



ESCUELA DE INGENIERÍA DE FUENLABRADA

GRADO EN INGENIERÍA TELEMÁTICA

TRABAJO FIN DE GRADO

MAPAS DE TERRENO PARA REALIDAD VIRTUAL

Autor : José Fuhui Pérez Contreras

Tutor : Dr. David Moreno Lumbreras

Curso académico 2024/2025



©2025 José Fuhui Pérez Contreras

Algunos derechos reservados

Este documento se distribuye bajo la licencia

“Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional” de Creative Commons,

disponible en

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.es>

*Dedicado a
mis padres*

Agradecimientos

Quiero agradecer a todas las personas que me han ayudado a lo largo de mi carrera, y en especial a mis amigos de clase y a mi tutor, David, por su apoyo y ayuda en la realización de este trabajo. También quiero agradecer a mis padres por su apoyo incondicional y por haberme dado la oportunidad de estudiar en esta universidad.

Resumen

Este proyecto tiene como objetivo la creación de un componente en tres dimensiones compatible con la realidad virtual. El componente utiliza *APIS* de *Mapbox* y *OpenStreetMap* para la creación de mapas de terreno en tres dimensiones. Se pretende que el componente pueda ser utilizado en aplicaciones de realidad virtual y que sea fácil de integrar en otros proyectos.

El componente se ha desarrollado utilizando *JavaScript* y *HTML*, apoyándose en los entornos de trabajo de *Node.js*, *A-Frame* (y, por tanto, *WebGL* y *Three.js*) y *BabiaXR*. La intención es que esté disponible en la web para que cualquier persona pueda utilizarlo y contribuir a su desarrollo.

Los mapas son una herramienta muy útil para la visualización de datos y la navegación en entornos tridimensionales. Durante toda la historia se han valorado los mapas como una herramienta fundamental para la exploración y el conocimiento del mundo. En la actualidad, con el auge de la realidad virtual y la realidad aumentada, los mapas han cobrado una nueva dimensión y se están convirtiendo en una herramienta esencial para la creación de experiencias inmersivas. Es por ello que pienso que este proyecto es relevante y puede tener un impacto significativo en el campo de la realidad virtual y la visualización de datos.

Summary

This project aims to create a three-dimensional component compatible with virtual reality. The component uses APIs from *Mapbox* and *OpenStreetMap* to generate three-dimensional terrain maps. The goal is for the component to be usable in virtual reality applications and to be easy to integrate into other projects.

The component has been developed using *JavaScript* and *HTML*, relying on the *Node.js*, *A-Frame* (and therefore *WebGL* and *Three.js*) and *BabiaXR* frameworks. The intention is to make it available on the web so that anyone can use it and contribute to its development.

Maps are a very useful tool for data visualization and navigation in three-dimensional environments. Throughout history, maps have been valued as a fundamental tool for exploration and understanding of the world. Nowadays, with the rise of virtual reality and augmented reality, maps have taken on a new dimension and are becoming an essential tool for creating immersive experiences. That is why I believe this project is relevant and may have a significant impact in the field of virtual reality and data visualization.

Índice general

Índice de figuras

Capítulo 1

Introducción

En los últimos años, el desarrollo de tecnologías inmersivas como la realidad virtual (VR) y la realidad aumentada (AR) ha propiciado nuevas formas de interactuar con la información digital. En este contexto, los mapas tridimensionales se presentan como una herramienta clave para enriquecer experiencias inmersivas, facilitar la navegación en entornos complejos y mejorar la visualización de datos geoespaciales. Este proyecto se enmarca en dicha línea de innovación, proponiendo la creación de un componente web en tres dimensiones que permita representar mapas de terreno realistas y compatibles con dispositivos de realidad virtual.

El componente desarrollado hace uso de diversas tecnologías modernas del ecosistema web, como *A-Frame*, *WebGL* y *Three.js*, facilitando la creación de entornos 3D interactivos en navegadores estándar. A su vez, se apoya en servicios de terceros como *Mapbox* y *OpenStreetMap*, que proporcionan datos geográficos y texturas necesarias para representar el terreno con un alto nivel de detalle. Todo ello se integra mediante *JavaScript*, *HTML* y herramientas de desarrollo como *Node.js*, dentro del ecosistema de la plataforma *BabiaXR*, orientada a facilitar el desarrollo de experiencias inmersivas en la web.

Uno de los principales objetivos del proyecto es que el componente resultante sea modular, reutilizable y accesible para otros desarrolladores o investigadores que quieran incorporarlo en sus propias aplicaciones. Por este motivo, se ha priorizado su disponibilidad en la web y la posibilidad de que terceros puedan contribuir a su mejora.

Además del reto técnico, el proyecto plantea una reflexión sobre el papel actual de los mapas en la era digital. A lo largo de la historia, los mapas han sido instrumentos fundamentales para la exploración, la planificación y la representación del mundo. Hoy, con el auge de las

tecnologías inmersivas, su potencial se amplía hacia nuevas formas de interacción, análisis y visualización de datos. En este sentido, este proyecto busca aportar una herramienta útil y abierta que contribuya a la evolución del uso de los mapas en entornos virtuales.

1.1. Sección

Esta memoria se estructura de la siguiente manera:

- En este capítulo inicial se presenta el contexto general del proyecto, los antecedentes que lo motivan y los objetivos que persigue. Además, se describe la estructura del documento para orientar al lector.
- El capítulo ?? expone los objetivos generales y específicos del proyecto, junto con la planificación temporal diseñada para su desarrollo.
- A continuación, en el capítulo ?? se analiza el estado del arte, incluyendo una revisión de tecnologías afines, soluciones previas y herramientas relevantes para el desarrollo de experiencias interactivas en realidad virtual.
- El capítulo ?? aborda el diseño y la implementación del componente desarrollado, con especial atención a su arquitectura, funcionalidades principales y decisiones técnicas adoptadas durante el proceso.
- En el capítulo ?? se describen los experimentos realizados y la validación del prototipo, incluyendo los criterios utilizados para evaluar su funcionamiento.
- El capítulo ?? recoge los resultados obtenidos tras la fase de pruebas, valorando en qué medida se han alcanzado los objetivos planteados.
- Por último, el capítulo ?? recoge las conclusiones generales del trabajo, analiza el grado de cumplimiento de los objetivos, reflexiona sobre el aprendizaje adquirido y propone posibles líneas de trabajo futuro.
- Como material complementario, se incluye un apéndice con un manual de usuario (chap:manual), así como la bibliografía utilizada en la elaboración del proyecto.

1.1.1. Estilo

Recomiendo leer los consejos prácticos sobre escribir documentos científicos en L^AT_EX de Diomidis Spinellis¹.

Lee sobre el uso de las comas². Las comas en español no se ponen al tuntún. Y nunca, nunca entre el sujeto y el predicado (p.ej. en “Yo, hago el TFG” sobre la coma). La coma no debe separar el sujeto del predicado en una oración, pues se cortaría la secuencia natural del discurso. No se considera apropiado el uso de la llamada coma respiratoria o *coma criminal*. Solamente se suele escribir una coma para marcar el lugar que queda cuando omitimos el verbo de una oración, pero es un caso que se da de manera muy infrecuente al escribir un texto científico (p.ej. “El Real Madrid, campeón de Europa”).

A continuación, viene una figura, la Figura ???. Observarás que el texto dentro de la referencia es el identificador de la figura (que se corresponden con el “label” dentro de la misma). También habrás tomado nota de cómo se ponen las “comillas dobles” para que se muestren correctamente. Nota que hay unas comillas de inicio (“) y otras de cierre (”), y que son diferentes. Volviendo a las referencias, nota que al compilar, la primera vez se crea un diccionario con las referencias, y en la segunda compilación se “rellenan” estas referencias. Por eso hay que compilar dos veces tu memoria. Si no, no se crearán las referencias.

A continuación un bloque “verbatim”, que se utiliza para mostrar texto tal cual. Se puede utilizar para ofrecer el contenido de correos electrónicos, código, entre otras cosas.

```
From gaurav at gold-solutions.co.uk  Fri Jan 14 14:51:11 2005
From: gaurav at gold-solutions.co.uk  (gaurav_gold)
Date: Fri Jan 14 19:25:51 2005
Subject: [Mailman-Users] mailman issues
Message-ID: <003c01c4fa40$1d99b4c0$94592252@gaurav7klgnyif>
```

```
Dear Sir/Madam,

How can people reply to the mailing list?  How do i turn off
this feature? How can i also enable a feature where if someone
replies the newsletter the email gets deleted?

Thanks
```

¹<https://github.com/dspinellis/latex-advice>

²<http://narrativabreve.com/2015/02/opiniones-de-un-corrector-de-estilo-11-recetas-par>
html



Figura 1.1: Página con enlaces a hilos

From msapiro at value.net Fri Jan 14 19:48:51 2005
 From: msapiro at value.net (Mark Sapiro)
 Date: Fri Jan 14 19:49:04 2005
 Subject: [Mailman-Users] mailman issues
 In-Reply-To: <003c01c4fa40\$1d99b4c0\$94592252@gaurav7klgnyif>
 Message-ID: <PC173020050114104851057801b04d55@msapiro>

gaurav_gold wrote:

>How can people reply to the mailing list? How do i turn off
 this feature? How can i also enable a feature where if someone
 replies the newsletter the email gets deleted?

See the FAQ

>Mailman FAQ: <http://www.python.org/cgi-bin/faqw-mm.py>
 article 3.11

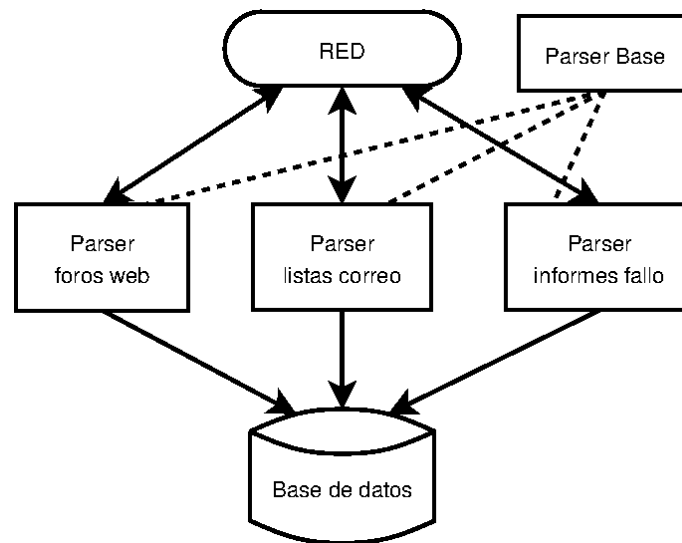


Figura 1.2: Estructura del parser básico

1.2. Estructura de la memoria

En esta sección se debería introducir la estructura de la memoria.

Así:

- En el primer capítulo se hace una intro al proyecto.
- En el capítulo ?? (ojo, otra referencia automática) se muestran los objetivos del proyecto.
- A continuación se presenta el estado del arte en el capítulo ??.
- ...

Capítulo 2

Objetivos

2.1. Objetivo general

Aquí vendría el objetivo general en una frase: Mi trabajo fin de grado consiste en crear de una herramienta de análisis de los comentarios jocosos en repositorios de software libre alojados en la plataforma GitHub.

Recuerda que los objetivos siempre vienen en infinitivo.

2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos se pueden entender como las tareas en las que se ha desglosado el objetivo general. Y, sí, también vienen en infinitivo.

2.3. Planificación temporal

A mí me gusta que aquí pongáis una descripción de lo que os ha llevado realizar el trabajo. Hay gente que añade un diagrama de GANTT. Lo importante es que quede claro cuánto tiempo llevas (tiempo natural, p.ej., 6 meses) y a qué nivel de esfuerzo (p.ej., principalmente los fines de semana).

Capítulo 3

Estado del arte

Descripción de las tecnologías que utilizas en tu trabajo. Con dos o tres párrafos por cada tecnología, vale. Se supone que aquí viene todo lo que no has hecho tú.

Puedes citar libros, como el de Bonabeau et al., sobre procesos estigmérgicos [?]. Me encantan los procesos estigmérgicos. Deberías leer más sobre ellos. Pero quizás no ahora, que tenemos que terminar la memoria para sacarnos por fin el título. Nota que el ~ añade un espacio en blanco, pero no deja que exista un salto de línea. Imprescindible ponerlo para las citas.

Citar es importantísimo en textos científico-técnicos. Porque no partimos de cero. Es más, partir de cero es de tontos; lo suyo es aprovecharse de lo ya existente para construir encima y hacer cosas más sofisticadas. ¿Dónde puedo encontrar textos científicos que referenciar? Un buen sitio es Google Scholar¹. Por ejemplo, si buscas por “stigmergy libre software” para encontrar trabajo sobre software libre y el concepto de *estigmergia* (¿te he comentado que me gusta el concepto de estigmergia ya?), encontrarás un artículo que escribí hace tiempo cuyo título es “Self-organized development in libre software: a model based on the stigmergy concept”. Si pulsas sobre las comillas dobles (entre la estrella y el “citado por ...”, justo debajo del extracto del resumen del artículo, te saldrá una ventana emergente con cómo citar. Abajo a la derecha, aparece un enlace BibTeX. Púlsalo y encontrarás la referencia en formato BibTeX, tal que así:

```
@inproceedings{robles2005self,  
  title={Self-organized development in libre software:  
    a model based on the stigmergy concept},  
  author={Robles, Gregorio and Merelo, Juan Juli\`an
```

¹<http://scholar.google.com>

Uno	2	3
Cuatro	5	6
Siete	8	9

Cuadro 3.1: 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.

```

and Gonz\'alez-Barahona, Jes\'us M.},
booktitle={ProSim'05},
year={2005}
}

```

Copia el texto en BibTeX y pégalo en el fichero `memoria.bib`, que es donde están las referencias bibliográficas. Para incluir la referencia en el texto de la memoria, deberás citarlo, como hemos hecho antes con [?], lo que pasa es que en vez de el identificador de la cita anterior (bonabeau:swarm), tendrás que poner el nuevo (robles2005self). Compila el fichero `memoria.tex` (`pdflatex memoria.tex`), añade la bibliografía (`bibtex memoria.aux`) y vuelve a compilar `memoria.tex` (`pdflatex memoria.tex`)...y *voilà* ¡tenemos una nueva cita [?]

También existe la posibilidad de poner notas al pie de página, por ejemplo, una para indicarte que visite la página del GSyC².

3.1. Sección 1

Hemos hablado de cómo incluir figuras. Pero no hemos dicho nada de tablas. A mí me gustan las tablas. Mucho. Aquí un ejemplo de tabla, la Tabla ?? (siento ser pesado, pero nota cómo he puesto la referencia).

Hay un sitio en Internet donde puedes diseñar las tablas fácilmente y luego hacer un corta y pega del resultado en tu editor. Puedes probarlo en <https://www.tablesgenerator.com/>.

²<http://gsyc.es>

Capítulo 4

Diseño e implementación

Aquí viene todo lo que has hecho tú (tecnológicamente). Puedes entrar hasta el detalle. Es la parte más importante de la memoria, porque describe lo que has hecho tú. Eso sí, normalmente aconsejo no poner código, sino diagramas.

4.1. Arquitectura general

Si tu proyecto es un software, siempre es bueno poner la arquitectura (que es cómo se estructura tu programa a “vista de pájaro”).

Por ejemplo, puedes verlo en la figura ?? . L^AT_EX pone las figuras donde mejor cuadran. Y eso quiere decir que quizás no lo haga donde lo hemos puesto. . . Eso no es malo. A veces queda un poco raro, pero es la filosofía de L^AT_EX: tú al contenido, que yo me encargo de la maquetación.

Recuerda que toda figura que añadas a tu memoria debe ser explicada. Sí, aunque te parezca evidente lo que se ve en la figura ??, la figura en sí solamente es un apoyo a tu texto. Así que explica lo que se ve en la figura, haciendo referencia a la misma tal y como ves aquí. Por ejemplo: En la figura ?? se puede ver que la estructura del *parser* básico, que consta de seis componentes diferentes: los datos se obtienen de la red, y según el tipo de dato, se pasará a un *parser* específico y bla, bla, bla. . .

Si utilizas una base de datos, no te olvides de incluir también un diagrama de entidad-relación.

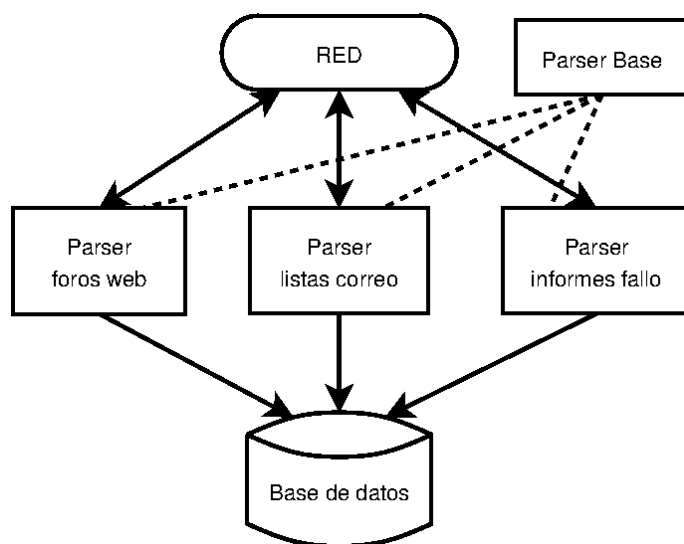


Figura 4.1: Estructura del parser básico

Capítulo 5

Experimentos y validación

Este capítulo se introdujo como requisito en 2019. Describe los experimentos y casos de test que tuviste que implementar para validar tus resultados. Incluye también los resultados de validación que permiten afirmar que tus resultados son correctos.

Capítulo 6

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.

Capítulo 7

Conclusiones

7.1. Consecución de objetivos

Esta sección es la sección espejo de las dos primeras del capítulo de objetivos, donde se planteaba el objetivo general y se elaboraban los específicos.

Es aquí donde hay que debatir qué se ha conseguido y qué no. Cuando algo no se ha conseguido, se ha de justificar, en términos de qué problemas se han encontrado y qué medidas se han tomado para mitigar esos problemas.

Y si has llegado hasta aquí, siempre es bueno pasarle el corrector ortográfico, que las erratas quedan fatal en la memoria final. Para eso, en Linux tenemos `aspell`, que se ejecuta de la siguiente manera desde la línea de *shell*:

```
aspell --lang=es_ES -c memoria.tex
```

7.2. Aplicación de lo aprendido

Aquí viene lo que has aprendido durante el Grado/Máster y que has aplicado en el TFG/TFM. Una buena idea es poner las asignaturas más relacionadas y comentar en un párrafo los conocimientos y habilidades puestos en práctica.

1. a

2. b

7.3. Lecciones aprendidas

Aquí viene lo que has aprendido en el Trabajo Fin de Grado/Máster.

1. Aquí viene uno.
2. Aquí viene otro.

7.4. Trabajos futuros

Ningún proyecto ni software se termina, así que aquí vienen ideas y funcionalidades que estaría bien tener implementadas en el futuro.

Es un apartado que sirve para dar ideas de cara a futuros TFGs/TFMs.

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] 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.