



ESCUELA DE INGENIERÍA DE FUENLABRADA

GRADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS  
AUDIOVISUALES Y MULTIMEDIA

**TRABAJO FIN DE GRADO**

EVOLUCIÓN DE PROYECTOS FOSS EN GITHUB

Autor : Paula Sepúlveda Membrilla

Tutor : Dr. Gregorio Robles Martínez

Curso académico 2023/2024



# Trabajo Fin de Grado

Evolución de proyectos FOSS en GitHub

**Autor :** Paula Sepúlveda Membrilla

**Tutor :** Dr. Gregorio Robles Martínez

La defensa del presente Proyecto Fin de Carrera se realizó el día                      de  
de 2024, siendo calificada por el siguiente tribunal:

**Presidente:**

**Secretario:**

**Vocal:**

y habiendo obtenido la siguiente calificación:

**Calificación:**

Fuenlabrada, a                      de                      de 202X



*Cómo no vas a poder,  
si hay flores rompiendo el pavimento.*



# Agradecimientos

Con la finalización de este proyecto llega el broche final de mi etapa universitaria, dejando atrás un período dulce y amargo, donde los momentos complicados me han hecho crecer tanto en lo académico como en lo personal.

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia el hecho de creer siempre en mí, llegar hasta aquí no habría sido posible sin vosotros, gracias por vuestra paciencia. A mis padres, gracias por aguantar mi frustración y darme cordura en los momentos difíciles, por enseñarme que con esfuerzo y dedicación puedo conseguir grandes cosas. A mi hermano, el mayor espectador de mi vida, tu apoyo incondicional me da alas.

Por otro lado, gracias a todos los amigos que me acompañan en el camino, tanto a los de siempre como a los recién llegados. Para mí la amistad tiene un valor enorme y me hacéis sentirlo cada día. En especial gracias a esas amigas, que siempre están cerca cuando todo pesa un poco más y que están dispuestas a celebrar mis logros de todo corazón, me hacéis sentir muy afortunada. Una mención especial para esas compañeras de universidad que se han convertido en amigas, siempre se quedará conmigo vuestra generosidad, espero que nos quede mucho más por compartir.

Por último, gracias a mi tutor de proyecto, Gregorio Robles, por la inspiración y los conocimientos, y por tu ayuda durante la realización de este proyecto.

A todos ellos, gracias por el apoyo en esta etapa y por su aportación de distintas maneras a este Trabajo de Fin de Grado.





# Resumen

Este proyecto consiste en un análisis de repositorios FOSS<sup>1</sup> alojados en GitHub, con el objetivo de estudiar la evolución del código abierto a lo largo de los años, así como de explorar la presencia de posibles tendencias y/o patrones en este sector.

Para llevar acabo este análisis, se ha desarrollado una herramienta que permite analizar todas las líneas de código presentes en un repositorio de GitHub. Esta herramienta realiza un recorrido ascendente por todo el árbol del repositorio, analizando cada archivo en cada subdirectorio. El análisis se basa en el uso del comando *git blame*, lo que permite obtener datos relevantes de cada versión del archivo investigando su historial de revisiones. Se ha hecho una selección de repositorios teniendo en cuenta diversos criterios, tales como el número de colaboradores y sus contribuciones, la diversidad de lenguajes de programación utilizados, la relevancia del proyecto en la plataforma GitHub y su vigencia en la actualidad. Se han incluido tanto proyectos de reciente creación como aquellos con una larga trayectoria, para proporcionar una visión más completa y representativa del estado actual del código abierto.

Empleando la herramienta desarrollada, se han recopilado datos interesantes como el lenguaje de programación empleado, el autor y la fecha de creación cada la línea de código, así como el número de revisiones de cada archivo. Una vez recopilados los datos, se ha procedido a su filtrado e inserción en una base de datos relacional organizada en tres tablas: *Repositories*, *Files* y *Code*. Para conseguir el objetivo de este proyecto, se han desarrollado diversas métricas e índices que permiten realizar un análisis estadístico de los datos. Esta metodología se ha aplicado a la información recopilada, y los resultados del análisis se han representado de manera gráfica, facilitando la comprensión de la evolución de los proyectos a lo largo de su historial de revisiones, y proporcionando una visión clara de las tendencias y/o patrones que puedan existir.

---

<sup>1</sup>Free/Open Source Software



# Summary

This project consists of an analysis of FOSS<sup>2</sup> repositories hosted on GitHub, with the aim of studying the evolution of open source over the years, as well as exploring the presence of possible trends and/or patterns in this sector.

To carry out this analysis, a tool has been developed to analyse all the lines of code present in a GitHub repository. This tool performs a bottom-up traversal of the entire repository tree, analysing each file in each subdirectory. The analysis is based on the use of the *git blame* command, which allows to obtain relevant data for each version of the file by investigating its revision history. A selection of repositories has been made taking into account various criteria, such as the number of contributors and their contributions, the diversity of programming languages used, the relevance of the GitHub platform and its current relevance. Both recently created projects and those with a long history have been included, in order to provide a more complete and representative view of the current state of open source.

Using the tool developed, interesting data has been collected, such as the programming language used, the author and date of creation of each line of code, as well as the number of revisions of each file. Once the data was collected, it was filtered and inserted into a relational database organised into three tables: *Repositories*, *Files* and *Code*. In order to achieve the objective of this project, various metrics and indexes have been developed that allow a statistical analysis of the data to be carried out. This methodology has been applied to the information collected, and the results of the analysis have been represented graphically, facilitating the understanding of the evolution of the projects throughout their revision history, and providing a clear vision of the trends and/or patterns that may exist.

---

<sup>2</sup>Free/Open Source Software



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Definición del problema . . . . .	2
1.3. Objetivos e hipótesis . . . . .	2
1.4. Estructura de la memoria . . . . .	3
<b>2. Objetivos</b>	<b>5</b>
2.1. Objetivo general . . . . .	5
2.2. Objetivos específicos . . . . .	6
2.3. Planificación temporal . . . . .	7
<b>3. Estado del arte</b>	<b>11</b>
3.1. Tecnologías y herramientas . . . . .	11
3.1.1. Python . . . . .	11
3.1.2. GitHub . . . . .	12
3.1.3. MySQL . . . . .	12
3.1.4. LaTeX . . . . .	12
3.2. Librerías . . . . .	13
3.2.1. Pyodbc . . . . .	13
3.2.2. Subprocess . . . . .	13
3.2.3. Os . . . . .	14
3.2.4. Matplotlib . . . . .	14
3.2.5. Pandas . . . . .	14
3.2.6. Chardet . . . . .	15

3.2.7. Pygments . . . . .	15
<b>4. Diseño e implementación</b>	<b>17</b>
4.1. Arquitectura general . . . . .	17
4.2. Arquitectura específica . . . . .	18
4.2.1. Programa inicial . . . . .	19
4.2.2. Programa principal . . . . .	22
4.2.3. Obtención de gráficos . . . . .	24
4.3. Fases del proyecto . . . . .	24
4.3.1. Recopilación de datos . . . . .	24
4.3.2. Almacenamiento de datos . . . . .	27
4.3.3. Procesado de datos . . . . .	28
4.3.4. Implementación de métricas y análisis . . . . .	30
4.3.5. Representación gráfica de resultados . . . . .	33
<b>5. Resultados</b>	<b>35</b>
5.1. Descripción de los datos recopilados . . . . .	35
5.2. Interpretación de los resultados . . . . .	35
5.2.1. Lenguajes de programación en uso . . . . .	35
5.2.2. Estabilidad del código . . . . .	35
5.2.3. Frecuencia de cambios . . . . .	35
5.2.4. Número de colaboradores . . . . .	35
5.2.5. Evolución de la actividad de cada colaborador . . . . .	35
<b>6. Conclusiones</b>	<b>37</b>
6.1. Consecución de objetivos . . . . .	37
6.2. Aplicación de lo aprendido . . . . .	38
6.3. Lecciones aprendidas . . . . .	39
6.4. Trabajos futuros . . . . .	40
<b>A. Manual de usuario</b>	<b>43</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>45</b>

# Índice de figuras

2.1. Diagrama de Gantt . . . . .	7
4.1. Diagrama arquitectura general . . . . .	17
4.2. Diagrama de funcionamiento . . . . .	18
4.3. Diagrama de Entidad-Relación . . . . .	29





# Capítulo 1

## Introducción

En este capítulo se presenta la motivación que ha impulsado esta investigación, proporcionando el contexto y las razones fundamentales para llevarla a cabo. A continuación, se define claramente el problema a resolver, especificando su alcance y relevancia, así como los objetivos que se desean alcanzar y las hipótesis planteadas al inicio del estudio.

Finalmente, se describe una visión general de cómo está organizado el documento y qué secciones lo componen.

### 1.1. Motivación

La inspiración que me ha llevado a realizar este proyecto proviene de mi profesor y tutor, Gregorio Robles, quién me ha motivado a adentrarme en el mundo del software libre (OSS, del inglés *Open Source Software*).

El término software libre hace referencia al código diseñado de manera descentralizada y colaborativa, siendo accesible para todo el público. Esto permite que cualquiera pueda utilizarlo, examinarlo, modificarlo y redistribuirlo como considere conveniente.

La elección de código abierto aporta beneficios tales como un bajo coste, gran flexibilidad para modificar el código fuente, así como un buen soporte proporcionado por parte de la comunidad. Sin embargo, no existe una clara distinción entre el proceso de desarrollo y el de mantenimiento, lo cual resulta interesante para la Ingeniería de Software al estudiar y explicar el funcionamiento de las interacciones que se llevan a cabo abiertamente.

Por lo tanto, la principal motivación de esta investigación es analizar el comportamiento de

los proyectos de código abierto, los cuales se desarrollan en una comunidad de usuarios que se comunican a través de distintas herramientas, teniendo como factor común Internet, lo que permite guardar el registro de las actividades realizadas a lo largo del tiempo.

Además, este proyecto me ha brindado la oportunidad de adquirir conocimientos sobre minería de datos y desarrollar habilidades para realizar un correcto análisis de los datos obtenidos.

## **1.2. Definición del problema**

El software libre permite a los desarrolladores realizar un completo análisis cuantitativo del código y de todos los parámetros involucrados en su producción, debido a que están disponibles públicamente. Al contar con datos de acceso público del desarrollo de software, permite llevar a cabo estudios estadísticos para estudiar la evolución del software.

En todo este proceso, tiene gran importancia la utilización de un sistema de control de versiones, donde se permita rastrear los cambios realizados en el pasado. De esta manera, se puede obtener un análisis de la estructura histórica del código en base a sus distintas contribuciones, así como harían los arqueólogos estudiando una ciudad en base a sus distintas construcciones. Para el software libre esto tiene vital importancia, ya que debido a la falta de diseño, el mantenimiento del código es una actividad relevante para evitar posible código obsoleto de desarrolladores que ya no participan en el proyecto.

Aunque la Ingeniería de Software es una disciplina que se ha consolidado a través de los años, actualmente existen muy pocos análisis empíricos sobre la arqueología del software. La falta de estudios junto con el atractivo hacia el desarrollo comunitario del software libre, así como la importancia para la Ingeniería de Software de modelar con datos empíricos, nos impulsa a llevar a cabo este proyecto.

## **1.3. Objetivos e hipótesis**

Nuestra hipótesis es que, mediante un estudio empírico de las prácticas de desarrollo de software, la aplicación de minería de datos al proyecto, el análisis de su evolución a lo largo del tiempo y la correlación de datos, se pueden determinar y aplicar métricas que demuestren que la longevidad y el mantenimiento del código son heterogéneos y varían entre los diferentes

componentes de varios proyectos.

Por lo que, el objetivo del proyecto consiste en estudiar la evolución y propiedades de varios proyectos de software libre a través del estudio empírico, y en aplicar un análisis estadístico de su código fuente. Se estudia el comportamiento de los proyectos FOSS<sup>1</sup> más relevantes de GitHub, se identifican las fuentes de datos que ofrecen de manera pública y se presenta una metodología para el análisis de los datos extraídos, datos interesantes entre los cuáles encontramos la cantidad de colaboradores o los lenguajes de programación más utilizados. De esta manera, se puede conocer mejor el fenómeno del software libre, el proceso de creación de software y cómo va evolucionando su mantenimiento, se describe la mecánica de desarrollo de los movimientos de software libre.

Se tiene como objetivo comprender la evolución de proyectos de software libre, así como interpretar los resultados obtenidos en esta investigación.

## 1.4. Estructura de la memoria

A continuación, se describe la estructura de la memoria, exponiendo el contenido de cada uno de los capítulos, proporcionando así una guía organizada del Trabajo de Fin de Grado para una mejor lectura y comprensión de este.

### ■ Capítulo 1. Introducción

En este capítulo se describe la motivación que me ha llevado a realizar la investigación, así como el contexto, la definición del problema y las distintas hipótesis que se han desarrollado. Además, se ha ofrecido una breve descripción de la estructura del proyecto.

### ■ Capítulo 2. Objetivos

En este capítulo se describe el objetivo principal de la investigación, así como los objetivos específicos necesarios que van a guiar nuestro proyecto. Incluye una planificación temporal de los objetivos mencionados.

### ■ Capítulo 3. Estado del arte

En este capítulo se proporciona información detallada sobre el diseño, las características y los usos de cada una de las tecnologías y herramientas utilizadas en el proyecto.

---

<sup>1</sup>Free/Open Source Software

**■ Capítulo 4. Diseño e implementación**

En este capítulo se detallan las fases que se han llevado a cabo para realizar el análisis de estudio. Se describe la arquitectura general del proyecto, la mecánica de obtención y almacenamiento de los datos, y su posterior análisis empírico.

**■ Capítulo 5. Resultados**

En este capítulo se describen los resultados obtenidos tras analizar los datos recopilados en el análisis, y se realiza una justificación de dichos resultados.

**■ Capítulo 6. Conclusiones**

En este capítulo se explican las conclusiones a las que se ha llegado, con su correspondiente justificación. Además, se mencionan los conocimientos adquiridos durante la duración de todo el grado universitario que se han aplicado en este proyecto, y los relacionados con el aprendizaje adquirido durante la realización de este estudio. Por último, se mencionan posibles mejoras que se pueden aplicar en el futuro.

# Capítulo 2

## Objetivos

En este capítulo, se definen los objetivos que guiarán la realización de este Trabajo de Fin de Grado. Establecer objetivos claros y bien definidos es fundamental para asegurar una dirección precisa y coherente a lo largo del desarrollo del proyecto.

Estos objetivos se dividen en dos categorías principales: el objetivo general, que representa la meta global del trabajo, y los objetivos específicos, que son metas más concretas y detalladas necesarias para alcanzar el objetivo general.

Además, se presenta una planificación temporal que muestra la organización de las tareas a lo largo del período de ejecución del proyecto, garantizando un avance ordenado y sistemático.

### 2.1. Objetivo general

El objetivo general del proyecto consiste en investigar en profundidad la evolución y las características de proyectos de software libre alojados en la plataforma de GitHub, mediante un estudio empírico detallado y la aplicación estadística de su código fuente. A través de este enfoque, se pretende obtener una comprensión íntegra de cómo el proyecto ha cambiado y se ha desarrollado a lo largo del tiempo, identificando patrones, tendencias y características del código que puedan influir en su calidad, mantenibilidad y eficiencia.

Esta investigación no solo implica un análisis histórico, sino que también incluye la aplicación de diversas métricas para evaluar distintos aspectos del código fuente. Al combinar métodos empíricos con análisis estadísticos robustos, este proyecto busca proporcionar una visión detallada y objetiva del comportamiento evolutivo del software.

Los resultados obtenidos ofrecen conclusiones y recomendaciones para la mejora continua del desarrollo del software libre, contribuyendo al conocimiento en el campo de Ingeniería de Software que puede aplicarse en la toma de decisiones en proyectos futuros.

## 2.2. Objetivos específicos

Para lograr el objetivo general detallado en el proyecto se han establecido los siguientes objetivos específicos:

- **Definición del problema y objetivos**

Consiste en buscar y evaluar información sobre el contexto de trabajo, realizando una estimación de los costes de desarrollo software. Se piensa como desarrollar la programación de manera eficiente, y a su vez se realiza una selección de distintos repositorios de GitHub que resultan de especial interés para nuestra investigación.

- **Programación**

En esta fase del proyecto se desarrollan los scripts necesarios para extraer, almacenar y analizar los datos con el fin de conseguir los objetivos de esta investigación.

- **Recopilación de datos**

En esta etapa se recopilan y almacenan los datos más relevantes para el posterior estudio del comportamiento de los repositorios seleccionados. También es importante realizar un preprocesado de los datos, lo que implica una normalización o estandarización de variables, así como una limpieza y transformación de datos según sea necesario.

- **Análisis estadístico**

Tras la recopilación de los datos, se ajustan y configuran las métricas correspondientes para obtener distintas estadísticas sobre la evolución de los repositorios a lo largo del tiempo.

- **Evaluación e interpretación de los resultados**

Una vez que se ha realizado un análisis estadístico, se realiza un análisis empírico y se representan de manera gráfica los resultados obtenidos. Seguidamente, se interpretan los resultados obtenidos y se derivan conclusiones.

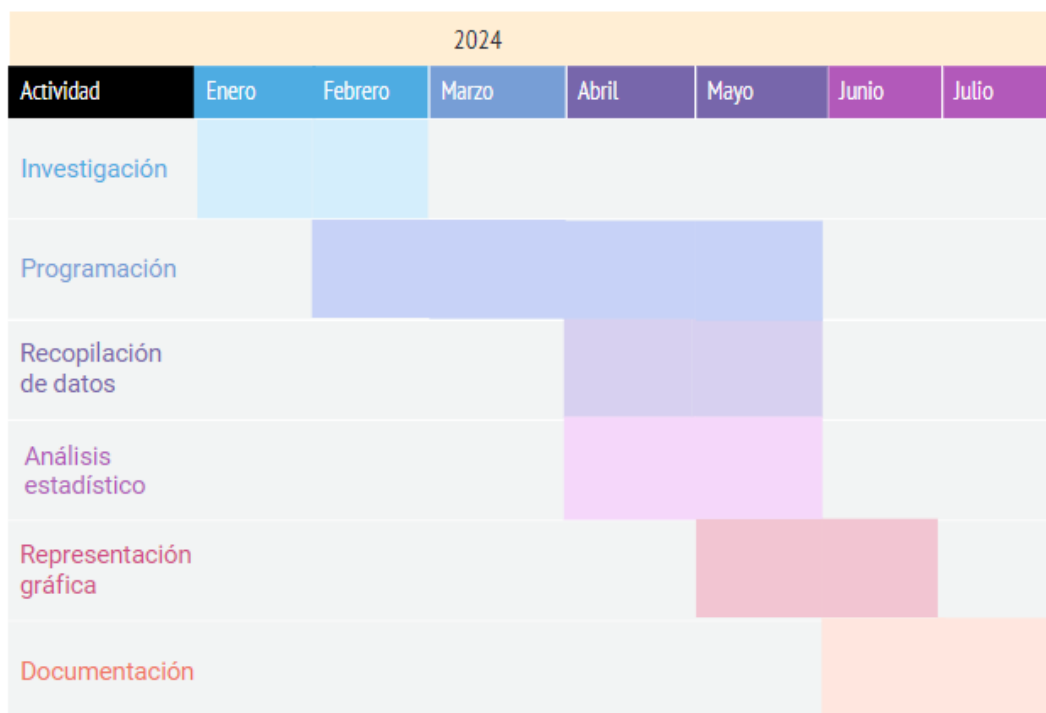


Figura 2.1: Diagrama de Gantt

#### ■ Documentación

En esta etapa se elaboran la documentación y los informes necesarios para la correcta entrega del Trabajo de Fin de Grado.

## 2.3. Planificación temporal

El desarrollo de este proyecto abarca un período de siete meses, desde enero de 2024 hasta julio de 2024, con la realización de un trabajo diario que se lleva a cabo de manera constante. En la figura 2.1 se observa el tiempo empleado en las diferentes fases del proyecto, donde se puede observar que varias tareas se han solapado en algunos casos debido al avance en paralelo de distintas actividades.

#### ■ Enero

En este mes comienzo el desarrollo de esta investigación, cuando mi tutor Gregorio Robles me sugirió la idea del proyecto. Comienzan las reuniones donde se definen los objetivos correspondientes, y empiezo a documentarme para obtener los conocimientos necesarios para la realización del proyecto.

Recopilo información acerca de los proyectos de código abierto y posibles repositorios de especial interés que están alojados en la plataforma de GitHub. A su vez, estudio la información que se puede obtener de las líneas de código mediante el comando *git blame*, y qué análisis nos puede resultar de interés para estudiar la evolución de estos repositorios a lo largo de los años.

#### ■ Febrero

Durante este mes sigo realizando la tarea de investigación, pero además trabajo en paralelo con la tarea de programación. Comienzo a desarrollar el código de programación basado en el comando *git blame*, mediante el cual obtengo información interesante acerca de los cambios realizados en un archivo específico línea por línea. El comando *git blame* nos proporciona información del autor de la línea de código, así como de la fecha de la revisión, del estado de esa línea y obviamente podemos ver también su contenido.

#### ■ Marzo

En este mes me centro exclusivamente en la programación del código, desarrollando los scripts *init.py* y *git-blameall.py*. Estos scripts analizan un repositorio y un archivo respectivamente, con el objetivo de analizar línea a línea cada uno de los archivos de un repositorio, y guardan los datos recogidos en un archivo JSON.

Al principio, se trabaja en realizar el análisis para un único archivo y finalmente se logra conseguir analizar un repositorio completo. Además, se estudia la opción de tener que analizar las distintas versiones de un archivo o únicamente la versión final, quedándonos con la segunda opción al ser mucho más eficiente y conseguir obtener los datos que nos interesan.

#### ■ Abril

Este mes tiene una gran carga de trabajo, al realizar en paralelo tres actividades distintas. Por una parte, sigo avanzando con la programación, mejorando los scripts *init.py* y *git-blameall.py* de manera que los datos pasan de guardarse en un archivo JSON a guardarse en una base de datos relacional organizada en tres tablas distintas relacionadas entre sí: *Repositories*, *Files* y *Code* respectivamente. Esto requiere de un estudio previo para obtener los conocimientos necesarios sobre la utilización de *MySQL* y el concepto de bases de datos relacionales. El hecho de almacenar los datos en bases de datos relacionales nos



permite un posterior análisis de los datos de manera mucho más eficiente.

- **Mayo**

Durante estas semanas la carga de trabajo sigue siendo muy alta, desarrollando cuatro actividades de manera paralela. Termino de desarrollar los archivos de programación, incluido entre ellos el script *graphics.py* que tiene como finalidad poder obtener una representación gráfica de las métricas estudiadas. A su vez, termino de definir los índices y las métricas que se incluyen en este proyecto, para obtener estadísticas interesantes acerca de la evolución de cambios, número de autores o posible código obsoleto en un repositorio. Seguidamente, se recopilan los últimos datos de los repositorios elegidos para su análisis, todos ellos alojados en la plataforma de GitHub.

- **Junio**

En esta etapa se elaboran las gráficas definitivas, y mientras tanto se empieza a escribir la memoria de nuestro proyecto.

- **Julio**

En este último mes se termina de escribir la memoria y se realizan las correcciones oportunas por el tutor para poder realizar una correcta entrega del Trabajo de Fin de Grado.



# Capítulo 3

## Estado del arte

En este capítulo, se presentan las herramientas y librerías usadas en el Trabajo Fin de Grado. Esta exposición nos da una visión de las tecnologías empleadas en el proyecto.

### 3.1. Tecnologías y herramientas

#### 3.1.1. Python

Python<sup>1</sup> es un lenguaje de programación de alto nivel desarrollado por Guido Van Rossum a principios de 1989 en los Países Bajos. Se trata de un lenguaje ejecutado directamente por un intérprete, que no requiere de una compilación previa, lo que facilita la detección y el manejo de errores. Es un lenguaje con una sintaxis clara y sencilla, por lo que resulta bastante atractivo para los desarrolladores por su fácil lectura, escritura y comprensión. Además, Python se trata de un lenguaje multiplataforma, esto quiere decir que el mismo código puede utilizarse en distintos sistemas operativos al ser un lenguaje de código abierto, lo que proporciona bastante versatilidad a los desarrolladores.

Incluye una gran cantidad de bibliotecas que proporcionan códigos para la visualización de datos con distintos gráficos, la creación de matrices o el procesamiento de imágenes. Esto permite su amplia utilización en ámbitos muy distintos como las aplicaciones web, el desarrollo de software, la ciencia de datos o el machine learning (ML).

Ha experimentado un crecimiento significativo a lo largo de los años, pasando por distintas

---

<sup>1</sup><https://www.python.org/>

versiones, convirtiéndose en uno de los lenguajes más populares y utilizados en la actualidad.

### 3.1.2. GitHub

GitHub<sup>2</sup> es una plataforma de alojamiento de repositorios de código fuente que utiliza *Git* como sistema de control de versiones. Permite almacenar código y archivos en un servicio de la nube, de manera que los desarrolladores puedan colaborar en proyectos compartidos manteniendo un seguimiento de la evolución del proyecto.

Linus Torvalds, un programador finlandés con gran importancia dentro del software libre, creó en 2005 su propio sistema de control de versiones llamado *Git* para ser utilizado en proyectos comerciales y de software libre. Posteriormente, en 2008, varios desarrolladores fundaron la plataforma GitHub, ofreciendo una interfaz fácil de utilizar que ha contribuido a la popularización de *Git*.

Es un sistema de control de versiones eficiente, fiable y compatible que se ha convertido en el estándar por excelencia para el desarrollo de software.

### 3.1.3. MySQL

MySQL<sup>3</sup> es un sistema de gestión de bases de datos considerado como uno de los más populares junto a Oracle y Microsoft SQL Server, sobre todo para entornos de desarrollo web. Puede utilizarse en diferentes sistemas operativos con múltiples motores de almacenamiento para adaptarse a las necesidades de cada entorno. Sus puntos fuertes son la rapidez y la seguridad, ya que utiliza un sistema de contraseñas que permite la verificación basada en host.

Uno de sus grandes beneficios es que cuenta con una gran comunidad con la que intercambiar dudas y conocimientos. Además, es escalable y fácil de aprender por lo que se convierte en una de las bases de datos más utilizadas en la actualidad.

### 3.1.4. LaTeX

LaTeX<sup>4</sup> es un sistema de composición de textos o documentos formado por una colección de macros *Tex*. Fue desarrollado por Leslie Lamport en 1984, y en la actualidad se utiliza para

---

<sup>2</sup><https://github.com/>

<sup>3</sup><https://mysql.com>

<sup>4</sup><https://es.overleaf.com/>

la generación de artículos y libros científicos que incluyen, entre otros elementos, expresiones matemáticas. Se utiliza para la composición de tesis y libros técnicos, dado que la calidad tipográfica de los documentos realizados en LaTeX se considera adecuada a las necesidades de una editorial científica de primera línea, muchas de las cuales ya lo emplean.

*Text* es una mezcla entre procesador de textos y lenguaje de programación utilizado fundamentalmente para escribir documentos de contenido científico y de gran calidad de impresión. Fue desarrollado por Donald E. Knuth en 1978, y actualmente hay implementaciones para todo tipo de ordenadores. Es un sistema de tipografía muy popular en el entorno académico, especialmente entre las comunidades de matemáticos, físicos e informáticos.

## 3.2. Librerías

### 3.2.1. Pyodbc

*Pyodbc*<sup>5</sup> es una biblioteca de Python que nos sirve para tener la integración de la comunicación con bases de datos de una manera sencilla. En el proyecto se ha utilizado para conectar nuestros scripts de Python con la base de datos alojada en MySQL.

Su funcionamiento consiste en conectarse a una base de datos mediante el comando *connect()*, que nos devolverá una conexión. Una vez que tengamos la conexión, se crea un cursor mediante la función *cursor()*, con el cual podemos ejecutar *querys()* para trabajar con los datos obtenidos. Una vez que hayamos realizado las consultas oportunas, no hay que olvidarse de cerrar la conexión con la base de datos.

### 3.2.2. Subprocess

La biblioteca *subprocess*<sup>6</sup> permite ejecutar nuevos programas o comandos que se encuentran dentro de un script de Python a la vez que ejecutamos dicho script, es decir, ejecuta procesos en segundo plano. Una de las capacidades más útiles consiste en que permite al usuario controlar las entradas, salidas e incluso los errores que genera el proceso hijo desde dentro del código Python. Este módulo facilita la automatización de tareas y la integración de otros programas

---

<sup>5</sup><https://pypi.org/project/pyodbc/>

<sup>6</sup><https://docs.python.org/es/3/library/subprocess.html>

con el código de Python.

### 3.2.3. Os

La librería *os*<sup>7</sup> permite usar funcionalidades dependientes del sistema operativo, como indica su nombre, por lo que es una biblioteca de gran tamaño y tiene muchos métodos. Entre las funcionalidades más útiles se encuentran la de listar, crear y/o eliminar archivos y directorios, obtener el nombre de un archivo así como su directorio, obtener la extensión y tamaño de un archivo, así como obtener las fechas de creación, modificación y/o de acceso de un archivo. En general, esta librería facilita el trabajo con archivos y directorios independientemente de la plataforma, lo cual es bastante importante ya que debemos de tener en cuenta que los posibles usuarios de nuestro programa pueden tener distintos sistemas operativos.

### 3.2.4. Matplotlib

*Matplotlib*<sup>8</sup> es una librería muy completa de código abierto que se utiliza para crear visualizaciones estáticas, animadas e interactivas con Python. Ha sido desarrollada por John Hunter en 2002, con el objetivo inicial de visualizar las señales eléctricas del cerebro de personas epilépticas. Tras el fallecimiento de John Hunter, *matplotlib* se ha ido mejorando a lo largo del tiempo por numerosos contribuidores de la comunidad de software libre.

Se trata de una herramienta muy completa, que permite generar visualizaciones de datos muy detalladas. Es posible crear trazados, histogramas, diagramas de barra y cualquier tipo de gráfica para visualizar análisis estadísticos.

El módulo *Pyplot*<sup>9</sup> propone varias funciones sencillas para añadir elementos tales como líneas, imágenes o textos a los ejes de un gráfico. Su interfaz es muy intuitiva, lo que permite a los usuarios diseñar gráficos completamente personalizables con facilidad.

### 3.2.5. Pandas

*Pandas* es una librería de Python especializada en el manejo y análisis de estructuras de datos. Define nuevas estructuras de datos basadas en los arrays de la librería *NumPy* pero con

---

<sup>7</sup><https://docs.python.org/es/3.10/library/os.html>

<sup>8</sup><https://matplotlib.org/>

<sup>9</sup><https://matplotlib.org/stable/tutorials/introductory/pyplot.html>

nuevas funcionalidades, nos permite leer y escribir fácilmente ficheros en bases de datos SQL y nos permite acceder a los datos mediante índices o nombres para filas y columnas. Nos permite trabajar con tres estructuras de datos diferentes: estructura de una dimensión denominada *series*, estructura de dos dimensiones o tablas denominada *DataFrame* y estructura de tres dimensiones o cubos llamada *panel*.

El nombre «*Pandas*» es en realidad una contracción del término «*Panel Data*» para series de datos que incluyen observaciones a lo largo de varios periodos de tiempo. Se creó como herramienta de alto nivel para el análisis en Python, y tiene la finalidad de evolucionar hasta convertirse en la biblioteca de manipulación de datos de código abierto más potente y flexible.

### 3.2.6. Chardet

*Chardet* consiste en una adaptación para Python del detector de codificación de caracteres universal C++ de Mozilla. La detección de la codificación de caracteres es en realidad una detección del lenguaje con dificultades, esto es especialmente útil cuando se trabaja con archivos de origen desconocido o múltiples fuentes que pueden tener diferentes codificaciones.

La forma más sencilla de utilizar esta librería es mediante la función *detect()*. Esta función toma un argumento de datos binarios y devuelve un diccionario que contiene la codificación de caracteres detectada junto con el nivel de confianza de la detección. En el caso de utilizar esta librería con archivos que contienen una gran cantidad de texto, lo recomendable es leer solo una parte del archivo y que se detenga tan pronto como tenga la confianza suficiente para determinar su codificación. Esta biblioteca es útil en situaciones donde se reciben archivos históricos de múltiples fuentes con codificaciones no uniformes, como es el caso de nuestro proyecto.

### 3.2.7. Pygments

*Pygments* consiste en una librería de resaltado de sintaxis escrita en Python. Es una herramienta poderosa y flexible para resaltar la sintaxis de código fuente en múltiples lenguajes de programación y formatos de salida, permite una personalización significativa para adaptarse a diferentes necesidades y preferencias.

De entre todas las funciones y herramientas que nos ofrece esta biblioteca, en este proyecto se han utilizado la función *get\_lexer\_for\_filename* y la clase *class pygment.lexer.name* con la

finalidad de adivinar el nombre del lexer, basado en el nombre y en el contenido del archivo. El *lexer*, o también denominado *analizador léxico* o *tokenizer*, es un componente que convierte una secuencia de caracteres en una secuencia de tokens, que se corresponden con unidades léxicas que representan estructuras significativas en el lenguaje de programación. Nos permite identificar y clasificar las diferentes partes del código fuente para poder aplicar resaltado de sintaxis adecuado o para poder identificar el lenguaje de programación.



# Capítulo 4

## Diseño e implementación

A continuación, se proporciona una visión detallada del desarrollo de este proyecto, destacando los aspectos tanto técnicos como metodológicos que lo forman. Se describen en detalle las fases del proyecto, así como las métricas escogidas con su debida justificación.

Exponer el diseño e implementación de nuestro proyecto permite a los lectores entender cómo se ha desarrollado la investigación, además de proporcionarles la capacidad de contribuir o ampliar el proyecto.

### 4.1. Arquitectura general

En la figura 4.1 se puede observar la arquitectura general del proyecto, que se compone de varias etapas interconectadas que permiten llevar a cabo la ejecución eficiente del mismo.

En la figura 4.2 se presenta un diagrama de funcionamiento que nos permite comprender el desarrollo de la programación.

Este diagrama consta del programa principal `init.py`, cuya función principal es clonar un

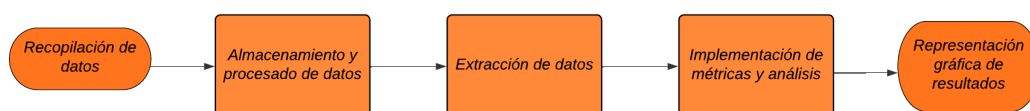


Figura 4.1: Diagrama arquitectura general

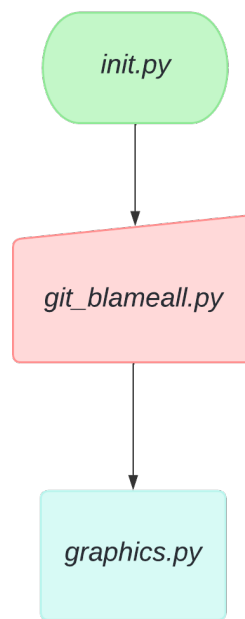


Figura 4.2: Diagrama de funcionamiento

repositorio de GitHub en nuestro directorio y poder recorrer cada uno de sus archivos y subdirectorios respectivamente.

Tras esto, se ejecuta el script `git_blameall.py` con la finalidad de analizar línea a línea el código de cada archivo, recopilando diversos datos que se almacenan en varias tablas de la base de datos.

Finalmente, se ejecuta el script `graphics.py` con el objetivo de generar distintas gráficas que muestran los resultados de los análisis estadísticos y la aplicación de las métricas estudiadas previamente.

## 4.2. Arquitectura específica

En esta sección, se procede a describir más a fondo el funcionamiento de cada uno de los scripts que conforman nuestro proyecto.

### 4.2.1. Programa inicial

El programa inicial se corresponde con el script `init.py`, ya que como indica el propio nombre, consiste en el script que inicia nuestro programa mediante el comando `python3 init.py repo-url 'name_urlclone'`. Se ejecuta a partir de la URL de un repositorio de GitHub, y entre sus diversas tareas esta la de ejecutar la función principal del programa `git_blameall.py`, que como se indica posteriormente se trata del programa principal. Sus funciones de manejo son las siguientes:

- `request_url()`. Al ejecutar el programa se pide introducir la URL de un repositorio de GitHub, mediante la cual podemos clonar el repositorio en nuestro directorio. De esta URL, se obtienen los valores del protocolo y procedencia del repositorio, de manera que mediante la función `check_url()` se comprueba que se utilice un protocolo 'https' y que el repositorio elegido sea propio de GitHub. Estos parámetros, junto con el nombre de usuario y del repositorio, nos permiten clonar el repositorio en nuestro directorio mediante la librería `subprocess` con la función `run_url()`. Esta función además, ejecuta la función `get_directory()`, y ésta a su vez la función `get_path()`, que como el propio nombre indica obtienen el nombre del directorio y la ruta absoluta del directorio propio al repositorio clonado. Se ha utilizado una ruta absoluta frente a una relativa porque aporta claridad para evitar conflictos entre directorios ambiguos dentro del mismo repositorio, además de proporcionar independencia frente al lugar en el que se ejecute el script.
- `remove_excluded()`. La finalidad de esta función consiste en clasificar archivos o directorios que no pueden ser soportados por el comando `git blame` para ser posteriormente eliminados del repositorio clonado, por lo que se descartan los archivos que tienen las siguientes extensiones `[".png", ".jpg", ".jpeg", ".gif", ".pdf", ".exe", ".dll", ".ico", ".db", ".dat", ".class", ".o", ".pyc", ".mp3", ".mp4", ".wav", ".avi", ".bak", ".tmp", ".docx", ".pptx", ".zip", ".tar.gz", ".rar"]` así como los siguientes directorios `["node_modules", "vendor", "Pods"]`.

Partiendo de las listas mencionadas anteriormente, se construye una función booleana para clasificar cada archivo o directorio a ser excluido del análisis, mediante el comando `file_path.endswith()` se encuentran los archivos con la extensión correspon-

diente mientras que con la ayuda del separador de directorios específico de Windows `file_path.split(os.path.sep)` obtenemos los posibles directorios a descartar. Una vez que tenemos los archivos y/o directorios que tienen valor 'True', se realiza un recorrido ascendente por el árbol del repositorio clonado con la ayuda de `os.walk()` para eliminar cada objeto respectivamente. Al ejecutar el programa, se observan por pantalla los objetos que se han eliminado así como la cantidad de objetos, esto ayuda a comprobar que se realiza un análisis de la cantidad correcta de archivos y/o directorios.

- `remove_empty_files()`. Esta función tiene como finalidad eliminar archivos vacíos que se puedan encontrar en el directorio que se corresponde con el repositorio clonado, así como en todos sus subdirectorios. Toma como parámetro dicho directorio, y crea una lista inicialmente vacía que se utiliza para almacenar los nombres de los archivos eliminados. Mediante `os.walk()` se realiza un recorrido por todo el árbol del repositorio clonado e itera cada uno de sus archivos, para calcular su tamaño en bytes con el comando `os.path.getsize()`, y en caso de ser 0, se clasifica como un archivo vacío, y por lo tanto, se elimina mediante la función `os.remove()` y se añade a la lista de archivos eliminados. Finalmente, con la información incluida en la lista inicial, obtenemos información por pantalla acerca de que cantidad de archivos se han eliminado, y de cuáles son sus rutas y nombres respectivamente.
- `detect_encoding()`. Esta función es una parte muy importante del código, ya que permite solucionar problemas de codificación al enfrentarse a cualquier tipo de archivo de datos. Tiene como objetivo adivinar el tipo de codificación del archivo pasado como parámetro, para ello realiza una lectura en bytes del archivo y mediante la librería *chardet* detecta la codificación del archivo.
- `convert_to_utf8()`. Esta función tiene como finalidad convertir en un archivo codificado en UTF-8 cada archivo que no esté codificado como tal, usando como parámetros el nombre del archivo a codificar y el tipo de codificación de dicho archivo. Se realiza una lectura en la codificación detectada anteriormente del archivo correspondiente, y se almacena su contenido en una variable. Este contenido se escribe en un archivo temporal, para posteriormente mediante la función `os.replace()` reescribir el archivo original con el contenido del archivo temporal, realizando así una conversión a la codificación

UTF-8 de manera segura.

- `get_table1()`. A continuación, nos centramos en las tareas relacionadas con la base de datos. La primera tarea consiste en verificar la existencia de la base de datos que vamos a utilizar, esto se ha podido comprobar a través de la conexión a una base de datos 'master', la cual nos proporciona la información necesaria, y en caso de que la base de datos denominada 'Analysis\_Github\_Repository' no exista, se procede a crearla. El paso siguiente consiste en crear la tabla denominada *Repositories*, previa comprobación de su existencia.

Siguiendo en el ámbito de las bases de datos, utilizando la función `get_table2()` se crea la tabla denominada *Files* con las verificaciones necesarias y con una conexión previamente establecida a la base de datos *Analysis\_Github\_Repository*.

- `read_directory()`. Esta función es la más importante de todo el script, ya que integra y unifica la mayoría de las funciones descritas anteriormente. En primer lugar, toma como parámetro el nombre del directorio que se va a analizar y crea una lista con todos sus archivos y subdirectorios. De esta lista, descarta el directorio '.git' para el análisis pero teniendo en cuenta que no se puede eliminar, al contener información de vital importancia sobre el repositorio clonado, incluyendo su historial de versiones, su configuración así como sus objetos. Tras esto, el procedimiento a seguir consiste en recorrer el árbol del repositorio, clasificando cada objeto de la lista según sea un archivo o un subdirectorio. En caso de ser un archivo, se construye y ejecuta el comando *git log* para obtener el historial de versiones del archivo. Si el comando falla, se imprime un mensaje de error y se continúa con el siguiente archivo, pero si el comando se ejecuta con éxito, se cuenta el número de commits del archivo, y en caso de tener un número de commits superior a 0, se ejecuta la función principal del script `git_blameall.py`. Mientras tanto, se ejecutan las funciones relacionadas con la codificación original del archivo, y se convierte a UTF-8 en caso de ser necesario. Así como también se adivina el lenguaje de programación del archivo mediante la librería *Pygments*. En caso de ser un subdirectorio, se muestra su nombre por pantalla y se invoca esta función recursivamente, con el objetivo de analizar todos los archivos del repositorio clonado.

Mediante una conexión a la base de datos se realiza la inserción de datos obtenidos en es-

ta función. Primero se utiliza la función `insert_repo_data()`, que inserta en la tabla *Repositories* el nombre del repositorio clonado así como su índice correspondiente. Posteriormente se ejecuta la función `insert_files_data()` que se encarga de insertar en la tabla *Files* el nombre, ruta, ID y número de revisiones de cada archivo respectivamente. También se ejecuta la función `insert_files_language()`, que inserta el lenguaje de cada archivo dentro de la tabla *Files*.

#### 4.2.2. Programa principal

El programa principal se corresponde con el script `git_blameall.py`, que consiste en el script que analiza cada fichero utilizando distintos comandos de git. Su objetivo principal es obtener datos interesantes del historial de cambios propio de cada archivo, que se utilizarán posteriormente para estudiar y analizar la evolución del repositorio. Sus funciones de manejo son las siguientes:

- `parse_chunk_header()`. En el contexto de Git y las diferencias (*diffs*) entre un archivo, un *chunk* se corresponde con la sección de un archivo que ha cambiado entre dos revisiones, por lo que esta es la forma que tiene Git de mostrar las posibles diferencias. Cada *chunk* contiene una cabecera que indica dónde se encuentra el cambio realizado y cuántas líneas se han añadido y/o eliminado, y también las líneas de código modificadas con prefijos que indican respectivamente si la línea ha sido añadida o eliminada. Esta función analiza la cabecera del *chunk* con el objetivo de extraer información sobre las líneas afectadas. Se obtiene una lista con los valores del índice de la línea inicial en la versión original del archivo donde comienza el cambio (*origL*), el número de líneas eliminadas en la versión original del archivo (*del\_N*), el índice de la línea inicial en la nueva versión del archivo donde comienza el cambio (*newL*) y el número de líneas añadidas en la nueva versión del archivo (*add\_N*). En caso de que no se puedan obtener los valores de (*del\_N*) o (*add\_N*), serán considerados '1' por defecto. En conclusión, esta función nos retorna las posiciones y números de líneas afectadas.
- `get_initial_version()`. El objetivo de esta función consiste en obtener el contenido inicial de un archivo en una revisión específica de Git, toma como parámetros el *hash* de la primera revisión del archivo y el nombre del archivo en cuestión. Cuando se

habla de *hash* se refiere al identificador de cada revisión/commit realizada sobre el archivo. Teniendo en cuenta estos parámetros, construye el comando *git show* y se ejecuta, obteniendo como salida el contenido inicial del archivo, que almacena línea a línea en la lista *lines*.

- `find_index()`. Esta función tiene como parámetros una lista con todas las líneas del archivo inicial, cada una de ellas con su información correspondiente, además del número de líneas que se deben de avanzar desde la línea de referencia. El procedimiento de la función se basa en recorrer una a una las líneas que permanecen en la actualidad (vivas) hasta que el número de líneas a avanzar sea 0, teniendo en cuenta que se considera una línea viva aquella que no tiene una fecha de fin y que fue introducida en una revisión distinta a la actual. Tiene como objetivo encontrar el índice correcto de la posición donde se debe de insertar o eliminar alguna línea.
- `main()`. Esta es la función más importante de todo el script, donde se integran todas las anteriores. Tiene como objetivo analizar todas las revisiones de un archivo de un repositorio de Git y registrar información sobre los cambios producidos en una base de datos SQL Server. En primer lugar, construye y ejecuta el comando *git rev-list*, obteniendo como salida una variable denominada *hashes* con todas las revisiones que ha sufrido ese archivo y sus respectivos identificadores, ordenadas cronológicamente de la más antigua a la más actual. Seguidamente, ejecuta el comando *git log* para obtener las fechas y los autores de cada una de las revisiones, que se guardan en la variable *date\_author*. Realiza la comprobación de que el número de revisiones obtenido coincida con la longitud de *date\_author*, y crea una lista de objetos *struct* denominada *revs* que contiene la información de cada revisión de la siguiente manera: (hash, fecha, autor). Según el procesamiento de líneas indicado, recorre cada línea de código de la versión inicial del archivo, y se guardan en la lista *ALL\_LINES* como objetos de tipo *struct*.

Una vez que se ha obtenido la versión inicial del archivo, se procesa cada una de sus revisiones desde la más reciente hasta la más antigua. Se utiliza el comando *git diff* para obtener las posibles diferencias entre revisiones, y se procesa cada una de sus líneas resultantes en función del tipo de línea obtenida: si es una cabecera de chunk (*@@*), se extrae la información correspondiente sobre el chunk llamando a la función `parse_chunk_header()`,

y si es una línea eliminada (-) o añadida (+), encuentra el índice correspondiente en *ALL\_LINES* usando la función `find_index()`, verifica la modificación en la revisión actual e inserta los cambios en la base de datos. También se insertan en la base de datos las líneas vivas que se encuentran en la versión más actual, es decir, las líneas que no se han modificado nunca desde la versión inicial del archivo.

En conclusión, esta función se centra en guardar las líneas que han sufrido cambios durante las revisiones así como aquellas que no se han cambiado desde la versión inicial.

- `print_so_far()`. La finalidad de esta función es manejar la conexión con la base de datos, verificar y crear la tabla *Code* en caso de que no exista, e insertar cada una de las líneas mencionadas anteriormente en esta tabla.

### 4.2.3. Obtención de gráficos

La obtención de gráficos se consigue con la ejecución del script `graphics.py`. Realizando consultas a la base de datos obtengo los datos necesarios en cada caso para poder aplicar las métricas e índices correspondientes. Tras esto, y con ayuda de la librería *matplotlib*, se obtienen los resultados y se interpretan de manera gráfica.

Este script tiene varias funciones para obtener distintas gráficas, las cuales se desarrollan de manera muy mecánica puesto que siguen el mismo procedimiento.

## 4.3. Fases del proyecto

En esta sección se desglosan las distintas fases del proyecto, describiendo el desarrollo de cada una de ellas.

### 4.3.1. Recopilación de datos

En esta etapa del proyecto, se tiene como objetivo identificar proyectos de software libre que resulten interesantes para estudiar su evolución. Por lo que se realiza una exhaustiva investigación, revisando gran variedad de artículos e información, para obtener una serie de repositorios que cumplan los siguientes criterios: que sean proyectos FOSS<sup>1</sup>, que estén alojados en la plata-

---

<sup>1</sup>Free/Open Source Software



Uno	2	3
Cuatro	5	6
Siete	8	9

Cuadro 4.1: Ejemplo de tabla. Aquí viene una pequeña descripción (el *caption*, el pie de tabla/figura) del contenido de la tabla. Si la tabla no es autoexplicativa, siempre viene bien aclararla aquí.

forma de GitHub y que proporcionen datos que resulten interesantes para analizar su evolución a lo largo de los años.

Tras estudiar las distintas posibilidades, se han elegido los principales repositorios de los proyectos de la tabla 4.1 para estudiar su evolución a lo largo del tiempo. En la selección se han considerado factores como el número de colaboradores y/o su variación a lo largo de los años, la diversidad de lenguajes de programación, la relevancia del proyecto en la plataforma GitHub y en la actualidad, así como que sean tanto proyectos de nueva creación como proyectos de larga trayectoria.

Una vez elegidos los repositorios a analizar, se lleva a cabo la recopilación de los datos, que se trata de una tarea crucial para cualquier proyecto de análisis o minería de datos. En esta fase, recogemos los siguientes datos para su posterior almacenamiento:

- *Repo\_Name*. Como el propio nombre indica, se refiere al nombre de cada repositorio. De manera que se pueda realizar una clasificación de líneas o archivos según pertenezcan a un repositorio concreto.
- *Repo\_ID*. Al realizar un análisis de varios repositorios, cada repositorio se identifica con un ID correspondiente. De esta forma, es más sencillo identificar los datos y podemos llevar a cabo la funcionalidad de tabla de datos relacional.
- *File\_ID*. Al igual que cada repositorio se identifica con su propio ID, se hará lo mismo con cada archivo. De manera que se puedan clasificar las líneas de código pertenecientes a un archivo concreto.
- *File\_Name*. Este valor se corresponde con el nombre del archivo que se va a analizar.

- *File\_Path*. Este campo se corresponde con la ruta donde se encuentra el archivo que se está analizando, de manera que se pueda localizar en el repositorio clonado.
- *File\_Language*. Este dato se corresponde con el lenguaje del archivo que se está analizando. El lenguaje se ha identificado mediante la librería *Pygments*, clasificandose como 'Archivo de datos' aquel archivo al que no se le ha podido identificar su lenguaje de programación, y que puede almacenar diversos datos como texto plano, datos binarios, etc.
- *Commits*. Este dato se corresponde con el número de revisiones que se ha realizado sobre el archivo que se está analizando. Cada 'commit' se corresponde con la acción que se realiza para guardar los cambios realizados en los archivos de un repositorio. El conjunto de todos estos 'commits' forman el historial de revisiones de cada repositorio, por lo que el número de commits o revisiones nos puede indicar la frecuencia de actualizaciones de un proyecto.
- *Code\_ID*. Cada línea que se guarda en la base de datos se identifica con su propio ID.
- *Author\_Start*. Este valor se corresponde con el autor de la línea de código correspondiente, es decir, aquella persona que desarrolló esta línea por primera vez.
- *Date\_Start*. Este dato se corresponde con la fecha de creación de la línea de código correspondiente.
- *Author\_End*. Este valor se corresponde con el desarrollador que eliminó la línea de código correspondiente.
- *Date\_End*. Este dato se corresponde con la fecha en la que la línea de código ha sido eliminada.
- *Longevity*. Teniendo en cuenta la fecha de creación y la posible fecha de fin de cada línea de código, se realiza un cálculo de los días de vida que tiene la línea de código. El resultado de este cálculo se guarda en esta variable.
- *Comment\_Boolean*. Se clasifica como '1' la línea de código que se corresponde con un comentario de línea, teniendo en cuenta los distintos comentarios en los diversos lengua-

jes de programación. Así como se identifica como '0' en el caso contrario, es decir, en caso de no ser un comentario de línea.

- *Words\_Count*. Este dato se corresponde con el cálculo de las palabras que forman cada línea de código.
- *Code*. En esta variable se inserta la línea de código en cuestión que se está analizando.

#### 4.3.2. Almacenamiento de datos

Una vez que se recopilan los datos mencionados en el apartado anterior, la siguiente tarea consiste en su almacenamiento en una base de datos. Este almacenamiento se realiza en una base de datos relacional, que consiste en una colección de información que organiza datos en relaciones predefinidas, en la que los datos se almacenan en una o más tablas de columnas y filas, lo que facilita su visualización y la comprensión de cómo se relacionan las diferentes estructuras de datos entre sí. Las tablas se relacionan con otras tablas mediante una relación de clave primaria o de clave foránea, estableciendo relaciones de uno a uno, uno a muchos, o muchos a muchos entre tablas. Una clave primaria es una columna o un conjunto de columnas en una tabla cuyos valores identifican de forma exclusiva una fila de la tabla, mientras que los valores de la clave foránea se corresponden con los valores de la clave primaria de otra tabla. Los principales beneficios de este modelo de base de datos son evitar la duplicidad de los registros y garantizar la integridad referencial de los datos, proporcionando así una manera intuitiva de representar los datos y un acceso fácil a datos relacionados. Este modelo de bases de datos garantiza las propiedades *ACID*, que consisten en atomicidad, que garantiza que los datos no se modifican en caso de producirse un error en alguna parte de la transacción; consistencia, que garantiza que los datos cumplan con las restricciones de integridad; aislamiento, permitiendo que las operaciones de realizadas sobre la base de datos sean indendientes y que no afecten las unas a las otras; y durabilidad, que proporciona la persistencia de las operaciones realizadas sobre los datos de manera que todos los cambios sean permanentes.

Las bases de datos relacionales se caracterizan por utilizar el lenguaje de consulta SQL, por lo que también se denominan bases de datos SQL. Mediante este lenguaje se realizan las operaciones básicas de interacción con la base de datos, definiendo a continuación las que han sido utilizadas en este proyecto:

- *CREATE DATABASE*. Se corresponde con la sentencia utilizada para crear la base de datos *Analysis\_GitHub\_Repository*.
- *CREATE TABLE*. Como el propio nombre indica, esta sentencia o query se utiliza para crear una tabla dentro de la base de datos. Se deben de especificar los campos que contenga la tabla, así como sus tipos, sus claves primarias o foráneas, o incluso se pueden restringir algunos campos para que sean válidos o no los valores *NULL*.
- *INSERT INTO*. Esta sentencia se utiliza para insertar valores en una tabla existente en la base de datos. Se deben de especificar los valores a insertar y el propio nombre de la tabla.
- *SELECT*. Esta sentencia aporta diferentes funcionalidades, siendo una de ellas la verificación de la existencia de una tabla de la base de datos, con el objetivo de poder crear la tabla correspondiente en caso de ser necesario así como solamente tener acceso a ella en caso de ya estar creada. Por otro lado, se utiliza esta sentencia para obtener distintos datos de las tablas de la base de datos, en función de los campos que consideremos necesarios para calcular la métrica correspondiente y representar su respectivo gráfico resultante.

En la figura 4.3, se observa un diagrama de entidad relación (DER) que consiste en una herramienta para representar de manera simplificada cómo se ha organizado la información de la base de datos *Analysis\_GitHub\_Repository*. Esta base de datos se compone de tres tablas distintas denominadas *Repositories*, *Files* y *Code*. De la tabla *Repositories* se establece una relación de uno a muchos, puesto que dentro de un repositorio se organizan diversos archivos, por lo que la clave primaria del ID correspondiente al repositorio pasa a ser la clave foránea de la tabla *Files*. Sucede lo mismo desde la tabla *Files* hacia la tabla *Code*, ya que de un archivo se obtienen múltiples líneas de código, por lo que la clave primaria del ID correspondiente a cada archivo pasa a ser la clave foránea en la siguiente tabla.

### 4.3.3. Procesado de datos

Una vez recogidos y almacenados los datos, se realiza el procesamiento para prepararlos para el análisis. Esto puede implicar limpieza de datos (eliminación de valores atípicos, datos faltantes), normalización o estandarización de variables, selección de características relevantes y transformación de datos según sea necesario. Tenemos en cuenta diversas restricciones para

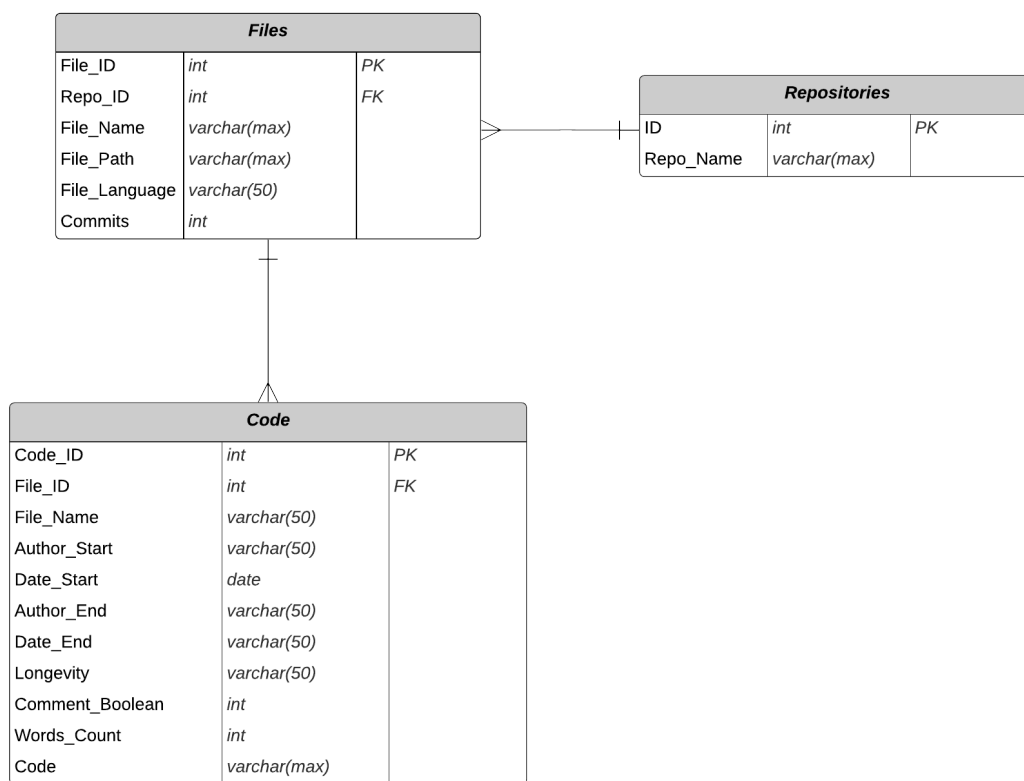


Figura 4.3: Diagrama de Entidad-Relación

que nuestro programa desarrolle su funcionamiento de manera eficiente. Teniendo en cuenta que el comando *git blame* no es compatible con cualquier tipo de archivo, ajustamos el código de manera que se eliminen del repositorio clonado los archivos con las siguientes extensiones [".png", ".jpg", ".jpeg", ".gif", ".pdf", ".exe", ".dll", ".ico", ".db", ".dat", ".class", ".o", ".pyc", ".mp3", ".mp4", ".wav", ".avi", ".bak", ".tmp", ".docx", ".pptx", ".zip", ".tar.gz", ".rar"]. También se eliminan los directorios [".node\_modules", ".vendor", ".Pods"], que se corresponden con directorios donde se organizan y gestionan todas las dependencias del proyecto, como bibliotecas y módulos de terceros. Otra necesidad importante ha sido eliminar los archivos vacíos, es decir, aquellos que tienen un tamaño de 0 bytes. Estos archivos se utilizan comúnmente para importar funciones y/o clases que se utilizan en otros módulos del proyecto, así como para marcar directorios como paquetes de Python, y producen errores en la ejecución del código al no disponer de líneas de código para analizar. El directorio '.git' también ha sido descartado para el análisis pero teniendo en cuenta que no se puede eliminar, ya que conserva toda la información acerca del historial de revisiones del repositorio.

Una vez que se procede al análisis del repositorio clonado, se ha tenido en cuenta un manejo de

todos los archivos en la codificación UTF-8, ya que permite un mayor manejo y procesamiento de los datos, así como menor dependencia de la detección automática consiguiendo así un menor flujo de trabajo. Por lo que inicialmente se realiza una detección automática de la codificación de todos los archivos, pero con la finalidad de obtener cada uno de ellos en codificación UTF-8. Además, se han descartado líneas con más de 255 caracteres así como líneas en blanco, con la finalidad de evitar errores al insertar los datos en la tabla denominada 'Code'.

También se realiza un procesamiento de datos teniendo en cuenta posibles funcionalidades a implementar en el futuro. Por lo que se identifica que cada línea de código sea un comentario o no, así como también se realiza un cálculo del número de palabras que tiene cada línea.

#### 4.3.4. Implementación de métricas y análisis

A continuación, se desarrolla el objetivo más importante de este proyecto que consiste en el análisis de los datos. Mediante la implementación de distintas métricas, se pretenden estudiar distintos aspectos que resultan interesantes para analizar la evolución de los proyectos FOSS<sup>2</sup> a lo largo de los años. Tras la recopilación, revisión y limpieza de datos, se procede a la interpretación de los datos para la realización de un análisis estadístico, donde se han tenido en cuenta gran diversidad de factores como la antigüedad y/o tamaño del proyecto, el número de desarrolladores, la complejidad que desarrolla, etc. Se realizan distintos análisis estadísticos tanto para el conjunto de todos los proyectos, como para cada uno de ellos de manera individual. En total, se han analizado XXXXXXXX líneas de código de XXXX proyectos de software libre alojados en GitHub, y se les han aplicado las métricas que se presentan en los siguientes apartados.

#### Lenguajes de programación en uso

Se ha estudiado para cada uno de los repositorios analizados, los distintos lenguajes de programación utilizados por los desarrolladores del proyecto. De manera que, haciendo un cálculo con todos los archivos del repositorio en cuestión, se obtienen los porcentajes de los lenguajes de programación que tienen mayor presencia dentro de cada proyecto. Se han tenido en cuenta todo tipo de lenguajes de programación, que se han obtenido mediante la librería *Pygments*, y en caso de no corresponderse con ningún lenguaje conocido, se ha clasificado como un archi-

---

<sup>2</sup>Free/Open Source Software

vo que contiene datos en un formato específico definido por el software que lo utiliza, y se ha denominado 'Archivo de datos' o 'Archivo binario'.

$$Porcentaje\ Lenguaje_i = \left( \frac{Archivos\ lenguaje_i}{Total\ de\ archivos} \right) \times 100$$

### **Líneas que permanecen en la actualidad**

Resulta relevante estudiar el número de líneas que permanecen en la versión más actual del proyecto frente al momento de la creación del mismo, es decir, cuántas líneas permanecen intactas desde cualquier fecha pasada del proyecto. Esto puede aportar una estimación del esfuerzo de mantenimiento de cara a un futuro, debido a que un proyecto con una gran cantidad de líneas de código antiguas es más difícil de mantener, ya que puede que los autores hayan olvidado la razón de los cambios o incluso puede que ya ni siquiera formen parte del proyecto. Además, se puede observar qué proyectos se encuentran obsoletos en la actualidad, debido a que no hayan sufrido modificaciones en un período largo de tiempo, así como también se pueden observar proyectos con una tendencia de trabajo constante con la finalidad de mantener el proyecto actualizado.

Entonces, se desarrollan dos métricas, una de ellas para obtener el número de líneas permanentes en la actualidad a lo largo de los años en valores absolutos, y otra para obtener esta cantidad en porcentajes respecto al tamaño total del proyecto, y se aplican al total de repositorios analizados.

$$Cantidad\ de\ líneas\ vivas = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{Líneas\ vivas\ año_i}{Líneas\ totales\ año_i} \right)$$

$$Porcentaje\ de\ líneas\ vivas = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{Líneas\ vivas\ año_i}{Líneas\ totales\ año_i} \right) \times 100$$

### **Estabilidad del código**

Medir la estabilidad del código es posible gracias a una métrica denominada *Tasa de Churn*. El análisis de esta métrica implica evaluar cuántas líneas de código han sido eliminadas en un período de tiempo específico. Proporciona una medida de la actividad y volatilidad del código, resulta ser una herramienta muy útil para comprender la dinámica de cambio de un código a lo largo del tiempo. La finalidad de utilizar esta métrica en este proyecto consiste en representar

la *tasa de Churn* por cada archivo de los repositorios analizados, de manera que se compruebe así que archivos del repositorio se encuentran más obsoletos.

$$Tasa\ de\ Churn = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{Líneas\ eliminadas\ año_i}{Líneas\ totales\ año_i} \right)$$

### Frecuencia de cambios

Visualizar la frecuencia de cambios a lo largo del tiempo resulta útil para identificar períodos de actividad intensa o inactividad en el desarrollo del proyecto. Además, permite conocer las etapas del proyecto, ya que el desarrollo inicial se corresponde con la etapa donde se lleva a cabo una alta frecuencia de cambios, pasando después a una etapa de estabilización con una frecuencia de cambios moderada, y siendo la etapa de mantenimiento aquella que tenga una baja frecuencia de cambios. Conocer las etapas del proyecto puede ser útil para realizar una planificación y estimación del trabajo de cara a un futuro, ya que un proyecto con cambios frecuentes y regular resulta menos costoso en términos de esfuerzo para implementar nuevas funcionalidades o mantenimientos.

La métrica utilizada para visualizar la frecuencia de cambios consiste en realizar un sumatorio del número de *commits* realizados en cada uno de los archivos para cada repositorio concreto.

$$Número\ de\ commits_i = \sum_{i=1}^n Commits\ archivo_i$$

### Número de colaboradores

Otro dato relevante consiste en conocer la cantidad de colaboradores de un proyecto a lo largo de los años. Esto puede reflejar el crecimiento y la madurez del proyecto, ya que un aumento del número de desarrolladores a lo largo del tiempo puede indicar un proyecto en expansión y cada vez más relevante, así como el caso contrario se traduce en una reducción del interés o fases críticas del proyecto. En proyectos de código abierto, el la colaboración de múltiples desarrolladores indica un signo de confianza y relevancia en la comunidad. Por otro lado, un número alto de colaboradores se traduce en una diversidad de contribuciones, que aportan diferentes perspectivas, habilidades y conocimientos, lo que puede conducir a un código más robusto con funcionalidades más variadas.

Se calcula el número de colaboradores teniendo en cuenta el creador de cada línea de código respecto al total de repositorios a lo largo del tiempo.



$$\text{Número de colaboradores}_i = \sum_{i=1}^n \text{Colaboradores repositorio}_i$$

### **Evolución de la actividad de cada colaborador**

Conocer la actividad de cada colaborador del proyecto nos puede resultar interesante para una estimación de costes, ya que evaluando la contribución individual se puede realizar una asignación de tareas más eficiente de acuerdo a las capacidades de cada colaborador. También resulta bastante útil conocer en qué momento ha desarrollado cada colaborador mayor protagonismo para recurrir a él en caso de tener que realizar posibles modificaciones respecto a algo concreto desarrollado en esa etapa del proyecto, esto nos proporciona una mayor gestión de los recursos y una mejor planificación. El hecho de visualizar las contribuciones individuales puede ayudar a mejorar el trabajo en equipo y el espíritu de colaboración.

La métrica para conocer la evolución de la actividad de cada colaborador del proyecto consiste en realizar un sumatorio del número de líneas creadas por cada desarrollador del código para conocer los valores absolutos. Mientras que comparando con el número total de líneas de todos los colaboradores del proyecto se calculan los valores relativos.

$$\text{Actividad por colaborador} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\text{Líneas vivas colaborador}_i}{\text{Líneas totales}} \right)$$

$$\text{Porcentaje por colaborador} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\text{Líneas vivas colaborador}_i}{\text{Líneas totales}} \right) \times 100$$

### **4.3.5. Representación gráfica de resultados**

Una vez que se han definido las métricas y los análisis estadísticos que resultan interesantes en esta investigación, se procede a una representación gráfica de los resultados.



# Capítulo 5

## Resultados

En este capítulo se incluyen los resultados de tu trabajo fin de grado.

Si es una herramienta de análisis lo que has realizado, aquí puedes poner ejemplos de haberla utilizado para que se vea su utilidad.

### **5.1. Descripción de los datos recopilados**

### **5.2. Interpretación de los resultados**

#### **5.2.1. Lenguajes de programación en uso**

#### **5.2.2. Estabilidad del código**

#### **5.2.3. Frecuencia de cambios**

#### **5.2.4. Número de colaboradores**

#### **5.2.5. Evolución de la actividad de cada colaborador**



# Capítulo 6

## Conclusiones

En este capítulo, se revisan los objetivos alcanzados y se abordan los problemas surgidos durante el desarrollo del proyecto. Además, se realiza una reflexión sobre los conocimientos adquiridos tanto en este proyecto como a lo largo de mi formación académica, destacando su importancia para el desarrollo del mismo. Como cierre a este capítulo, se presentan propuestas de mejoras futuras con el fin de perfeccionar y aumentar las funcionalidades del programa desarrollado, lo que permitirá realizar un análisis más exhaustivo y enriquecer los resultados obtenidos.

### 6.1. Consecución de objetivos

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y el análisis realizado, se puede concluir que los objetivos específicos de este Trabajo de Fin de Grado, establecidos en el capítulo 2, se han cumplido de manera satisfactoria. Se ha llevado a cabo una exhaustiva investigación sobre los repositorios alojados en GitHub, identificando y seleccionando aquellos que resultan más relevantes para nuestra investigación, teniendo en cuenta su relevancia dentro de la plataforma y otros datos de interés para su análisis posterior. Se ha desarrollado un proyecto de programación en Python que permite analizar el contenido de un repositorio, estudiando sus posibles limitaciones y explorando en profundidad la utilidad del comando *git blame*. Se han abordado y solucionado diversas restricciones relacionadas con algunos archivos o funcionalidades, aportando al código más robustez. También se han solucionado problemas en relación al tamaño de la base de datos, puesto que se han encontrado dificultades al analizar repositorios de gran

tamaño. Tras esto, se ha llevado a cabo una recopilación de los datos que resultan útiles para llevar a cabo un análisis estadístico, realizando un procesado de los mismos para su posterior inserción en una base de datos. A partir de esta base de datos, se realiza una extracción de datos, evaluación e interpretación de los mismos, presentando los resultados obtenidos de manera gráfica.

Con todo ello, se concluye que se ha logrado el objetivo general del proyecto, que consiste en estudiar la evolución de proyectos FOSS<sup>1</sup> alojados en GitHub, obteniendo una comprensión integral de los cambios realizados a lo largo del tiempo, así como posibles patrones o tendencias presentes en el código libre.

## 6.2. Aplicación de lo aprendido

La aplicación de los conocimientos y habilidades adquiridos durante mi formación académica en el Grado en Ingeniería en Sistemas Audiovisuales y Multimedia ha sido esencial para la elaboración de este Trabajo de Fin de Grado. A continuación, se mencionan los aprendizajes que me permitieron llevar a cabo la extracción, tratamiento y clasificación de datos para obtener como resultado el análisis de este proyecto.

- **Informática I.** Esta asignatura fue mi primer contacto con el mundo de la programación. Me ha aportado conocimientos y habilidades para poder desarrollar mis primeros programas sencillos de manera efectiva, adquiriendo así las bases de la programación.
- **Informática II.** Aparte de reforzar las bases de programación adquiridas, esta asignatura me ha aportado una nueva visión sobre los algoritmos y estructuras adaptados a los requisitos del software de comunicaciones. Además, al desarrollarse en el lenguaje de Python, me ha servido para adquirir mis primeros conocimientos del mismo.
- **Protocolos para la Transmisión de Audio y Vídeo en Internet.** En esta asignatura he seguido aprendiendo los conocimientos del lenguaje de programación Python, que han sido fundamentales para llevar a cabo el desarrollo de los scripts realizados en este proyecto.

---

<sup>1</sup>Free/Open Source Software

- **Estadística para Sistemas Audiovisuales.** Gracias a esta asignatura he adquirido la capacidad de definir modelos probabilísticos para resolver problemas de ingeniería. Por lo que he adquirido conocimientos de probabilidad y estadística que me han servido de utilidad en el proceso del análisis estadístico del proyecto.

### 6.3. Lecciones aprendidas

Durante la realización de este Trabajo de Fin de Grado, he tenido la oportunidad de adquirir diversos conocimientos sobre las herramientas utilizadas en un proyecto de análisis o minería de datos, muchos de los cuales no había explorado con anterioridad ni durante mi formación académica. A continuación, se mencionan algunos de los aprendizajes más significativos que he obtenido:

- **Python.** La realización de este proyecto me ha permitido un mayor conocimiento de este lenguaje de programación, obteniendo nuevas habilidades y mejorando así mis capacidades para el desarrollo de código. Además, he adquirido conocimientos en muchas de las librerías que utiliza, como por ejemplo *subprocess* o *matplotlib*, observando las posibilidades de desarrollo que nos aportan.
- **GitHub.** He entendido con mayor claridad el funcionamiento de la plataforma, así como del historial de revisiones. Además, he adquirido conocimientos sobre los distintos repositorios que se pueden encontrar en GitHub, ya que podemos observar repositorios muy diferentes y a su vez con grandes funcionalidades.
- **MySQL.** Dado que no tenía conocimientos acerca de bases de datos, he aprendido el significado de las mismas, centrándome en una base de datos relacional y en la forma en qué estructura los datos. Por lo que he aprendido a gestionar una base de datos relacional, llevando a cabo distintas tareas tanto de inserción como de extracción de datos.
- **LaTeX.** Otro conocimiento nuevo aprendido ha sido el sistema de composición de textos denominado LaTeX. Su aprendizaje no ha sido muy costoso, y me ha permitido estructurar la memoria de mi Trabajo de Fin de Grado de manera clara y organizada.

Otro ámbito donde he adquirido gran aprendizaje ha sido en mis aptitudes para realizar un proyecto de minería de datos. Este proyecto me ha permitido aumentar mi capacidad de análisis y de investigación, sabiendo elegir y clasificar los repositorios y/o datos más importantes para utilizar en nuestro proyecto, y realizando un descarte de aquellos que no van a ser útiles para nuestro objetivo. También he aprendido a desarrollar un proyecto de estas dimensiones, estructurando de manera clara toda la información a exponer y organizando las tareas y los tiempos de manera adecuada. Otro aprendizaje a destacar es la resolución de problemas, puesto que he podido solventar distintos inconvenientes tanto del código como de la base de datos, haciendo posible la realización final del proyecto. Por último, cabe destacar mi aprendizaje redactando la información de este proyecto, desarrollando conceptos técnicos de la manera más clara posible, con el objetivo de un fácil entendimiento de cara a posibles mejoras por diversos contribuidores en el futuro.

## 6.4. Trabajos futuros

Dado que ningún proyecto ni software se termina de manera definitiva, en esta sección se mencionan posibles ideas o mejoras que pueden implementarse en el futuro para adquirir un proyecto más robusto y/o con nuevas funcionalidades.

- **Estudio de un lenguaje de programación concreto.** Nuestro proyecto tiene en cuenta todos los posibles lenguajes de programación que se pueden encontrar en los repositorios alojados en GitHub, sin embargo podríamos modificar el programa de manera que solo tuviera en cuenta un lenguaje de programación en concreto. De esta forma, se podría estudiar la evolución y presencia de este lenguaje en proyectos de código libre a lo largo de los años, observando si tiene relevancia en la plataforma o si se encuentra obsoleto frente a otros.
- **Evolución de las versiones de un mismo proyecto.** Un análisis que resulta interesante consiste en estudiar la evolución de las distintas versiones de un mismo proyecto a lo largo de los años. Se podría observar en que período de tiempo se ha dejado de desarrollar una versión antigua frente a la más nueva, así como si se comparten colaboradores entre versiones o si se da el caso contrario.



- **Estudio de proyectos de grandes dimensiones.** Estudiar la evolución de proyectos de gran relevancia conlleva enfrentarse a proyectos de grandes dimensiones, para los cuales tendríamos que aumentar la capacidad de la base de datos o incorporar múltiples bases de datos. Resolver los problemas que podamos encontrarnos y realizar mejoras para conseguir este objetivo resultaría muy interesante para estudiar proyectos que se encuentran en auge en la actualidad o que siempre han sido de vital importancia en el mundo de la programación. Además, esto ofrecería una mayor flexibilidad y escalabilidad al sistema.
- **Estudio de estructuras más utilizadas.** Puesto que se ha realizado un contador del número de palabras de cada línea de código, esto puede abrir puertas a un nuevo proyecto donde se estudie la presencia en mayor o menor grado de diversas estructuras. De esta manera, se puede estudiar la cantidad de veces que se utilizan listas o diccionarios en un archivo concreto, así como la presencia de sentencias de tipo If/Else o bucles.

En resumen, este proyecto se plantea como una apertura a distintos estudios o implementaciones futuras, debido a que no se han desarrollado muchas investigaciones acerca de proyectos de código libre y abierto que utilicen un sistema de control de versiones.



# **Apéndice A**

## **Manual de usuario**

Esto es un apéndice. Si has creado una aplicación, siempre viene bien tener un manual de usuario. Pues ponlo aquí.



# Bibliografía

- [1] E. Bonabeau, M. Dorigo, and G. Theraulaz. *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press, Inc., 1999.
- [2] R. A. Ghosh, R. Glott, B. Krieger, and G. Robles. Survey of developers (free/libre and open source software: Survey and study). Technical report, International Institute of Infonomics. University of Maastricht, The Netherlands, June 2002.  
<http://www.infonomics.nl/FLOSS/report>.
- [3] J. M. González-Barahona, G. Robles, M. Ortuño Pérez, L. Rodero-Merino, J. Centeno González, V. Matellan-Olivera, E. Castro-Barbero, and P. de-las Heras-Quirós. Analyzing the anatomy of GNU/Linux distributions: methodology and case studies (Red Hat and Debian). In S. Koch, editor, *Free/Open Source Software Development*, pages 27–58. Idea Group Publishing, Hershey, Pennsylvania, USA, 2004.
- [4] D. L. Parnas. On the criteria to be used in decomposing systems into modules. *Commun. ACM*, 15:1053–1058, 1972.
- [5] G. E. Poo Camaño et al. Estudio empírico de prácticas de desarrollo de software en proyectos de código abierto. 2010.
- [6] G. Robles, J. M. Gonzalez-Barahona, and I. Herraiz. An empirical approach to software archaeology. In *Proc. of 21st Int. Conf. on Software Maintenance (ICSM 2005), Budapest, Hungary*, pages 47–50, 2005.
- [7] G. Robles, J. J. Merelo, and J. M. González-Barahona. Self-organized development in libre software: a model based on the stigmergy concept. In *ProSim'05*, 2005.

- [8] A. B. Sánchez, J. A. Parejo, B. Estrada-Torres, A. E. Márquez-Chamorro, A. del Río-Ortega, and S. Segura. Aprendiendo arquitectura software a partir de proyectos de código abierto en github. 2023.
- [9] D. A. Wheeler. More than a gigabuck: Estimating GNU/Linux's size, June 2001.  
<http://www.dwheeler.com/sloc/redhat71-v1/redhat71sloc.html>.