



INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA TELECOMUNICACIÓN

Curso Académico 2019/2020

Trabajo Fin de Grado

INTERFACES FOR BUILDING SCENES IN VIRTUAL REALITY

Autor : Javier Jesús Bravo Donaire

Tutor : Dr. Jesús María González Barahona

Trabajo Fin de Grado/Máster

Interfaces for Building Scenes in Virtual Reality

Autor : Javier Jesús Bravo Donaire

Tutor : Dr. Jesús María González Barahona

La defensa del presente Proyecto Fin de Carrera se realizó el día de
de 20XX, siendo calificada por el siguiente tribunal:

Presidente:

Secretario:

Vocal:

y habiendo obtenido la siguiente calificación:

Calificación:

Fuenlabrada, a de de 20XX

*Dedicado a
mi familia / mis amigos / mis compañeros*

Agradecimientos

Página de agradecimientos en proceso.

Resumen

Resumen en proceso. Mejor escribirlo al final.

Summary

Página de resumen escrito en inglés. Al igual que el resumen, se escribe lo último.

Indice General

1	Introducción	1
1.1	Contexto	1
1.2	Objetivo principal	2
1.3	Objetivos específicos	3
1.4	Planificación temporal	3
1.5	Estructura de la memoria	4
2	Tecnologías	7
2.1	A-Frame	7
2.2	HTML5	9
2.3	JavaScript	10
2.4	WebGL	11
2.5	Three.js	12
2.6	WebXR	12
2.7	GitHub	13
2.8	Atom	14
2.9	LaTeX	15
3	Diseño e implementación	17
3.1	Sprint 1	19
3.1.1	Objetivo	19
3.1.2	Desarrollo	19
3.1.3	Funcionalidades añadidas	24
3.1.4	Resultado	25

3.2	Sprint 2	25
3.2.1	Objetivo	26
3.2.2	Desarrollo	26
3.2.3	Resultado	31
3.3	Sprint 3	31
3.4	Sprint 4	31
4	Resultado Final	33
4.1	Manual de Usuario	33
4.2	Arquitectura resultante	33
5	Conclusiones	35
5.1	Consecución de objetivos	35
5.2	Aplicación de lo aprendido	35
5.3	Lecciones aprendidas	35
5.4	Trabajos futuros	36
	Bibliography	37

Lista de Figuras

2.1	Escena de ejemplo Introducción a Aframe	9
2.2	Estructura en forma de árbol DOM	10
2.3	Estructura de ramas Git	15
3.1	Estructura de la metodología Scrum	18
3.2	Punto de partida Minijuego	20
3.3	Plataformas para subir de nivel	20
3.4	Piedras que bloquean el camino y bloque gigante	21
3.5	Obstáculo de baldosas con movimiento	22
3.6	Escena victoria	26
3.7	Panel con botones para generar entidades	27
3.8	Entidades generadas con el panel	28
3.9	Mesa con entidades holográficas	29
3.10	Paleta de colores perteneciente a una entidad	30
3.11	Versión funcional conseguida al final del Sprint 2	31

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se tratan los objetivos tanto principales como específicos, el contexto en el que surgió esta idea, la planificación temporal para la elaboración del mismo, finalizando con una explicación clarificadora sobre la estructura seguida en este escrito.

El fin de este estudio es la elaboración de una interfaz en realidad virtual, disponible desde cualquier navegador. El nacimiento de esta idea surgió con el deseo de introducir a usuarios con un conocimiento bajo sobre los distintos programas de edición de escenas o diseño de modelos 3D, a un entorno intuitivo y de veloz aprendizaje.

El esqueleto del trabajo se compone del framework de creación de experiencias en realidad virtual, A-Frame. A este se le unen otras tecnologías que ayudan a moldear y mejorar este esqueleto, donde se incluyen JavaScript o HTML, entre otras.

1.1 Contexto

En los últimos años, el sector tecnológico es uno de los departamentos que más crecimiento ha demostrado, consiguiendo récords de desarrollo en 2018 y 2019. Una de las ramas que se diferencian son la realidad virtual y realidad aumentada, originada en la Segunda Guerra Mundial por la necesidad de crear simuladores de vuelo para instruir a los pilotos. Ya en el año 1960, Morton Heilig¹ patenta el primer prototipo de visor que reproduce diapositivas en 3D y sonidos estéreos.

Durante décadas, los avances en este ámbito se han ido desarrollando positivamente hasta

¹https://en.wikipedia.org/wiki/Morton_Heilig

lo que tenemos actualmente:

- Distintas marcas desarrollan videojuegos en realidad virtual (Sony, Microsoft).
- Múltiples empresas exponen distintos dispositivos para acceder a estos entornos (Oculus, HTC Corporation).
- Simulaciones de vuelo y entrenamiento de pilotos (Fórmula 1, MotoGP).
- En medicina, se usan como simuladores de operaciones y al igual que el anterior punto, para el adiestramiento de personal sanitario lo que evita el gasto de material.
- Muchos museos usan el sistema de realidad aumentada para mostrar escenas de distintas épocas al espectador.

Todas ellas coinciden en su sencillez para un usuario inexperto y en el atractivo de imaginarte en un mundo paralelo donde puedes hacer lo que te plazca. Siguiendo las anteriores aplicaciones, muchas se encuentran en constante desarrollo y son el aliciente del surgimiento de este proyecto.

El modelado 3D, la creación de escenas o la representación de datos en realidad virtual son tres de las dispares ideas que se encuentran en auge en la actualidad. Aplicaciones de escritorio, como podría ser Blender², adaptadas en un entorno de realidad virtual donde tu puedas modificar el modelo 3D con tus propias manos, o recorrer una ciudad donde cada edificio representa un archivo de tu ordenador e incluso una red de ordenadores donde puedas observar todos los paquetes de comunicación y desplegarlos para ver su información. Todo esto, es solo un pequeño desglose de los ejemplos que me mostró Jesús y llevaron a la elección de esta idea.

1.2 Objetivo principal

El objetivo principal de este proyecto se centra en el desarrollo de un entorno de realidad virtual que permita al usuario realizar sus propias escenas mediante la selección y edición de múltiples entidades sin el requisito de tener conocimientos en la rama de edición, de un modo veloz, comprensible y enriquecedor.

²<https://www.blender.org/>

1.3 Objetivos específicos

Objetivos específicos a los que se irán dando solución según avance el trabajo:

- Creación de un panel donde el usuario pueda decidir que objeto crear y poder crear copias infinitas de él.
- Añadir una paleta de colores y texturas para cada entidad que permita al usuario decidir el estilo.
- Elección del tamaño de los objetos e implementación mediante gestos en la versión con gafas VR.
- Adaptación de la versión de escritorio a una versión de realidad aumentada compatible con cualquier dispositivo de visualización.
- Dotar de movilidad al usuario tanto para la versión de escritorio como la de realidad virtual.
- Asignar dinamismo a la cámara para simular el movimiento y conectarlo con el sonido estéreo con el objetivo de hacer sentir al usuario una experiencia completa.
- Modo de edición que represente el esqueleto de las entidades así como los ejes de esta y de la propia escena, para facilitar al usuario la visión y obtener una referencia sobre el ancho y alto real.
- La accesibilidad para cualquier usuario al código y a los ejemplos mediante la plataforma GitHub, además de permitir modificarlo y añadir funcionalidades.

1.4 Planificación temporal

Este proyecto se inició con la apertura del segundo semestre de curso, y se ha ido desarrollando mientras terminaba este y realizaba las prácticas en empresa. Para ello, seguimos el modelo Scrum, en el cual, el proyecto se divide en distintas etapas denominadas "Sprints". Para distinguir estas etapas, manteníamos reuniones (al principio presenciales y más tarde por videoconferencia) en las que se resolvían dudas y se aclaraban los distintos objetivos a conseguir en cada

”Sprint”. La duración de este han sido un total de 9 meses, en los cuales ha habido temporadas más activas y otras más calmadas debido a exámenes o trabajo, pero en todas ellas el periodo de trabajo era por las tardes después de clase, y sobre todo los fines de semana. En general, todo el proceso de creación de este proyecto se puede simplificar en cuatro fases:

- Decisión del objetivo. Esta fase consta de las reuniones que llevé a cabo mi tutor Jesús. En ellas, se hablaba de las distintas corrientes de estudio que se podían seguir, decantándome al final por la presente.
- Adaptación a la tecnología. Para adentrarme en las tecnologías mencionadas más adelante en el capítulo 2, decidimos realizar un minijuego que me permitiese aprender el funcionamiento de Aframe 2.1 o aprender lenguajes de programación como JavaScript 2.3.
- Ejecución de los objetivos. Las distintas reuniones marcaban el inicio y final de las distintas etapas con las que avanzaba el proyecto. Es la fase más amplia de todas ya que es en la que mas documentación es necesaria para avanzar y más tiempo se invierte en la escritura de código, pruebas, etc.
- Redacción de la memoria.

1.5 Estructura de la memoria

Para una correcta lectura del presente proyecto, se aclara la estructura que se sigue a continuación:

- En este primer capítulo se presenta una introducción al proyecto, exponiendo sus objetivos y contexto actual, así como la planificación temporal de todo el proyecto.
- En el capítulo 2 se muestran las distintas tecnologías que se enlazan a lo largo del proyecto con algunos ejemplos de uso.
- A continuación, se presenta el proceso de desarrollo en el capítulo 3. Además, en él se explica detalladamente el modelo Scrum, los diferentes Sprints y tanto los problemas como objetivos que se van solucionando.

- El capítulo 4 muestra el resultado final desde dos distintas perspectivas, una en la que se expone una guía para el usuario y otra más técnica donde se explica la arquitectura resultante, focalizándose en los componentes que implementa la escena.
- Las conclusiones quedan recogidas en el capítulo 5, donde se analizará todo lo aprendido durante este periodo, los objetivos logrados y los problemas resueltos.

Capítulo 2

Tecnologías

2.1 A-Frame

La gran base de este proyecto es A-Frame[7], un framework cimentado sobre JavaScript que nos ofrece la oportunidad de crear escenas en VR (Virtual Reality o Realidad Virtual) sin la necesidad de instalar ninguna dependencia. Gracias a la unión de HTML, JavaScript, WebGL, WebXR y Three.js (comentados en sus respectivos apartados más adelante), A-Frame lleva la arquitectura ECS (Entity-Component-System o Entidad-Componente-Sistema) a otro nivel. Con esta arquitectura, podemos enlazar componentes a entidades, actualizarlos e incluso eliminarlos. Al obtener el DOM característico de HTML, podemos acceder a las entidades con sentencias simples (Query Selectors).

Se definen así, entidades y componentes. Una entidad es un objeto que tiene sus propiedades como cualquier elemento HTML; en cambio, un componente es un comportamiento especial que se puede asignar a una entidad. La relación entidad-componente será la esencia de aquellos trabajos realizados en A-Frame.

A-Frame tiene su propia sección de tutorial práctico en el que se introduce al usuario a los distintos elementos y entidades, realizando pequeñas escenas. El código de ejemplo¹ que propone la documentación de A-Frame, y que da lugar a la imagen de la Figura 2.1 es el siguiente:

```
<html>
  <head>
```

¹<https://aframe.io/examples/showcase/helloworld/>

```

<script src="https://aframe.io/releases/1.0.4/aframe.min.js"></script>
</head>
<body>
  <a-scene>
    <a-box position="-1 0.5 -3" rotation="0 45 0"
           color="#4CC3D9"></a-box>
    <a-sphere position="0 1.25 -5" radius="1.25"
               color="#EF2D5E"></a-sphere>
    <a-cylinder position="1 0.75 -3" radius="0.5"
                  height="1.5" color="#FFC65D"></a-cylinder>
    <a-plane position="0 0 -4" rotation="-90 0 0" width="4"
              height="4" color="#7BC8A4"></a-plane>
    <a-sky color="#ECECEC"></a-sky>
  </a-scene>
</body>
</html>

```

Como se puede observar, dentro del campo "head" del código, añadiremos todas las dependencias necesarias. En este caso, al ser un ejemplo sencillo, es necesario únicamente el script básico de A-Frame. En el elemento "body" se inserta la escena (que agrupará todos los elementos que posteriormente queramos añadir). En él, se encuentran un total de cinco entidades: un cubo, una esfera, un cilindro, un plano y el cielo, respectivamente. Todas ellas contienen unos atributos únicos que definen su tamaño, color o posición.

Por el momento, no se añade ningún componente en la escena, ya que se usarán en el capítulo 3, pero se añadirían como si de un atributo más se tratase. Estos son creados mediante JavaScript, y se dividen en schema (propiedades del componente) y las funciones init (se ejecuta al inicializar la entidad), update (se ejecuta cuando se modifica la entidad), tick (se ejecuta cada milisegundo), remove (se ejecuta al eliminar la entidad), pause y play. Lo adecuado sería alojarlos en un fichero distinto a este y enlazarlo en el elemento "head" al igual que hemos añadido el script básico de A-Frame.

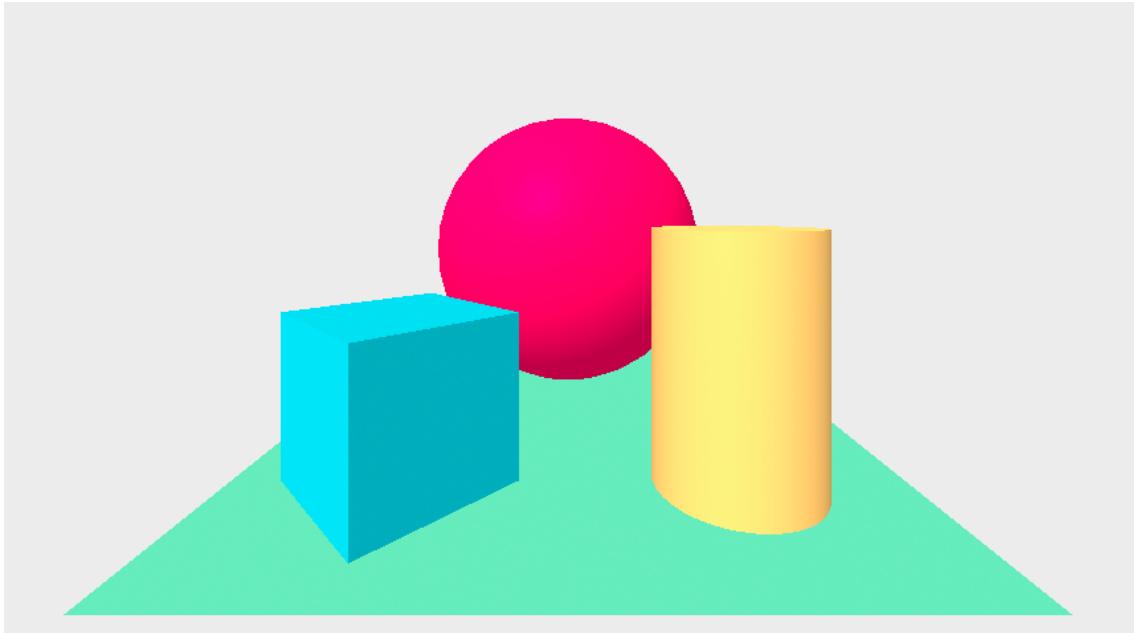


Figure 2.1: Escena de ejemplo Introducción a Aframe

2.2 HTML5

HTML (HyperText Markup Language)[10] es el lenguaje de marcado empleado para la creación y estructuración de páginas web. Actualmente se encuentra en su versión HTML5 publicada en 2014 y es en la que se ha desarrollado este proyecto. Algunas de sus novedades frente a su versión HTML4 son:

- Se incluyeron nuevas etiquetas al documento: footer, header, section, nav, aside, etc.
- Nuevos componentes de audio y video para la manipulación de elementos multimedia.
- Los formularios ahora contienen valores adicionales para la etiqueta input y se incorpora el elemento output.
- Nueva interfaz para arrastrar y soltar elementos.
- Trabajo off-line descargando todos los contenidos necesarios.
- Geolocalización
- Ejecución de tareas paralelas (WebWorkers) e interfaz de comunicación entre páginas (WebSockets).

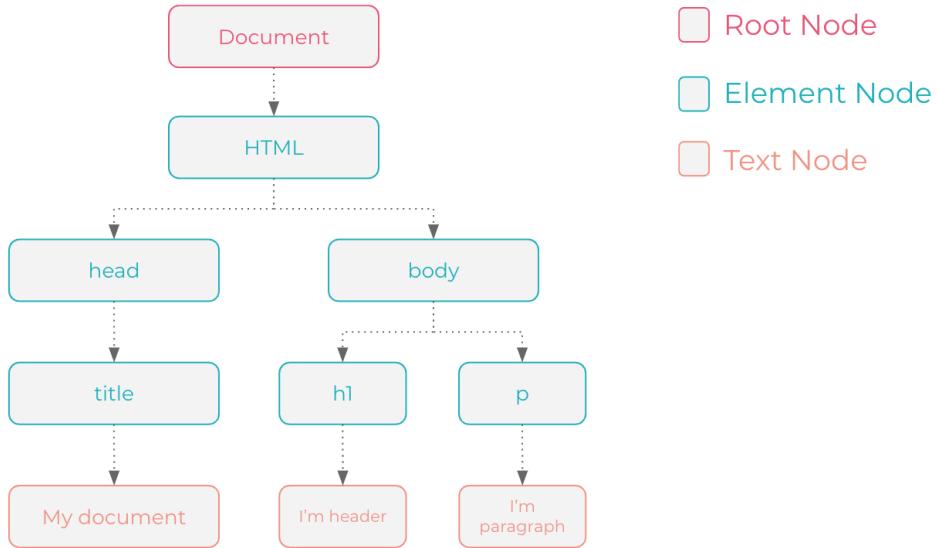


Figure 2.2: Estructura en forma de árbol DOM

- Almacenamiento de datos en el propio navegador gracias a una base de datos (API Storage).

Para finalizar, resta detallar el papel del DOM (Document Object Model) en un documento HTML. Consiste de una interfaz que nos proporciona una estructura lógica de todos los elementos implicados en el documento y los organiza en nodos, apodando a esta unión árbol de nodos (Figura 2.2). Esto crea una potente unión entre las entidades mencionadas antes en Aframe y lo que comentaremos a continuación en el apartado de JavaScript, gracias al DOM podremos acceder a ellas y manejarlas a nuestro antojo.

2.3 JavaScript

JavaScript[4] es un lenguaje de programación interpretado, lo que significa que no necesita de compilación para su ejecución. Su fin consiste en infundir dinamicidad a nuestras aplicaciones web mediante distintas animaciones, manejo de eventos y modificaciones del DOM en general. Como cualquier otro lenguaje de programación puede realizar operaciones, tratamiento de strings, almacenamiento de variables y métodos algorítmicos.

Acceder al DOM gracias a JavaScript se convierte en una tarea sencilla además de potente. El código HTML es estático, pero con JavaScript podemos alterarlo en vivo con distintos even-

tos. Gracias a sentencias como la siguiente podemos acceder a cualquier elemento, por ejemplo, al título:

```
document.getElementsByTagName("h1");
```

Dicho esto, igual que accedemos al título, podemos acceder a un componente de nuestra escena en A-Frame: cubos, cilindros, el cielo o incluso a la cámara de nuestra escena. Nos aporta infinidad de opciones: crear botones que activen eventos, movimiento a distintas entidades, etc. Junto con todo lo que nos ofrece A-Frame, JavaScript será la base este proyecto.

Habitualmente, el código JavaScript se encuentra en el lado del cliente, pero debido a su gran popularidad se creó una versión con la capacidad de ser ejecutada en el lado del servidor, Node.js.[5] Al estar basado en JavaScript, mantiene las ventajas de este, sigue siendo software libre y además, es asíncrono. Su función principal es el manejo de solicitudes de entrada y la salida de respuesta, llegando incluso a poder realizar una solicitud HTTP.

2.4 WebGL

WebGL[9] define una API (Application Programming Interfaces o Interfaz de Programación de Aplicaciones) basada en OpenGL² cuyo fin es la representación tanto en 3D como en 2D de elementos gráficos. Como se ejecuta en el elemento "canvas" de HTML, se integra a la perfección con la interfaz del DOM. Su creación nació en 2006 con el primer prototipo de Canvas 3D presentado por Vladimir Vukicevic³, y no fue hasta principios de 2009 que el consorcio Kronos Group consolidó el WebGL Working Group junto con Google, Mozilla, Apple y Opera, entre otros. Finalmente, en 2011 fue lanzada la primera versión con sus correspondientes especificaciones.

Al estar asentado en OpenGL, su código está escrito en JavaScript y "shading language". Shading language o lenguaje de sombreado, es un lenguaje de programación basado en la creación de efectos de sombreado, así como superficies, volúmenes, etc. Usa unos tipos de

²<https://www.opengl.org//documentation/>

³https://en.wikipedia.org/wiki/Vladimir_Vuki%C4%87evi%C4%87

datos más específicos que otros lenguajes, como pueden ser: vectores, matrices o colores. Para el caso de OpenGL, recibe el nombre de GLSL o "glslang".

2.5 Three.js

Three.js[6] es una biblioteca escrita en JavaScript que se ayuda de WebGL para pintar en 3D. Three se encarga de tareas más específicas que las que aporta WebGL, lo que conlleva a escribir un poco más de código. Estas tareas son la inyección en nuestro proyecto de texturas, iluminación, sombras, etc.

Actualmente se encuentra en constante desarrollo, y al estar alojada en GitHub⁴, se pueden crear funcionalidades nuevas siguiendo determinadas reglas comentadas en el apartado correspondiente a GitHub.

2.6 WebXR

WebXR [8] es un grupo de estándares que apoyan a la creación de escenas 3D tanto en realidad virtual como en realidad aumentada, que junto con Aframe, WebGL y Three.js permitirán el correcto funcionamiento de la escena y la apropiada ejecución en un dispositivo XR. Es la sucesora de WebVR, la cuál se ha dado como desactualizada este mismo año (2020), y añade la compatibilidad con realidad aumentada, de ahí que el nombre cambie de WebVR a WebXR. La API de WebXR aporta unas funcionalidades extra de las cuales, el usuario puede no necesitar hacerse cargo:

- Duplicar la salida 3D (en el dispositivo) a una 2D en el caso que fuese necesaria, por ejemplo, para la depuración de una aplicación.
- Crear los vectores que representan los movimientos que transmiten los controles de entrada (mandos).
- Renderizar la escena que se envía al dispositivo para que tenga el ratio de frames por segundo adecuado para su correcto funcionamiento.

⁴<https://github.com/mrdoob/three.js/>

- Averiguar si el dispositivo de salida es compatible con realidad aumentada o con realidad virtual.

Los dispositivos XR serán entonces, aquellos que pueden presentar imágenes al usuario e incorporen un sistema de rastreo de movimiento y orientación, permitiendo la inmersión completa de este.

2.7 GitHub

GitHub[12] es una de las mayores plataformas de almacenamiento de software y proyectos basado en el sistema de control de versiones Git[2], creado por Linus Torvalds⁵ en el año 2005.

El propósito de Git es la eficiencia de producción y el mantenimiento de un registro de los cambios que se producen, con el fin de coordinar el trabajo compartido. Para lograr esto, se aclaran unas normas a seguir que reciben el nombre de Flujo de Trabajo.

Git sigue una estructura de árbol, en la que cada rama representa un flujo de trabajo. La rama principal recibe el nombre de "master", esta rama contiene la versión funcional del proyecto que se esté llevando a cabo, es la rama de producción. Para crear esta rama necesitamos establecer un repositorio en el que poder añadir nuestros archivos y añadirlos. Git tiene una serie de comandos para realizar todas estas acciones, por ejemplo, para crear el repositorio usamos *git init*, y para añadir nuestros archivos (consiguiendo así protegerlos) *git commit* seguido de *git push*.

Para prevenir que se trabaje todo sobre la versión de producción, Git aporta un comando para crear ramas adicionales en las que distintos grupos de trabajo pueden trabajar para evitar modificar los mismos archivos y eliminar sus propios avances, *git branch*. Una vez terminada la funcionalidad en la que se trabaja en una rama aparte, se debe enlazar con la rama maestra, para ello empleamos el comando *git merge*. Se forma así una estructura de árbol como la que podemos observar en la Figura 2.3, en la que cada nodo corresponde con una representación de nuestros archivos comprometidos, lo que se llama "log". Gracias a esto, podemos volver a antiguos nodos del árbol para recuperar versiones anteriores, eliminar otros, etc.

Tomando como base Git, GitHub nos permite visualizar en su plataforma web el flujo de trabajo conseguido. La principal diferencia entre ambos consiste en que GitHub nos aporta

⁵https://es.wikipedia.org/wiki/Linus_Torvalds

una interfaz gráfica de nuestro árbol, mientras que Git solo funciona a través de comandos en una terminal. Asimismo, GitHub añade más herramientas que nos aportan claridad y orden al proyecto:

- Creación de perfiles para cada usuario donde se muestran los repositorios en los que trabaja (tanto propios como conjuntos), junto con estadísticas de trabajo: lenguajes de programación más usados, historial de producción, etc.
- Página de "wiki" para cada repositorio en la que se puede comentar cada apartado de este para que los lectores puedan apoyarse.
- Una sección llamada "issues" donde los usuarios pueden dejar un mensaje comentando cualquier fallo que hayan encontrado en nuestro trabajo.
- La casilla "projects" permite crear tareas que se pueden asignar a distintos grupos de trabajo para tener un control de las funcionalidades que se están creando, así como creación de columnas para ordenar estas tareas según si se encuentran finalizadas, en proceso o por iniciar.
- Capacidad de copiar un repositorio ajeno para trabajar sobre él. Esto es lo que se conoce como "fork", nos permite editar los archivos y en el caso de mejorar alguna funcionalidad, podemos solicitar al autor una unión (merge) con lo que se denomina "pull request".

Todas estas cualidades mostradas, han sido las responsables para decidirme a alojar y proteger mi proyecto en GitHub⁶.

2.8 Atom

Atom[1] ha sido el editor de textos elegidos para aposentar todo el código necesario para el funcionamiento de esta idea. Gracias a tratarse de un programa de código abierto, podemos encontrar infinidad de bibliotecas para modificarlo a nuestro gusto. Entre sus ventajas se encuentran:

⁶<https://github.com/JavierBravoDonaire/A-frame>

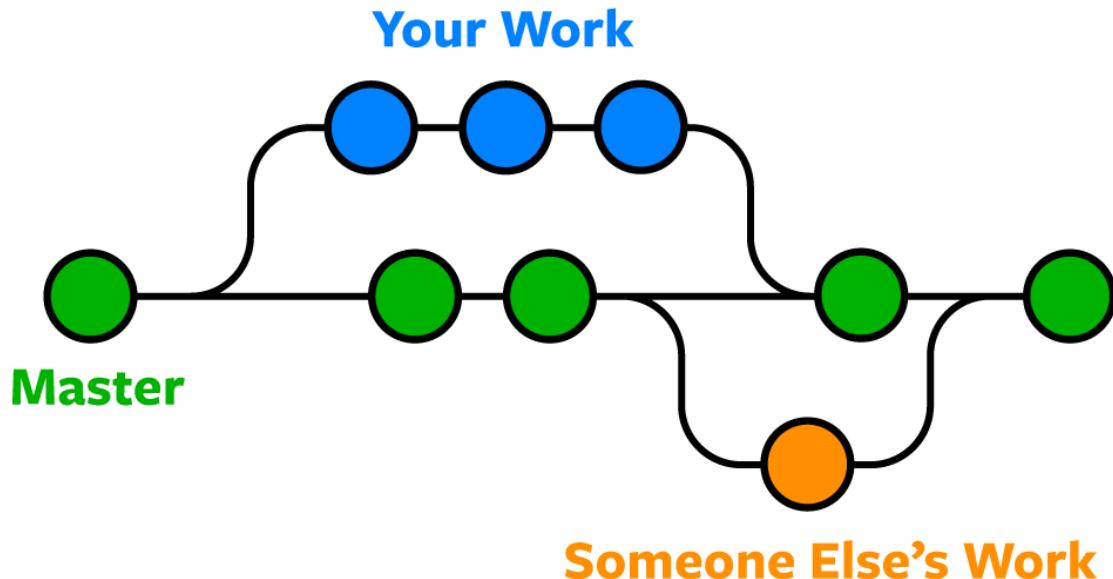


Figure 2.3: Estructura de ramas Git

- Autocompletado de sentencias. Si existe un paquete relacionado con el lenguaje de programación que se va a usar, atom completará las sentencias añadiendo los paréntesis, corchetes, tabuladores o elemento que se necesite.
- Reglas de estilo. Semejante al anterior punto, dotará de distintos estilos al código, las variables serán de un color, los nombres de función de otro, etc.
- Sincronización con repositorios. Una de las herramientas más potentes es la capacidad de sincronizar con GitHub tu proyecto. Esto permite a atom mostrarte los archivos que han sido modificados, los que no se han comprometido, los nuevos o los que siguen intactos.
- Edición múltiple. Tolera varias flujos de escritura a la vez, por ejemplo si necesitamos añadir a varios elementos el mismo atributo, escribiéndolo una vez, se escribiría en todos ellos sin necesidad de copiar y pegar.

2.9 LaTeX

LaTeX[11] trata de un procesador de textos de software libre típicamente utilizado para textos técnico-científicos. Su objetivo principal es separar las reglas de estilo del contenido. La diferencia más importante con respecto a otros editores de textos es su estructura basada en

instrucciones. Entre sus ventajas se encuentran la capacidad de establecer órdenes al inicio de nuestro texto que afectarán a este, o la despreocupación a la hora de situar figuras y tablas, ya que como he comentado antes, él se encarga del estilo, nosotros del contenido.

Al tratarse de un software libre su uso es completamente gratuito (además, de que se mantiene siempre en desarrollo) y se encuentra disponible para múltiples sistemas operativos.⁷

⁷<https://www.latex-project.org>

Capítulo 3

Diseño e implementación

Para poder explicar todo el proceso de diseño del proyecto, tengo que comenzar hablando de Scrum[3]. Scrum es una metodología de trabajo desarrollada en el año 1993 por Jeff Sutherland¹ y Ken Schwaber², y finalmente formalizada en el año 1995. El objetivo de esta es conseguir un desarrollo ágil y productivo con la mejor organización posible para llegar a un producto completo. En ella, se define que el trabajo realizado debe organizarse en distintos espacios de tiempo denominados iteraciones o "Sprints" en los que se definen una serie de objetivos, y no se da paso al siguiente "Sprint" hasta que se solucionan los problemas y se consigue todo lo planeado en el anterior.

El equipo que emplee esta metodología debería dividirse en tres partes: el Scrum Master, el Equipo de Trabajo y el Cliente. En este caso, el papel de Scrum Master lo lleva a cabo el profesor, Jesús, (aunque también podría adquirir el papel de Cliente) y el papel del Equipo de Trabajo lo representa el alumno, en este caso, yo. El objetivo del Scrum Master consiste en asegurar el entendimiento de las reglas y prácticas llevadas acabo. Además, mantiene una estrecha relación con el Cliente haciendo de intermediario entre este y el Equipo de Trabajo, consiguiendo y aclarando los objetivos propuestos y aportando técnicas para una efectiva producción. Por otro lado, el Equipo de Trabajo esta formado por los profesionales que se encargar del desarrollo y resolución de problemas que propone el Cliente. Son los encargados de la consecución de los objetivos para poner fin a los distintos "Sprints".

Para este caso en particular, cada reunión entre Jesús (Scrum Master/Cliente) y yo (Equipo

¹<https://www.scrumguides.org/jeff.html>

²<https://www.scrumguides.org/ken.html>

Scrum Process

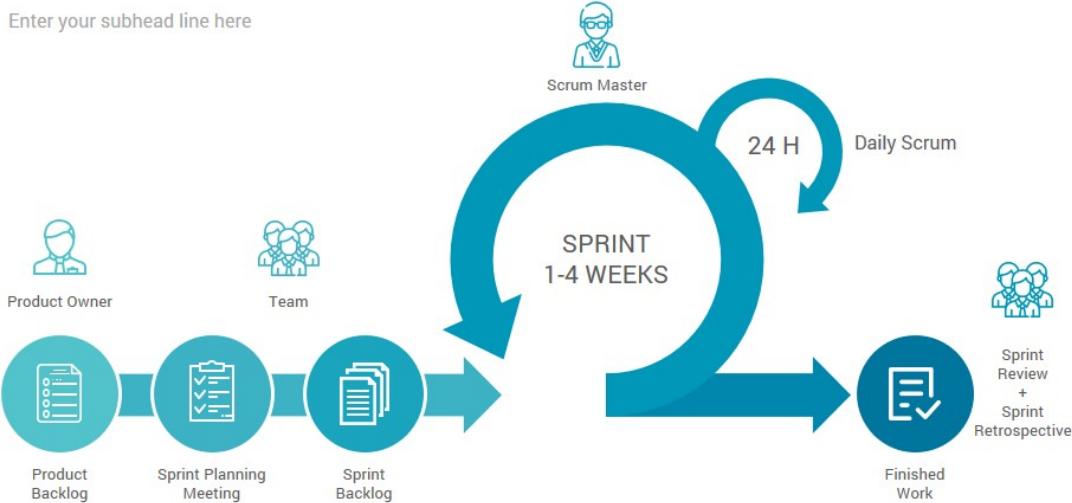


Figure 3.1: Estructura de la metodología Scrum

de Desarrollo), marcarán el inicio y final de cada "Sprint". Inicialmente, una reunión marcará los objetivos a conseguir en ese "Sprint", durante unas semanas se trabaja en ello y finalmente se prepara una nueva reunión. En esta nueva reunión, se hablan de los problemas que han surgido y lo conseguido. Si se han logrado con éxito cada una de las metas propuestas, esta reunión será la que dará fin a ese "Sprint" e iniciará el siguiente. Normalmente, en cada "Sprint" se crea una versión funcional que implementa lo conseguido y da paso como versión inicial al siguiente. En caso contrario, se tratan las dudas y problemas surgidos intentando llegar a una solución. Se trabaja en esto durante un periodo y se vuelve a tener la reunión hasta conseguir la versión funcional y dar paso al siguiente "Sprint" hasta llegar a la versión final del producto, como podemos observar en la Figura 3.1.

Por último, algunas de las ventajas del uso de Scrum son las siguientes:

- Los "Sprints" se realizan de manera mensual (o de varias semanas), lo que permite un avance rápido y marcado del trabajo, además de conseguir gradualmente resultados antes del producto final.
- Existe una flexibilidad entre el cliente y el equipo de desarrollo que permite el intercambio de ideas o soluciones de problemas, debido a las reuniones mensuales.

- Rígida definición de plazos y tareas.
- Reducción de la complejidad de un proyecto complejo gracias a su desglose en etapas.
- Mayor satisfacción moral del equipo y por consiguiente, mejora del ambiente de trabajo.

3.1 Sprint 1

Esta iteración comienza con la primera reunión que mantuvimos Jesús y yo. En ella se acordó que para empezar debía iniciarme en Aframe junto con JavaScript (hasta el momento desconocido para mí) y HTML entre otros, por lo que la idea sería crear un minijuego básico que uniese todas las tecnologías.

3.1.1 Objetivo

El objetivo de esta fase es aprender a usar Aframe, en esto se incluye: aprender que son las entidades, crear entidades, crear eventos, crear componentes, dinámicas y físicas, etc. Como JavaScript es desconocido para mí, otro gran objetivo es ir aprendiendo a la vez que lo enlazo con Aframe. El fin del minijuego es hacer un pequeño recorrido en el que tengas que realizar distintas acciones para llegar a la meta.

3.1.2 Desarrollo

La idea es crear un recorrido con distintos obstáculos que implementen distintas acciones y eventos para adecuarme a ellos. El recorrido es el que sigue a continuación:

1. Apareces en un estrecho pasillo con una puerta delante, la cual debes abrir llamando al timbre y evitando los dos obstáculos que tratarán de tirarte como se puede observar en la Figura 3.2.
2. Una vez abiertas las puertas, el pasillo continúa dejando paso a dos plataformas que te permiten llegar al segundo piso (Figura 3.3). Para ello, debes subirte en una de las dos plataformas en el momento correcto.

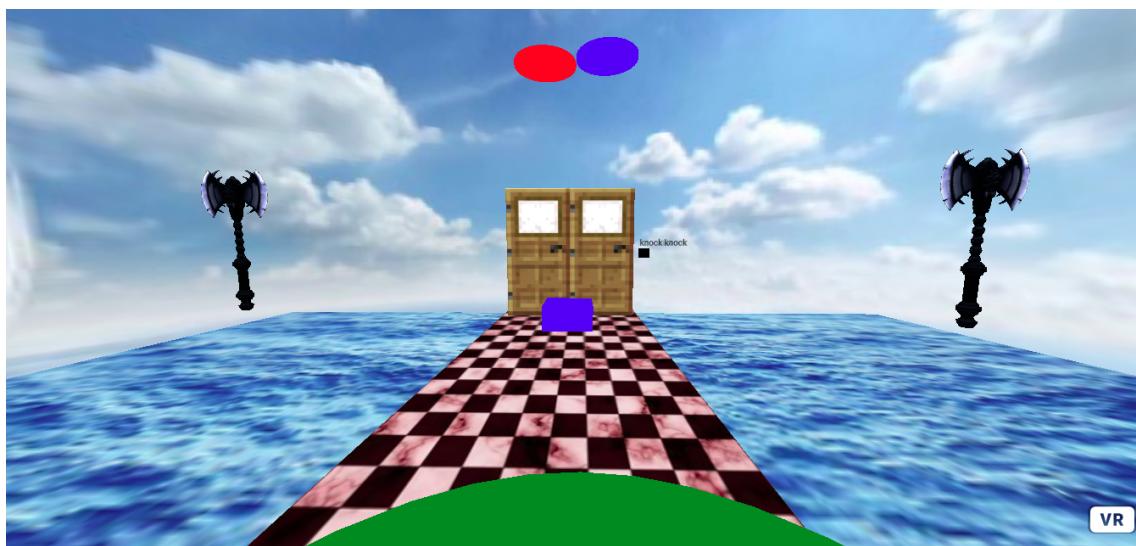


Figure 3.2: Punto de partida Minijuego

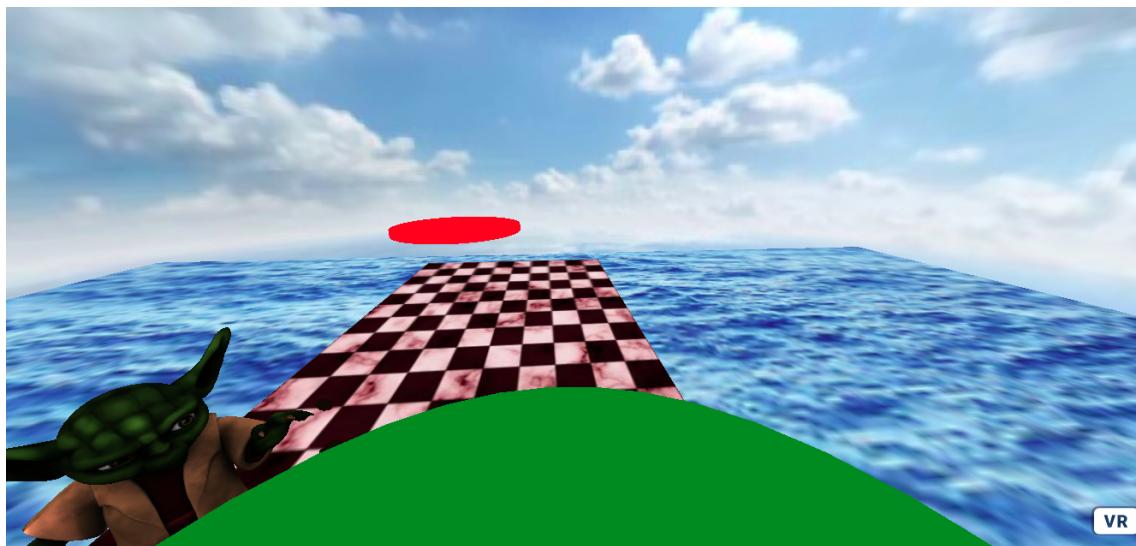


Figure 3.3: Plataformas para subir de nivel

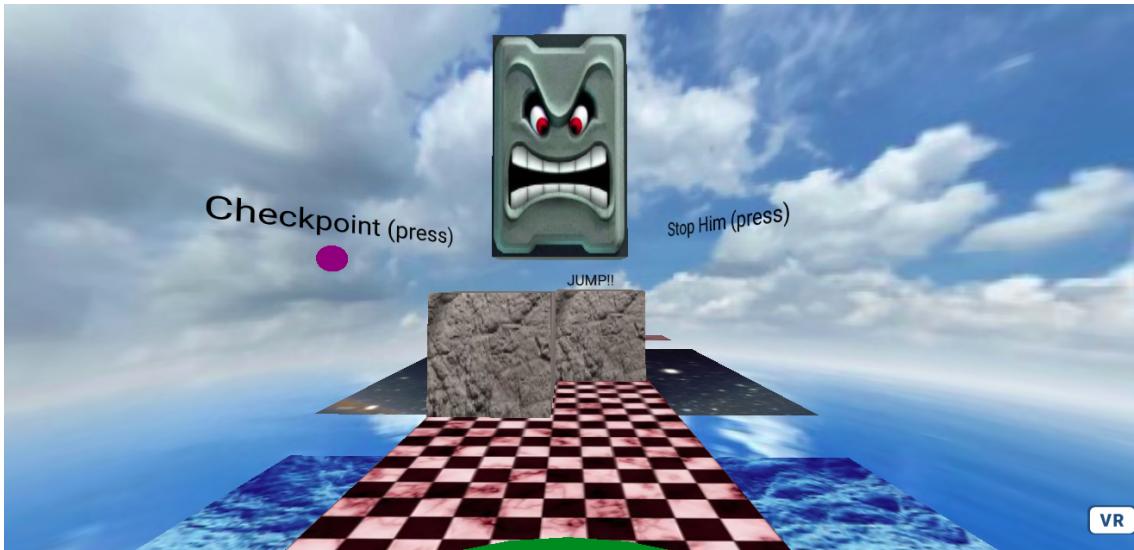


Figure 3.4: Piedras que bloquean el camino y bloque gigante

3. Ya subidos en la plataforma giraremos 180 grados para encontrarnos un nuevo obstáculo en movimiento, la piedra gigante (Figura 3.4). Pero para llegar a ella primero debemos empujar las dos piedras que nos cortan el camino, haciendo así que caigan al vacío.
4. Para conseguir cruzar debemos parar el bloque gigante a nuestros pies, lo que nos dejará ver el siguiente y último reto, las baldosas móviles (Figura 3.5). Cruzando con cuidado llegaremos a la última plataforma gigante.
5. En el centro de esta plataforma nos espera un botón que invoca un evento de felicitación junto con las palabras de fin del juego.

Son muchos obstáculos pero esto permite que utilice el mayor número de entidades y cree los eventos necesarios. Por último, si caes en cualquier momento, volverás al inicio para además añadirle un nivel de dificultad, al fin y al cabo, es un juego.

Para crear este pequeño juego se comienza con un archivo HTML en el que se importan los scripts necesarios de Aframe para poder comenzar a crear entidades, estos son algunos de ellos:

```
<script src="../../assets/js/aframe.min.js"></script>
<script src="../../assets/js/aframe-physics-system.min.js"></script>
```

Gracias a esto podemos empezar a crear nuestras entidades. Las entidades son los distintos objetos que podemos crear como pueden ser un plano, un cilindro o un cubo, entre otros. Para

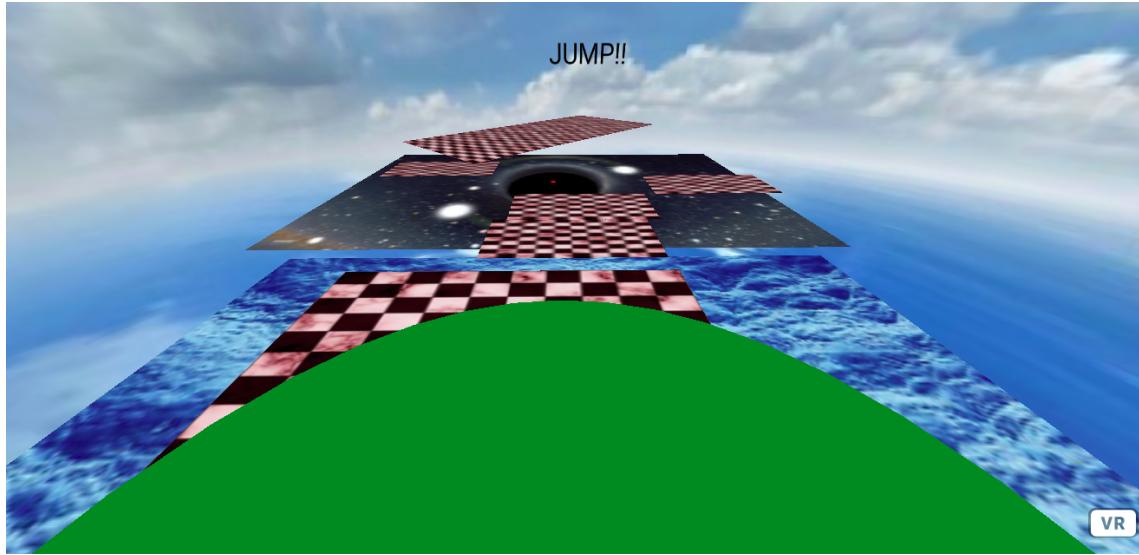


Figure 3.5: Obstáculo de baldosas con movimiento

este caso, el pasillo será un plano, las puertas serán cubos y las plataformas cilindros. Todas las entidades tienen propiedades que pueden ser modificadas dinámicamente, mediante eventos por ejemplo. Modificando las propiedades rotación, ancho y largo del plano, podemos crear nuestro pasillo:

```
<a-plane position="0 0 0" rotation="-90 0 0" width="3.25" height="20"
src="#floor" repeat="1 5" static-body></a-plane>
```

En el apartado "src" podemos asignar una textura a nuestras entidades, mientras que con "repeat" podemos hacer que se repita la textura para que no pierda calidad, o crear incluso un pasillo de baldosas como el visto anteriormente. Siguiendo estas reglas, podemos crear todas las entidades necesarias para nuestra escena. Ahora sólo queda añadir las dinámicas y eventos a estas, al igual que animaciones.

Aframe no nos aporta figuras más complejas que cubos, cilindros, etc. Por eso, podemos crearlos nosotros con distintas aplicaciones de edición 3D en formato gltf³ e importarlas a nuestra escena. Podemos usar distintas páginas web con diseños completamente gratuitos de modelos 3D para nuestras aplicaciones, una de ellas es Sketchfab⁴. Por ejemplo, los diseños del obstáculo de las hachas los encontré en esta página.

³<https://es.wikipedia.org/wiki/GlTF>

⁴<https://sketchfab.com/feed>

Para hablar de los eventos, tomaré como ejemplo el botón para abrir las puertas. El botón es una caja que tiene como propiedad el componente "clickable". Esto permite acceder a el gracias a JavaScript y que cada vez que se posicione el ratón encima de la entidad y se haga click en él, se dispare un nuevo evento. Al capturar ese evento, podemos modificar propiedades de una entidad en tiempo real. El siguiente código muestra un ejemplo de ello:

```
buttonEl.addEventListener('mouseenter', function() {
    buttonEl.setAttribute('color', "gray");
    buttonEl.setAttribute('scale', "0.22 0.22 0.22");
});
```

Así podemos hacer que al pulsar el timbre (que es un cubo), la rotación de las puertas cambien 90 grados (lo que hace que la puerta se abra). Los mismos principios se siguen para hacer que el bloque gigante se pare para que podamos pasar o el botón que activa la escena final del juego.

El movimiento de las hachas, las plataformas que nos suben de piso o las baldosas que nos impiden cruzar es a lo que se llama animación. Una animación nos permite establecer un patrón de movimiento en una entidad (las entidades son estáticas). La animación es otra propiedad de la entidad como puede ser el ancho, se declara como sigue:

```
<a-cylinder class="platform" position="1.5 22 -12"
animation="property: position; dur: 10000; to: 1.5 -1 -12;
dir: alternate; loop: true" static-body></a-cylinder>
```

En este trozo de código declaramos la duración de la animación, la posición final donde acaba, si es infinita y si se alterna o no. Este es el código que usan las plataformas para subir, empiezan en una posición, acaban en otra y gracias al atributo "alternate", cuando llegan a la posición final vuelven a la inicial como si de un ascensor se tratara.

Para completar este apartado, resta explicar los usos de los componentes. Un componente es un comportamiento que se asocia a una entidad, por ejemplo el antes mencionado "clickable". Para conseguir la función de reaparición del jugador cada vez que caía del escenario, creé el siguiente componente, en el que se detallan estas condiciones:

```
AFRAME.registerComponent('restart', {
```

```
// ...
schema: {
    checkpoint: {type: 'string', default: '0 0 9'},
} ,

tick: function () {
    var audio = document.querySelector('#deathsound');
    var data = this.data;

    if(this.el.getAttribute('position').y < -6) {
        this.el.setAttribute('position', data.checkpoint);
        audio.play();
    }
}

} );
}
} );
```

En este componente aparece la función "tick", la cual se ejecuta cada milisegundo, comprobando si la posición "y" del jugador es menor (para así saber si ha caído) y haciendo que reaparezca en el inicio. Los componentes son herramientas muy potentes, ya que nos permiten crear funciones complejas como esta y simplifica el código. Para asociar un componente a una entidad debemos incluirlo como, ya hemos visto anteriormente, un atributo cualquiera.

3.1.3 Funcionalidades añadidas

Siguiendo todo lo comentado en el anterior apartado, se agregaron unas funcionalidades no tan básicas para complementar el juego.

- **Dinámicas.** Como se puede observar en las figuras anteriores, el jugador tiene alrededor un cilindro verde. Este cilindro es el que marca la caja de colisión del jugador para que no pueda atravesar las puertas, pueda empujar las piedras y pueda subirse en las plataformas sin caer. Estas dinámicas vienen dadas en el script `kinema.js`⁵.

⁵<https://www.npmjs.com/package/kinema/v/0.0.1>

- Aprovechando el componente "restart" para cuando el jugador caiga, añadí una funcionalidad de punto de guardado. Cuando llegas al piso de arriba se puede observar un botón de "checkpoint" (Figura 3.4) para no tener que iniciar desde el principio y reaparecer arriba.
- Efectos de sonido. Se incorporaron efectos de sonido en el evento final del juego, al abrir puertas o al detener el bloque.
- Gafas VR. Por último, se adecuó el minijuego para poder jugarlo con las gafas de realidad virtual. Para ello, se necesitaron nuevos componentes que representasen nuestras manos en la escena y pudiesemos usarlas como si fuesen el ratón. Este componente podemos encontrarlo su propia página de GitHub⁶.

3.1.4 Resultado

Como iniciación a las nuevas tecnologías, el resultado fue notablemente bueno. Pude practicar con muchas de las posibilidades que me ofrecía Aframe mientras aprendía JavaScript. Además, tuve mi primer contacto con las gafas de realidad virtual en las que pude depurar el final de mi juego (Figura 3.6). El minijuego se encuentra alojado en la página de GitHub del proyecto y puede ser jugado⁷. El código JavaScript⁸ se encuentra a su vez alojado en la carpeta correspondiente a este "Sprint" junto a su HTML⁹. Para terminar, se mantuvo una reunión en la que se comentó lo aprendido gracias a este "Sprint" y dió comienzo al siguiente apartado.

3.2 Sprint 2

Debido al avance y conocimientos obtenidos gracias a la anterior iteración, en esta se expusieron las bases del proyecto. Debido a todos los objetivos que se verán a continuación, se llevaron a cabo un par más de reuniones para conseguir un asentamiento adecuado del trabajo.

⁶<https://github.com/wmurphyrd/aframe-super-hands-component>

⁷<https://javierbravodonaire.github.io/A-frame/Sprint%201/my-examples/minigame.html>

⁸<https://github.com/JavierBravoDonaire/A-frame/blob/master/Sprint%201/my-examples/minijuego.js>

⁹<https://github.com/JavierBravoDonaire/A-frame/blob/master/Sprint%201/my-examples/minigame.html>



Figure 3.6: Escena victoria

3.2.1 Objetivo

El objetivo final de esta fase consiste en establecer un panel de selección que nos deje elegir entre una mesa de entidades u otro panel de entidades. Al lado de ese panel tendremos un podio, en el cual aparecerán entidades que elijamos en el panel o en la mesa infinitamente. Para ello, haré uso de distintos eventos para generarlas y definiré los elementos básicos de la escena en el archivo HTML.

3.2.2 Desarrollo

Al tratarse de los cimientos del programa, se trabajarán las fases una encima de otra (esto significa, en los mismo archivos). Con el propósito de explicar todo el proceso ocurrido en esta iteración se dividirá en x etapas.

Etapa 1:

En esta primera fase se trabajó en una escena que ofreciese un panel con distintos botones, que permitiese la elección de diferentes figuras. Para empezar, se debe crear un entorno en el que el usuario se sienta cómodo, y para ello, se crea un plano en horizontal (el cual estará dotado de una rotación de 90 grados) que simule el suelo y se dota a la escena del elemento "sky" (con una textura que se asemeje al cielo) para que parezca que nos encontramos en un plano real.

Una vez tenemos el suelo, ya podemos empezar a situar nuestros elementos.

El panel será entonces un plano, de un tamaño razonable, en el cual se colocarán los botones. Para crear los botones, usaremos un cubo al que le modificaremos su propiedad "depth" (profundidad), para dar la sensación de apretar un botón (Figura 3.7). Cada botón tendrá un texto donde se indica que objeto crea. Este texto se añade creando una entidad "a-text" y enlazándola con el botón.

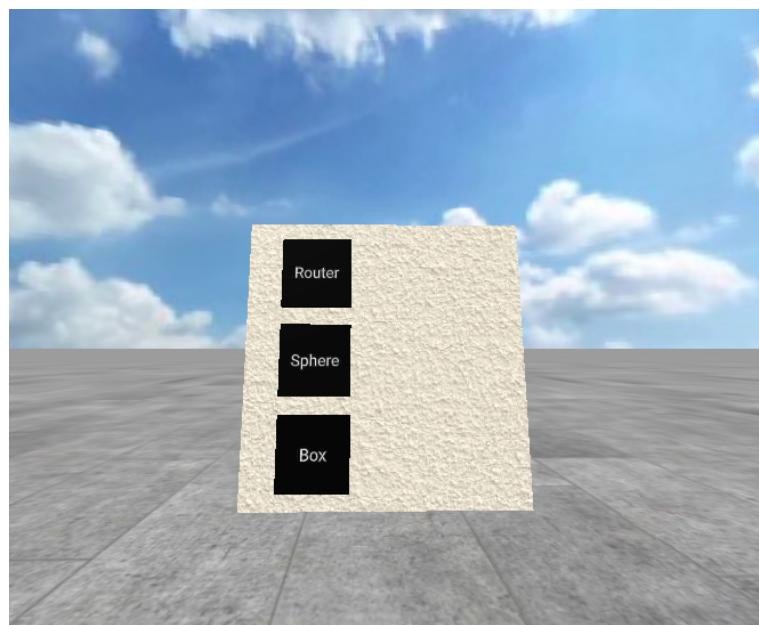


Figure 3.7: Panel con botones para generar entidades

Para crear las entidades necesitamos hacer uso de eventos mediante JavaScript. Le asignaremos a cada botón un "id" distinto para poder acceder a todos ellos como un elemento cualquiera del DOM, y le añadiremos un evento. Este evento se encargará de detectar si en algún momento se ha pulsado sobre un botón, y cuando esto suceda se creará la entidad a la que se refiere el mismo. Para conseguir capturar este evento, debemos dotar a los botones con el atributo "clickable" definido en el script de A-Frame, el cual le da la cualidad de ser pulsado. Si pulsamos todos los botones nos encontraremos una escena como la que se puede observar en la Figura 3.8.

Como queremos mantener el código lo más limpio posible y evitar la repetición de líneas, se crea un apartado en el HTML llamado "assets" donde podemos crear los llamados "mixin". Un mixin es una especie de entidad genérica en la que declaras su material, tamaño, etc, y a partir de ella puedes crear clones. Un ejemplo para comprobar su utilidad podría ser el siguiente:

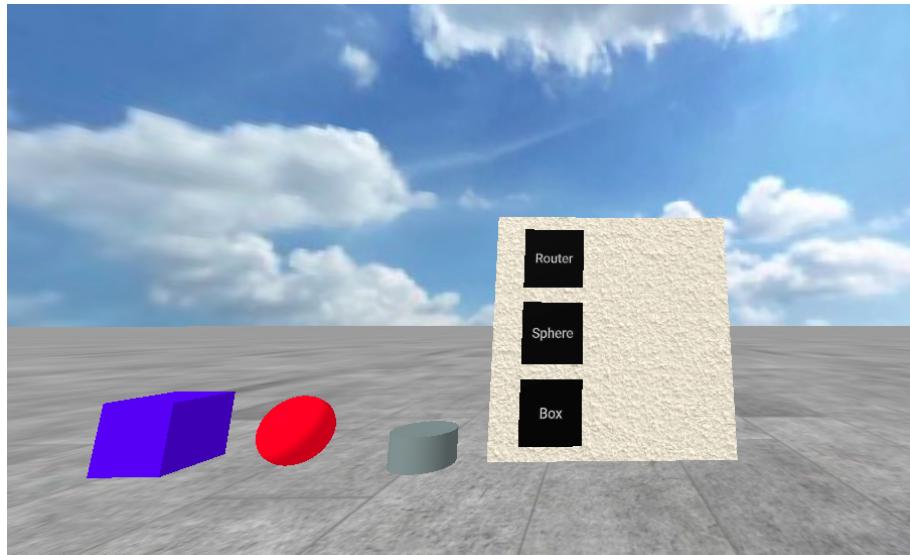


Figure 3.8: Entidades generadas con el panel

imaginemos que queremos crear tres cubos pulsando un botón, entonces desde el JavaScript debemos manejar el evento y crear desde el mismo la entidad, sentencia a sentencia, declarando el color, el tamaño y la posición. Con el mixin ya hemos declarado todos estos atributos, por lo que solo necesitaríamos declarar que es un "mixin-cubo" y nos ahorraríamos todas las sentencias de sus propiedades en el JavaScript. Un mixin para un cubo es como el siguiente:

```
<a-mixin id="box" hoverable grabbable stretchable draggable
geometry="primitive: box; width: 0.5; height: 0.5; depth: 0.5"
draggable</a-mixin>
```

Etapa 2:

Fue entonces cuando surgió la idea de que sería más adecuado tener dos modos de creación de objetos. Una de ellas sería el panel que ya tenemos, y la otra sería una mesa de entidades, donde las encontrases todas y pudieses agarrarlas, dotando al programa de una visión más intuitiva.

Para ello, me apoyé nuevamente en los modelos 3D ofrecidos por la página Sketchfab¹⁰. Ya que A-Frame no ofrece objetos tan complejos como puede ser una mesa, buscar un diseño agradable y gratuito era la mejor opción. Para agregar a la escena estos objetos, debemos declararlos en el mismo apartado que declaramos los mixin, en "assets". Debemos prestar

¹⁰<https://sketchfab.com>

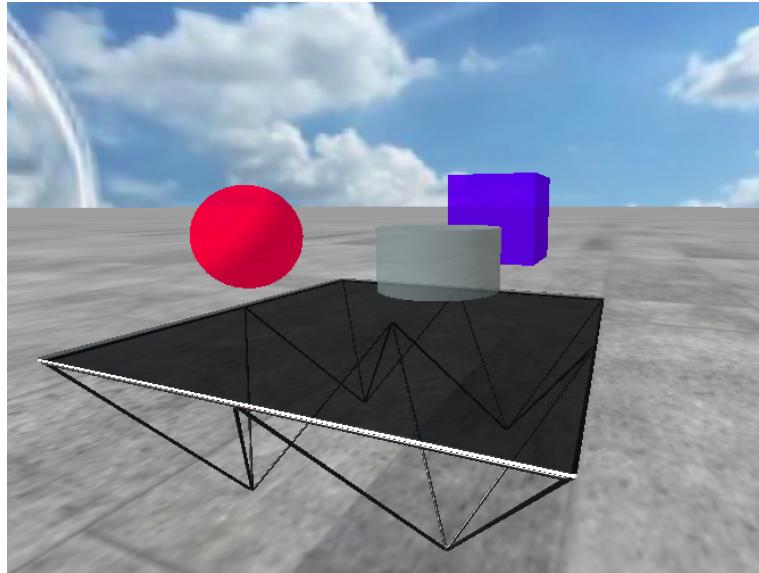


Figure 3.9: Mesa con entidades holográficas

atención a la escala de los modelos 3D, ya que no están diseñados para añadirlos a las escenas directamente y lo más probable es que sean gigantescos.

Una vez tenemos la mesa en nuestra escena, es hora de colocar las entidades encima de ella para poder elegir. Con el objetivo de dotar a la escena de más movilidad, se añadieron animaciones y se modificó la opacidad y transparencia del color para dar la sensación de unos hologramas que flotan por encima de la mesa (Figura 3.9).

Por último, se debe añadir la funcionalidad de elección para crear un clon de la entidad con la que podamos trabajar (igual que creábamos los objetos al pulsar el botón). En este caso, era el propio holograma el cual, al pulsar sobre él, nos creaba una copia. La copia se generaba delante del usuario y para lograr esto se tomaba como punto de referencia la posición de la cámara, consiguiendo así que la entidad se generase en frente, dando igual desde qué posición la cogieses.

Etapa 3:

Como ya tenemos nuestros modos de selección, ahora debemos añadir una funcionalidad que implique cambios en las entidades. La idea principal es crear una paleta de colores y texturas que nos permita en cualquier momento cambiar el estilo de esta. Esta aparecerá cuando pulsemos sobre la entidad, por lo que debemos tener cuidado con el evento que lance esta acción.



Figure 3.10: Paleta de colores perteneciente a una entidad

La paleta nos aporta un buen ejemplo de lo que son los nodos. La entidad tendrá un nodo hijo que será el plano que representa la paleta, que a su vez tendrá x hijos que serán los botones que representan los diferentes colores y texturas (Figura 3.10). Es aquí, cuando me enfrenté a un gran problema, los eventos escalan hacia las entidades padre, por lo que se debe detener el evento para que no afecte y genere comportamientos inadecuados. En esta ocasión, el evento de cambiar el color, afectaba tanto a la entidad como al plano que representa la paleta, por lo que se debía controlar.

La paleta se compone así de un total de ocho opciones divididas en dos filas. La primera fila se corresponde con cuatro colores distintos, y la segunda contiene tres texturas diferentes y un último botón que devuelve a la entidad el color original con el que fue creada.

Etapa 4:

Terminadas todas las funcionalidades propuestas, solo restaba unificar los dos modos de selección. Para ello, se optó por un panel con dos opciones a elegir: la mesa o el panel de entidades. Esta tarea es fácil, ya que hemos hecho un panel con botones anteriormente, solo debemos controlar los eventos para generar la mesa (ya que ahora no se encuentra nada más iniciar la escena) y el otro panel, pero esto nos conduce al siguiente dilema, los dos modos tienen una forma diferente de generar las entidades.

Esto da lugar a la idea de crear un podio, en el cual, aparecerán las entidades según las seleccionemos tanto en la mesa como en el panel (con el panel aparecerán en un lugar predeterminado declarado en el código para cada entidad, y con la mesa aparecerán delante de nosotros). Se crearán así todas las entidades que necesitemos y por último, las agregaremos el atributo "grab-

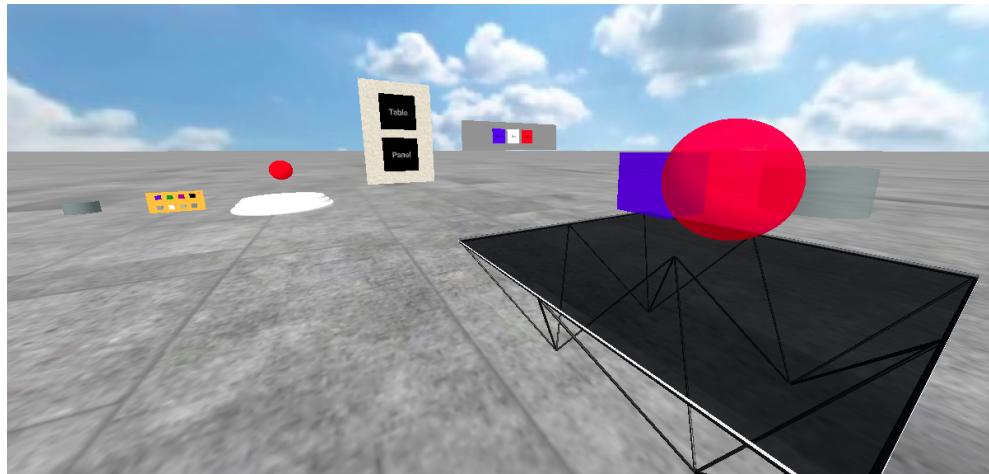


Figure 3.11: Versión funcional conseguida al final del Sprint 2

bable”, el cual dotará a estas de movilidad para poder arrastrarlas por toda la escena. Quedará entonces una escena como la que podemos ver en la Figura 3.11, donde observamos el podio con una entidad sobre él, una entidad aparte con su paleta de edición, la mesa de entidades, el panel donde elegimos el modo de selección y el panel de elección de entidad.

3.2.3 Resultado

Gracias a esta iteración hemos sentado las bases y varias funcionalidades que darán paso a las siguientes etapas. Todos los eventos y funciones empleados se recogen en el código JavaScript¹¹ alojado en el repositorio de GitHub, así como el código HTML¹² donde se definen los elementos iniciales de la escena. Como en el anterior apartado de resultado y en los siguientes, se adjunta la dirección para probar esta versión en el navegador¹³.

3.3 Sprint 3

3.4 Sprint 4

¹¹<https://github.com/JavierBravoDonaire/A-frame/blob/master/Sprint%202/improve.js>

¹²<https://github.com/JavierBravoDonaire/A-frame/blob/master/Sprint%202/improve.html>

¹³<https://javierbravodonaire.github.io/A-frame/Sprint%202/improve.html>

Capítulo 4

Resultado Final

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.

4.1 Manual de Usuario

4.2 Arquitectura resultante

Capítulo 5

Conclusiones

5.1 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.

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

5.2 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

5.3 Lecciones aprendidas

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

1. Aquí viene uno.
2. Aquí viene oto.

5.4 Trabajos futuros

Todos los proyectos basados en ingeniería de software siguen una máxima: un trabajo nunca se termina, siempre podemos mejorarlo y añadir funcionalidades. Por lo que a continuación se incluyen algunas ideas que serían factibles incluir en un futuro:

Bibliography

- [1] Atom flight manual.
[https://flight-manual.atom.io/.](https://flight-manual.atom.io/)
- [2] Git manual.
[https://git-scm.com/docs.](https://git-scm.com/docs)
- [3] Introduction to scrum.
[https://www.scrum.org/resources/scrum-guide.](https://www.scrum.org/resources/scrum-guide)
- [4] Javascript documentation.
[https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript.](https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript)
- [5] Node.js documentation.
[https://nodejs.org/es/docs/.](https://nodejs.org/es/docs/)
- [6] Three.js documentation.
[https://threejs.org/docs/index.html#manual/en/introduction/Creating-a-scene.](https://threejs.org/docs/index.html#manual/en/introduction/Creating-a-scene)
- [7] AFRAME. Getting started.
[https://aframe.io/docs/1.0.0/introduction.](https://aframe.io/docs/1.0.0/introduction)
- [8] R. Baruah. *AR and VR Using the WebXR API: Learn to Create Immersive Content with WebGL, Three.js, and A-Frame*. Apress, 2021.
- [9] P. Cozzi. *WebGL Insights*. CRC Press, July 2015.
- [10] A. Freeman. *The Definitive Guide to HTML5*. Apress, USA, 1st edition, 2011.
- [11] L. Lamport. *LATEX: a document preparation system: user's guide and reference manual*. Addison-wesley, 1994.

- [12] N. Munaiah, S. Kroh, C. Cabrey, and M. Nagappan. Curating github for engineered software projects. *Empirical Software Engineering*, 22(6):3219–3253, 2017.