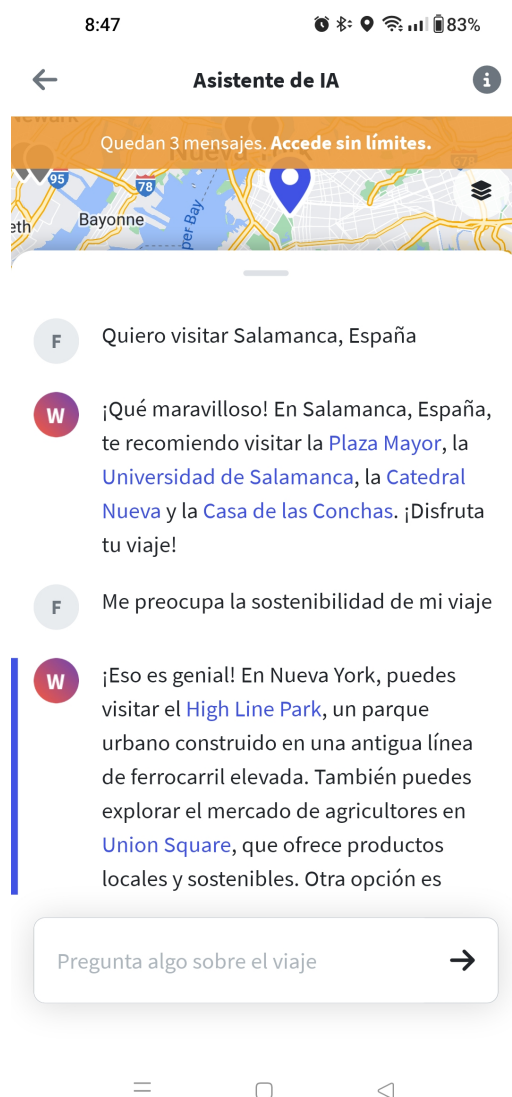


Figura 6.1: Chatbot de Wanderlog

Visit A City

Visit A City ofrece itinerarios prediseñados para destinos turísticos, permitiendo a los usuarios explorar lugares recomendados según su tiempo disponible. Aunque el uso de la aplicación es gratis, las rutas son todas comerciales y por tanto de pago, aunque existen lo que la aplicación llama planes que son itinerarios generados por usuarios que son gratuitos. Las rutas usan también aplicaciones de terceros.

Tiqets - Museos y Atracciones

Tiqets es una aplicación que permite comprar entradas para museos y atracciones, ofreciendo guías digitales para planificar visitas. Sólo muestra información de museos, la gestión de mapas es fija, no se puede modificar el zoom y para rutas usa una aplicación por defecto del dispositivo en el que se ejecuta.

Chatbot - <https://github.com/jrg1013/chatbot>

Trabajo Fin de Carrera de José María Redondo Guerra que tuvo como tutores a José Ignacio Santos Martín y Carlos López Nozal.

Este trabajo fue desarrollado usando *Large Language Models (LLM)* para la generación de un chat con un sistema **RAG** para obtener la información de las normas de los **TFG** y así mejorar sus respuestas.

Visualización de las actividades socioculturales en Castilla y León CULTURALCyL

Trabajo Fin de Carrera de Yanela Lozano Pérez con tutores José Ignacio Santos, Virginia Ahedo y Silvia Díaz. Esta aplicación mostraba información de eventos culturales para lo cual usaba una aplicación móvil con servicios API. Es especialmente interesante como ejemplo de una aplicación móvil con una fuerte característica de usabilidad, ya que se centra en la visualización de mucha información que debe recibir el usuario de manera clara y sencilla.

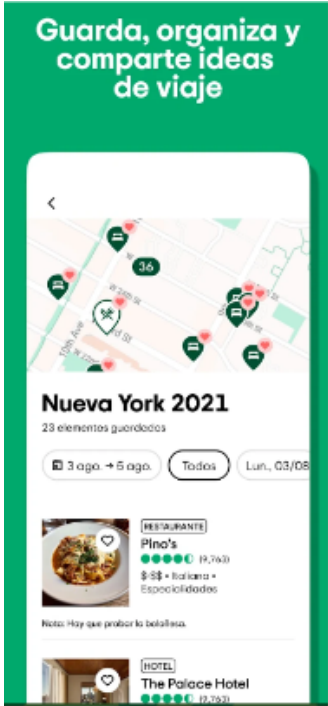

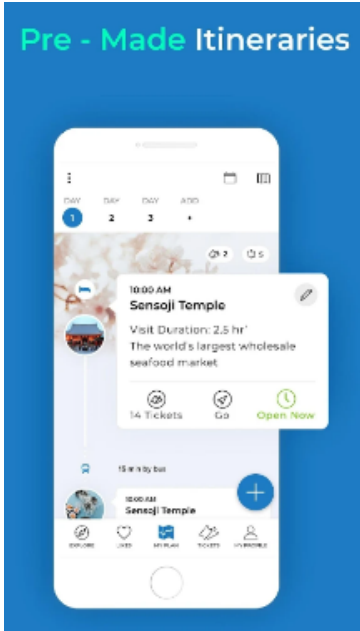
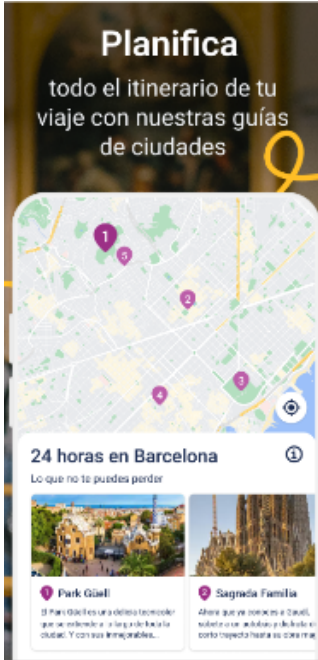
<div><p>Tripadvisor</p></div>	<div><p>Wanderlog</p></div>
<div><p>Visit A City</p></div>	<div><p>Tigets - Museos y Atracciones</p></div>

Tabla 6.1: Aplicaciones Similares

Característica	Tripadvisor	Wanderlog	Visit A City	Tiquets	<i>Eco City Tour</i>
Versión de pago	Sí	Sí	No	No	No
Recomendaciones tienen en cuenta factores de sostenibilidad	No	No	No	No	Sí
Modificación dinámica de rutas	Sí	No	No	No	Sí
Intereses de terceros pueden afectar a los resultados	Sí	Sí	No	No	No
Fuente de datos	Propia	Usuarios - LLM	Usuarios	Propia	LLM

Tabla 6.2: Comparación de aplicaciones similares

7. Conclusiones y Líneas de trabajo futuras

Conclusiones

Líneas de trabajo futuras

Existen múltiples maneras de expandir y llenar de nuevas funcionalidades a la aplicación llevada a cabo. Por citar algunas que puedan resultar más útiles al usuario:

- **Gamificación:** Recompensas por rutas completadas o distancia recorrida con un medio ecológico.
- **Ratings:** Valorar las rutas permitiendo la búsqueda de los mismos.
- **Mejora en planificador de rutas:** Determinación de la zona de sombra.
- **Multiplataforma:** La aplicación podría beneficiarse de su adaptación a otras plataformas, donde se tendría que tener en cuenta principalmente los permisos de localización. Al utilizar Flutter esta adaptación se podría realizar sobre el mismo código base, facilitando en gran medida su consecución.

Bibliografía

- [1] Zachary J Bortolot and Randolph H Wynne. Estimating forest biomass using small footprint lidar data: An individual tree-based approach that incorporates training data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59(6):342–360, 2005.
- [2] G.H. Ionescu, D. Firoiu, A.-M. Manda, R. Pîrvu, E. Jianu, and M.-E. Antoniu. Progress towards the 2030 Sustainable Development Goals for EU Urban Communities (SDG11). *Sustainability (Switzerland)*, 16(11), 2024.
- [3] John R. Koza. *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*. MIT Press, 1992.
- [4] O. Mitas, R. Badal, M. Verhoeven, K. Verstraten, L. de Graaf, H. Mitsova, W. Weijdemá, and J. Klijs. Tell Me Where to Go: An Experiment in Spreading Visitor Flows in The Netherlands. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(8), 2023.
- [5] M.J. Nieuwenhuijsen. Urban and transport planning pathways to carbon neutral, liveable and healthy cities; A review of the current evidence. *Environment International*, 140, 2020.
- [6] J. Vaid. SUSTAINABLE TOURISM: A ROADMAP FOR THE 2030 SUSTAINABLE DEVELOPMENT AGENDA. *Contemporary Studies in Economic and Financial Analysis*, 113B:21–26, 2024.
- [7] Wikipedia. Latex — wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=LaTeX&oldid=84209252>, 2015. [Internet; descargado 30-septiembre-2015].