

Astro Putt

Golf gravitacional en Realidad Virtual



Alberto Aletá Casas

Grado en Ingeniería Informática
Ingeniería de Software

Nombre Tutor/a de TF
Guillermo García Romero

**Profesor/a responsable de la
asignatura**

Joan Arnedo Moreno

4 de enero de 2026



Esta obra está sujeta a una licencia de
Reconocimiento-NoComercial-
SinObraDerivada [3.0 España de Creative
Commons](#)

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	<i>Astro Putt: Golf gravitacional en Realidad Virtual</i>
Nombre del autor:	<i>Alberto Aletá Casas</i>
Nombre del director/a:	<i>Guillermo García Romero</i>
Nombre del PRA:	<i>Joan Arnedo Moreno</i>
Fecha de entrega (mm/aaaa):	<i>01/2026</i>
Titulación o programa:	<i>Grado en Ingeniería Informática</i>
Área del Trabajo Final:	<i>Ingeniería de Software</i>
Idioma del trabajo:	<i>Castellano</i>
Palabras clave:	<i>golf, realidad virtual, gravedad</i>
Repositorio del juego:	<u>https://github.com/aaleta/astro_putt</u>

Resumen del Trabajo

Astro Putt nos transporta a un futuro en el que el golf se juega a escala cósmica. Se trata de un videojuego de golf en realidad virtual en el que la física desempeña un papel fundamental. El jugador se sitúa en plataformas orbitales y debe golpear un dispositivo esférico para lanzarlo hacia los objetivos repartidos por el espacio. Cada cuerpo que se encuentre en la trayectoria puede ejercer su propia fuerza gravitacional, lo que puede modificar el movimiento de la esfera de formas inesperadas. Por ello, el éxito depende de dominar la mecánica orbital y no solo de ejecutar el golpe perfecto.

El juego pretende ser, al mismo tiempo, una experiencia de entretenimiento y una demostración interactiva de física. Para ello, incorpora las leyes de atracción gravitatoria de Newton de manera realista, lo que permite aprovechar maniobras de asistencia gravitatoria para acelerar la esfera o, por el contrario, sufrir las consecuencias de acercarse demasiado a un cuerpo masivo. El jugador puede intentar estudiar las trayectorias más prometedoras antes de lanzar, pero el resultado final dependerá de su precisión y capacidad para adaptarse al entorno.

Astro Putt combina ciencia y juego para convertir las leyes del universo en una experiencia inmersiva y accesible. Una invitación a explorar la gravedad no solo como fuerza, sino como un desafío cósmico repleto de posibilidades.

Abstract

Astro Putt takes us to the future where golf is played on a cosmic scale. It is a virtual reality golf game in which physics plays a fundamental role. The player stands on an orbital platform and must hit a spherical device to send it towards targets scattered throughout space. Each body encountered along the way may exert its own gravitational pull, possibly altering the sphere's movement in unexpected ways. Thus, success depends on mastering orbital mechanics rather than simply executing the perfect shot.

The game aims to be both an entertainment experience and an interactive demonstration of physics. To achieve this, it incorporates Newton's laws of gravitational attraction in a realistic manner, allowing players to perform gravity assistance to accelerate the sphere or, conversely, suffer the consequences of getting too close to a massive body. The player can try to guess the most promising trajectories before shooting, but the outcome will depend on their precision and ability to adapt to the environment.

Astro Putt blends science and gameplay to transform the laws of the universe into an immersive and accessible experience. An invitation to explore gravity not only as a force, but as a cosmic challenge full of possibilities.



Agradecimientos

A Albert, Ana, Andrea, Ariadna, Inés, Javier, Juanjo, Julia, Marco, Martín, Miguel, Salvador, Siannah, Teresa y Yaiza por ofrecerse como conejillos de indias para probar y mejorar las mecánicas del videojuego.

Y al grupo de investigación COSNET por prestarme el dispositivo Meta Quest 2 con el que se ha desarrollado y probado el videojuego.

Declaración de uso de recursos de terceros

En el desarrollo de este proyecto se han empleado diversas herramientas de terceros, incluyendo bibliotecas de código libre, assets gratuitos y herramientas de IA generativa. El desglose detallado de estos recursos, especificando la fuente y si han sido generados mediante IA o creados manualmente, se encuentra descrito en profundidad en la Sección 4.3. Además, en el Anexo 9.II se incluye el registro de los *prompts* utilizados con Nano Banana Pro para la generación de algunas de las imágenes, que posteriormente fueron editadas con Gimp.

A este listado habría que añadir los recursos utilizados en la creación del tráiler del videojuego. En particular, el corte de inicio del tráiler, en el que se ve a una persona colocarse un dispositivo de realidad virtual, se generó usando Veo 3.1, una aplicación integrada en Gemini para la generación de vídeos, con el siguiente *prompt*:

Video grabado desde el punto de vista de un hombre joven para un trailer de un videojuego de Realidad Virtual. Está en un salón moderno y acogedor, mirando al frente. Levanta unas gafas de Realidad Virtual y se las acerca a los ojos. Las gafas se ven por detrás, es decir, como el hombre las ve cuando se las pone para jugar.

La canción de fondo que suena en el tráiler se trata de *EPIC Extreme Rock Hymn*, creada por LuLu_Production e incluida dentro de la versión gratuita del software de edición de vídeo CapCut y que, de acuerdo con la propia herramienta, cumple las condiciones adecuadas de copyright para poder publicarla.

Para finalizar, me gustaría hacer una reflexión sobre el uso de la IA generativa en este trabajo. Desde un punto de vista pragmático, la IA me ha permitido hacer cosas que yo no hubiera sido capaz de hacer por mí mismo. Para perfiles técnicos como el mío, que carecen de formación artística, o conocimientos sobre modelado, texturizado o composición musical, estas herramientas abren puertas que antes estaban cerradas. Adquirir este tipo de habilidades de forma tradicional requeriría meses o años, limitando enormemente el alcance de un proyecto individual. Gracias a la IA, he podido mantener una coherencia estética, diseñar logos e imágenes, y añadir elementos sonoros de un nivel que me hubiese sido imposible conseguir solo utilizando assets gratuitos. Así, por ejemplo, me ha dado la posibilidad de crear la narración que da la bienvenida y guía al jugador en el tutorial de locomoción. Sin estas herramientas, hubiera tenido que recurrir a grabarme a mí o a algún conocido, intentando que hubiese el mínimo ruido de fondo posible y, sin duda, obteniendo un resultado mucho peor. De forma análoga, imagino que, para artistas sin conocimientos de programación, estas herramientas pueden resultar un apoyo fundamental para generar código y explorar nuevas mecánicas que, de otra forma, no podrían abordar.

Sin embargo, soy consciente de que esta revolución a nivel individual no está exenta de problemas, especialmente en la industria del videojuego. Soy consciente de los importantes dilemas que hay sobre los derechos de autor y la incertidumbre sobre el futuro laboral en la industria. Al respecto, me llamaron la atención las recientes

declaraciones de Junghun Lee, CEO de Nexon¹, en las que decía que es “importante asumir que toda compañía de videojuegos está usando IA”. Más allá de la posible polémica que esto pueda suscitar, sin duda pone sobre la mesa una cuestión importante. Si estas herramientas realmente suponen una ventaja competitiva, las empresas que no se adapten se verán sobrepasadas por la competencia, aunque prefiriesen no usarlas.

Es probable que en los próximos años veamos una transformación en los roles laborales, tanto en la industria del videojuego como en muchas otras. Mientras que, creo, siempre será necesaria la presencia de una cierta cantidad de personas con un perfil artístico adecuado para filtrar, corregir y guiar a la IA, otros puestos, como la locución de textos secundarios o NPCs, podrían verse amenazados por la calidad creciente de las voces sintéticas. Me queda la duda también de si la supuesta mayor eficiencia que proporcionan estas herramientas ayudará a mitigar la infame cultura del *crunch*, tan común en las grandes empresas de videojuegos, o si, por el contrario, elevará las expectativas de producción empeorando aún más las condiciones laborales.

Tampoco soy ajeno a la controversia ética que rodea a estas tecnologías. Como persona versada en la ciencia de datos, soy consciente de la legítima preocupación sobre la explotación masiva de datos para el entrenamiento de los modelos, o las pésimas condiciones laborales a las que las grandes compañías someten a los etiquetadores de datos (una problemática muy bien documentada en el libro *Empire of AI*, cuya lectura recomiendo encarecidamente). Así mismo, el coste energético de ejecutar estos modelos es también considerable. No obstante, a este respecto tiendo a mantener una postura tecno-optimista, pues la historia sugiere que la tecnología tiende a la eficiencia. Ya estamos viendo avances significativos a este respecto, como el caso de los LLMs desarrollados en China, que logran rendimientos muy competitivos a un consumo de recursos mucho menor.

Finalmente, como estudiante y docente, sin duda en el ámbito educativo se está produciendo un cambio de paradigma inevitable. La prohibición de estas herramientas en el aula es tan inútil como lo fue en su día la resistencia al uso de calculadoras frente a las reglas de cálculo, o a internet frente a los libros. Hace no tanto mis profesores me afeaban el uso de la Wikipedia como fuente de información, la misma fuente que hoy ruego encarecidamente a mis alumnos que utilicen para contrastar la información de ChatGPT. Las universidades y los profesores no podemos ser ciegos a la actualidad. Estamos obligados a adaptar las metodologías de enseñanza y evaluación a esta nueva realidad, si bien ni yo, ni creo que nadie hoy en día, tenemos claro todavía cómo hacerlo.

A modo de anécdota, el semestre pasado una alumna me comentó entusiasmada su descubrimiento de ChatGPT, bien entrado ya en 2025, cosa que me llamó mucho la atención porque sus compañeros llevaban sin ninguna duda ya varios años integrándolo en su flujo de trabajo habitual. Esto recuerda al comentario de Junghun Lee sobre las empresas de videojuegos mencionado anteriormente: hay que asumir que todos los estudiantes están usando estas herramientas. Y, por tanto, quien no quiera o no aprenda a utilizarlas corre el riesgo de quedarse atrás injustamente. Nuestra responsabilidad es

¹ <https://kotaku.com/the-10-biggest-gaming-disappointments-worst-news-game-key-cards-gta-6-delay-2000655356>

guiarles en esta transición, asegurando que la tecnología les permita ir más allá y no solo más rápido.

En definitiva, nos encontramos en un periodo de transición fascinante, con retos a múltiples niveles, tanto éticos como económicos, medioambientales o educativos. Pero, sin lugar a dudas, de una forma u otra esta revolución va a suponer cambios radicales en nuestra sociedad. Será divertido crecer con ello y ver cómo se desarrolla (esperemos que para bien). Por mi parte, haré todo lo que pueda para integrarlas en su justa medida en el ámbito educativo.

Índice

1.	Introducción	1
1.1.	Contexto y justificación del Trabajo	1
1.2.	Objetivos del Trabajo	3
1.3.	Impacto en sostenibilidad, ético-social y de diversidad	4
1.4.	Enfoque y método seguido	5
1.5.	Planificación del Trabajo	6
1.6.	Breve sumario de productos obtenidos	8
1.7.	Breve descripción de los otros capítulos de la memoria.....	9
2.	Estado del arte.....	10
2.1.	El uso de los videojuegos en la enseñanza y el papel de la RV	10
2.2.	Videojuegos de temática similar	12
2.2.1.	Videojuegos de golf clásicos	13
2.2.2.	Videojuegos de golf con gravedad	15
2.2.3.	Videojuegos de golf en RV.....	20
3.	Propuesta	23
3.1.	Especificaciones del producto	23
3.2.	Características principales del prototipo	24
4.	Diseño.....	25
4.1.	Arquitectura del sistema y entorno de desarrollo.....	25
4.1.1.	Entorno de desarrollo.....	25
4.1.2.	Arquitectura del software	26
4.2.	Diseño de mecánicas e interacción en RV	28
4.2.1.	Sistema de locomoción	28
4.2.2.	Mecánica de golpeo	30
4.2.3.	Gestión de la gravedad	31
4.2.4.	Otras mecánicas e interacciones	32
4.3.	Inventario de recursos	36
4.4.	Diseño de niveles.....	38
4.4.1.	El Lobby	38
4.4.2.	El Tutorial	40
4.4.3.	Nivel 1	43
4.5.	Primeras pruebas de usuario	46
4.5.1.	Primera sesión: validación mecánica (v0.0.1).....	46
4.5.2.	Segunda sesión: tutorial completo (v0.0.2).....	49
4.5.3.	Conclusiones generales.....	50
4.6.	Diseño de la Interfaz de Usuario (IU).....	51
4.6.1.	Gestión del Lobby y navegación	52
4.6.2.	Sistemas de asistencia y <i>onboarding</i>	53
4.6.3.	Elementos informativos en el entorno	55
4.6.4.	Interfaz del jugador	56
5.	Resultados	58
5.1.	Estado final del prototipo	58
5.2.	Evaluación final con usuarios (v0.0.3)	58
5.2.1.	Ánálisis del desempeño	59
5.2.2.	Experiencia de juego e inmersión	60
5.2.3.	Confort y valoración general	60
6.	Conclusiones y Trabajo futuro	62
6.1.	Conclusiones	62
6.2.	Seguimiento de la planificación	63

6.2.1. Impacto en sostenibilidad, ético-social y de diversidad	65
6.3. Líneas de futuro	66
7. Glosario	68
8. Bibliografía	69
9. Anexos	75
I. Guion de pruebas de usuario del 3 de diciembre del 2025.....	75
II. Ejemplo de <i>prompts</i> utilizados para la generación de imágenes con Nano Banana Pro	76

Listado de figuras

Figura 1: Ejemplo de una partida de <i>The Sumerian Game</i> . Imagen obtenida de (IBM, 1967).....	1
Figura 2: Boceto de los componentes principales del videojuego.....	2
Figura 3: Resumen gráfico de los objetivos del TF.	4
Figura 4: Diagrama de Gantt de las tareas asociadas al TF.	7
Figura 5: Punto de vista egocéntrico (izquierda) y exocéntrico (derecha). Las siglas FOR significan Frames of reference, es decir, la perspectiva con la que se observa la escena. Imagen extraída de (Salzman, Dede, & Loftin, 1999).	11
Figura 6: Al iniciar el juego <i>Outer Wilds</i> en su versión de ordenador, sale un aviso recomendado jugar con un mando en lugar de con teclado y ratón. Imagen extraída de (CapyCapy275, 2025).....	13
Figura 7: GOLF-IQ uno de los primeros videojuegos relacionados con el golf. En este juego no se simulaba el deporte, sino que se trataba de un cuestionario para que los jugadores midiesen sus conocimientos de golf. Imagen extraída de (UVL, 2025).....	13
Figura 8: Manual de instrucciones de <i>Computer Golf!</i> uno de los primeros videojuegos de golf. Imagen extraída de (Magnavox, 2021).	14
Figura 9: Número de nuevos videojuegos de golf publicados al año según la Universal Videogame List (UVL, 2025).....	14
Figura 10: Muestra de una partida de <i>Angry Birds Space 2</i> . Se puede ver que la trayectoria del pájaro rojo no sigue una línea recta, sino que se curva al pasar cerca de los asteroides. Imagen extraída de (Rovio, 2025).	15
Figura 11: Primer nivel del videojuego <i>Gravitee</i> . Se observan etiquetas sobre los planetas que indican su masa y una guía que indica la trayectoria que seguirá la bola si es lanzada en esa dirección y con esa fuerza. Imagen extraída de (Funkypear, 2015).....	16
Figura 12: Primer nivel de <i>Space Golf</i> . La vista se centra en una pequeña zona cercana a la bola y sigue a esta cuando se lanza. Al arrastrar con el ratón para determinar la velocidad y dirección, aparece una indicación de la trayectoria que seguirá la bola. Imagen extraída de (Madonna, 2022).	17
Figura 13: Captura de pantalla del tráiler de <i>Comet Golf</i> . Se puede ver que el cometa tiene una estela que le sigue y que la trayectoria que ha recorrido se queda marcada. Imagen extraída de (Comet Golf Project Team, 2020).	17
Figura 14: Captura de pantalla del tráiler de <i>Astro Golf</i> . La cámara contiene todo el mapa y no existe ninguna guía sobre el camino recorrido o la trayectoria que va a seguir la bola al ser lanzada. Imagen extraída de (Spatula Interactive Ltd., 2019).	18
Figura 15: Dos ejemplos de niveles de <i>Planetary Golf</i> . A la izquierda, la bola choca con un asteroide y lo destruye, desviando su trayectoria. A la derecha, una bola lanzada con mucha energía no se ve afectada por los efectos gravitatorios. Imagen extraída de (Leite, 2021).....	19
Figura 16: Muestra del primer nivel de <i>Space Mini Golf</i> . Se puede ver una estimación de la trayectoria que va a seguir la bola (izquierda) en lugar de un vector de dirección y fuerza. Sin embargo, es fácil que la bola se quede atascada antes (derecha),	

como si en el cálculo de la trayectoria no se hubiese tenido en cuenta la superficie de la bola. Imagen extraída de (Abregman, 2025).	19
Figura 17: Listado de resultados del catálogo de juegos de Meta Quest al buscar la palabra “golf” (Meta, 2025).	20
Figura 18: Ejemplo de campo en <i>GOLF+</i> . En la imagen de la izquierda se observa en primera persona el objetivo. En la imagen de la derecha, un mapa con una vista cenital del campo. Imagen extraída de (NEXT Manu, 2024).	21
Figura 19: Ejemplo de campo en Walkabout Mini Golf. Imagen extraída de (Fudgy Games, 2024).	21
Figura 20: Comparación entre el XR Device Simulator de la versión 3.1.1 del paquete XR Interaction Toolkit (la cual viene junto con la 3.0.8 en el paquete de recursos del tutorial de Unity Learn) y el de la versión 3.3.0. A simple vista se observa una evolución importante de la IU.	25
Figura 21: Principales subsistemas en los que se pueden categorizar los scripts que desarrollan los comportamientos e interacciones de los elementos del videojuego.....	27
Figura 22: Para salvar los pequeños escalones de forma natural, se incorporan rampas que son invisibles para el usuario.....	29
Figura 23: La gravedad artificial de los asteroides solo actúa en una región limitada a su alrededor determinada por un <i>collider</i> esférico.....	31
Figura 24: Rayo tractor de la meta. Cuando la bola entra en el <i>collider</i> cilíndrico, se modifica su trayectoria para ser absorbida por el cohete.	32
Figura 25: Cuando el jugador está lejos del límite de la plataforma, no se ve ninguna barrera física que limite el movimiento, lo que ayuda a transmitir la sensación de que se está en el espacio. Sin embargo, cuando se sobrepasa un cierto límite, se activa una barrera de energía que genera un pequeño sonido eléctrico e impide que el jugador se salga de la plataforma.	34
Figura 26: Botón con presencia física que permite resetear la posición de la bola. A la izquierda, se observa el <i>collider</i> cúbico que da entidad física al botón. A la derecha, la imagen que el jugador ve.....	34
Figura 27: Dispensador de palos de golf. Al introducir uno de los controladores en el <i>collider</i> y realizar el gesto de agarrar, aparecerá un nuevo palo en la mano del jugador.....	35
Figura 28: Mecanismo de teletransporte automático entre hoyos. Cuando la bola llega a su destino, el jugador se ve rodeado por un aura (imagen izquierda) y la pantalla se desvanece a negro lentamente. Un instante después, aparece automáticamente en la posición del siguiente hoyo (imagen derecha).	35
Figura 29: Imagen del Lobby al que el jugador accede cuando se inicia el juego o se termina un nivel.....	38
Figura 30: Tutorial de locomoción del Lobby. Aparece una pantalla a la derecha del jugador que le sigue en sus movimientos, indicando la lista de acciones a realizar. Además, aparece un modelo del mando con una animación de los botones que hay que pulsar para completar la acción. En el caso de la imagen, se trata del movimiento continuo realizado con el joystick izquierdo.....	39
Figura 31: Punto de vista con el que el jugador aparece en el nivel del Tutorial.	40

Figura 32: Vista superior del nivel Tutorial. Existen tres campos diferentes, ordenados por nivel de dificultad de izquierda a derecha.....	41
Figura 33: Primer hoyo del Tutorial.	41
Figura 34: Segundo hoyo del Tutorial.....	42
Figura 35: Tercer hoyo del Tutorial.....	42
Figura 36: Panel de selección que aparece al finalizar el nivel Tutorial.	42
Figura 37: Vista panorámica del escenario del primer nivel del videojuego.	43
Figura 38: Mapa indicativo de la localización de los tres hoyos del escenario, con los puntos de inicio marcados en rojo y los objetivos en verde.....	43
Figura 39: Primer hoyo del Nivel 1, <i>Long Shot</i>	44
Figura 40: Segundo hoyo del Nivel 1, <i>Avoid Obstacle</i>	44
Figura 41: Tercer hoyo del Nivel 1, <i>Mind the Gap</i>	45
Figura 42: Pantalla de información que aparece al terminar el Nivel 1.	45
Figura 43: Usuario colocándose el dispositivo durante la primera sesión de pruebas. 46	
Figura 44: Colocación de los palos de golf en el terreno de juego. A la izquierda, localización en la versión 0.0.1, que pretendía animar al jugador a ir directamente al primer hoyo. A la derecha, barril dispensador de palos de golf creado en la versión 0.0.2 tras observar en las pruebas de usuario la necesidad de tener un suministro ilimitado de palos.....	48
Figura 45: Situación de la consola de reseteo de la bola. A la izquierda, imagen extraída de la versión 0.0.1. En las primeras pruebas de usuario se detectó que el movimiento natural para pulsar el botón hacia que, sin querer, se golpease la bola al girar el cuerpo. A la derecha, imagen extraída de la versión 0.0.2, tras recolocar la consola para que fuese más sencillo pulsar el botón.....	48
Figura 46: Usuario probando el videojuego durante la segunda sesión de pruebas....	49
Figura 47: Paneles del Lobby. A la izquierda, el sistema de selección de niveles. A la derecha, tabla con los mejores registros obtenidos por el jugador en cada nivel.	52
Figura 48: Panel de navegación que aparece al completar todos los hoyos de un nivel. A la izquierda, su disposición original. A la derecha, la modificación tras las pruebas de usuario finales.....	53
Figura 49: Panel del tutorial de locomoción en el que dos tareas ya han sido completadas.....	54
Figura 50: Ejemplo de ayudas visuales que aparecen al posar la vista sobre algunos elementos interactivos.	55
Figura 51: Paneles informativos de los niveles. A la izquierda, el panel presente en el nivel Tutorial, con un hoyo ya superado. A la derecha, el panel situado en el tercer hoyo del Nivel 1 con dos hoyos ya superados.	55
Figura 52: Sistema de <i> tooltips </i> con información gravitacional. Las dos imágenes del conjunto de la izquierda muestran el <i> tooltip </i> plegado, dado que la mirada del jugador no entra dentro del radio de activación del asteroide. En el conjunto de la derecha, el <i> tooltip </i> aparece desplegado ya que el jugador está posando la mirada en el asteroide.	56

Figura 53: Panel de información situado en la muñeca del jugador. A la izquierda, el panel mostrando las estadísticas del jugador en el nivel Tutorial. A la derecha, el jugador está interactuando con el panel usando su mando derecho para volver al Lobby. 57

Figura 54: Usuario probando el videojuego durante la evaluación final. 59

1. Introducción

1.1. Contexto y justificación del Trabajo

Desde el mismo momento en el que se crearon los primeros videojuegos se observó el gran potencial que tienen en la educación. Así, aunque el primer videojuego comercial de gran éxito, Pong, se lanzó en 1972 (Kent, 2001), casi 10 años antes ya se habían creado juegos educativos. En efecto, entre 1964 y 1967 IBM llevó a cabo un proyecto de investigación con los servicios educativos del Condado de Westchester para desarrollar videojuegos que ayudasen a los niños a estudiar economía, como es el caso del juego *The Sumerian Game*.

En este juego de estrategia, completamente basado en texto, los niños tenían que ponerse en la piel de un sacerdote-gobernador de la antigua Sumer y tomar una serie de decisiones económicas para mejorar la prosperidad de la nación. La conclusión del proyecto fue que los niños eran capaces de jugar, les interesaba y que aprendían más rápido (Wing, 1967). A pesar de que su código se perdió una vez terminado el proyecto, el videojuego ha sido recientemente resucitado basándose en los registros de tres partidas que se conservaban y puede conseguirse gratis en internet (Steam, 2024). En la Figura 1 se muestra un fragmento de uno de estos registros.

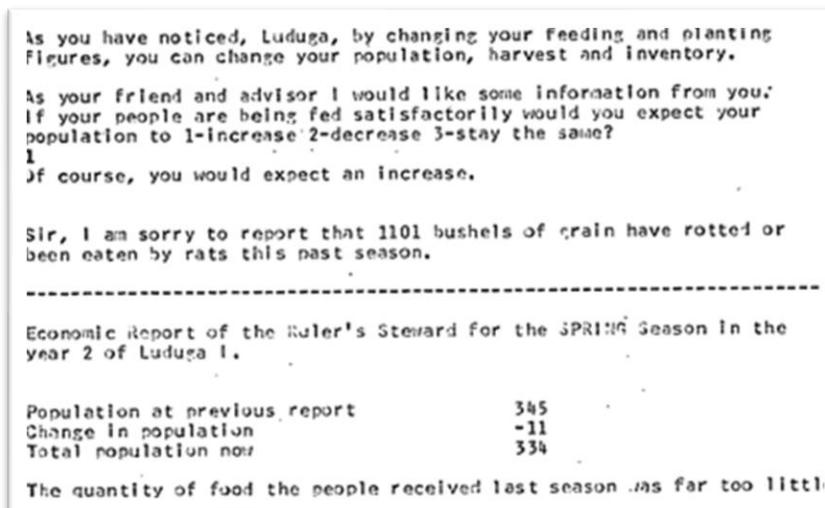


Figura 1: Ejemplo de una partida de *The Sumerian Game*. Imagen obtenida de (IBM, 1967).

En tiempos más recientes, uno de los videojuegos que más impacto ha tenido es el juego de construcción *Minecraft* (Mojang, 2025). Desde su publicación en 2011, no solo ha gozado de una gran popularidad como herramienta de entretenimiento, sino que se ha demostrado en repetidas ocasiones su utilidad a nivel educativo, hasta el punto de contar con una licencia especial para colegios (Mojang, 2021). Otro ejemplo es el *Kerbal Space Program* (Private Division, 2025), un videojuego en el que puedes desarrollar todo un programa espacial, lo que te permite entender la física espacial y la mecánica

celeste de una forma intuitiva y visual. Por ello, ha sido alabado por varias agencias espaciales como la NASA o la ESA (ESA, 2023).

Sin embargo, la llegada de las tecnologías inmersivas, como la Realidad Virtual (RV), la Realidad Aumentada (RA), o las tecnologías hapticas, pueden suponer una revolución en el mundo de la enseñanza (Aufenager, Bastian, Bastos, & et al., 2025). Uno de los campos en los que más se están explotando estas nuevas tecnologías es en la enseñanza de la medicina, especialmente en lo relacionado con la anatomía y la cirugía (Mergen, Graf, & Meyerheim, 2024). La conexión de esta última con los videojuegos se hace cada día más profunda con la llegada de los robots de cirugía mínimamente invasiva, los cuales se controlan con mandos especiales, asemejándose más a la interacción con un videojuego que con la clásica práctica manual de la cirugía (Carrasco, et al., 2025).

Este Trabajo Final (TF) propone la implementación de un videojuego en RV para ayudar en la enseñanza de la física espacial. Muchas de sus ideas principales, aunque ampliamente divulgadas en películas y videojuegos, son muy abstractas, operan en escalas muy diferentes de las que estamos acostumbrados y tienden a enseñarse en ambientes formales con ecuaciones y simulaciones estáticas. Por ello, puede resultar difícil para los estudiantes construirse una verdadera intuición de cómo pequeños cambios en velocidad o masa pueden afectar realmente las trayectorias bajo un campo gravitacional (Yu, 2005). La RV nos brinda la oportunidad de que los jugadores observen en primera persona estos efectos.

En particular, se propone la creación de un juego de golf en RV ambientado en un futuro en el que se usan asteroides y otros cuerpos celestes para construir los campos. Esto implica que las leyes de la física a las que estamos acostumbrados, como la gravedad, actuarán de formas inesperadas. Como se puede observar en el boceto de la Figura 2, para decidir cómo golpear la bola deberemos analizar las características de los cuerpos que se irá encontrando en su camino. Para facilitar esta tarea, el jugador dispondrá de un sistema holográfico que le ayudará a estimar las trayectorias. Ahora bien, en última instancia la única forma de conseguir que la bola siga esa trayectoria será dar el golpe perfecto.

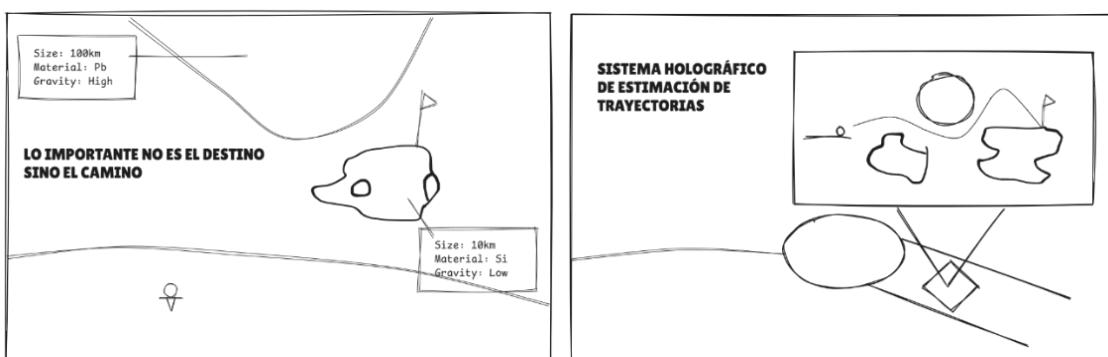


Figura 2: Boceto de los componentes principales del videojuego.

El objetivo principal es hacer un videojuego que sea divertido para los jugadores, no simplemente una experiencia educativa. Sin embargo, *Astro Putt* busca aprovechar el

potencial de la RV para transformar conceptos abstractos en experiencias que se puedan ver, sentir y comprender de manera intuitiva. De esta forma, el trabajo no solo pretende desarrollar un videojuego, sino también abrir una puerta hacia nuevas formas de enseñanza, en las que la curiosidad y la exploración sean el motor del aprendizaje.

1.2. Objetivos del Trabajo

El objetivo principal de este TF es diseñar y desarrollar un prototipo de videojuego de golf en RV que permita visualizar e interactuar de forma intuitiva con fenómenos relacionados con la mecánica gravitatoria. A continuación, se especifican con más detalle los objetivos concretos que se pretenden conseguir a distintos niveles. En la Figura 3 se muestra un resumen gráfico de estos objetivos.

A. Objetivos de la aplicación

1. Desarrollar un entorno de RV interactivo en el que el jugador pueda lanzar objetos en un espacio tridimensional con diferentes campos gravitatorios simulados para el dispositivo Meta Quest 2.
2. Implementar interacciones gravitatorias basadas en la ley de gravitación universal de Newton que funcionen a tiempo real, manteniendo un equilibrio entre realismo y jugabilidad en el motor gráfico Unity.
3. Diseñar dos escenarios que representen diferentes configuraciones físicas para permitir la exploración de los diversos elementos del sistema.

B. Objetivos orientados a los jugadores

1. Hacer un videojuego de golf que sea divertido y que atraiga a los jugadores a él por sus mecánicas, no directamente por su contenido educativo.
2. Facilitar la comprensión conceptual de las leyes gravitacionales mediante la exploración directa y la observación de sus efectos en un entorno inmersivo.
3. Desarrollar la intuición espacial en torno a órbitas, trayectorias y maniobras de asistencia gravitacional.
4. Promover la motivación y la curiosidad científica mediante el juego, en lugar de a través de fórmulas abstractas.

C. Objetivos personales y formativos

1. Adquirir experiencia práctica en la programación para entornos de RV, con especial atención a la interacción con los distintos sensores de estos sistemas.
2. Aprender cómo se adapta la integración numérica de la dinámica gravitatoria a entornos de simulación en tiempo real exigentes y de recursos relativamente limitados.
3. Explorar el potencial de este tipo de proyectos como herramienta docente, evaluando la viabilidad de proponer desarrollos similares como Trabajos de Fin de Grado (TFG) para estudiantes del Grado en Física.



Figura 3: Resumen gráfico de los objetivos del TF.

1.3. Impacto en sostenibilidad, ético-social y de diversidad

El desarrollo de *Astro Putt* está directamente ligado con la consecución de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Entre ellos, sin duda el más destacable es su relación directa con el Objetivo 4: Educación de Calidad. No solo es un proyecto interesante a nivel formativo para el propio autor, sino que espera que su potencial educativo vaya mucho más allá al tratarse de un videojuego que pretende facilitar el aprendizaje de fenómenos complejos a los estudiantes que se animen a jugar con él. Además, su impacto no se circunscribe al proceso de desarrollo, pues se espera poder seguir utilizando los recursos desarrollados en futuros TFGs de otros grados afines, como el Grado en Física.

Por otra parte, el desarrollo del videojuego planea utilizar tecnologías que, aunque ya pueden ser obtenidas por el público general, todavía se pueden considerar en cierta manera experimentales. O, como mínimo, innovadoras. Dado el potencial que pueden tener las herramientas de realidad inmersiva en el futuro del aprendizaje y del trabajo, sin duda la exploración de este tipo de propuestas contribuye a la consecución del Objetivo 9: Industria, Innovación e Infraestructura.

Desde el punto de vista ético y social, el videojuego busca democratizar el acceso a la educación científica a través de la tecnología, fomentando el interés por la ciencia y la tecnología en públicos diversos. Así mismo, su carácter no competitivo y orientado al aprendizaje lo convierte en un entorno seguro y libre de sesgos o contenidos discriminatorios.

1.4. Enfoque y método seguido

Como se ha descrito anteriormente, el objetivo principal del TF es crear un videojuego que permita visualizar e interactuar de forma intuitiva con fenómenos relacionados con la mecánica gravitatoria. Dado que se trata de una idea que ya ha sido explorada con anterioridad, para decidir la mejor estrategia de cara a su implementación ha habido que estudiar las opciones ya existentes y valorar el mejor camino a seguir. Aunque el estado del arte se desarrollará con mayor profundidad en la Sección 2, a continuación, se describe a grandes rasgos el porqué del enfoque propuesto.

Existen en la actualidad numerosos videojuegos que exploran los efectos de la gravedad, aunque la mayoría de ellos se enfocan en el 2D y las plataformas móviles. Aunque es un buen punto de partida, para entender realmente la complejidad de la física espacial resulta más interesante moverse a entornos 3D. En este contexto, uno de los primeros ejemplos que nos puede venir a la mente es el *Kerbal Space Program*, mencionado anteriormente. Sin embargo, aunque nos ofrece una representación muy detallada de la física orbital, su nivel de complejidad y curva de aprendizaje lo hacen menos adecuado para principiantes o para un entorno educativo introductorio.

Además, resulta interesante explorar el potencial de los entornos de RV para aumentar la sensación de inmersión y facilitar la comprensión de los fenómenos observados. Por otra parte, este tipo de tecnología presenta desafíos particulares como el *motion sickness* o cinetosis (comúnmente denominado mareo) (V. Bondarenko, 2024), lo cual puede ser especialmente difícil de controlar en entornos de ingravidez o con desplazamientos bruscos. Para mitigar este problema, se ha propuesto que la mecánica principal sea el lanzamiento controlado de un elemento, evitando movimientos de cámara forzados o rotaciones involuntarias del jugador.

Llegados a este punto, sería posible pensar en numerosos juegos o deportes que se basen en lanzar un objeto. No obstante, un problema que puede surgir en muchos de ellos es que los jugadores, de forma involuntaria, lancen el controlador con el que están jugando y puedan producir daños en su entorno. Así, la elección del golf como inspiración responde a la búsqueda de minimizar los riesgos físicos y, al mismo tiempo, mantener una interacción suave y precisa que permita que los jugadores se centren en las trayectorias que tienen que seguir los elementos lanzados.

Una vez determinado que se desea desarrollar algún tipo de videojuego de golf en RV en el que la gravedad juegue un papel relevante, el siguiente paso es explorar qué está actualmente disponible. Como se detallará en la Sección 2, se ha observado que los videojuegos de este estilo que existen actualmente no poseen ni dinámicas gravitacionales avanzadas, ni posibilidad de personalización de escenarios. El desarrollo de un prototipo propio es, por tanto, la única forma de implementar niveles diseñados con objetivos educativos específicos y configurar libremente los parámetros físicos para cada entorno.

Para llevar a cabo el desarrollo del prototipo, se empleará Unity (Unity Technologies, 2025), uno de los motores más utilizados en el ámbito del desarrollo de videojuegos y

en entornos de RV. Unity ofrece una gran flexibilidad y una curva de aprendizaje accesible, a diferencia de otros motores como Unreal Engine (Epic Games, Inc., 2025) que, aunque permiten conseguir resultados visualmente más realistas, tienen una curva de aprendizaje superior (Kramer, 2024), algo negativo dado el tiempo disponible para la realización del TF. Además, posee herramientas especializadas para trabajar con el dispositivo Meta Quest 2, que es el que el autor tiene disponible para la realización del TF.

En resumen, la estrategia de crear un videojuego educativo utilizando plataformas existentes de desarrollo en RV es la más apropiada para cumplir los objetivos del proyecto. Ofrece la flexibilidad necesaria para ajustar el nivel de complejidad, garantizar una experiencia inmersiva controlada y facilitar la integración de principios físicos de forma comprensible y atractiva.

1.5. Planificación del Trabajo

Para la realización del prototipo serán necesarios diversos recursos tanto a nivel de hardware como de software, además de los recursos humanos propios de un TF. Es decir, el autor de este, el tutor académico y el resto de profesores que participen durante el proceso de revisión y defensa del mismo. Dado que no se posee control sobre los recursos humanos del TF, a continuación, se detallan el resto de los elementos necesarios:

Tabla 1: Listado de los recursos necesarios para la realización del TF (Meta, 2025).

Tipo	Nombre	Descripción
Hardware	Ordenador para desarrollo y pruebas	Especificaciones mínimas: <ul style="list-style-type: none"> - Intel i5-4590/AMD Ryzen 5 1500X o superior - NVIDIA GeForce GTX 970 - 8 GB de RAM - Windows 10 - Un puerto USB
	Dispositivo de RV	Se desarrollará para Meta Quest 2 al ser las que están disponibles para el autor del TF. Incluyen mandos compatibles con la RV.
	Espacio físico de 2x2m	Para poder utilizar las gafas con seguridad es necesario disponer de una zona despejada de mínimo 2x2m
Software	Motor de desarrollo	Unity Editor 2022.3.15f1 o superior. La licencia es gratuita para este tipo de proyectos.
	Entorno de desarrollo	Visual Studio (gratuito para este tipo de proyectos).
	Sistema de control de versiones	Git con conexión a GitHub (gratuitos para este tipo de proyectos).

Herramientas de diseño	Se utilizarán Blender y GIMP para elaborar los elementos gráficos del juego. Ambos son gratuitos para este tipo de proyectos. Además, se empleará CapCut para el montaje del tráiler.
Assets	Se consultarán repositorios de assets libres como Kenney o Poly Haven. Además, se explorarán herramientas de IA Generativa para la creación de assets únicos, como Trellis o Meshy.

En lo que respecta a los requisitos de hardware mencionados en la Tabla 1, cabe destacar que se tratan de los requisitos mínimos oficiales proporcionados por Meta. Sin embargo, algunos de ellos no son estrictamente necesarios, como el de disponer de una tarjeta gráfica dedicada. Su función es permitir el uso de Meta Horizon Link (Meta Horizon, 2024), una aplicación que permite ejecutar el videojuego en el dispositivo lanzándolo directamente desde Unity, sin necesidad de compilarlo e instalarlo en él. Si no se dispone de una gráfica con estas características, la única consecuencia será un tiempo de iteración ligeramente superior a la hora de probar nuevas versiones del videojuego.

Así mismo, en la Figura 4, se muestra un diagrama de Gantt con el cronograma de las distintas tareas que será necesario llevar a cabo durante la realización del TF. Como se puede observar, las tareas se han agrupado siguiendo el orden propuesto en las distintas PECs de la asignatura para facilitar el desarrollo de estas. También se han incluido los hitos principales que habría que conseguir tras cada PEC.

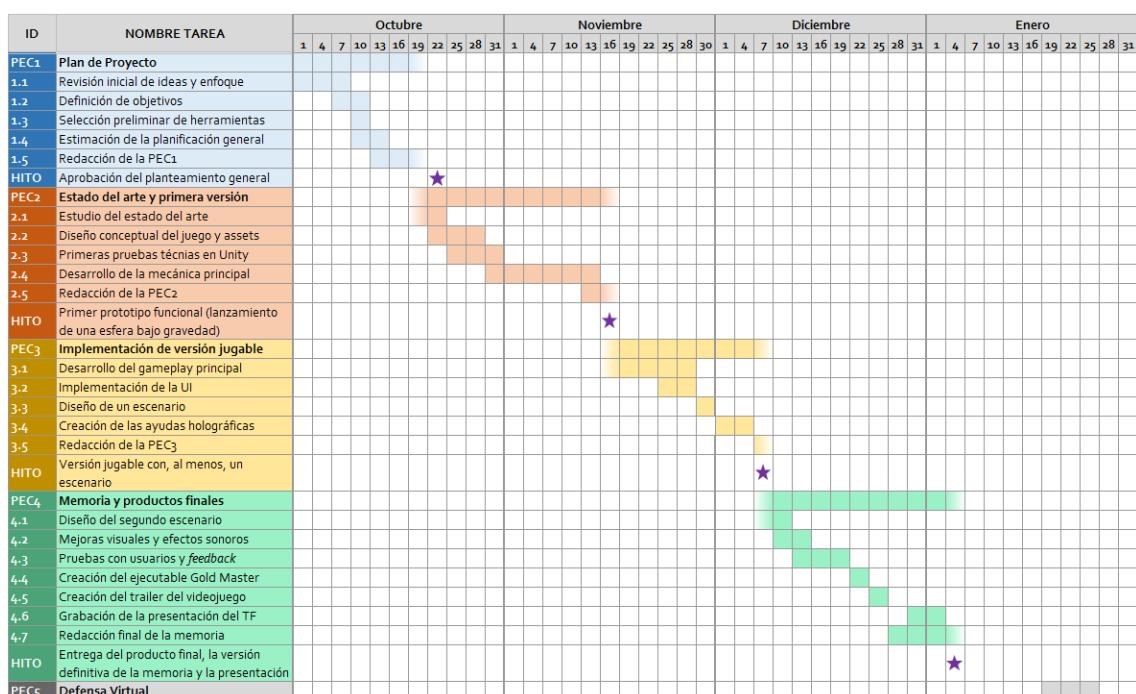


Figura 4: Diagrama de Gantt de las tareas asociadas al TF.

Para concluir esta sección, se debe elaborar una lista de los riesgos potenciales que pueden suponer problemas durante el desarrollo del proyecto. En la Tabla 2 se identifican los más relevantes, su posible impacto y las medidas de mitigación previstas.

Tabla 2: Listado de riesgos del proyecto y sus planes de mitigación.

Tipo de riesgo	Descripción	Impacto potencial	Plan de mitigación
R1 – Personal Falta de experiencia en Unity y desarrollo en RV	La inexperiencia en programación en Unity y RV puede ralentizar las primeras fases del desarrollo.	Retraso en la implementación de mecánicas o necesidad de reducir el alcance del proyecto.	Experimentar con Unity para adquirir práctica progresiva (Tarea 2.3). En caso de no alcanzar el dominio esperado, reducir el número de escenarios a uno y prescindir de elementos secundarios como los efectos de sonido.
R2 – Técnico Problemas de rendimiento en Meta Quest	El hardware de Meta Quest tiene limitaciones de procesamiento, lo que podría causar <i>lag</i> en el entorno 3D.	Afecta a la calidad de la experiencia RV y puede producir mareos.	Mantener modelos y texturas de baja complejidad y optimizar los scripts de física
R3 – Técnico Avería del hardware de RV	El dispositivo de RV podría sufrir una avería, impidiendo realizar pruebas o continuar desarrollando.	Paralización temporal del desarrollo, imposibilidad de validar la jugabilidad o el rendimiento del prototipo.	Mantener copias actualizadas del proyecto para poder continuar el desarrollo en modo de simulación 3D en Unity sin necesidad del dispositivo. En caso de avería prolongada, realizar la validación en un emulador de RV.
R4 – Planificación Subestimación del tiempo de desarrollo	La implementación en RV puede requerir más tiempo del previsto para integrar la física y los controladores.	Possible incumplimiento de hitos intermedios.	Priorizar funcionalidades básicas sobre elementos estéticos. Si fuera necesario, prescindir de las tareas 4.1 a 4.3 y dedicar ese tiempo a la depuración de la versión final del prototipo.
R5 – Diseño Motion sickness o incomodidad del usuario	Un mal diseño de cámara o de movimiento en el entorno en RV puede provocar mareos.	Reducción de la usabilidad del prototipo o necesidad de rehacer parte de las mecánicas.	Priorizar movimientos estáticos del jugador y mantener control manual del punto de vista. Realizar pruebas frecuentes de confort y hacer un test con usuarios (Tarea 4.3).

1.6. Breve sumario de productos obtenidos

El prototipo dispone de los siguientes elementos:

- Un lobby que sirve de entrada al juego, selección de escenarios y resumen de las mejores puntuaciones obtenidas.
- Un tutorial sobre locomoción en RV y ayudas visuales para realizar interacciones con los mandos.
- Un primer nivel que hace las veces de un tutorial diegético sobre las mecánicas principales del videojuego.
- Sistema de simulación de golpe a una bola usando un palo de golf controlado con los mandos de Meta Quest 2.
- Sistema de simulación del movimiento de una esfera en un entorno con distintos efectos gravitacionales.
- Pantallas holográficas con información de la partida, puntuación y botones de navegación adaptados a los controles típicos de RV.

- Un nivel completo del videojuego en el que se pueden explorar todos los elementos anteriores.

1.7. Breve descripción de los otros capítulos de la memoria

A continuación, se resumen los contenidos del resto de capítulos que componen la memoria:

- Capítulo 2 – Estado del arte: presenta una revisión de los videojuegos de temática similar existentes. Este análisis permite contextualizar el proyecto y justificar su relevancia.
- Capítulo 3 – Materiales y métodos: describe la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto, las herramientas seleccionadas y los criterios de diseño empleados.
- Capítulo 4 – Diseño: detalla el proceso de diseño previo a la implementación, incluyendo los requerimientos funcionales y la arquitectura del sistema.
- Capítulo 5 – Resultados: expone el resultado final del trabajo, discutiendo el alcance del prototipo desarrollado y una evaluación del desempeño del juego.
- Capítulo 6 – Conclusiones y trabajo futuro: presenta las conclusiones derivadas del TF y analiza el grado de cumplimiento de los objetivos marcados.
- Capítulo 7 – Glosario: contiene la definición de los acrónimos más relevantes empleados a lo largo de la memoria.
- Capítulo 8 – Bibliografía: reúne las referencias bibliográficas utilizadas en el documento.

2. Estado del arte

2.1. El uso de los videojuegos en la enseñanza y el papel de la RV

El uso de los videojuegos como herramienta educativa ha sido objeto de estudio desde hace décadas y su potencial para favorecer el aprendizaje ha sido ampliamente reconocido (Dede, 2009). Uno de los factores que explican su éxito es la capacidad de los videojuegos para mantener la motivación del jugador, un componente esencial en cualquier proceso de aprendizaje. Como señala (Gee, 2003) los videojuegos están diseñados para retar y recompensar de forma equilibrada, de modo que el jugador se mantenga en un estado de interés constante. Esta característica los convierte en un entorno idóneo para la adquisición de conocimientos.

A modo de ejemplo, (Koops, Verheul, Tiesma, de Boer, & Koeweiden, 2016) compararon el aprendizaje de las leyes de Newton utilizando un videojuego educativo en 2D desarrollado por ellos mismos frente a un juego comercial en 3D en el que se podía experimentar un contenido similar de forma implícita. Los resultados mostraron que los estudiantes que jugaron al juego 2D aprendieron más que con el de 3D, si bien es cierto que estos últimos eran los que demostraron un mayor conocimiento de las leyes de Newton antes de jugar, por lo que podría haber límites en lo que podían aprender. No obstante, resulta más interesante la observación de que los estudiantes manifestaron en una encuesta que no habían aprendido nada por usar los videojuegos. Esto resultó ser falso, pues una comparativa con el grupo de control mostró que sí que habían aprendido más. Los autores denominaron este fenómeno *aprendizaje tácito*, ya que los usuarios aprenden sin ser necesariamente conscientes de ello.

Para comprender por qué los videojuegos pueden ser tan eficaces como herramienta educativa, hay que desarrollar el concepto de inmersión. Según (Dede, 2009), se puede definir la inmersión como la impresión subjetiva de que uno está participando en una experiencia realista. En el mundo digital, es posible distinguir entre la inmersión sensorial (realidad virtual, tecnologías hapticas), de acción (al visitar entornos y ejecutar mecánicas imposibles en la vida real) o simbólico (cuando juega con asociaciones semánticas o psicológicas, como en los videojuegos de terror). La combinación de estas dimensiones favorece una experiencia inmersiva que puede potenciar significativamente la retención del conocimiento, por lo que la inmersión sensorial que proporciona la RV puede jugar un papel fundamental en este proceso.

En la última década, la RV se ha convertido en un elemento mucho más accesible para la población. Esto ha motivado que se haya extendido el uso de estos elementos para la formación en una amplia variedad de sectores, como la medicina a la robótica (Carrasco, et al., 2025), y que se debata la inclusión de experiencias en RV en la educación superior (Radianti, Majchrzak, & Fromm, 2020). Su gran ventaja radica en la facilidad con la que produce una inmersión sensorial profunda, incrementando el realismo de la experiencia (Cooper, Thong, & Tang, 2024). Esto ha permitido el desarrollo de entornos formativos más naturales, donde los estudiantes pueden experimentar fenómenos de forma directa, en lugar de observarlos de manera abstracta.

Sin embargo, la RV no siempre garantiza un mejor aprendizaje por sí sola. Johnson-Glenberg et al. compararon el aprendizaje obtenido jugando a un videojuego en el que había que cazar mariposas con un ordenador tradicional o con un dispositivo de RV (Johnson-Glenberg, Bartolomea, & Kalina, 2021). Además, incluyeron también dos tratamientos en los que los usuarios veían un vídeo de alguien jugando a dicho videojuego, también en ambas plataformas, pero sin que ellos pudieran interactuar directamente. Los resultados mostraron que los que más aprendieron fueron los que usaron la RV interactiva. Sin embargo, en conjunto, el promedio de los dos grupos de ordenador convencional y de RV fue muy similar, ya que el grupo que menos aprendió fue el que usó la RV pero solo veía un vídeo. Este resultado muestra la importancia del *embodiment* (personificación) y la *agency* (capacidad de acción). La RV es más efectiva cuando el jugador puede actuar dentro del entorno, no solo contemplarlo. Por lo que se ha comentado anteriormente, se puede pensar que la falta de interactividad reduce la inmersión sensorial, eliminando precisamente una de las mayores ventajas que ofrece la RV.

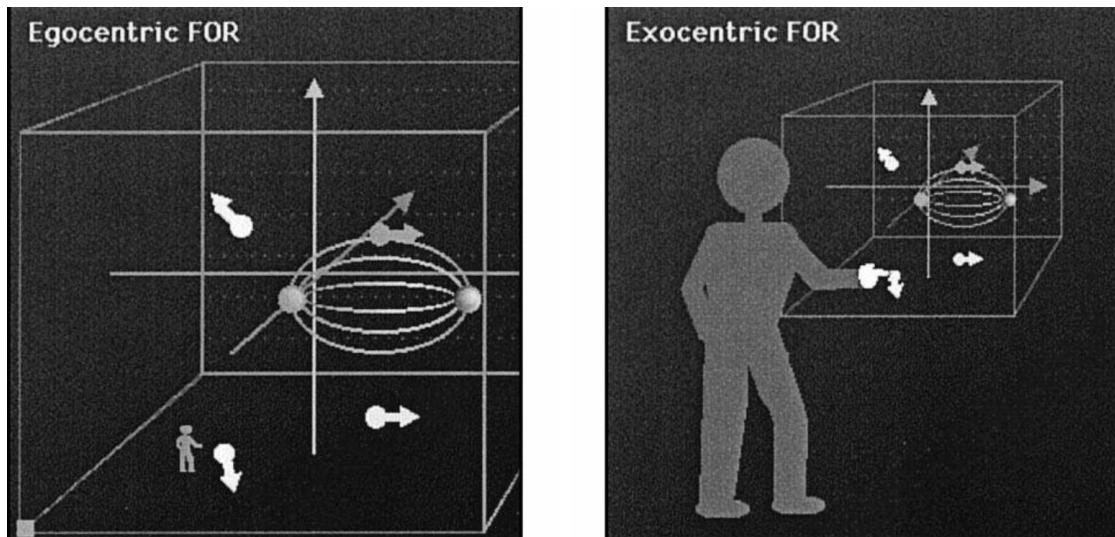


Figura 5: Punto de vista egocéntrico (izquierda) y exocéntrico (derecha). Las siglas FOR significan Frames of reference, es decir, la perspectiva con la que se observa la escena. Imagen extraída de (Salzman, Dede, & Loftin, 1999).

Ahora bien, cabe preguntarse si para entender conceptos abstractos realmente una perspectiva como la que brinda la RV es realmente útil. Esto es lo que llevó a Salzman et al. hace más de dos décadas (Salzman, Dede, & Loftin, 1999) a estudiar el efecto que tenía una perspectiva egocéntrica (en primera persona), exocéntrica (en tercera persona) o bicéntrica (alternando entre una y otra) en una experiencia educativa en RV sobre campos magnéticos (véase la Figura 5). Concluyeron que alternar entre primera y tercera persona favorece la comprensión, ya que ambas perspectivas aportan información complementaria. De hecho, investigaciones recientes han extendido esta idea hasta al entrenamiento de sistemas de inteligencia artificial (Thatipelli, Lo, & Roy-Chowdhury, 2025).

Por tanto, la RV se presenta como una herramienta capaz de integrar motivación, inmersión e interactividad, tres elementos fundamentales para el aprendizaje efectivo. Su potencial es especialmente relevante para la enseñanza de disciplinas científicas y espaciales, donde muchos conceptos son difíciles de visualizar o experimentar directamente. En entornos de microgravedad, por ejemplo, la orientación espacial puede volverse confusa, ya que desaparecen las referencias habituales de “arriba” y “abajo” (Vimal, Panic, Lackner, & DiZio, 2023). De hecho, un estudio de las fuerzas armadas de los Estados Unidos determinó que entre 1993 y 2013 hubo un total de 72 accidentes relacionados con la desorientación espacial, por los cuales 101 personas perdieron la vida y 65 aeronaves fueron destruidas, resultando en pérdidas de 2.320 millones de dólares (Poisson & Miller, 2014). Este tipo de experiencias son imposibles de reproducir en un aula tradicional, pero pueden simularse de manera realista en RV, permitiendo una comprensión intuitiva de los fenómenos físicos implicados.

En definitiva, para conseguir los objetivos planteados al inicio del TF, es necesario desarrollar un videojuego que incluya una alta inmersión, capacidad de acción y diversos puntos de vista, que además favorezca un aprendizaje tácito. A continuación, se contextualizará la temática en particular de la propuesta y se comparará con videojuegos existentes actualmente.

2.2. Videojuegos de temática similar

Diseñar un videojuego realista ambientado en el espacio supone un reto importante. Además de la propia complejidad de la simulación en sí, las mecánicas que hay que implementar se alejan mucho de lo que un jugador está costumbrado. Así, las distancias entre planetas o la maniobrabilidad de una nave son muy diferentes de las que uno puede encontrar en entornos ambientados en planetas, con las fuerzas y movimientos con los que estamos más familiarizados.

Es posible mencionar como ejemplo de esta problemática el videojuego *Outer Wilds* (Mobius Digital Games, 2019), un videojuego de exploración espacial que fue alabado por la crítica y ganador de numerosos premios. Un aspecto importante del juego es que el viaje espacial era altamente realista, teniendo que aprender a interactuar con la gravedad y la inercia para poder moverse por el espacio. Sin embargo, muchos jugadores no consiguieron acostumbrarse a esta mecánica. En el agregador de opiniones Metacritic, la versión del videojuego para Nintendo Switch tiene 15 comentarios de jugadores (Metacritic, 2025). El 67% de ellos (10 jugadores) le dan una valoración positiva, pero el 33% restante (5 jugadores) le dan una opinión indecisa o negativa. De ellos, todos menos uno se quejan del sistema de control del videojuego. Comentarios similares se pueden ver en las versiones de otras plataformas, aunque debido al volumen de comentarios es difícil hacer una revisión sistemática dado que la página no cuenta con un buscador. Además, se puede descartar que sea una mala adaptación de los controles a los mandos de una videoconsola, ya que en la versión de ordenador recomienda explícitamente el uso de un mando para disfrutar el juego, Figura 6 (Gelfan_Dothea, 2023).

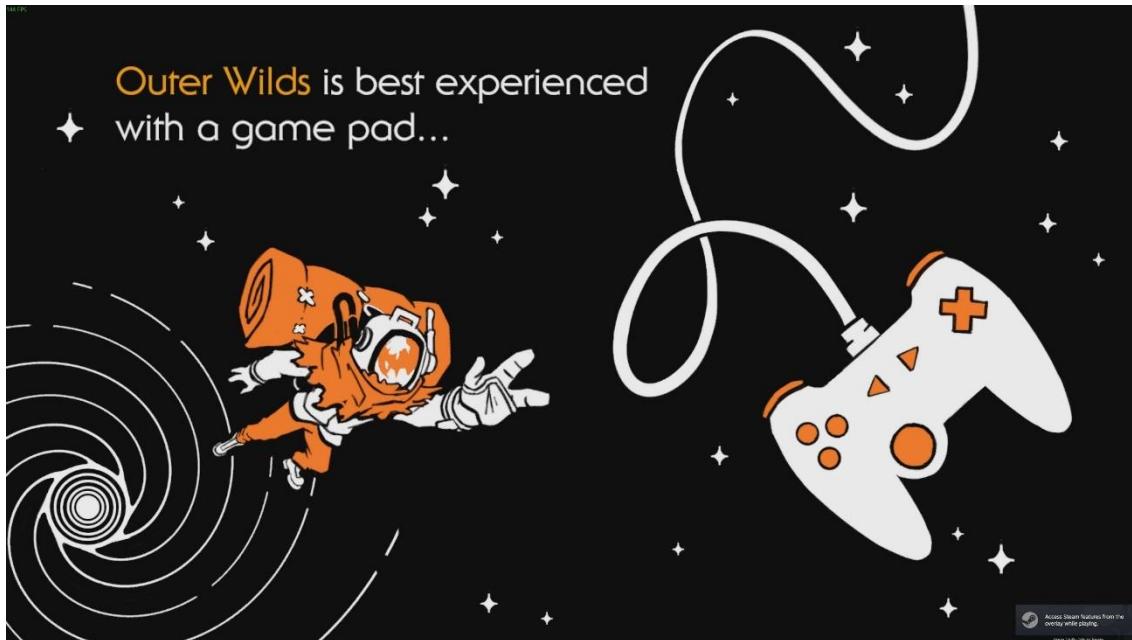


Figura 6: Al iniciar el juego *Outer Wilds* en su versión de ordenador, sale un aviso recomendado jugar con un mando en lugar de con teclado y ratón. Imagen extraída de (CapyCapy275, 2025).

Si nos centramos en los videojuegos del espacio con un componente educativo, se recomienda consultar la revisión que hicieron recientemente investigadores de la Universidad de Viena con motivo del desarrollo un videojuego en primera persona para explicar diversos conceptos del sistema solar (Fang & Hlavacs, 2025). A modo de resumen, mostraron que los videojuegos o plataformas de simulación existentes tienden a ser excesivamente complejos o carecer de sistemas de recompensa o progresión que permitan facilitar la educación de una forma estructurada. Por ello, no se entrará en detalle en ellos. El resto de la sección se centrará en los videojuegos más relacionados con la temática propuesta (golf y gravedad) aunque no tengan una componente educativa.

2.2.1. Videojuegos de golf clásicos

Los videojuegos de golf tienen una rica historia que se remonta a la década de 1970. Resulta difícil determinar con precisión cuál fue el primero ya que la información que se puede encontrar en la red está un poco fragmentada y es algo confusa. Así, aunque la Universal Videogame List lista hasta 4 videojuegos creados en 1970 relacionados con el golf, en la mayoría de ellos no existen ni imágenes ni código. Una excepción es GOLF-IQ, mostrado en la Figura 7, aunque, pese a técnicamente entrar dentro de la temática del golf, se trataba de un cuestionario interactivo sobre este deporte, no un simulador.



Figura 7: GOLF-IQ uno de los primeros videojuegos relacionados con el golf. En este juego no se simulaba el deporte, sino que se trataba de un cuestionario para que los jugadores midiesen sus conocimientos de golf. Imagen extraída de (UVL, 2025).

Hay que avanzar hasta finales de la década de 1970 para encontrar los primeros videojuegos comerciales. Es el caso del videojuego de 1978 *Computer Golf!* publicado por Magnavox (ver Figura 8). Se trataba de un juego de hasta 4 jugadores en los que un joystick permitía mover al personaje y un botón determinar la fuerza con la que se iba a golpear la bola (sin posibilidad de determinar la dirección más allá de posicionando el personaje). Sin embargo, el libro Guinness de los Récords cita el videojuego de Atari, *Golf*, publicado en 1980 como el primer videojuego de Golf comercial (Guinness World Records, 2025) aunque el propio desarrollador del mismo ha reconocido que (por orden de sus jefes) se trata de una copia de *Computer Golf!* (Atari Archive, 2025).

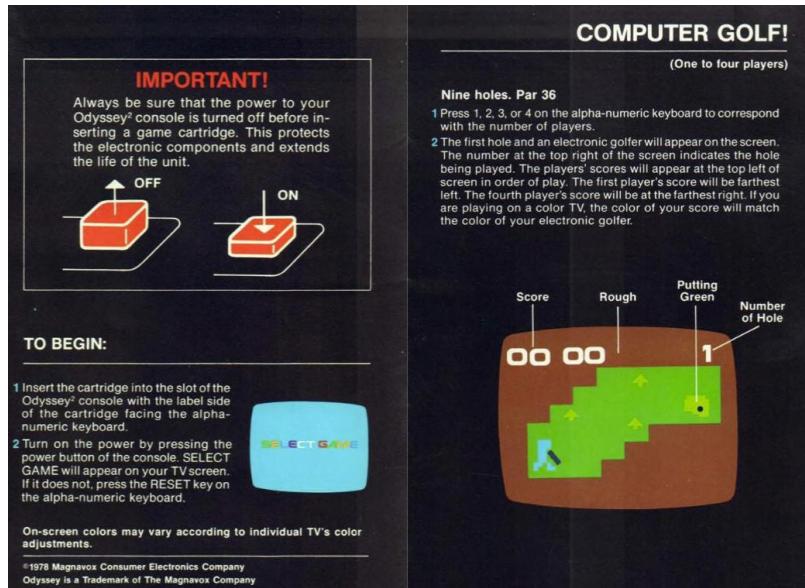


Figura 8: Manual de instrucciones de *Computer Golf!* uno de los primeros videojuegos de golf. Imagen extraída de (Magnavox, 2021).

A tenor de las estadísticas, el gran auge de esta temática se produce en la década de 1980, con una media de más de 30 nuevos juegos al año. Desde entonces, se produce un lento declive hasta la actualidad, cuando apenas se publican uno o dos juegos nuevos al año, Figura 9. Cabe destacar que la lista contenida en Universal Videogame List probablemente esté incompleta ya que, por ejemplo, no lista ningún juego desarrollado para plataformas móviles.

Golf games by year

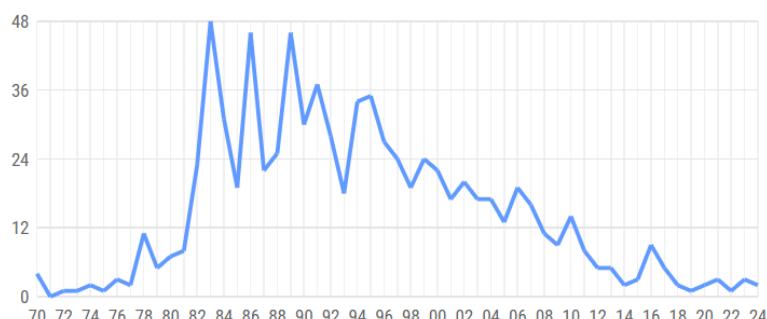


Figura 9: Número de nuevos videojuegos de golf publicados al año según la Universal Videogame List (UVL, 2025).

Dada la gran cantidad de videojuegos de esta temática, hacer una revisión sistemática de los mismos va más allá del alcance del trabajo actual. En su lugar, en la Sección 2.2.3 se explorarán algunos juegos de golf en RV, ya que será interesante estudiar cómo han abordado la simulación de este deporte en un entorno inmersivo. Pero, al no existir videojuegos en RV que introduzcan elementos gravitacionales, antes de pasar a esa sección se explorarán ejemplos de videojuegos más tradicionales en los que sí se incluye dicha mecánica.

2.2.2. Videojuegos de golf con gravedad

La idea de utilizar la gravedad para alterar las trayectorias de objetos en el espacio no es una novedad en el mundo de los videojuegos. Sin ir más lejos, un título tan popular como *Angry Birds* (Rovio, 2024) ya exploró esta temática en 2012 con una versión llamada *Angry Birds Space* en la que los pájaros tenían que atravesar el espacio y se veían afectados por la gravedad de los planetas por los que pasaban. Aunque el juego fue descontinuado en 2019, en octubre del 2025 se anunció su vuelta, esta vez adaptado a la nueva versión del juego, *Angry Birds 2* (Rovio, 2025). En la Figura 10 se muestra un ejemplo de una partida de esta nueva versión del juego.



Figura 10: Muestra de una partida de *Angry Birds Space 2*. Se puede ver que la trayectoria del pájaro rojo no sigue una línea recta, sino que se curva al pasar cerca de los asteroides. Imagen extraída de (Rovio, 2025).

Poniendo el foco en la temática del golf, se pueden encontrar numerosos juegos que explotan esta idea. Desde antiguos juegos hechos en *Flash* (Biraki, 2023) o *HTML5* para navegador, a juegos de estilo *casual*, diseñados específicamente para dispositivos móviles basados en *Android* o *iOS*. Un ejemplo de los primeros es *Gravitee* (Funkypear, 2015). Seguramente se trate del juego más sencillo y, al mismo tiempo, del más académico de todos los analizados en esta sección. Como se puede ver en la Figura

11, los planetas tienen una etiqueta que indica su masa para ayudar al jugador en el cálculo del efecto de la gravedad. Asimismo, cuando se hace clic con el ratón en la bola y se arrastra para determinar la dirección y la fuerza, aparece una línea que muestra la trayectoria que realizará la bola. También es destacable que es el único juego de los analizados cuyo objetivo no es meter la bola en un agujero como tal, sino atravesar un arco.

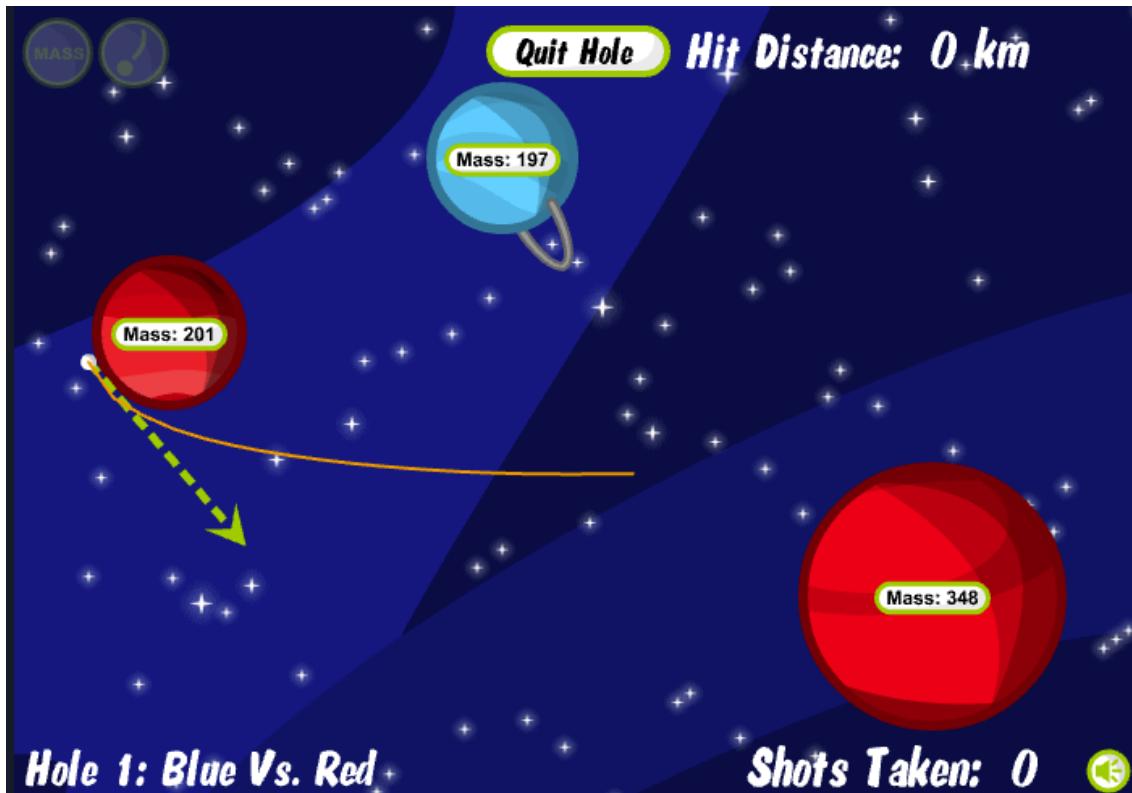


Figura 11: Primer nivel del videojuego *Gravitee*. Se observan etiquetas sobre los planetas que indican su masa y una guía que indica la trayectoria que seguirá la bola si es lanzada en esa dirección y con esa fuerza. Imagen extraída de (Funkypear, 2015).

A continuación, se explorarán dos juegos desarrollados para Windows, aunque es posible probar el primero de ellos en el navegador. Se trata del videojuego *Space Golf* (Madonna, 2022) desarrollado en Unity. Con una estética más recargada, se puede ver que también se muestra la trayectoria de la bola. A diferencia del anterior, la vista está centrada en la bola y no se puede ver el mapa completo. Aunque se puede cambiar la cámara para ver todo el recorrido, la interacción solo se puede realizar cuando se activa la vista egocéntrica. También existen indicaciones del efecto de las órbitas, aunque el efecto total es que la pantalla parece estar muy llena de cosas pese a que la gran mayoría es espacio vacío.

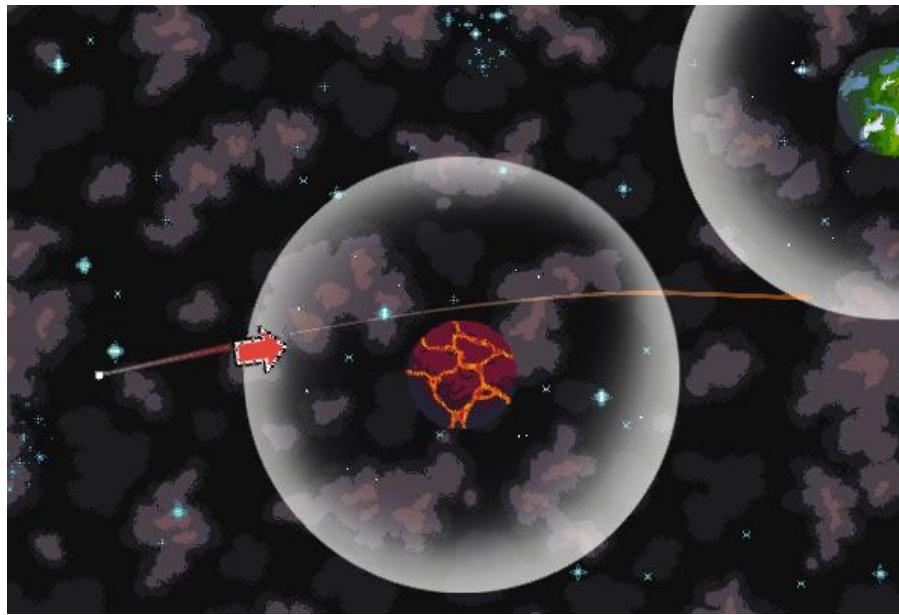


Figura 12: Primer nivel de *Space Golf*. La vista se centra en una pequeña zona cercana a la bola y sigue a esta cuando se lanza. Al arrastrar con el ratón para determinar la velocidad y dirección, aparece una indicación de la trayectoria que seguirá la bola. Imagen extraída de (Madonna, 2022).

El segundo ejemplo, *Comet Golf* (Comet Golf Project Team, 2020), tiene un componente único respecto al resto y es que, en lugar de lanzar una bola, se lanza un cometa hacia un agujero negro. Esto no tiene ningún impacto a nivel de mecánicas, pero estéticamente tiene el añadido de que al cometa le sigue una estela de luz. El juego aprovecha esto para dejar también una marca permanente de la trayectoria que ha seguido el cometa. Existen objetos y cuerpos celestes que se mueven por el espacio, en lugar de estar estáticos como en el resto de juegos, aunque no se muestran indicaciones de la trayectoria que va a seguir. Pese a que el aspecto visual está cuidado, solo tiene tres reseñas y lo único que se puede extraer de ellas es que el juego es muy corto.

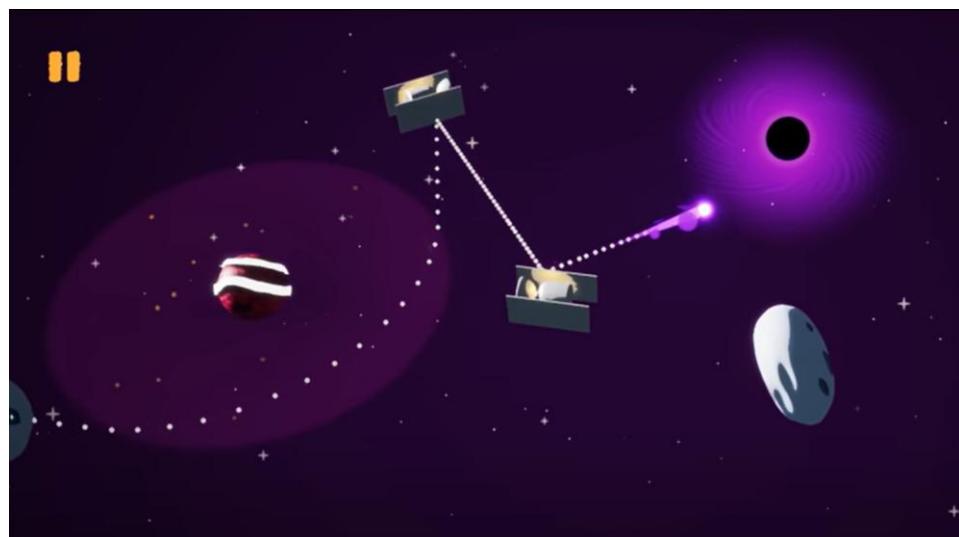


Figura 13: Captura de pantalla del tráiler de *Comet Golf*. Se puede ver que el cometa tiene una estela que le sigue y que la trayectoria que ha recorrido se queda marcada. Imagen extraída de (Comet Golf Project Team, 2020).

Finalmente están los videojuegos desarrollados específicamente para dispositivos móviles, como *Astro Golf* (Spatula Interactive Ltd., 2019). Un juego que fue lanzado en torno al 2019 pero que ya no está disponible en las tiendas de Apple y Android. Tiene una estética muy minimalista pero efectiva, a juzgar por las reseñas que han dejado los usuarios. No muestra ninguna información sobre las trayectorias ni tiene elementos en movimiento. Desde un primer momento se puede ver todo el mapa y, realmente, más que en el género de la simulación deportiva se podría encajar en el género puzzle ya que, aunque se pueden realizar múltiples disparos desde puntos intermedios, se dice explícitamente que se puede conseguir de un solo golpe a modo de reto. Incluye también un modo “difícil” en el que solo se permite realizar un único disparo por nivel.

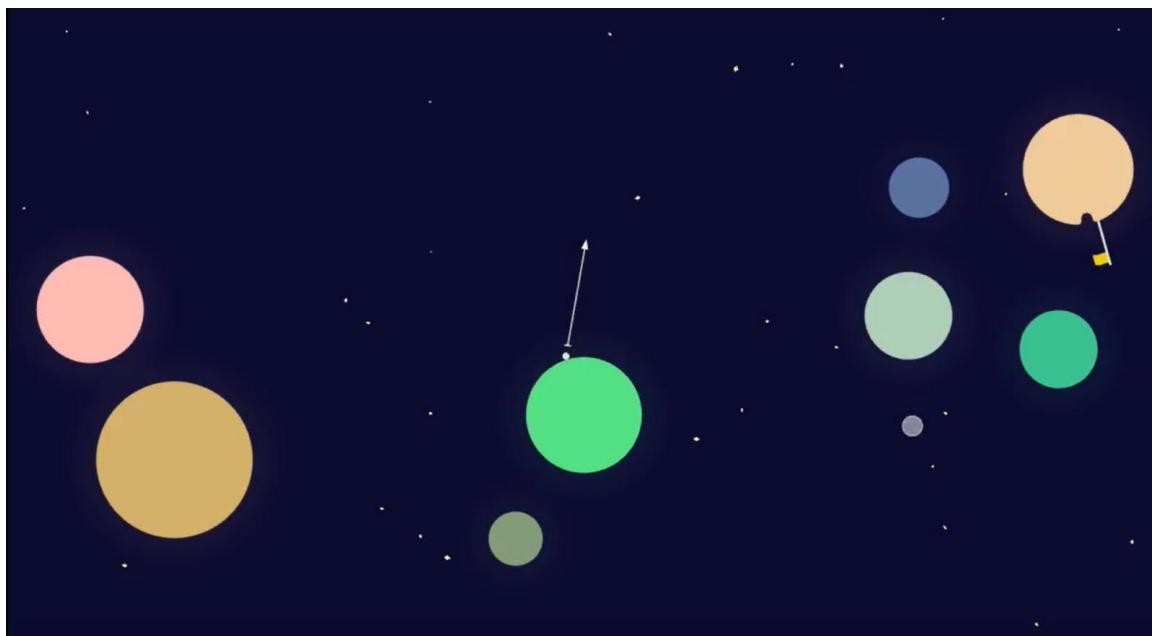


Figura 14: Captura de pantalla del tráiler de *Astro Golf*. La cámara contiene todo el mapa y no existe ninguna guía sobre el camino recorrido o la trayectoria que va a seguir la bola al ser lanzada. Imagen extraída de (Spatula Interactive Ltd., 2019).

Dos años después saldría *Planetary Golf* (Count Whiskers, 2021). El juego sigue disponible, aunque tiene un número de descargas reducido, 10+. La bola parece tratarse de algún tipo de esfera de energía que lanza un pequeño astronauta entre planetas, lo que le permite destruir objetos en su trayectoria o ir directo a otro planeta sin tener que trazar órbitas, Figura 15. La principal novedad respecto al resto de juegos analizados es que incluye una mecánica de recolección de estrellas durante la trayectoria, por lo que el objetivo no es solo llegar al final con el mínimo número de golpes posible, sino también con el mayor número de estrellas recolectadas.



Figura 15: Dos ejemplos de niveles de *Planetary Golf*. A la izquierda, la bola choca con un asteroide y lo destruye, desviando su trayectoria. A la derecha, una bola lanzada con mucha energía no se ve afectada por los efectos gravitatorios. Imagen extraída de (Leite, 2021).

Para terminar con esta breve revisión, se puede hablar de *Space Mini Golf* (Coding Shell, 2025), el más reciente de los analizados hasta ahora. El número de descargas es también modesto, aunque algo más elevado que el anterior, con algo más de 100 descargas. No obstante, esto puede deberse a que es gratis y la monetización es mediante anuncios, mientras que *Planetary Golf* tiene un coste de 0.59€. A nivel de mecánicas e información es muy similar a *Space Golf*, aunque las trayectorias que salen marcadas no se asemejan demasiado a las que acaba haciendo la bola. A simple vista parece que el cálculo se hace solo desde el centro de la bola, sin tener en cuenta su superficie, la cual es la que realmente determina las colisiones. Resulta interesante destacar también que, a diferencia de los anteriores, está desarrollado usando Godot (Godot Foundation, 2025) en lugar de Unity.



Figura 16: Muestra del primer nivel de *Space Mini Golf*. Se puede ver una estimación de la trayectoria que va a seguir la bola (izquierda) en lugar de un vector de dirección y fuerza. Sin embargo, es fácil que la bola se quede atascada antes (derecha), como si en el cálculo de la trayectoria no se hubiese tenido en cuenta la superficie de la bola. Imagen extraída de (Abregman, 2025).

2.2.3. Videojuegos de golf en RV

En lo que respecta a videojuegos de golf en RV, la oferta es ciertamente menor debido a que es un mercado más pequeño. Un reciente informe de la compañía International Data Group estima en algo más de 14 millones el número total de dispositivos de AR/VR que se venderán en 2025 y predice un incremento del volumen que llegará a 43 millones en 2029 (IDC Corporate, 2025). Aunque no son cifras desdeñables, todavía están muy lejos del volumen de ventas de las consolas tradicionales o de los teléfonos móviles. En la Figura 17 se muestra el listado de videojuegos que aparecen en el catálogo de Meta Quest al buscar la palabra “golf”.

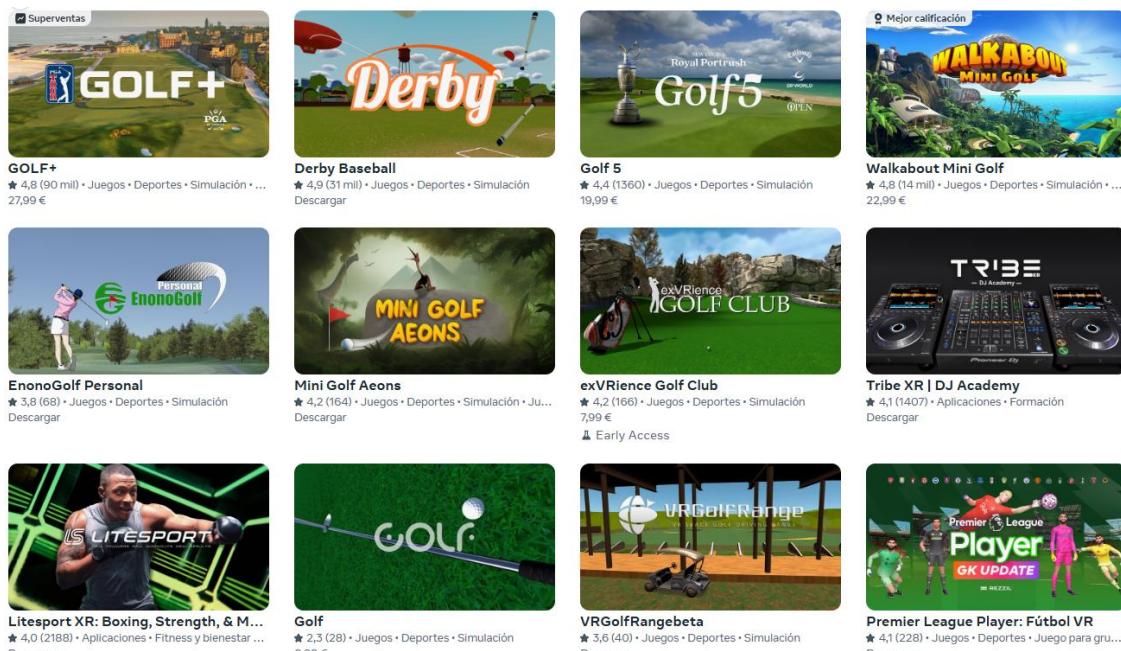


Figura 17: Listado de resultados del catálogo de juegos de Meta Quest al buscar la palabra “golf” (Meta, 2025).

Lo primero que llama la atención es que hay varios juegos que no parecen estar relacionados con el golf. Se debe, probablemente, a que están clasificados como deportes y, ante la falta de más resultados, el buscador los sugiere como juegos relacionados. En segundo lugar, en términos de popularidad, vemos que *GOLF+* tiene más de 90 mil reseñas, seguido de *Walkabout Mini Golf* con 14 mil, mientras que el resto de juegos están uno o dos órdenes de magnitud por debajo. Por tanto, y dado que ninguno de estos últimos parece tener mecánicas relacionadas con la gravedad, se centrará el análisis en los dos videojuegos más populares.

El primero de ellos es *GOLF+* (Golf Scope Inc., 2025). Se trata de un simulador de golf en RV tanto para un jugador como multijugador que pretende ser altamente realista. De hecho, existen accesorios que se pueden comprar para jugar con él, como el Yezro 28, que imitan un palo de golf, haciendo que sean más realistas los movimientos. Incluye desafíos periódicos, logros, más de 30 campos de juego y muchas opciones multijugador. En la Figura 18 se muestra una imagen de una partida normal. Como se

puede observar, usa un punto de vista egocéntrico, lo que ciertamente encaja con lo que se espera del golf, pero incluye una serie de ayudas visuales. En particular, muestra una señal indicando el objetivo. Además, nos proporciona un mapa con una vista cenital de todo el campo, lo que nos puede permitir hacernos una idea del escenario completo y calcular mejor nuestro golpe.



Figura 18: Ejemplo de campo en *GOLF+*. En la imagen de la izquierda se observa en primera persona el objetivo. En la imagen de la derecha, un mapa con una vista cenital del campo. Imagen extraída de (NEXT Manu, 2024).

En cambio, *Walkabout Mini Golf* (Mighty Coconut, 2025) sigue un enfoque mucho más desenfadado. Los campos están situados en mundos temáticos con una estética *cartoon* y no es necesario un control del golpe tan preciso como en *GOLF+* al tratarse de mini-golf. En su lugar, se enfoca en el aspecto social, retando a que los jugadores consigan hacer todo el recorrido en menos golpes que sus compañeros. En la Figura 19 se puede ver un ejemplo de una partida ambientada en una playa. Como se puede observar, el camino por el que tiene que discurrir la bola se divide en 4 carriles que descenden a una playa donde un banderín amarillo marca el hoyo. No existen elementos gráficos que ayuden a determinar el recorrido a seguir, pero es posible observar todo el mapa desde un plano cenital como si se estuviese sobrevolando por él.



Figura 19: Ejemplo de campo en *Walkabout Mini Golf*. Imagen extraída de (Fudgy Games, 2024).

Al disponer de múltiples mapas y admitir una gran variedad de temáticas, se podría esperar que el videojuego contase con un editor de mapas. Esto hubiese facilitado

enormemente la tarea propuesta en este TF ya que, si hubiese sido posible crear mapas en el juego y agregar los efectos gravitatorios, no hubiera sido necesario tener que recrear toda la física de los golpes, interacciones con los palos, etc. Sin embargo, no dispone de dicho editor y, de acuerdo con algunas fuentes, los desarrolladores han transmitido que no planean ofrecer esta posibilidad (RwerdnA, 2020).

Antes de concluir esta sección, resulta interesante mencionar el juego *House of Golf VR* (Starlight Games, 2025) que fue lanzado el 30 de octubre del 2025. A diferencia de los dos últimos juegos, se trata de un videojuego de RA que aprovecha las nuevas posibilidades que brinda el Meta Quest 3 con el modo *passthrough*. Así, la idea es construir el campo sobre los elementos de tu propio hogar. Todavía no existen muchas reseñas y las pocas que hay apuntan a que existen problemas con las físicas del videojuego y la detección de los elementos del hogar. Esto indica que todavía existen retos importantes en la RA que, aunque son muy interesantes, van más allá del alcance de este trabajo y no se explorarán.

3. Propuesta

3.1. Especificaciones del producto

La propuesta para este TF es el diseño e implementación de una demo jugable de *Astro Putt*, un videojuego educativo desarrollado en Unity y pensado principalmente para funcionar en dispositivos de RV. Aunque el desarrollo se centrará en la familia de dispositivos Meta Quest (dado que es el hardware disponible para la realización del TF), el diseño general permitirá en el futuro la extensión a otros visores, e incluso una posible extensión a una versión de Windows sin necesidad de RV. Si bien esta última tendría un interés menor, ya que gran parte de la experiencia se fundamenta en la interacción inmersiva propia de la RV y, además, requeriría una adaptación sustancial de algunas de las mecánicas.

El juego sitúa al jugador en un futuro en el que los campos de golf se construyen en el espacio, orbitando planetas, lunas, asteroides o cometas. La falta de aire y la composición de los distintos elementos que forman el escenario hacen que el movimiento de la bola no siga las leyes del movimiento a las que estamos acostumbrados en la Tierra. La narrativa girará en torno a un joven que sueña con convertirse en el mejor golfista del Sistema Solar. Para lograrlo, deberá entrenar desde cero, superar retos progresivamente más difíciles y aprender a dominar trayectorias cada vez más complejas.

A lo largo de los distintos niveles, tanto el protagonista como el jugador aprenderán de forma intuitiva conceptos clave de la física espacial, como la mecánica orbital, la asistencia gravitatoria, la influencia de la masa en las trayectorias o el comportamiento de objetos en microgravedad. Los niveles estarán diseñados con dificultad creciente, no solo por la complejidad física de cada entorno, sino también por la introducción progresiva de nuevos elementos, desde asteroides en movimiento a pozos gravitatorios.

En lo que respecta a la comercialización del producto, se propone que los primeros niveles sean completamente accesibles de forma gratuita. La RV todavía se encuentra en un estado relativamente incipiente y es importante mostrar a los jugadores lo que pueden experimentar antes de obligarlos a comprar el videojuego. El resto de niveles estaría bloqueado mediante un único pago, aunque futuras expansiones del videojuego podrían incluir nuevos niveles que podrían comprarse individualmente o en conjunto.

Por último, destacar que este TF se centrará en el desarrollo de un prototipo funcional que actúe como prueba de concepto. Esta demo incluirá los elementos esenciales de la experiencia, como son la interacción en RV, la simulación gravitatoria, un campo de golf y una interfaz básica. El objetivo no es, por tanto, el producir un juego completo, sino evaluar su viabilidad técnica, su disfrute potencial y su posible valor educativo. Además, la versión completa incluiría una serie de mecánicas que no se implementarán en esta demo, algunas de las cuales se describirán en la Sección 6.3, además de incluir más niveles y progresión narrativa.

3.2. Características principales del prototipo

El prototipo propuesto para este TF tiene como objetivo ofrecer una versión simplificada pero plenamente funcional de la experiencia final prevista para *Astro Putt*. Así, se centra en implementar los elementos básicos para evaluar la jugabilidad y potencial educativo en un entorno de RV. A continuación, se detallan las características principales que formarán parte del prototipo:

- **Compatibilidad con Meta Quest 2:** debido a la disponibilidad de este hardware, el desarrollo se realizará específicamente para este dispositivo. No obstante, el diseño permitirá en un futuro su extensión a otros visores.
- **Simulación gravitatoria en tiempo real:** la física de la bola estará basada en las leyes de gravedad universal de Newton, por lo que las trayectorias se pueden ver alteradas por la presencia de cuerpos masivos.
- **La interacción principal será un lanzamiento con un palo virtual:** el jugador dispondrá de un palo de golf virtual cuyos movimientos se sincronizarán con los controladores de RV, lo que permitirá realizar golpes con precisión.
- **Holograma de visión global:** antes de cada lanzamiento, el jugador podrá consultar un sistema holográfico para estudiar la trayectoria que debería realizar la bola para llegar a su destino.
- **Un escenario jugable:** el prototipo incluirá al menos un escenario diseñado para introducir al jugador en la mecánica del juego.
- **Interfaz mínima para RV:** se implementará un menú flotante accesible dentro del entorno de RV, desde el cual será posible reiniciar la partida y consultar instrucciones básicas.

4. Diseño

4.1. Arquitectura del sistema y entorno de desarrollo

4.1.1. Entorno de desarrollo

La selección del entorno de desarrollo ha estado condicionada por la constante evolución en la que se encuentra actualmente la RV. Por ello, una de las decisiones estratégicas del proyecto ha sido priorizar el uso de las versiones más actualizadas de las herramientas disponibles, asumiendo el coste que esto conlleva. En particular, una documentación oficial más limitada y una menor cantidad de recursos comunitarios de soporte (como tutoriales o vídeos) en comparación con versiones más antiguas y asentadas.

El motor principal seleccionado ha sido Unity versión 6.2, operando en un entorno Windows. La gestión de las interacciones en RV se ha vertebrado a través del paquete XR Interaction Toolkit (Unity Docs, 2025). En este punto es donde se hizo más patente la disyuntiva entre estabilidad e innovación tecnológica. Los recursos formativos oficiales actuales disponibles en Unity Learn se basan en la versión 3.0.8 de este toolkit, lanzada a finales de 2024 (Unity Learn, 2025). No obstante, durante las fases iniciales del desarrollo se identificaron fricciones técnicas, tal vez motivadas por ser una versión de transición entre la 2, que estuvo vigente desde el 2021 hasta finales del 2024. De hecho, en apenas un año desde el lanzamiento de la versión 3, se han lanzado hasta tres versiones más (3.1.0, 3.2.0 y 3.3.0) y ya está disponible una versión previa de la cuarta (3.4.0).

Para solventar estas dificultades, en las primeras etapas del desarrollo se optó por migrar el proyecto a la versión 3.3.0, lanzada el 15 de octubre de 2025. Esta decisión permitió acceder a una tecnología más robusta y libre de ciertos defectos anteriores, compensando la falta de documentación específica con una tecnología superior. A modo de ejemplo, en la Figura 20 se muestra una comparativa entre el simulador (cuyo uso se discutirá a continuación) que se proporciona en la versión 3.0.8 y el de la versión 3.3.0.

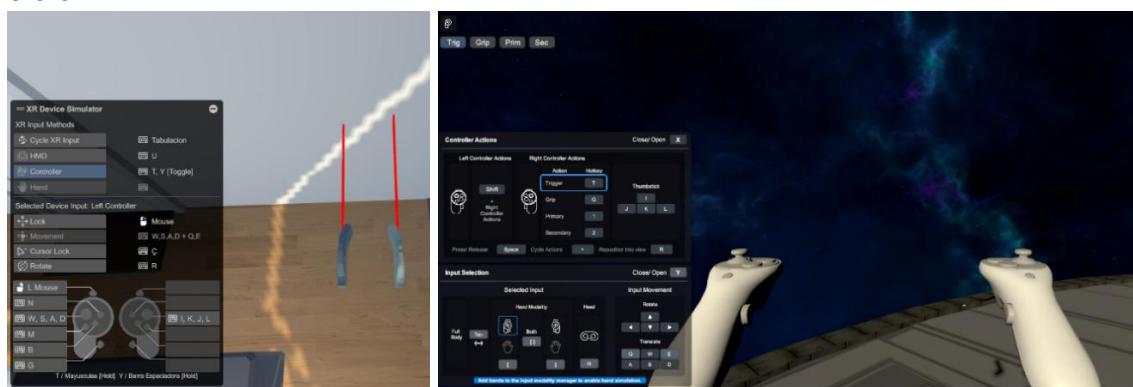


Figura 20: Comparación entre el XR Device Simulator de la versión 3.1.1 del paquete XR Interaction Toolkit (la cual viene junto con la 3.0.8 en el paquete de recursos del tutorial de Unity Learn) y el de la versión 3.3.0. A simple vista se observa una evolución importante de la IU.

En cuanto al flujo de trabajo y pruebas, se ha seguido una metodología híbrida:

- **Simulación en entorno de escritorio:** para las pruebas funcionales rápidas y la validación de la lógica de juego, se ha utilizado el XR Device Simulator. Esta herramienta del propio paquete XR Interaction Toolkit permite emular el comportamiento del visor y los controladores utilizando periféricos de ordenador estándar (teclado y ratón), agilizando la iteración sin necesidad de utilizar el hardware de RV constantemente.
- **Despliegue en dispositivo físico:** para las pruebas de experiencia de usuario y validación final, se realiza la compilación del proyecto en paquetes de aplicación Android (.apk) y se instalan en el dispositivo Meta Quest 2 configurado en modo *developer*. Todo este proceso se realiza de forma automática al hacer un “Build & Run” en Unity siempre que el dispositivo esté conectado por cable al ordenador. Cabe mencionar que el dispositivo se ha mantenido actualizado a la última versión de su sistema operativo disponible, Meta Horizon OS v81 (lanzada el 6 de octubre de 2025).

Es importante señalar que, debido a las limitaciones del equipo de desarrollo (un ordenador portátil con tarjeta gráfica integrada), no es posible utilizar la funcionalidad Meta Horizon Link (Meta Horizon, 2024), que permite ejecutar el juego en el PC y visualizarlo en las gafas en tiempo real sin necesidad de compilación. No obstante, dado que el alcance del proyecto es un prototipo con una carga gráfica modesta, los tiempos de compilación son muy razonables, por lo que esta limitación de hardware no supone un obstáculo significativo para el avance del proyecto.

Finalmente, la escritura de código (C#) se ha realizado utilizando el IDE Visual Studio (Microsoft, 2025). Así mismo, la gestión del código fuente se ha llevado a cabo mediante Git, con el repositorio alojado en GitHub. Para el control de las entregas, se ha adoptado la nomenclatura clásica de ciclo de vida del software (*Alpha*, *Beta*, *Stable*), generando una nueva *release* antes de cada iteración de pruebas con usuarios para garantizar la trazabilidad de los cambios. En la fase actual, el desarrollo se encuentra en estado *Alpha*, siendo el objetivo final de este prototipo alcanzar la versión Beta 0.1.0 al término del proyecto.

En el IDE se ha integrado el uso del asistente de inteligencia artificial GitHub Copilot como herramienta de apoyo al desarrollo (GitHub, 2025). Este asistente de programación ha resultado una herramienta muy útil, sirviendo no solo para la resolución de bugs y la comparación de alternativas de implementación, sino también como un apoyo vital para interpretar y desgranar una documentación técnica que, en ocasiones, resultaba críptica o insuficiente.

4.1.2. Arquitectura del software

En lo referente al apartado de software, se ha seguido la arquitectura basada en componentes propia de Unity. Este paradigma permite un alto grado de

desacoplamiento, donde cada comportamiento específico se encapsula en un script independiente y, posteriormente, se añade a los objetos de la escena. Esta estructura modular facilita el desarrollo y mantenimiento del juego, ya que se pueden añadir o modificar funcionalidades sin afectar a la lógica central. De forma similar, si hay algún error en un script, normalmente los problemas se restringen al componente que lo emplea sin causar un fallo de todo el sistema.

No obstante, es posible dividir la arquitectura en cuatro subsistemas principales tal y como se muestra en la Figura 21.

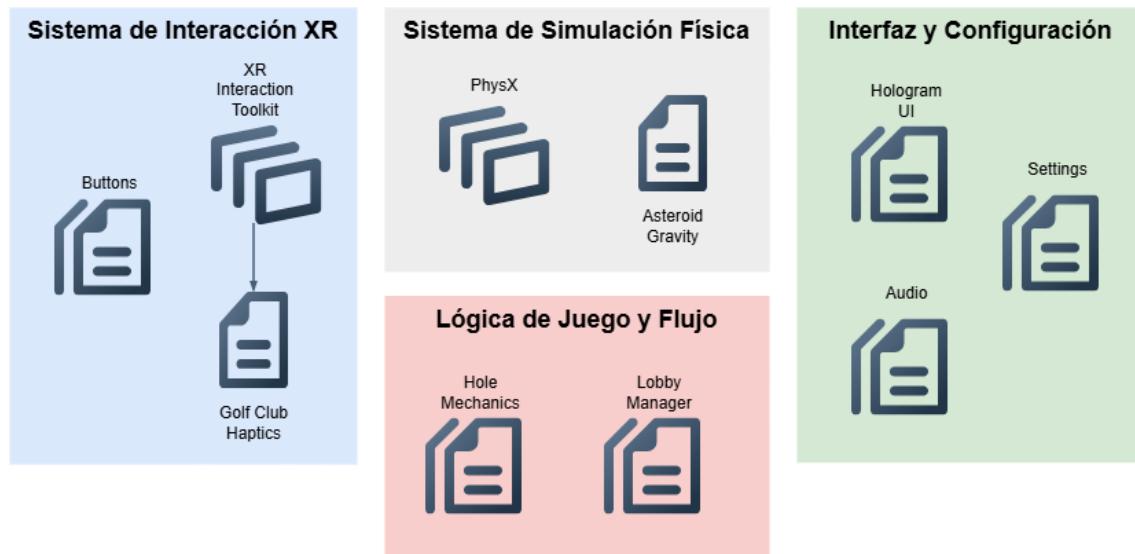


Figura 21: Principales subsistemas en los que se pueden categorizar los scripts que desarrollan los comportamientos e interacciones de los elementos del videojuego.

- A. Sistema de Interacción XR:** este subsistema se encarga de crear la conexión entre el mundo físico del usuario y el virtual mediante el dispositivo de RV. Para ello se ha utilizado principalmente el paquete XR Interaction Toolkit 3.3.0, al que se le han añadido algunos scripts para implementar pequeñas funcionalidades.
- B. Sistema de Simulación Física:** no ha sido necesario modificar el motor de físicas nativo de Unity (PhysX) para la gestión de la mayoría de las interacciones. Por ello, el único elemento realmente destacable de este subsistema es el sistema de interacción gravitatoria que permite que los asteroides generen un campo gravitacional, el cual se explicará con detalle más adelante.
- C. Lógica de Juego y Flujo:** este bloque contiene los scripts que permiten la progresión de la partida y los niveles. Se pueden distinguir dos grupos de scripts. El primero de ellos es el Lobby Manager, el cual gestiona la carga de los distintos niveles y el progreso del jugador. El segundo es un conjunto de pequeños scripts que configuran los componentes relacionados con la progresión de la partida, como la llegada de la bola a la meta.

D. Interfaz y Configuración: se trata de un conjunto de scripts que permite al usuario interactuar con el sistema, y al juego mostrar información de forma dinámica en función de las acciones del jugador. Así, existen una serie de scripts que muestran ayudas visuales sobre qué botones se deben pulsar en momentos clave de la partida, otros que van monitorizando el progreso del jugador y lo muestran dentro del propio juego, así como pequeños menús que permiten cargar los distintos escenarios.

4.2. Diseño de mecánicas e interacción en RV

En esta sección se ofrece una visión general de las mecánicas implementadas en el videojuego. El diseño de estas interacciones ha seguido un proceso iterativo, ajustándose en función de las limitaciones del hardware y, sobre todo, de la experiencia de usuario. Las iteraciones y la validación de las decisiones tomadas se realizaron mediante una serie de pruebas de usuario, las cuales se discutirán con detalle en la Sección 4.5.

4.2.1. Sistema de locomoción

El desplazamiento en entornos de RV es uno de los aspectos más críticos del diseño dado su impacto directo en el confort del usuario. La desconexión entre lo que nuestros sentidos detectan en el mundo real y las señales del dispositivo que nos llegan a través de la vista, el sonido o el tacto son la principal causa detrás de la *motion sickness* o cinetosis (mareo) (Caserman, García-Agundez, Gámez Zerban, & Göbel, 2021). Para mitigar estos problemas, se han seguido las buenas prácticas establecidas en la industria (Meta Developers, 2024) y se ha optado por adelantar parte de las pruebas de usuario para asegurarse de que las mecánicas básicas eran adecuadas, tal y como se detallará en la Sección 4.5.

En primer lugar, se ha descartado el giro continuo del punto de vista (conocido en inglés como *smooth turn*) ya que causa una gran disonancia entre el sistema visual y el sistema vestibular (encargado del equilibrio), lo que lleva a mareos y malestar general. En su lugar, se ha implementado la mecánica de giro por tramos o *snap turn*, controlada mediante el joystick derecho, que rota la cámara en ángulos de 45° de forma instantánea. Destacar que el valor concreto del giro se puede modificar, lo importante es que sea lo suficientemente grande como para que el cerebro no lo asocie a un movimiento continuo. Naturalmente, el jugador conserva la libertad de girar su cuerpo físicamente en el mundo real. De hecho, en las pruebas con usuario se observó un uso muy reducido del *snap turn*, prefiriendo los movimientos físicos (ver Sección 4.5).

Para el desplazamiento por el escenario, se ha optado por un sistema híbrido que ofrece versatilidad según las preferencias del jugador y el espacio físico disponible:

- **Teletransporte:** moviendo hacia adelante el joystick del mando derecho, el jugador proyecta un arco parabólico. Si el punto de destino es una superficie válida, al soltar la palanca el personaje se traslada instantáneamente a dicha

ubicación. Este método, aunque rompe un poco la sensación de inmersividad al introducir un movimiento que no es replicable en el mundo real, es el que menos mareo produce en entornos de RV. Por ello, es muy utilizado en videojuegos en los que es necesario moverse grandes distancias. Tal y como se detallará más adelante la propia lógica de diseño de este videojuego hace que esta técnica no sea realmente necesaria para una partida normal, pero al ser la más segura se ha optado por incluirla.

- **Movimiento continuo:** se permite el desplazamiento lineal (delante, atrás, derecha e izquierda) mediante el joystick izquierdo. Se puede combinar con el *snap turn* o con movimientos reales del cuerpo para poder moverse por todo el escenario. Aunque, como se ha comentado anteriormente, los movimientos continuos pueden ser fuente de malestar, en este videojuego es importante tener una mecánica de este tipo ya que debemos poder situarnos junto a la bola con precisión. Una alternativa muy usada en la industria es el colocar zonas específicas de teletransporte que sitúan al jugador en un punto y orientación exactos. Sin embargo, como uno de los principales objetivos del videojuego es aumentar la inmersividad para facilitar el aprendizaje tácito, se ha descartado incorporar esta mecánica de forma general.

Así mismo, se ha implementado la mecánica de escalada (*climb*) para permitir la superación de obstáculos verticales. Durante las fases iniciales de desarrollo (bajo la versión 3.0.8 del XR Interaction Toolkit) la interacción física con pequeños desniveles presentaba inconsistencias con esta técnica, dificultando que el personaje virtual subiese escalones de baja altura de forma fluida. Para mitigar este problema, se integraron rampas invisibles sobre la geometría visual de los escalones, tal y como se muestra en la Figura 22.

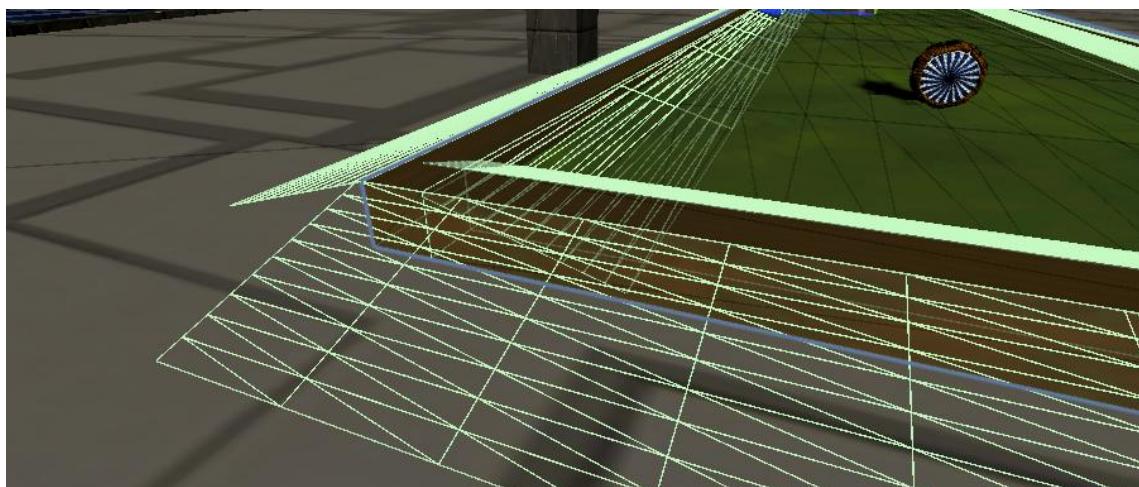


Figura 22: Para salvar los pequeños escalones de forma natural, se incorporan rampas que son invisibles para el usuario.

Aunque la migración a la versión 3.3.0 solucionó los problemas de implementación de la escalada, se tomó la decisión de conservar estas rampas invisibles. Estas construcciones aumentan la fluidez de la experiencia de usuario, permitiendo que el

jugador transite suavemente por pequeños desniveles mediante el movimiento continuo, sin percatarse en ningún momento de que está atravesando un pequeño escalón.

Finalmente, se valoró la inclusión de una mochila propulsada o *jetpack* para poder controlar el movimiento en ingravidez. Aunque se trata de una mecánica muy interesante a nivel formativo, ya que permite experimentar en primera persona lo delicado del movimiento en el espacio, se trata de una mecánica secundaria en lo que respecta al golf. Además, requiere de una cierta complejidad de implementación, tanto a nivel mecánico como de indicadores e IU, por lo que se descartó del alcance de este prototipo. Para gestionar los límites del escenario sin esta capacidad de vuelo, se han implementado barreras invisibles (detalladas en la Sección 4.2.4) que mantienen al jugador dentro de las áreas jugables.

4.2.2. Mecánica de golpeo

La interacción principal del juego reside en el manejo del palo de golf y su impacto con la bola. Para ello, se ha configurado el componente *XR Grab Interactable* en el modelo del palo, permitiendo su agarre. En lo que respecta a la interacción con objetos, el *XR Interaction Toolkit* ofrece la modalidad de interacción directa (*near*) e interacción a distancia mediante rayos (*far*), normalmente combinadas en la interacción llamada *near-far*. Dado que la única interacción crítica del juego es la manipulación del palo de golf (con la excepción de la interacción con la IU, que se desarrollará más adelante), se ha optado exclusivamente por la interacción *near* para maximizar la inmersión y el realismo, obligando al jugador a acercar su mano virtual al objeto para agarrarlo.

Un aspecto clave de la implementación es la sujeción a dos manos. El sistema detecta cuando el jugador agarra el palo con la segunda mano, modificando el cálculo de la rotación y posición del objeto para promediar la entrada de ambos controladores. Esto proporciona una estabilidad significativamente mayor y permite un mejor control del ángulo de la cara del palo, algo esencial para un golpe preciso. Además, para mejorar la propriocepción, es decir, el sentido de la posición de nuestro cuerpo y, por extensión, del palo de golf, se ha extendido la clase base para enviar una respuesta háptica (vibración) a los controladores en el momento exacto de la colisión con la bola (Lavoie, Hebert, & Chapman, 2025).

La física del golpeo se basa en el motor de colisiones de cuerpos rígidos de Unity, que gestiona la transferencia de momento entre ellos. Aunque en el golf es muy importante tener en cuenta tanto la conservación del momento lineal como la del momento angular, para el propósito de esta discusión es posible centrarse únicamente en el momento lineal. Recordemos que el momento lineal en una colisión se tiene que conservar (Tipler & Mosca, 2010), es decir:

$$\begin{aligned}\vec{p}_{0bola} + \vec{p}_{0palo} &= \vec{p}_{fbola} + \vec{p}_{fpalo} \\ m_{bola} \vec{v}_{0bola} + m_{palo} \vec{v}_{0palo} &= m_{bola} \vec{v}_{fbola} + m_{palo} \vec{v}_{fpalo}\end{aligned}$$

Pero como la bola se encuentra inicialmente en reposo ($\vec{v}_{0bola} = 0$), tenemos que la velocidad final de la bola vendrá dada por:

$$\vec{v}_{fbola} = \frac{m_{palo}}{m_{bola}} (\vec{v}_{0palo} - \vec{v}_{fpalo})$$

Por lo que la velocidad de la bola tras el golpe es directamente proporcional al cociente de la masa del palo y de la propia bola. En otras palabras, si la masa de la bola es mucho más pequeña que la del palo, saldrá disparada a una velocidad muy elevada. En el golf real la masa de la bola es del orden de 40 gramos, mientras que los palos pueden ir de 300 a 500 gramos (Wikipedia, 2025), por lo que un pequeño golpe puede lanzar la bola muy lejos, tal y como se pudo comprobar durante el desarrollo. Dado que en el contexto de este videojuego es más importante la precisión que la velocidad, ya que al no haber interacción gravitatoria ni rozamiento la bola no se frenará durante el recorrido, se ha optado por usar bolas de una masa comparable con la del palo para equilibrar el realismo con la jugabilidad (ver también la Sección 4.5).

4.2.3. Gestión de la gravedad

La implementación del sistema de interacción gravitatoria consta de dos elementos. Por un lado, un *collider* esférico permite determinar el rango en el que se aplicará la interacción gravitatoria. Aunque técnicamente es una interacción que debería cubrir todo el espacio, su intensidad decrece con el cuadrado de la distancia, por lo que a partir de un cierto punto se puede considerar que es despreciable. El *collider* permite aplicar la fuerza sobre la bola solo cuando entra dentro de una zona donde la fuerza es relevante, lo que simula correctamente el comportamiento a la vez que ahorra numerosos cálculos, Figura 23.

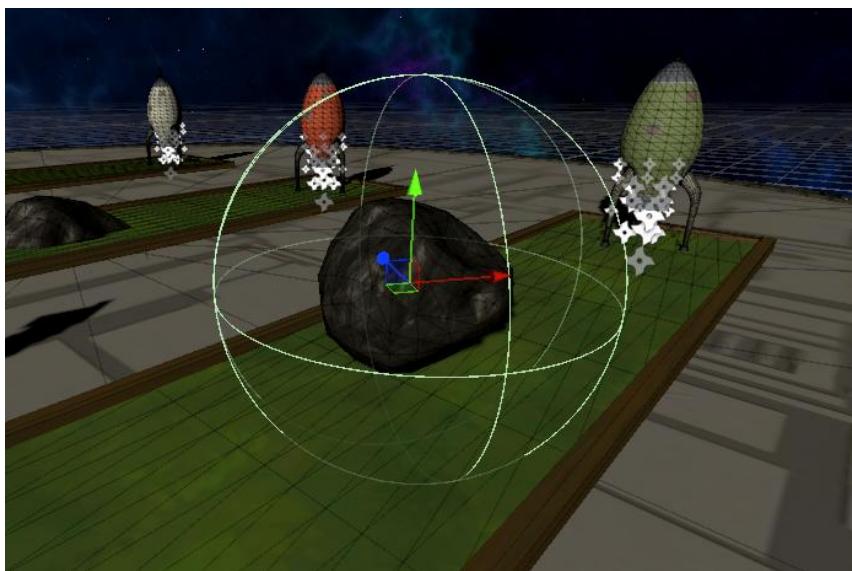


Figura 23: La gravedad artificial de los asteroides solo actúa en una región limitada a su alrededor determinada por un *collider* esférico.

El segundo elemento es el script que implementa la interacción en sí. En él, si la bola está dentro del rango de interacción (dentro del *collider*), en cada *update* se le aplica al

cuerpo rígido de la bola una fuerza ligeramente adaptada de la gravedad. En particular, la ley de Gravitación Universal de Newton nos dice que la fuerza que el asteroide ejercerá sobre la bola es (Tipler & Mosca, 2010):

$$\vec{F}_{ba} = -G \frac{m_b m_a}{|r_{ba}|^2} \hat{r}_{ba}$$

Para facilitar el diseño de niveles desde el editor, se ha unificado la Constante de Gravitación Universal (G) y la masa del asteroide (m_a) en un único parámetro ajustable. Esto permite iterar más rápidamente durante el diseño al no tener que manejar magnitudes astronómicas reales.

4.2.4. Otras mecánicas e interacciones

Las mecánicas descritas anteriormente componen el cuerpo principal de la jugabilidad básica: moverse, coger un palo, golpear una bola y la modificación de su trayectoria por efectos gravitatorios. Ahora bien, para dar soporte a la experiencia también se han desarrollado otra serie de mecánicas e interacciones auxiliares.

El “Hoyo”

Al estar en el espacio, no es posible hacer que la meta sea un hoyo tradicional ya que la bola no describirá trayectorias parabólicas.

Algunos de los juegos de temática similar que se han explorado solucionan esto poniendo como objetivo un agujero negro, pero como se pretende que el juego sea lo más realista posible, se ha descartado esta opción². En su lugar, se ha situado un pequeño cohete en la meta, el cual proyecta un rayo tractor hacia abajo. Cuando una bola llega al radio de acción del rayo (determinado por un *collider* cilíndrico, Figura 24) la velocidad que llevase la bola se resetea y pasa a ser impulsada horizontalmente hacia el centro del rayo y verticalmente hacia el cohete. Cuando llega a un cierto punto, el cohete despega, marcando que se ha completado el hoyo.

Para facilitar el juego, la bola no colisiona con el cohete, de forma que es posible llegar a la meta entrando por alguna de las paredes inferiores del cohete. En un futuro se podría incluir un parámetro de configuración que permitiese al jugador enfrentarse a un reto mayor haciendo que la bola colisione con el cohete, lo que obligaría a acertar con precisión en el rayo tractor.



Figura 24: Rayo tractor de la meta. Cuando la bola entra en el *collider* cilíndrico, se modifica su trayectoria para ser absorbida por el cohete.

² Sin duda sería una crítica válida el que asteroides tan pequeños como los que se ven en el Tutorial sean capaces de generar un campo gravitatorio tan fuerte como para alterar la trayectoria de la bola. Sin embargo, es mucho más cercano a la realidad el suponer que están compuestos de algún tipo de material extremadamente denso, que tratar de dar realismo a la presencia de agujeros negros.

Paredes invisibles

La falta de gravedad en el espacio hace que los jugadores no puedan moverse fácilmente. Como esto dificultaría en exceso la jugabilidad, la gravedad de los jugadores se deja activada cuando están sobre una plataforma (narrativamente se puede justificar con el uso de unas botas magnéticas que les mantengan pegados a la superficie). Sin embargo, al salirse de ella, o bien caerían al vacío si no se desactiva la gravedad o, si se desactiva, flotarían sin rumbo al no tener ningún sistema de propulsión que les permita controlar su movimiento. Por tanto, resulta necesario incorporar límites que permitan confinar al jugador en una zona segura de alguna forma.

Para ello se ha adaptado la técnica de las paredes invisibles. Mediante el uso de capas de colisión se activan campos de fuerza o barreras físicas que evitan las caídas, pero que son invisibles cuando el jugador está lejos de ellas, de forma que no se vea afectada la sensación de espacio abierto. Además, son permeables a la bola, de forma que un disparo muy palo puede mandar la bola más allá de la plataforma sin problemas. En la Figura 25, se muestra un ejemplo de estos campos de fuerza.

Botones

Al tratarse de un ambiente diferente al que el jugador está acostumbrado, es de esperar que en las primeras partidas la mayoría de los disparos no sigan la trayectoria correcta. Para reducir la frustración del jugador, resulta importante reducir al mínimo el tiempo necesario para poder repetir el golpe. Por ello, se han implementado botones físicos que son activados mediante la propia física del juego. Así, a diferencia de una interfaz flotante, que requeriría de varias interacciones, basta con realizar la interacción natural de la mano sobre un botón (lo que produce una colisión) para que la bola se teletransporte instantáneamente al punto de inicio para un nuevo intento, Figura 26.

Dispensador de palos

Como se describirá en más detalle en la Sección 4.5, las pruebas iniciales revelaron que los usuarios tienden a soltar accidentalmente el palo. Además, al no haber gravedad, dependiendo del movimiento realizado es posible que reciba un impulso que haga que quede fuera de su alcance para recuperarlo. Dado que es imprescindible disponer de un palo para poder continuar la partida, se implementó un contenedor capaz de instanciar copias ilimitadas del palo de golf, asegurando que el jugador siempre disponga del equipo necesario. Tal y como se puede ver en la Figura 27, el contenedor tiene un *collider* que incluye unos palos en su interior. Desde el punto de vista de la interacción, al introducir cualquiera de los mandos en el *collider* y pulsar el botón de agarrar se instancia un nuevo palo en la mano del jugador. Ahora bien, desde el punto de vista del jugador, no es necesario que conozca la mecánica exacta ya que la interacción natural, es decir, llevar la mano hasta uno de los palos y pulsar el botón de agarrar, le colocará un palo en la mano.

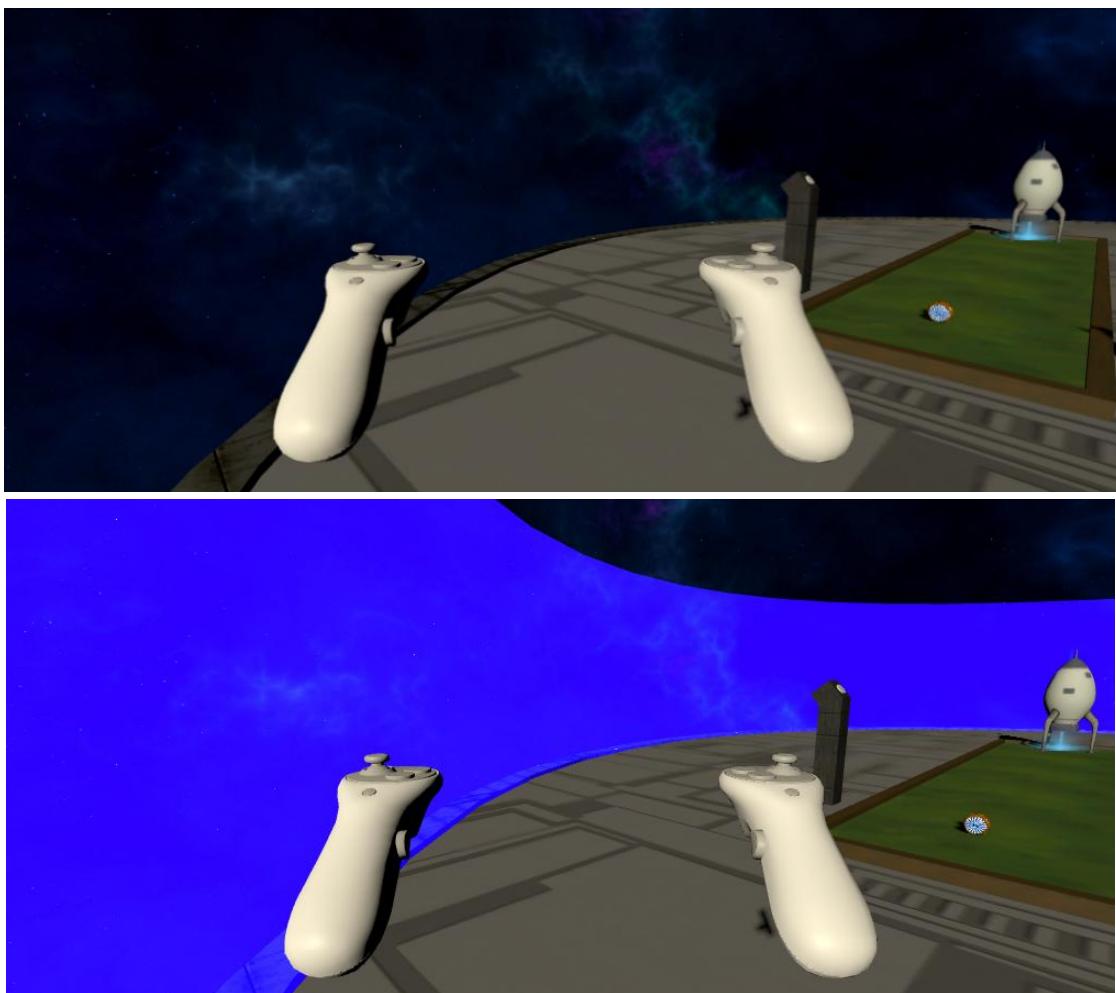


Figura 25: Cuando el jugador está lejos del límite de la plataforma, no se ve ninguna barrera física que limite el movimiento, lo que ayuda a transmitir la sensación de que se está en el espacio. Sin embargo, cuando se sobrepasa un cierto límite, se activa una barrera de energía que genera un pequeño sonido eléctrico e impide que el jugador se salga de la plataforma.

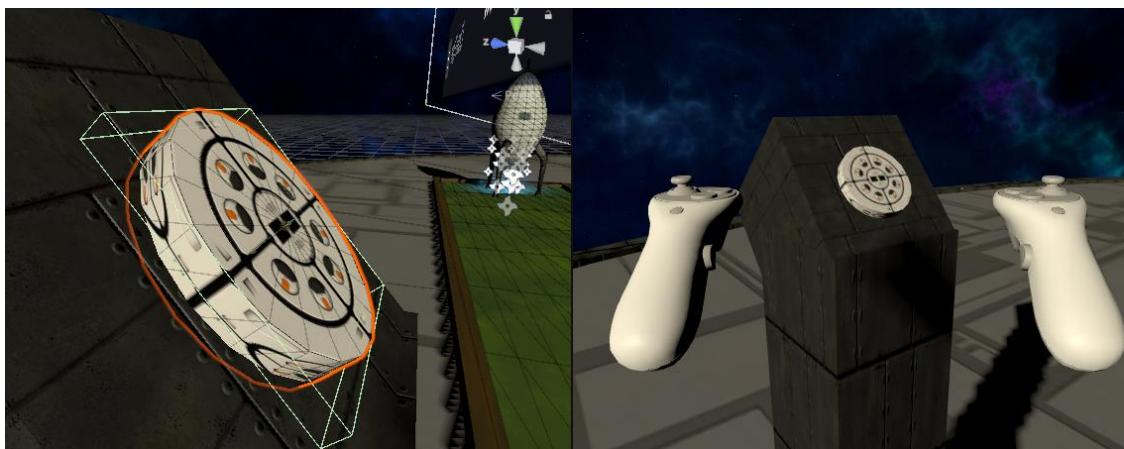


Figura 26: Botón con presencia física que permite resetear la posición de la bola. A la izquierda, se observa el *collider* cúbico que da entidad física al botón. A la derecha, la imagen que el jugador ve.

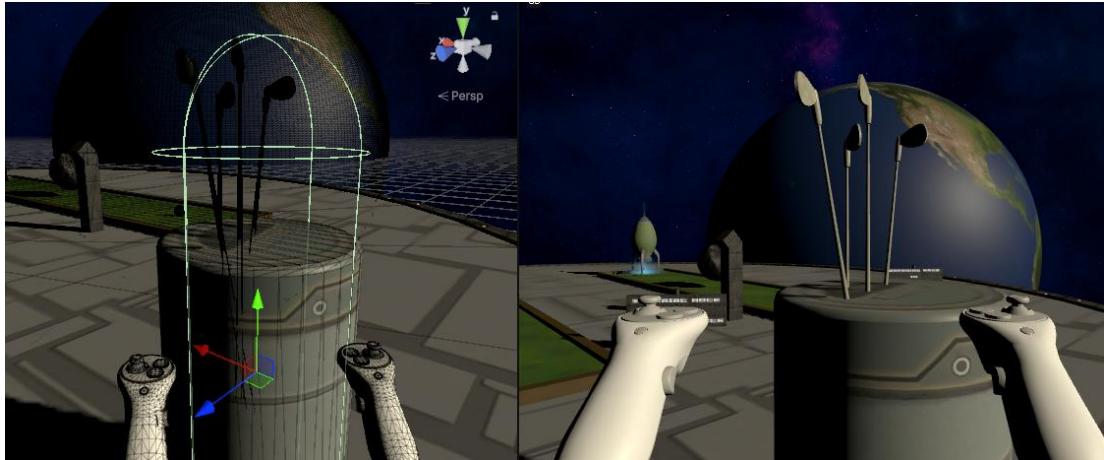


Figura 27: Dispensador de palos de golf. Al introducir uno de los controladores en el *collider* y realizar el gesto de agarrar, aparecerá un nuevo palo en la mano del jugador.

Teletransporte automático

El mapa del Nivel 1 del videojuego es de una escala bastante grande en comparación con el tamaño del jugador, lo que implica que hay que recorrer grandes distancias. Como se ha descrito anteriormente, hay que evitar en la medida de lo posible que los jugadores hagan un uso excesivo del movimiento continuo ya que puede inducir cetosis. Si bien tienen la posibilidad de usar el teletransporte, este tiene un alcance limitado, lo que obliga a su uso repetido en un intervalo reducido de tiempo si se quiere recorrer una gran distancia. Este uso repetido puede llevar también a producir mareos en los jugadores.

Para evitar esta situación, se ha optado por introducir una nueva mecánica de teletransporte. Cuando el jugador consigue introducir la bola en el objetivo, automáticamente surge a su alrededor un aura dinámica (Figura 28 izquierda). Mientras esto sucede, la imagen pierde transparencia poco a poco hasta que la pantalla se vuelve negra completamente. Mientras está negra, el jugador es trasladado a la posición de inicio del siguiente golpe (Figura 28 derecha) y la imagen vuelve a ganar opacidad. Cabe destacar la necesidad de incluir algún tipo de desvanecimiento paulatino como el descrito anteriormente ya que un movimiento brusco de forma instantánea podría producir los mismos efectos que se intentan evitar con esta mecánica.

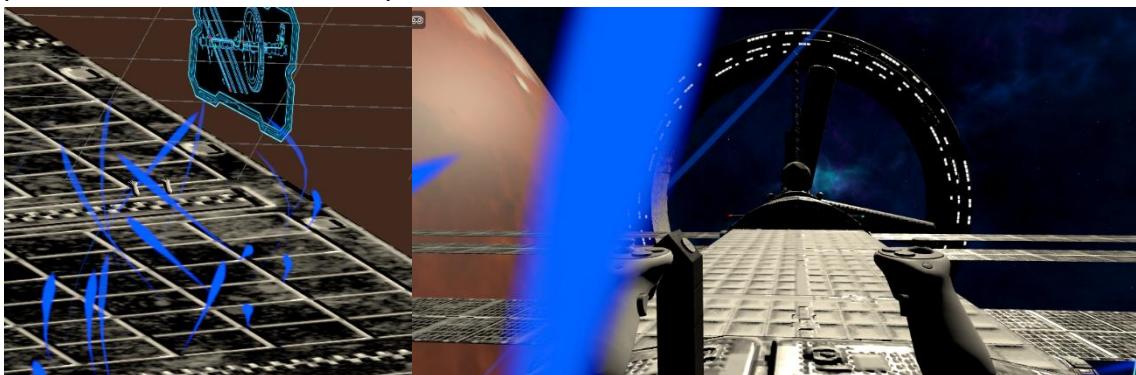


Figura 28: Mecanismo de teletransporte automático entre hoyos. Cuando la bola llega a su destino, el jugador se ve rodeado por un aura (imagen izquierda) y la pantalla se desvanece a

negro lentamente. Un instante después, aparece automáticamente en la posición del siguiente hoyo (imagen derecha).

4.3. Inventario de recursos

El núcleo del desarrollo se sustenta en una serie de paquetes y herramientas integradas en Unity que han facilitado tanto la implementación de diversas mecánicas como la gestión del proyecto. En la Tabla 3 se detalla el conjunto de plugins de Unity junto con la versión de cada uno de ellos que se han utilizado en el proyecto.

Tabla 3: Versiones de los principales plugins de Unity utilizados.

Plugins de Unity		
Nombre	Versión	Descripción
Git for Unity	1.0.62	Permite integrar el control de versiones dentro del editor.
Android Logcat	1.4.6	Herramienta de depuración para las pruebas en el dispositivo Meta Quest 2
ProBuilder	6.0.7	Herramienta de modelado 3D que permite crear desde dentro de Unity modelos más complejos que las formas primitivas de Unity.
Universal Render Pipeline	17.2.0	Sistema de renderizado adaptado a los assets utilizados.
XR Interaction Toolkit	3.3.0	Framework base para la gestión de inputs y mecánicas de RV.

En cuanto al uso de otros recursos, dado el bagaje del autor de este TF, se priorizó el desarrollo propio de los elementos estructurales del juego como el diseño de niveles, la lógica o la programación de las interacciones y mecánicas. Para los elementos decorativos complejos se recurrió a recursos de terceros o a herramientas de generación mediante Inteligencia Artificial (IA). En particular, se ha utilizado Suno AI, una herramienta de generación de canciones mediante IA utilizando lenguaje natural (Suno AI, 2025), ElevenLabs, también relacionada con el sonido pero en este caso especializada en la generación de voces para narrar textos (ElevenLabs, 2026), Nano Banana Pro, una herramienta de generación de imágenes mediante IA integrada dentro de Google Gemini (Google, 2025) y ChatGPT en su modo de generación de imágenes, dado que mostró un rendimiento superior a Nano Banana Pro en algunos aspectos (OpenAI, 2026).

En la Tabla 4 se muestra un listado de los recursos generados. Los elementos arquitectónicos básicos de los niveles fueron modelados por el autor utilizando las herramientas internas de Unity. Para la generación de algunas texturas, imágenes y la ambientación sonora, se emplearon las herramientas de IA descritas anteriormente, lo que permitió obtener elementos personalizados al estilo y contexto del videojuego sin tener un conocimiento artístico especializado.

Tabla 4: Listado de recursos creados para el videojuego con software especializado o mediante herramientas de IA Generativa.

Recursos propios		
Tipo	Elemento	Herramienta utilizada
Modelo	Plataforma espacial	Unity
	Anillo exterior de la plataforma	ProMesh Builder (Unity)
	Barrera de energía	Unity
	Campo de golf	Unity
	Consola y botón	Unity
	Puerta del lobby	Unity
	Señal del hoyo	Unity
Audio	Música de ambiente	Suno
	Voces	ElevenLabs
Texturas	Plataforma espacial	Nano Banana Pro
Imágenes	Identificador del nivel	Nano Banana Pro
	Icono del juego	Nano Banana Pro
	Tooltips gravitacionales	Nano Banana Pro, Gimp
	Pantallas de la IU	ChatGPT, Nano Banana Pro, Gimp
	Mapas de los niveles	ChatGPT, Gimp

Para enriquecer el entorno sin comprometer el tiempo de desarrollo, se integraron también activos provenientes de repositorios libres o con licencias de uso adecuadas. Se ha puesto especial cuidado en seleccionar assets que mantuviesen una coherencia estética y licencias que permitiesen su uso para este TF. En la Tabla 5 se muestra el listado de estos recursos, junto con enlaces a la fuente original de cada uno de ellos.

Tabla 5: Listado de recursos obtenidos de terceros con licencia para su uso en este trabajo.

Recursos ajenos			
Tipo	Elemento	Creador	Fuente
Modelos y VFX	Bolas	gameVgames	Unity Asset Store
	Cohetes	FlexUnit	Unity Asset Store
	Rayo tractor	Gabriel Aguiar Prod	Unity Asset Store
	Fuego del cohete	Gabriel Aguiar Prod	Unity Asset Store
	Humo del cohete	Gabriel Aguiar Prod	Unity Asset Store
	Planeta Tierra	AirStudios	Sketchfab
	Barril de palos	NeutronCat	Unity Asset Store
	Palo de golf	Blanky Rabbit Brody	Sketchfab
	Lobby	Barking Dog	Unity Asset Store
	Interfaz del lobby	Unity Technologies	Unity Asset Store
	Asteroide	Entian-Astea	Unity Asset Store
	Sol	Artic Wolves	Sketchfab

	Estación espacial Marte Rastro de la bola Aura de teletransporte Mandos de ayuda	Coble Games AirStudios Vefects Hovl Studio Unity Technologies	Unity Asset Store Sketchfab Unity Asset Store Unity Asset Store XR Interaction Toolkit
Audio	Efectos eléctricos	Daniel Gooding	Unity Asset Store
Texturas	Anillo exterior de la plataforma Césped del hoyo Madera del hoyo Señal del hoyo Consola y botón Puerta del lobby Fondo de estrellas	Yughues Chromisu Chromisu Yughues Yughues Yughues Avionx	Unity Asset Store Unity Asset Store
	Título del juego	Astigmatic	Google Fonts
	Señal del hoyo	GGBotNet	Fontspace

4.4. Diseño de niveles

Dado que los movimientos en el espacio y las mecánicas gravitatorias en 3D pueden resultar anti-intuitivas para la mayoría de los jugadores (acostumbrados a la física terrestre) los escenarios se han estructurado para introducir conceptos complejos de manera progresiva.

La arquitectura del juego se divide en dos espacios principales: el Lobby, punto de entrada y de selección de niveles; y los niveles del juego, que dentro del alcance de este prototipo son el Tutorial y el Nivel 1.

4.4.1. El Lobby

El Lobby es el nexo central de la experiencia, ya que se entra a él al iniciar el juego o terminar un nivel. Además de su función como menú de selección de niveles, se ha diseñado como un espacio seguro donde el jugador puede empezar a familiarizarse con la locomoción en RV sin la presión de un objetivo de juego.

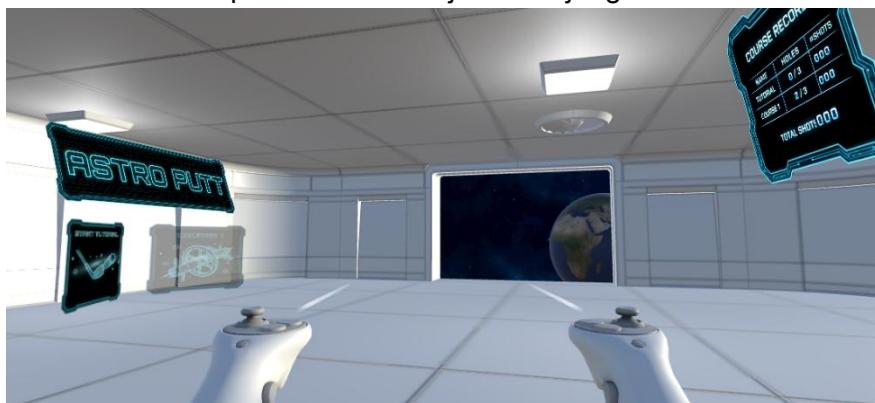


Figura 29: Imagen del Lobby al que el jugador accede cuando se inicia el juego o se termina un nivel.

Como se puede ver en la Figura 29, se trata de una sala diáfana en la que hay una IU fija en el espacio que permite la selección del nivel que se quiere jugar y un panel que muestra la mejor puntuación obtenida por el jugador. También es posible desplazarse libremente por el escenario usando las mismas mecánicas de locomoción que en los niveles. Para que el jugador se familiarice con ellas, la primera vez que se accede al Lobby se carga un tutorial diegético que le muestra los distintos tipos de locomoción posibles.

A partir de la versión 0.0.3, el tutorial comienza cuando una voz nos da la bienvenida a *Astro Putt* y nos indica que debemos calibrar nuestro traje espacial (en las versiones utilizadas en las primeras pruebas de usuario este elemento no existía, para más detalles ver la Sección 4.5). En ese momento, aparece una *checklist* tal y como se muestra en la Figura 30. La voz irá guiando al jugador sobre las acciones a realizar, lo que se ve complementado por la lista de objetivos y por un modelo del mando al que se le ha incluido una animación que resalta el botón que se debe accionar para realizar el movimiento solicitado.

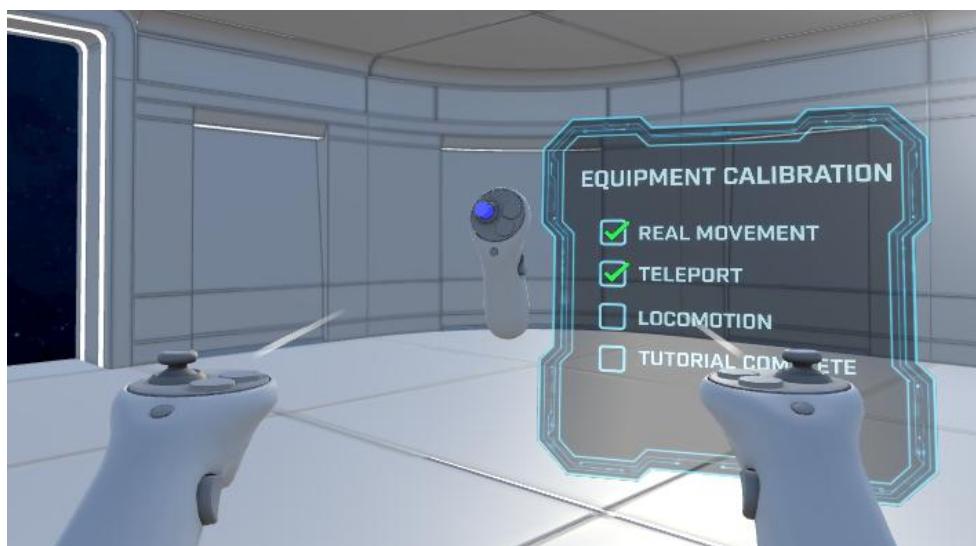


Figura 30: Tutorial de locomoción del Lobby. Aparece una pantalla a la derecha del jugador que le sigue en sus movimientos, indicando la lista de acciones a realizar. Además, aparece un modelo del mando con una animación de los botones que hay que pulsar para completar la acción. En el caso de la imagen, se trata del movimiento continuo realizado con el joystick izquierdo.

En las pantallas de selección que se ven a la izquierda de la Figura 29 se pueden ver el título y dos pantallas. Siguiendo un esquema de progresión lineal clásica, el Nivel 1 permanece bloqueado hasta que el sistema detecta que el jugador ha superado satisfactoriamente el nivel Tutorial (no confundir con el tutorial de locomoción), garantizando así que no se enfrente a retos complejos sin haber dominado las herramientas conceptuales necesarias.

Por último, tal y como se puede ver a la derecha de la Figura 29, también hay una pantalla que muestra el progreso del jugador en el videojuego, mostrando el número máximo de hoyos completados en cada nivel, junto con el número mínimo de golpes con el que se ha conseguido.

4.4.2. El Tutorial

El nivel de Tutorial no estaba contemplado en la planificación original, sino que surge como una adaptación de una necesidad técnica de desarrollo ya identificada en la planificación. Inicialmente, se construyó un entorno de pruebas acotado para testear las interacciones fundamentales del sistema en RV (locomoción, agarre, colisiones y campos gravitatorios) de forma aislada, en un intento de mitigar el riesgo R1 (ver Sección 1.5). Sin embargo, se observó que, de la misma forma que su simplicidad permitía focalizar la atención en los aspectos más básicos del juego durante el desarrollo, este escenario minimalista era ideal también para la introducción de nuevos jugadores.

Así, se decidió formalizar este campo de pruebas e integrarlo como el Tutorial oficial del videojuego y como primer escenario. Para ello, se mejoraron los aspectos visuales y se configuró el escenario de forma que fuese intuitivo para un jugador que llega a él por primera vez, Figura 31.

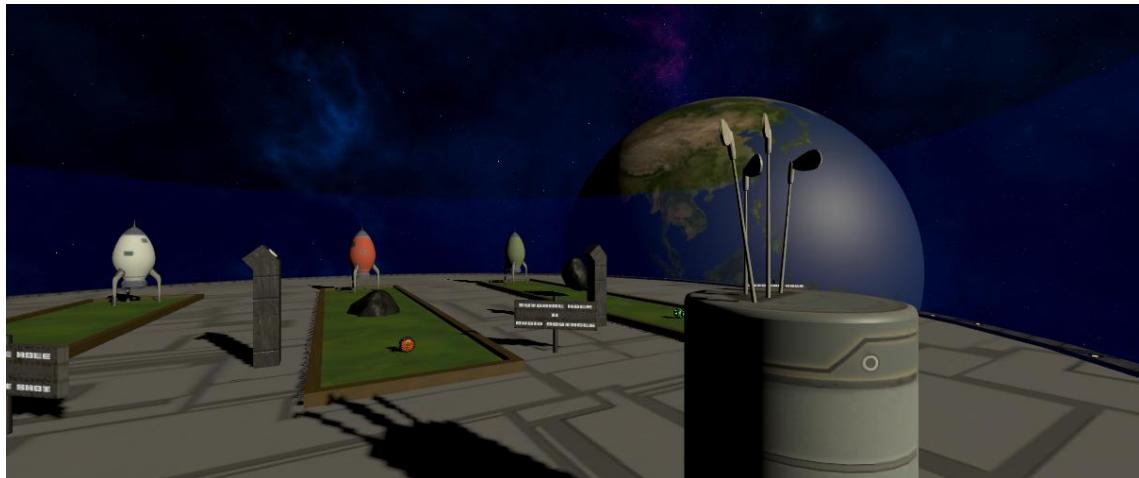


Figura 31: Punto de vista con el que el jugador aparece en el nivel del Tutorial.

El diseño del nivel aprovecha la psicología y pequeñas pistas visuales para guiar al jugador sin necesidad de un texto excesivo:

1. Orientación inicial: el punto de aparición sitúa al jugador mirando directamente al barril de palos y a los 3 hoyos. La primera acción natural, por tanto, es extender la mano y equiparse.
2. Jerarquía visual: el barril actúa como una sutil barrera para que el jugador tienda a moverse a la izquierda, lo que le permitirá ver el cartel del primer campo. Los campos están claramente diferenciados y numerados del 1 al 3. Además, la simplicidad del primer campo invita al jugador a comenzar por ahí de forma instintiva.

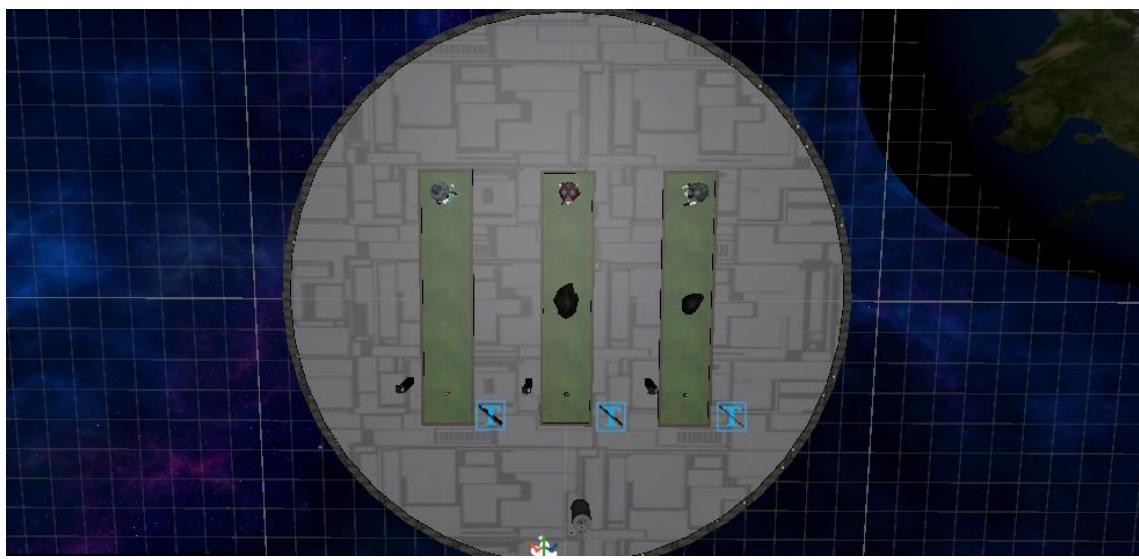


Figura 32: Vista superior del nivel Tutorial. Existen tres campos diferentes, ordenados por nivel de dificultad de izquierda a derecha.

A continuación, se detalla el objetivo pedagógico (tanto a nivel de mecánicas del juego, como de aprendizaje de física) de cada uno de los tres campos u “hoyos” que componen este nivel. En la Figura 32 se ofrece una vista aérea de la disposición de los tres hoyos ordenados de izquierda a derecha.

Hoyo del Tutorial I Disparo Directo (Tutorial Hole I Straight Shot)



Este primer reto tiene como objetivo inicial la familiarización con el golpeo y el sistema de reseteo de la bola. No obstante, su función también es romper las preconcepciones físicas del jugador. Al ser un tiro recto, el instinto del jugador es golpear fuerte la bola para que llegue rápidamente. Ahora bien, la trayectoria parabólica que uno esperaría observar en el golf terrestre no se producirá, ya que en ausencia de gravedad planetaria la bola no cae.

Si se golpea hacia arriba, la bola pasará por encima del objetivo y se perderá en el espacio. Este hoyo enseña que la fuerza puede ser débil siempre que la dirección sea puramente lineal, ya que la ausencia de gravedad y de rozamiento hará que la bola llegue sin problemas a su destino. La existencia de este choque conceptual fue comprobada en las primeras pruebas de usuarios (ver Sección 4.5).

Figura 33: Primer hoyo del Tutorial.

Hoyo del Tutorial II Esquiva el Obstáculo (Tutorial Hole II Avoid Obstacle)

El segundo campo introduce por primera vez el elemento diferenciador del juego, un asteroide con campo gravitatorio propio situado entre el punto de tiro y el cohete. Si el jugador intenta hacer un tiro similar al anterior, pensando que la bola rodará por la superficie del asteroide, rápidamente comprobará que se queda pegada a la superficie.

El jugador debe aprender a usar la gravedad a su favor. Al intentar lanzar la bola ligeramente por encima del obstáculo, observará cómo la atracción gravitatoria curva la trayectoria hacia abajo, creando una parábola artificial. El éxito depende de conseguir calibrar la fuerza a transmitir a la bola. Un tiro demasiado lento hará que la bola caiga sobre el asteroide, mientras que uno muy rápido hará que pase de largo sin curvar la trayectoria lo suficiente.



Figura 34:
Segundo hoyo del Tutorial.

Hoyo del Tutorial III Reto Flotante (Tutorial Hole III Floating Challenge)



Figura 35:
Tercer hoyo del Tutorial.

El último hoyo aumenta la complejidad al elevar el asteroide. Un tiro parabólico vertical similar al del hoyo 2 es muy complicado ya que hay que elevar bastante la bola para que pase por encima, pero no tanto como para que se salte el asteroide. Por debajo, el jugador comprobará rápidamente que la bola no cabe, por lo que repetir el tiro del primer hoyo tampoco sirve.

La clave está en pensar en 3D. La solución óptima implica lanzar la bola por un lateral del asteroide. Esto provoca que la gravedad curve la trayectoria horizontalmente, realizando un efecto de gancho que dirige la bola hacia el objetivo. Este es el paso definitivo para dejar de pensar en los tiros clásicos de golf en la Tierra donde todos los disparos son en línea recta y empezar a pensar en mecánica orbital.

Narrativamente, aunque no se ha incluido en el prototipo actual, la superación de estos tres retos otorga al jugador la licencia (expedida por la autoridad deportiva del Sistema Solar en la ficción del juego) que le permite desbloquear el acceso al Nivel 1, asegurando que está preparado para los desafíos más complejos que este presenta. Aparece automáticamente un panel que sigue la vista del usuario que le permite volver al Lobby (donde ahora el primer nivel estará desbloqueado) o saltar directamente al siguiente escenario, Figura 36.



Figura 36: Panel de selección que aparece al finalizar el nivel Tutorial.

4.4.3. Nivel 1

En el primer nivel del juego, el jugador se sitúa en una estación espacial en la órbita de Marte, Figura 37. Como se puede ver, se trata de una estación espacial que incluye un anillo rotacional en el que clásicamente se encontrarían las estancias de la tripulación. Esto ya nos indica que la escala es mucho mayor que la del nivel Tutorial, donde podíamos llegar de un extremo a otro en pocos pasos. En particular, el anillo tiene un grosor de unos 15 metros y la longitud total de extremo a extremo de la estación supera los 500 metros. Puesto que la zona de juego recomendada por Meta es de 2x2 metros, desplazarse por la estación requiere sin duda alguna un uso elevado de la función de teletransporte o del movimiento continuo.

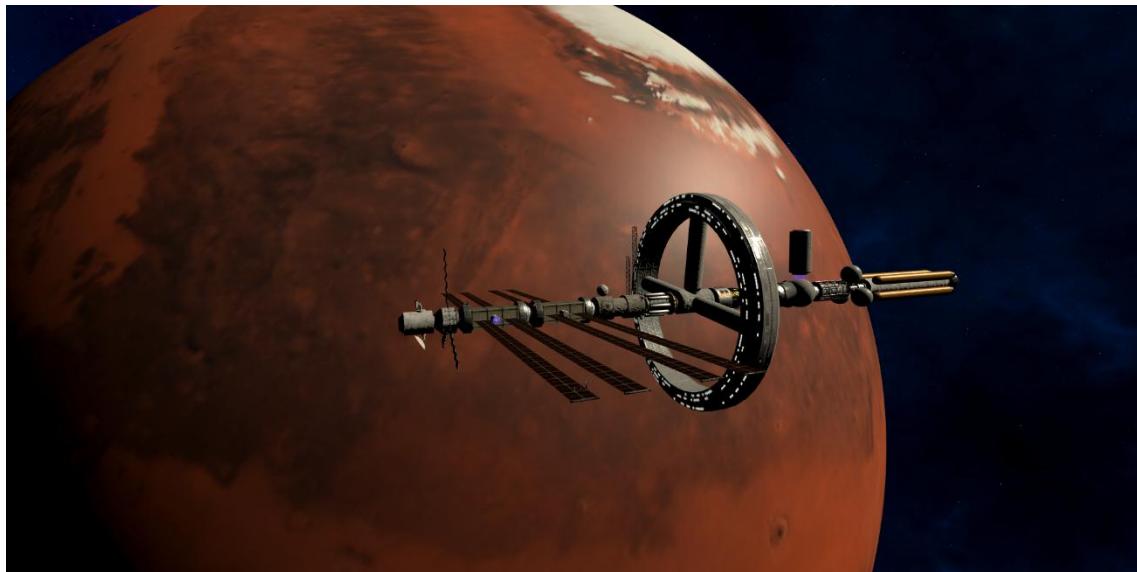


Figura 37: Vista panorámica del escenario del primer nivel del videojuego.

En la Figura 38 se reproduce el mapa que se muestra a los jugadores dentro del escenario, indicando la posición de los distintos objetivos. Como se puede ver, este escenario consta también de 3 hoyos. El primero se inicia en la parte inferior, en el extremo de uno de los paneles solares, y los dos siguientes se encuentran situados a lo largo del eje principal de la estación. Las grandes distancias involucradas y el riesgo de inducir mareos si el jugador es obligado a realizar excesivos desplazamientos, motivó la introducción de la mecánica de teletransporte automático descrita en la Sección 4.2.4. Esta mecánica mueve al jugador automáticamente de forma suave al siguiente punto de inicio cada vez que se consigue un objetivo. Así, se evita la necesidad de tener que hacer numerosos desplazamientos. Cabe destacar también que en este

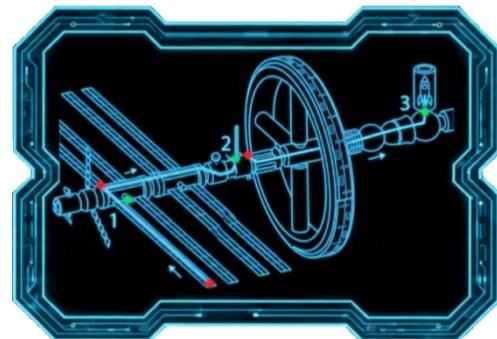


Figura 38: Mapa indicativo de la localización de los tres hoyos del escenario, con los puntos de inicio marcados en rojo y los objetivos en verde.

nivel la bola deja una estela de energía en su recorrido, lo que facilita a los jugadores evaluar la trayectoria que ha seguido y así poder corregir de forma más efectiva el tiro.

Primer hoyo del Nivel 1: Disparo Lejano (Long Shot)

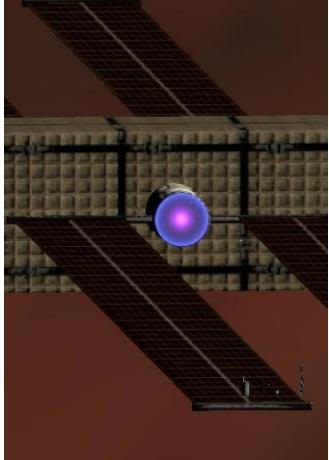


Figura 39: Primer hoyo del Nivel 1, *Long Shot*.

El primer objetivo que se nos plantea en este nivel es conceptualmente muy similar al del primer hoyo del Tutorial. Se trata de un simple tiro rectilíneo, donde es más importante la precisión que la fuerza, pues al no haber rozamiento ni gravedad la esfera no verá desviada su trayectoria durante el recorrido. No obstante, hay dos diferencias importantes respecto a ese nivel. La primera es la gran distancia que tiene que recorrer la esfera. A efectos prácticos esta distancia no tiene grandes implicaciones, salvo porque una aparentemente ligera desviación inicial en la trayectoria se irá amplificando en su camino al objetivo. Es decir, obliga al jugador a tener una precisión mayor a la hora de disparar. La segunda es que el objetivo no se encuentra directamente delante del punto inicial, sino desplazado hacia un lateral. De

nuevo, esto no supone una gran diferencia desde un punto de vista práctico. La trayectoria tiene que ser una línea recta, pero con una ligera inclinación hacia la derecha para llegar al destino. Por tanto, el objetivo de este primer hoyo es afianzar los conocimientos adquiridos durante el primer hoyo del Tutorial, al mismo tiempo que se empieza a introducir al jugador el concepto de escala.

Segundo hoyo del Nivel 1: Esquiva el Obstáculo (Avoid Obstacle)

Si el primer hoyo de este nivel era una versión más avanzada del primer hoyo del Tutorial, este segundo hoyo podría considerarse una evolución de los hoyos dos y tres del Tutorial. En efecto, en la Figura 40 se puede ver que se trata de un disparo recto, pero con un obstáculo en el centro. Si se dirige la mirada directamente al obstáculo, aparecerá un *tooltip* que informa al jugador de que se trata de un depósito de materia oscura y que genera un campo gravitacional de nivel medio (para más detalles sobre los *tooltips*, ver la Sección 4.6). El objetivo se encuentra marcado con un rayo de color morado que destaca sobre la oscuridad del resto de la estación, aunque se encuentra también indicado en el mapa que el jugador puede encontrar a su derecha. Por tanto, la estrategia a seguir será similar a la de los hoyos dos y tres del Tutorial. O bien se lanza la bola ligeramente por encima del depósito, de forma que la gravedad generada por este curve la trayectoria hacia abajo y se realice a efectos prácticos un disparo parabólico (como en el hoyo 2 del Tutorial), o bien se manda por un lateral para realizar de forma similar un tiro parabólico lateral (como en el hoyo 3 del Tutorial). Tal y como sucedía con el primer hoyo de este nivel, la principal diferencia conceptual con el nivel del Tutorial es la escala. El jugador se ve

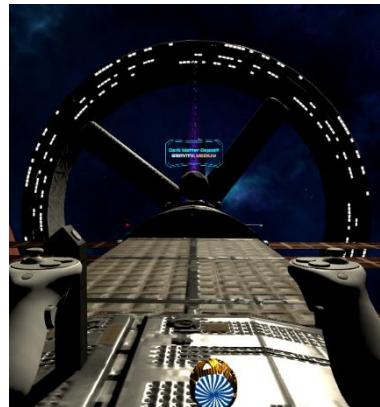


Figura 40: Segundo hoyo del Nivel 1, *Avoid Obstacle*.

obligado a realizar un tiro preciso, lo que también le fuerza a darse cuenta de que, pese a que la distancia sea muy elevada, no es necesario imprimir una gran velocidad a la esfera. La ausencia de atmósfera y de gravedad hará que la trayectoria que se le imprima inicialmente a la bola sea la que determine el resultado, por lo que resulta mucho más eficiente un disparo lento pero preciso que uno fuerte pero desviado.

Tercer hoyo del Nivel 1: Cuidado con el Hueco (Mind the Gap)



Figura 41: Tercer hoyo del Nivel 1, *Mind the Gap*.

El tercer y último hoyo del nivel introduce un elemento no visto hasta el momento que obligará al jugador a ir un paso más allá en el cálculo de la trayectoria que debe seguir la bola. Como se puede ver en la Figura 41, a simple vista se trata de un sencillo disparo en línea recta. La dificultad radica en los cilindros que se sitúan en las diagonales de la imagen. Se tratan de los radios que unen la estructura del anillo con el eje central de la estación. Aunque no se puede apreciar en las imágenes estáticas, el anillo se encuentra en un movimiento rotatorio para generar gravedad artificial en su interior. Si bien esta gravedad no afecta de ninguna forma a la bola, ya que se encuentra fuera de la estructura, los radios suponen un obstáculo dinámico para la esfera. Así, por ejemplo, si se realizase el disparo en el preciso instante mostrado en la figura, es bastante probable que para cuando la bola llegue a la zona de los radios, el de la izquierda se haya desplazado lo suficiente como para bloquearle el paso. Es decir, obliga al jugador a estimar si con la velocidad que le transmitirá a la bola y la velocidad de rotación del anillo se producirá una colisión, o si la bola conseguirá atravesar sin problemas el obstáculo. Cabe destacar que, como se puede ver en la Figura 37, los tres radios del anillo cubren lo que podríamos llamar los ejes norte, este y oeste, pero no hay un radio en el eje sur. Así, existe un amplio intervalo de tiempo en el que no hay ningún obstáculo, lo que facilita la tarea al jugador, evitando una frustración excesiva en el primer nivel del juego.

Si el jugador consigue introducir la bola en el objetivo, se activará una secuencia de despegue de un cohete, marcando el final del nivel. Aunque el modelo del cohete es idéntico a los vistos en el Tutorial (ver Figura 31), su tamaño es mucho mayor, siguiendo la línea del cambio de escala que nos introduce este nuevo nivel respecto al Tutorial. Finalmente, nos aparecerá un mensaje indicando el final del nivel, Figura 42. A diferencia del nivel Tutorial (Figura 36), en este caso la única opción que se ofrece es volver al Lobby. Allí, podrá consultarse un resumen de la partida, incluyendo el número de disparos y hoyos superados. Para más detalles, consultar la Sección 4.6 dedicada a la IU.



Figura 42: Pantalla de información que aparece al terminar el Nivel 1.

4.5. Primeras pruebas de usuario

En la planificación inicial del proyecto se estableció una ronda de pruebas de usuario en las etapas finales del desarrollo. Sin embargo, no se había contado con que la validación funcional de las aplicaciones de RV difiere sustancialmente del proceso de *testing* en videojuegos para plataformas tradicionales. En un entorno inmersivo, la interacción no se limita a la respuesta de un avatar ante la pulsación de unos botones, sino que, además de la propia interacción con los controles del dispositivo que esté utilizando, involucra la propiocepción del usuario, su equilibrio y su capacidad de orientación espacial.

Por ello, se decidió incluir un nuevo conjunto de pruebas de usuario. El objetivo principal de estas pruebas no ha sido evaluar la diversión o el diseño de niveles, sino validar la usabilidad mecánica y el confort. Factores como la cinetosis (mareos) o la ergonomía de las interacciones físicas (como el agarre o el golpeo) son críticos y deben resolverse en las etapas más tempranas del desarrollo. Así, se diseñó un plan de pruebas iterativo centrado en las interacciones del usuario (se incluye un ejemplo del guion usado en el Anexo I. Guion de pruebas de usuario del 3 de diciembre del 2025).

4.5.1. Primera sesión: validación mecánica (v0.0.1)

Fecha: 1 de diciembre de 2025.

Objetivo: Validar los sistemas de locomoción y de interacción, la física básica del golpeo y detectar barreras de entrada críticas.

Contexto: Se utilizó una versión preliminar sin Lobby, aunque con el nivel de Tutorial completo salvo por pequeños cambios que se introdujeron posteriormente a consecuencia de estas pruebas.

En particular, había un único palo de golf apoyado sobre la señal del primer hoyo (ver Figura 44) con un peso de 1kg. La idea era obligar al jugador a ir directamente al primer hoyo de forma indirecta. Además, en las pruebas de desarrollo ya se observó que el peso de la bola era muy determinante para controlar la trayectoria del lanzamiento y que el estándar de golf de unos 40 gramos era demasiado bajo. Para calibrar el peso correcto se asoció uno diferente a cada una de las bolas: 100g para el primer hoyo, 250g para el segundo y 500g para el tercero.

El resto de mecánicas estaban implementadas a nivel lógico como se ha descrito en las secciones anteriores de la memoria.

Participantes: Se realizó un reclutamiento de conveniencia, pidiendo a compañeros del Instituto BIFI su colaboración para realizar esta primera ronda de pruebas. Se contó con



Figura 43: Usuario colocándose el dispositivo durante la primera sesión de pruebas.

dos usuarios (un hombre y una mujer, rango 20-30 años) sin experiencia previa significativa en RV. A efectos de posibles sesgos, destacar que ambos son estudiantes de doctorado del autor de este TF.

Resultados y observaciones: La prueba reveló deficiencias importantes en la configuración inicial. Ambos usuarios reportaron dificultades significativas para controlar la fuerza del golpe, indicando que las bolas de menor peso (100g y 250g) salían disparadas con excesiva velocidad, haciendo la experiencia frustrante. Así mismo, se identificaron problemas de usabilidad críticos:

- Pérdida del palo: muy a menudo los jugadores dejaban de pulsar el botón de agarrar el palo, lo que, al no haber gravedad, lo dejaba flotando a la deriva. En múltiples ocasiones para cuando se daban cuenta de que no tenían el palo, este se encontraba ya fuera de su alcance.
- Ergonomía: la posición del botón de reseteo obligaba a girar sustancialmente el cuerpo. Tras pulsarlo, al volver a la posición de disparo, era muy habitual golpear accidentalmente la bola.
- Feedback: los usuarios reportaron que la vibración háptica al golpear era imperceptible (“¿qué vibración?”).

También se identificaron otros problemas de menor importancia, como la velocidad de absorción de la bola por parte del rayo tractor, que fue considerada demasiado baja por los usuarios.

No obstante, la valoración de la experiencia fue muy positiva por parte de los participantes. Además, se les pidió que valorasen su sensación de mareo al finalizar la prueba en una escala de 1 a 5. Un participante reportó un valor de 1 (“o cero [sic]”) y el otro un valor de 2, aunque reconoció ser una persona que se marea con facilidad.

Acciones correctivas: En base al feedback recibido, se realizaron una serie de modificaciones que se incluyeron en la versión 0.0.2.

1. Visto que la bola que más gustó era la de 500g, se optó por repetir el experimento en la siguiente ronda de pruebas pero esta vez con masas de 500g, 750g y 1kg.
2. Para solucionar los problemas de pérdida de la herramienta sin comprometer excesivamente la inmersión y el realismo, se optó por introducir un barril del que se puede extraer un número ilimitado de palos (ver Figura 44).

También se valoró el añadir alguna forma de recuperar el palo, pero eso hubiese involucrado tener que introducir una nueva mecánica/interacción al usuario sin una relevancia real para la dinámica del juego en su planteamiento actual, por lo que se descartó.

3. Se reubicó el botón de reinicio de la bola desplazándolo 1 m a la derecha y 20 cm hacia atrás con el objetivo de evitar interacciones involuntarias (ver Figura 45).
4. Se incrementó la intensidad y duración de la respuesta háptica.
5. Se duplicó la velocidad de absorción de la bola en la meta.



Figura 44: Colocación de los palos de golf en el terreno de juego. A la izquierda, localización en la versión 0.0.1, que pretendía animar al jugador a ir directamente al primer hoyo. A la derecha, barril dispensador de palos de golf creado en la versión 0.0.2 tras observar en las pruebas de usuario la necesidad de tener un suministro ilimitado de palos.



Figura 45: Situación de la consola de reseteo de la bola. A la izquierda, imagen extraída de la versión 0.0.1. En las primeras pruebas de usuario se detectó que el movimiento natural para pulsar el botón hacía que, sin querer, se golpease la bola al girar el cuerpo. A la derecha, imagen extraída de la versión 0.0.2, tras recolocar la consola para que fuese más sencillo pulsar el botón.

4.5.2. Segunda sesión: tutorial completo (v0.0.2)



Fecha: 3 de diciembre de 2025.

Objetivo: Evaluar las mejoras implementadas y analizar la curva de aprendizaje de los 3 hoyos.

Contexto: Se utilizó la versión 0.0.2, la cual ya incluía el Lobby y las mejoras propuestas tras la primera sesión.

Participantes: Se realizó un reclutamiento de conveniencia en la Universidad de Zaragoza sobre antiguos estudiantes y compañeros de departamento del autor de este TF. El grupo de estudio se amplió a 8 participantes, con un perfil demográfico dividido entre estudiantes universitarios de física (20-25 años, 2 hombres y 3 mujeres) y personal docente (40-55 años, 1 hombre y 2 mujeres). Ninguno contaba con experiencia previa significativa en RV. Destacar que todos los estudiantes eran antiguos alumnos del autor de este TF, pero ya no les unía

Figura 46: Usuario probando el videojuego durante la segunda sesión de pruebas.

ningún tipo de relación administrativa que pudiese condicionar sus opiniones más allá de la inevitable relación jerárquica (ex)alumno/profesor.

Resultados y observaciones: En esta segunda iteración no se detectaron deficiencias importantes en lo referente a mecánicas o interacciones. En particular, no hubo ninguna queja relacionada con los mismos elementos que habían causado problemas a los jugadores en la anterior versión del juego, lo que confirmó la efectividad de las medidas correctivas.

Sin embargo, se identificó una barrera de entrada relacionada con la autonomía del usuario. Al realizarse las pruebas en grupos, se observó que los primeros jugadores requerían asistencia verbal del entrevistador para comprender el objetivo inicial, mientras que los siguientes, tras observar a sus compañeros, operaban sin dificultad. Cabe destacar que solo escucharon la interacción, no vieron una retransmisión de lo que sucedía dentro de las gafas. Esto sugiere que, sabiendo los objetivos (coger el palo, darle a una bola, usar el botón), la mecánica es fácil e intuitiva, pero resulta necesario incluir un *onboarding* suficiente para los nuevos usuarios.

En cuanto a la locomoción, se registró un uso nulo del teletransporte y muy escaso del *snap turn*. Los usuarios tendieron a rotar físicamente en el mundo real para ajustar su ángulo de tiro sin ningún problema, lo cual valida la decisión de diseño de no incluir un sistema de giro artificial para acciones de precisión (que además suele causar mareos, como se ha discutido anteriormente). En la Tabla 6 se muestra un resumen del resto de observaciones recogidas durante la sesión.

Tabla 6: Resumen de las observaciones recogidas durante la segunda ronda de pruebas (v0.0.2).

Perfil	Observaciones clave	Nivel de mareo (1-5)
Estudiantes (x5)	<ul style="list-style-type: none"> • Valoración positiva de la IU del Lobby. • Tendencia a perder el palo. • Curva de aprendizaje rápida. • Preferencia por la bola de peso intermedio/alto. • Quejas puntuales sobre la activación de botones solo con la mano libre. 	Promedio: 1.4 (Máx: 2 en 2 usuarios autodeclarados como sensibles al mareo)
Docentes (x3)	<ul style="list-style-type: none"> • Efecto “WOW” ante la ingrávida: mayor interés en explorar la física (soltar objetos, observar inercias) y mirar al rededor que en el golf en sí. • Dificultad para localizar botones en el mando sin referencia visual. • Experimentación consciente con las trayectorias para entender el campo gravitatorio. 	Promedio: 1.0 (Sin mareos reportados)

4.5.3. Conclusiones generales

El análisis transversal de las dos rondas de pruebas permite afirmar que el prototipo ha alcanzado un estado de madurez mecánica satisfactorio. Se ha logrado configurar un sistema de interacción que resulta sencillo, intuitivo y, fundamentalmente, cómodo para el jugador, validando las hipótesis de diseño planteadas al inicio del desarrollo.

Uno de los hallazgos cualitativos más relevantes ha sido la validación del “aprendizaje tácito” en entornos inmersivos (ver la Sección 2.1). Por ejemplo, se observó de manera recurrente un “efecto WOW” cuando los usuarios interactuaban por primera vez con la ingrávida. En efecto, la simple visualización del palo flotando generó una comprensión inmediata, como mínimo básica, de las leyes físicas del entorno, demostrando ser una herramienta pedagógica superior a cualquier explicación textual. La rápida adaptación de los usuarios con perfil científico al primer hoyo, quienes dedujeron que la falta de rozamiento penalizaba el exceso de fuerza, sugiere el potencial del videojuego para desarrollar la intuición física. Si bien sería esperable que a los usuarios que no sean de dicho perfil les cueste un poco más llegar a las mismas conclusiones.

No obstante, la inexperiencia generalizada con la tecnología de RV se manifestó en ciertas fricciones de usabilidad. La reticencia a utilizar sistemas de locomoción como el

teletransporte sin indicación expresa, sumada a la dificultad de algunos usuarios para operar controles que no pueden ver, subraya que la barrera de entrada no es mecánica, sino cognitiva y de familiarización tecnológica. Con dispositivos más comunes de juego, como los ordenadores o las videoconsolas, el jugador puede explorar fácilmente qué hace cada uno de los botones del periférico que esté usando. Sin embargo, se observó que los jugadores no hacían lo mismo con el dispositivo de RV ya que se veían en cierta manera sobrepasados por la cantidad de estímulos sensoriales que producen, probando simplemente a moverse y mirar alrededor en lugar de interactuar con los periféricos. A este respecto, un hallazgo interesante fue la sorpresa de los usuarios al descubrir que acciones físicas reales (como saltar) tenían su correspondencia exacta en el mundo virtual³. Esta naturalidad en la interacción física contrasta con la rigidez de los controles tradicionales y demuestra la alta inmersión lograda.

También merece especial atención un aspecto demográfico crítico en lo que respecta a la incidencia de la cinetosis. Si bien los niveles generales de mareo fueron bajos (promedio de 1.3/5), resulta importante notar que todos los participantes que reportaron una puntuación de 2 sobre 5 se identificaban con el género femenino y reportaron una facilidad general para el mareo. La literatura científica sobre interacciones en RV parece evidenciar que las mujeres tienden a ser más susceptibles a sufrir *motion sickness* (Chattha, y otros, 2020), (Bannigan, Sousa, Scheller, Finnegan, & Proulx, 2024). Este hallazgo implica que el diseño de futuras mecánicas, especialmente aquellas que involucren desplazamientos más agresivos, deberá ser validado mediante pruebas que aseguren una representación paritaria, garantizando así una experiencia inclusiva y confortable independientemente del género del usuario.

Finalmente, de cara al desarrollo de la versión 0.0.3 y subsiguientes iteraciones, se hace patente la necesidad de reducir la dependencia de un guía externo. Para mitigar las barreras de entrada detectadas, se propone la implementación de tutoriales diegéticos integrados en la narrativa del entorno con *checklists* interactivos. Estas herramientas guiarán al usuario en la familiarización con los controles básicos y los sistemas de locomoción antes de enfrentarse a los retos del juego, asegurando una curva de aprendizaje autónoma y progresiva.

4.6. Diseño de la Interfaz de Usuario (IU)

El diseño de la interfaz de usuario se llevó a cabo tras la realización de las pruebas preliminares con los usuarios, por lo que se vio altamente influenciada por las observaciones recogidas en ellas. Así, por ejemplo, se han incluido elementos pensados para facilitar el *onboarding* y las diversas interacciones que pueden llevar a cabo los usuarios con el entorno.

³ A modo de anécdota, en una de las pruebas de la segunda ronda, uno de los usuarios se preguntó en voz alta si podría saltar dentro del videojuego. Tras saltar en la vida real se dio cuenta de que, lógicamente, el videojuego no podía impedir de ninguna forma su salto en la realidad. Además de las risas que suscitó la situación, es una muestra del nivel de inmersión que se consigue con el videojuego.

En las siguientes subsecciones se describen los distintos elementos que componen la IU del juego, junto con otros elementos que, aunque no pertenecen directamente a la IU, están íntimamente relacionados con ella.

4.6.1. Gestión del Lobby y navegación

Tal y como se mostraba en la Figura 29, cuando el jugador accede al Lobby por primera vez verá que hay una serie de paneles flotando en él. La decisión de incluir la mayoría de los paneles de la IU como elementos integrados en el escenario busca seguir las recomendaciones de diseño de IU para entornos de RV. En particular, se debe minimizar el número de elementos que persigan la mirada del usuario constantemente para reducir la sensación de claustrofobia y mareo (Mehmedova, Berrezueta-Guzman, & Wagner, 2025).

El primer conjunto, mostrado en la Figura 47 izquierda, es el selector de niveles. Para interactuar con él basta con apuntar el rayo que sale del mando hacia los paneles, cuyo tamaño se incrementa un 10% mientras el rayo esté sobre ellos para proporcionar feedback al usuario. Si en ese momento pulsa el gatillo, se accederá al nivel. Para facilitar esta interacción, cuando un panel esté seleccionado, aparece un mando virtual que nos indica qué botón pulsar (este aspecto se desarrollará con más detalle en la Sección 4.6.2). Ahora bien, tal y como se muestra en la imagen, inicialmente el acceso al Nivel 1 se encuentra bloqueado, lo que obliga al jugador a ir en primer lugar al Tutorial. De esta forma se fuerza el camino que debe seguir el usuario sin necesidad de tener que comunicárselo expresamente.

Adicionalmente, se ha integrado un sistema de persistencia de datos que registra el número de hoyos terminados y el número de disparos realizados en cada nivel. El panel secundario del Lobby, Figura 47 derecha, muestra esta información al usuario, fomentando la rejugabilidad y permitiendo al usuario monitorizar su mejora.

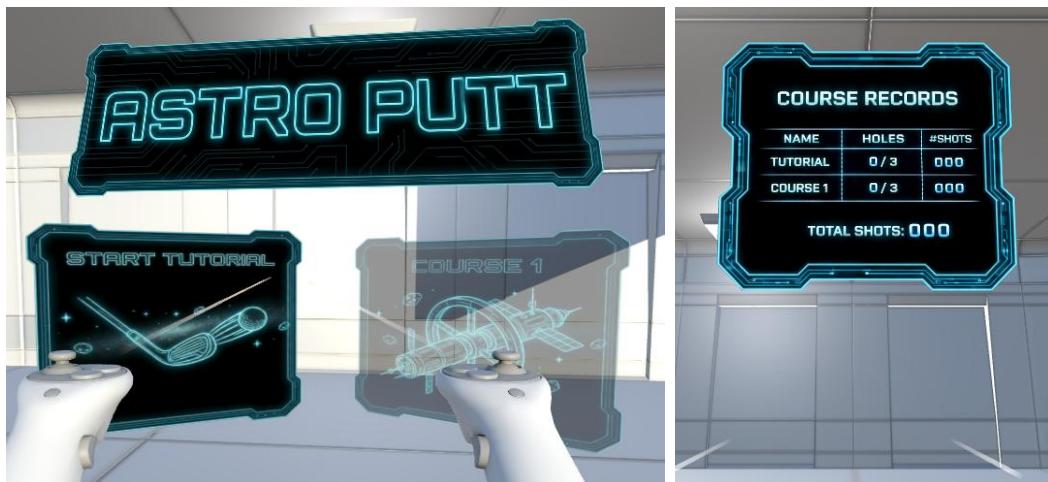


Figura 47: Paneles del Lobby. A la izquierda, el sistema de selección de niveles. A la derecha, tabla con los mejores registros obtenidos por el jugador en cada nivel.

A esta primera interfaz hay que añadir un sistema que permita al usuario volver al Lobby o cargar el siguiente nivel cada vez que haya completado un escenario. Ahora bien, el lugar exacto en el que el jugador terminará el escenario no está determinado. Así, por ejemplo, un jugador podría empezar el nivel Tutorial por el último hoyo y terminar en el primero, por lo que la táctica de situar en un punto fijo del espacio el menú no es

adecuada para estas ocasiones. Por ello, se introdujo un nuevo tipo de panel, que sigue a la vista del usuario, con las opciones para volver al Lobby o pasar de nivel, Figura 48.



Figura 48: Panel de navegación que aparece al completar todos los hoyos de un nivel. A la izquierda, su disposición original. A la derecha, la modificación tras las pruebas de usuario finales.

Como se ha mencionado anteriormente, en RV es recomendable no bloquear completamente la vista del usuario. Por ello, en el diseño inicial se optó porque este panel fuese alargado y estuviese ligeramente desplazado a un lado de la vista del jugador (Figura 48 izquierda). Sin embargo, en las pruebas de usuario que se realizaron sobre la versión 0.0.3 (para más detalles, consultar la Sección 5), algunos participantes reportaron una cierta incomodidad. Aunque el panel entraba completamente dentro de la pantalla, sentían una cierta necesidad de mover la vista hacia la derecha para poder centrar la imagen en su campo de visión. Dado que el panel siempre se situaba ligeramente desplazado hacia la derecha, esto se convertía en una tarea imposible, lo que causaba frustración e incomodidad. Por ello, se optó por centrar en el campo de visión el panel. Si bien esto entorpece más el campo de visión, se trata de un panel que solo aparece al terminar un nivel, por lo que no supone un problema para la progresión del juego.

4.6.2. Sistemas de asistencia y *onboarding*

Uno de los principales resultados de las primeras pruebas de usuario fue la barrera de entrada que supone el propio dispositivo de RV a los nuevos usuarios (ver Sección 4.5). Para mitigar esta problemática, se diseñó un sistema de tutorial diegético que se activa cuando se accede al Lobby (aunque el sistema de persistencia reconoce si ya fue superado y no lo activa en tal caso).

Este sistema consta de una pantalla flotante que presenta una lista de tareas que el jugador debe completar relacionadas con la locomoción básica, Figura 49. El Lobby es el escenario ideal para esto ya que se trata de una sala diáfana sin obstáculos y muy pocas distracciones. Además, permite contextualizarlo en el propio juego, para lo cual se ha empleado una narración generada mediante la aplicación de IA generativa ElevenLabs (ElevenLabs, 2026). Así, cuando el jugador llega al Lobby por primera vez, escuchará la siguiente narración:

Welcome to the Astro Putt Lobby. Before we begin, we must calibrate your astronaut equipment. Please, look at the checklist to your right.

Tras esta narración, aparecerá el panel flotante de la Figura 49. Un instante después, la narración continuará dando instrucciones sobre cómo acceder a los distintos tipos de locomoción disponibles:

First, testing physical sensors. Please, walk two steps in any direction within your real-world play space.

Tras realizar la tarea solicitada, un *tick* verde marcará que ha sido realizada y la narración pasará a describir el primer movimiento de la lista que requiere el uso de los mandos:

Physical sensors confirmed. Now, engage the teleportation drive. Push the Right Joystick forward to aim and release it to teleport.

En este punto el jugador verá por primera vez un sistema de asistencia creado para facilitar el uso de los periféricos. Si bien es cierto que rompe ligeramente la inmersión, pues se trata de algo claramente externo al entorno del videojuego, una de las observaciones más importantes de las primeras pruebas de usuario fue la dificultad de los usuarios para interactuar con el mando. Destacar que los jugadores ven una reproducción virtual de los mandos cuando están jugando, pero el hecho de no ver su mano hacia que esto fuese insuficiente.

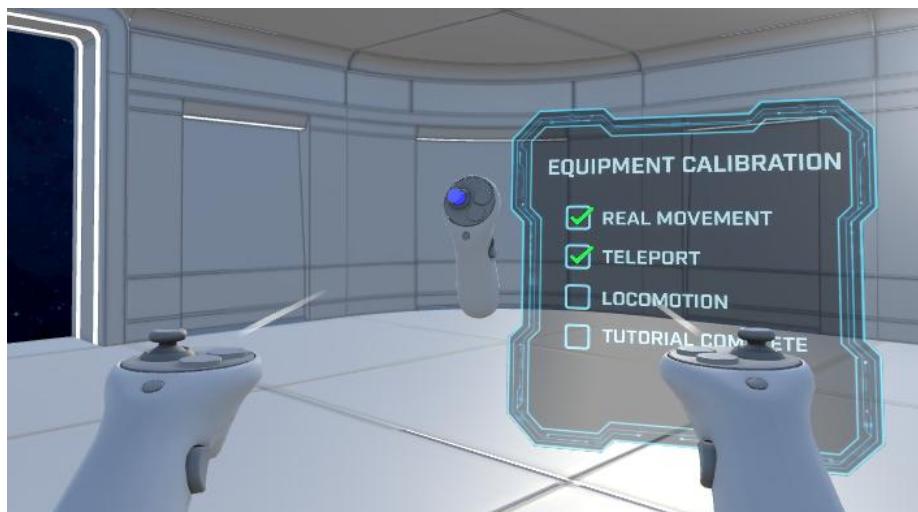


Figura 49: Panel del tutorial de locomoción en el que dos tareas ya han sido completadas.

Este sistema de asistencia se basa en animaciones que han sido construidas sobre los propios modelos de los mandos proporcionados por el XR Interaction Toolkit y que se han denominado *hints*. Así, cuando es necesario pulsar un botón determinado, o mover el joystick de alguna forma, aparece una *hint* en la que el botón correspondiente reproduce el movimiento y se resalta de color azul. Al disponer del mismo modelo en la posición de sus manos, se facilita enormemente la tarea de pulsar los botones correctos.

Además de estas ayudas que aparecen de forma automática centradas en el campo de visión del usuario, también se creó un conjunto de pistas visuales que se activan al posar la vista en algunos objetos interactivos. Para ello, se traza un rayo desde el centro

visual del jugador. Si en su recorrido atraviesa un *collider* especial de un elemento que requiere el uso de algún botón del mando para interactuar con él, aparece la animación del mando reproduciendo el movimiento indicado. En la Figura 50 se muestra el ejemplo del dispensador de palos de golf. En la imagen de la izquierda se puede ver el rayo que sale del centro de la cámara y atraviesa el *collider* asociado al dispensador. Esta interacción activa una animación flotante que se sitúa en el propio rayo, asegurando que se encuentra en el centro de visión del usuario. En la imagen de la derecha se puede ver la visión (estática) que tendría el jugador al mirar el dispensador, con la animación del botón de agarre de los palos activada.



Figura 50: Ejemplo de ayudas visuales que aparecen al posar la vista sobre algunos elementos interactivos.

4.6.3. Elementos informativos en el entorno

Para ayudar al jugador a saber qué tiene que hacer en cada nivel y para poder hacer una primera planificación de sus golpes, se han colocado paneles informativos fijos al inicio de cada nivel y, en el Nivel 1, debido a su gran tamaño, también uno en cada hoyo.



Figura 51: Paneles informativos de los niveles. A la izquierda, el panel presente en el nivel Tutorial, con un hoyo ya superado. A la derecha, el panel situado en el tercer hoyo del Nivel 1 con dos hoyos ya superados.

La Figura 51 muestra los paneles situados al inicio del nivel Tutorial y en el tercer hoyo del Nivel 1. Como se puede observar, ambos cuentan con una lista de tareas que va guardando el progreso del jugador en el nivel. Además, en la parte inferior tiene un mapa que indica el orden de los hoyos. El mapa del Nivel 1, además, cuenta con unas indicaciones sobre el inicio y el final de cada hoyo (para consultar el mapa con más detalle, ver la Figura 38).

Así mismo, para gestionar la información sobre las mecánicas gravitatorias sin saturar la pantalla, se ha utilizado un sistema de *tooltips* basado en la mirada del jugador, de forma análoga al del sistema de asistencia descrito en la sección anterior. En la Figura 52 se muestra el funcionamiento del sistema. En el conjunto de imágenes de la izquierda se puede observar que el jugador no está mirando directamente al asteroide, por lo que el *tooltip* se encuentra plegado. Cuando su mirada entra dentro del *collider* asociado al asteroide para marcar el radio de visión, el *tooltip* se despliega verticalmente y se posiciona de forma que el jugador siempre lo ve frontalmente. El texto incluye el nombre del elemento y la intensidad de la gravedad que puede ser baja (low), media (medium) o alta (high), con colores verde, naranja y rojo, respectivamente. Si el jugador aparta la mirada, la información desaparece, manteniendo el entorno limpio. Nótese también que en la Figura 40 se puede observar el *tooltip* del Nivel 1 desplegado, mostrando el texto referente a la intensidad de la gravedad de otro color al ser de intensidad media.



Figura 52: Sistema de *tooltips* con información gravitacional. Las dos imágenes del conjunto de la izquierda muestran el *tooltip* plegado, dado que la mirada del jugador no entra dentro del radio de activación del asteroide. En el conjunto de la derecha, el *tooltip* aparece desplegado ya que el jugador está posando la mirada en el asteroide.

4.6.4. Interfaz del jugador

Finalmente, para proporcionar de forma rápida información al jugador sobre su progreso, y elementos para poder navegar por el juego en todo momento y no solo al terminar cada hoyo, se ha implementado una interfaz diegética integrada en el traje espacial virtual (siguiendo la narrativa iniciada en el tutorial de locomoción, ver Sección 4.6.2).

Aprovechando la propiocepción natural, si el usuario realiza el gesto de alzar su muñeca izquierda (de forma similar a consultar un reloj de pulsera), el sistema detecta la rotación y posición del mando y despliega una pantalla holográfica sobre la posición en la que se encontraría el antebrazo del jugador. Así, tal y como se muestra en la Figura 53, esta pantalla muestra a tiempo real el número de hoyos completados en el nivel actual y el total de disparos realizados. Además, incluye un botón que permite abandonar el nivel y volver al Lobby. Por ello, al desplegarse la pantalla, también se activa la interacción *far* del mando derecho, tal y como se puede observar en la imagen de la derecha (para

obtener una descripción más detallada de la interacción near-far, consultar la Sección 4.2.2).

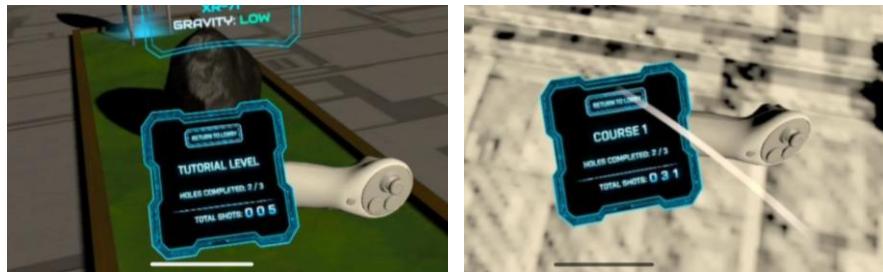


Figura 53: Panel de información situado en la muñeca del jugador. A la izquierda, el panel mostrando las estadísticas del jugador en el nivel Tutorial. A la derecha, el jugador está interactuando con el panel usando su mando derecho para volver al Lobby.

Si bien podría haberse integrado narrativamente como alguna especie de HUD del caso del traje, se consideró que se trataba de una información auxiliar, no necesaria para ejecutar los golpes. Por ello, siguiendo las recomendaciones de no saturar la visión de las IU de los jugadores en RV, se optó por no incluirla de forma permanente. La solución propuesta permite que la información esté siempre accesible para el jugador, pero sin saturar la pantalla.

5. Resultados

El resultado principal de este TF es un prototipo funcional del videojuego Astro Putt (versión 0.1.0 o *Gold Master*) en RV que integra la mecánica de interacciones gravitatorias, así como un conjunto de mecánicas e interacciones auxiliares que facilitan o mejoran la experiencia del jugador.

A continuación, se realiza una descripción del estado final del prototipo y, posteriormente, siguiendo la planificación original del proyecto, se detallan los resultados obtenidos en la fase final de validación con usuarios.

5.1. Estado final del prototipo

El videojuego incorpora la totalidad de los elementos planteados en el alcance de este TF con la excepción de un sistema de cámaras que permita observar el escenario desde otros puntos de vista y estimar las trayectorias. No obstante, en su lugar se han incluido numerosos elementos no contemplados inicialmente, como el tutorial de locomoción, que se consideraron más prioritarios tras las primeras pruebas con usuarios. Estos aspectos se detallarán con más profundidad en la Sección 6.

A modo de resumen, el prototipo está compuesto por:

- Escenarios: un Lobby interactivo y dos escenarios con 3 hoyos de dificultad creciente en cada uno.
- Mecánicas: sistema completo de golpeo e interacción con la gravedad, además de todas las interacciones auxiliares relacionadas con la RV.
- Interfaz: implementación de una IU diegética con elementos de navegación, *tooltips* y *hints*.
- Audio: narración en el Lobby, música en los niveles y efectos de sonido.
- Otros: tutorial de locomoción, sistema de persistencia y efectos visuales como la traza de la trayectoria.

5.2. Evaluación final con usuarios (v0.0.3)

La validación final del prototipo se llevó a cabo entre el 26 y el 31 diciembre de 2025. A diferencia de las pruebas iterativas descritas en la Sección 4.5, que se centraban principalmente en las mecánicas e interacciones de la RV, el objetivo de estas sesiones era evaluar la experiencia completa del usuario, desde el inicio en menú del dispositivo hasta la finalización del Nivel 1.

Participantes: hubo un total de 5 usuarios (3 hombres y 2 mujeres) con edades comprendidas entre los 30 y los 40 años. La selección se realizó mediante un muestreo de conveniencia dentro del círculo social del autor de este TF. Ninguno de ellos había participado en las sesiones anteriores de pruebas.

5.2.1. Análisis del desempeño

Se registraron diferencias significativas en el desempeño de los usuarios, pero no se pudo asociar de forma clara a ningún factor diferenciador. En particular, en base a la experiencia previa con videojuegos y con RV, es posible establecer una clasificación de los usuarios en tres grupos:

- **Grupo A:** usuarios con poca experiencia en videojuegos y poca o ninguna en RV. El usuario que pertenece a este grupo completó la experiencia con un desempeño notable, requiriendo 44 golpes en total para superar ambos escenarios.
- **Grupo B:** usuarios que juegan de vez en cuando a videojuegos y con algo de experiencia en RV. Obtuvieron los mejores registros, completando todos los niveles en aproximadamente 30 minutos y con menos de 40 golpes totales.
- **Grupo C:** usuarios *gamers* sin experiencia en RV. En este grupo se observó un fenómeno muy llamativo. Pese a contar con una más que demostrada experiencia en videojuegos tradicionales, los participantes tuvieron serias dificultades para superar el nivel Tutorial, registrando 76 y 100 golpes respectivamente. Además, invirtieron algo más de 45 minutos cada uno para completar el Tutorial, frente a los aproximadamente 30 minutos que requirieron otros usuarios para completar el juego entero. Debido a la fatiga y falta de tiempo, no llegaron a probar el Nivel 1.



Figura 54: Usuario probando el videojuego durante la evaluación final.

Estos resultados sugieren que, para este tipo de videojuegos, la familiaridad con las interacciones en entornos de RV es un factor más determinante que la experiencia con videojuegos tradicionales. Sin embargo, las observaciones realizadas con el grupo C resultan preocupantes al tratarse de un grupo de población que podría ser un *target* muy importante de cara a una comercialización del videojuego.

En la entrevista posterior, estos usuarios reportaron que les costaba más medir bien la distancia a la bola y al suelo, o golpear a la bola, que los efectos gravitacionales. Dado que ambos usuarios realizaron las pruebas el mismo día, no es descartable que hubiese un error en la calibración inicial del dispositivo, algo ajeno al videojuego como tal, pero muy importante para tener en cuenta. En dicha calibración, se debe establecer la zona de juego dentro del mundo real y situar la posición del suelo. Si esta estaba mal configurada, explicaría por qué los usuarios tuvieron problemas para medir las distancias pues lo que observaban no se correspondería con su altura real.

Esta hipótesis se ve reforzada por el hecho de que los usuarios que probaron el videojuego tanto en las pruebas preliminares como en días posteriores a las pruebas del grupo C no tuvieron las mismas dificultades. Si el problema hubiese estado desde un inicio en el diseño de las interacciones del videojuego, o si hubiese surgido en el paso de la versión 0.0.2 a la 0.0.3, esto se debería haber observado en dichas pruebas.

Ahora bien, tampoco se puede descartar que la explicación sea simplemente la falta de habilidad de los usuarios. En cualquier caso, si el videojuego siguiese desarrollándose, sería importante repetir las pruebas con una muestra mayor y más diversa de usuarios, así como valorar la inclusión de algún tipo de comprobación durante el tutorial de locomoción para asegurarse de que el visor se encuentra configurado correctamente.

5.2.2. Experiencia de juego e inmersión

Los resultados cualitativos mostraron una recepción positiva de las mecánicas implementadas. La inclusión del tutorial de locomoción en el Lobby demostró ser una solución muy efectiva a los problemas detectados en las pruebas preliminares de usuario (ver Sección 4.5). En esta ocasión, a diferencia de pruebas anteriores, los usuarios no requirieron asistencia externa para moverse y se observó un uso frecuente y eficaz de la función de teletransporte durante el desarrollo de los escenarios. De forma similar, los *tooltips* y los *hints* redujeron enormemente el número de preguntas de los usuarios, quienes se mostraron mucho más autónomos y concentrados.

En lo que respecta a la experiencia de juego en sí, todos los usuarios adoptaron posturas naturales de golf de manera intuitiva, lo que denota un alto nivel de inmersión. Además, se observó un fenómeno de frustración positiva o “pique”, especialmente en el Nivel 1. Cuando los usuarios que llegaron hasta los últimos hoyos fallaban, a menudo expresaban que solo lo iban a intentar una vez más (notar que llevarían aproximadamente 30 minutos jugando ya, por lo que es normal sentir una cierta fatiga, especialmente llevando el dispositivo de RV). Sin embargo, después de esa última vez había otra, y otra, y así hasta completar el nivel, lo que muestra que una frustración moderada puede ser un aspecto positivo para mejorar el *engagement* en videojuegos (Aleta & Moreno, 2019).

Por último, en lo que respecta al aprendizaje y desarrollo de la intuición física, el comentario más destacable respecto a los recibidos en las primeras pruebas es que los usuarios que llegaron al Nivel 1 expresaron inicialmente escepticismo sobre la posibilidad de alcanzar objetivos lejanos, en línea con la tesis de (Yu, 2005) discutida en la Sección 1.1. Sin embargo, tras experimentar la falta de rozamiento, poco a poco comprendieron tácitamente que la precisión era más relevante que la fuerza bruta, validando también el enfoque educativo del juego.

5.2.3. Confort y valoración general

A la conclusión de las pruebas se solicitó a los usuarios que valorasen su nivel de mareo en una escala del 1 al 5, de forma similar a las pruebas preliminares. Al igual que en ellas, casi todos los usuarios reportaron 1, salvo una usuaria que reportó un mareo leve (2/5) tras un uso intensivo del movimiento continuo. Este dato es consistente con lo observado en la Sección 4.5 y muestra que las precauciones tomadas en el diseño del Nivel 1 fueron suficientes para no aumentar las posibilidades de sufrir cinetosis.

No obstante, hay otro aspecto de confort que hasta ahora no había sido evaluada. En esta ronda de pruebas se contó por primera vez con una persona zurda, lo que reveló algunas pequeñas deficiencias de accesibilidad. En particular, la ubicación del botón de reseteo de la posición de la bola está optimizada para jugadores diestros. Si una persona zurda quiere hacer uso del botón, debe desplazarse físicamente un par de pasos hacia adelante para poder darle y luego volver atrás, en lugar de simplemente alargar la mano como las personas diestras. A nivel técnico, la solución a este problema consiste en la implementación de una opción de configuración que invierta la posición de algunos elementos, aunque dicha funcionalidad no se ha incluido en la versión actual por salirse del alcance.

Finalmente, la valoración subjetiva fue unánimemente positiva, destacando el apartado visual y la diversión de las mecánicas, si bien debe considerarse el posible sesgo en la opinión expresada derivado de la relación personal entre los participantes y el desarrollador.

6. Conclusiones y Trabajo futuro

6.1. Conclusiones

La realización de este TF ha permitido llevar a cabo con éxito el desarrollo de *Astro Putt*, un prototipo funcional de videojuego de golf en el espacio en RV que valida la tesis principal del proyecto: es posible utilizar la RV para transformar conceptos abstractos de física en experiencias tangibles y divertidas.

Tras el análisis de los resultados obtenidos y el propio proceso de desarrollo, se han extraído varias conclusiones. En primer lugar, desde una perspectiva pedagógica, se ha constatado de forma preliminar la efectividad del aprendizaje tácito en entornos inmersivos. Tal y como se ha discutido a lo largo de la memoria, se observó en repetidas ocasiones que los usuarios interiorizaban conceptos como la inercia o la influencia de la gravedad al interactuar con el entorno, sin necesidad de explicaciones complicadas. El denominado “efecto WOW” observado confirma también que la inmersión sensorial puede actuar de catalizador para captar la atención y facilitar la comprensión intuitiva de fenómenos físicos.

En segundo lugar, la experiencia de desarrollo ha revelado que la programación para RV presenta una complejidad y riqueza superiores a las del desarrollo tradicional de escritorio. A diferencia de las interfaces convencionales, donde las interacciones están estandarizadas en gran medida, la RV ofrece un abanico casi infinito de posibilidades de interacción. Esto supuso un reto inesperado ya que lo que sobre el papel o en el simulador de escritorio parecía funcionar, en la práctica podría resultar confuso o ergonómicamente inviable para el usuario.

Esta realidad evidenció muy pronto la necesidad de contar con usuarios para validar las interacciones en etapas tempranas del desarrollo. Lejos de ser una herramienta de control de calidad final, las pruebas con usuarios resultaron ser una herramienta de diseño indispensable. La variabilidad en la forma en que los distintos usuarios agarran un objeto, se orientan o reaccionan ante la ingratidez demostró que, en RV, la intuición del desarrollador no es suficiente y debe ser contrastada empíricamente de forma iterativa.

En lo que respecta a los objetivos planteados al inicio de la memoria (ver Sección 1.2), se puede afirmar que el proyecto ha sido un éxito, habiéndose cumplido la gran mayoría de las metas propuestas. Se ha desarrollado un entorno de RV en el que se han integrado las Leyes de Newton y se han construido dos escenarios diferentes para probarlo. También se ha logrado crear una experiencia divertida, que facilita la comprensión de algunos conceptos mediante la exploración directa. Además, se ha adquirido una importante experiencia práctica en la integración de sensores y mecánicas de RV, superando una empinada curva de aprendizaje inicial que incluso requirió evolucionar las herramientas de desarrollo.

No obstante, se pueden destacar dos objetivos específicos que, por la naturaleza del desarrollo, han tenido un alcance diferente al previsto inicialmente:

- Objetivo B.4 Promover la motivación y la curiosidad científica: si bien este objetivo se considera parcialmente alcanzado en base a las observaciones cualitativas realizadas durante las pruebas (donde se vio a los usuarios interesados y “picados” con la física del juego) no se ha realizado una medición cuantitativa o un estudio longitudinal que permita determinarlo con rigor. Validar este punto requeriría un diseño experimental educativo que excede el alcance de este TF.
- Objetivo C.2 Integración numérica con recursos limitados: este objetivo planteaba el reto de optimizar la simulación física para un hardware limitado. Ahora bien, durante el desarrollo se descubrió que el dispositivo Meta Quest 2, lanzado en 2020, posee una capacidad de procesamiento superior a la esperada. Por tanto, no fue necesario implementar técnicas complejas de optimización o simplificaciones de la integración numérica. El motor de físicas estándar de Unity y los scripts creados para implementar diversas funcionalidades funcionaron con fluidez sin comprometer el rendimiento.

Por los motivos expuestos, se considera que estas desviaciones no disminuyen el éxito del proyecto.

6.2. Seguimiento de la planificación

En líneas generales, el desarrollo del proyecto ha seguido la estructura propuesta en la planificación inicial (ver Figura 4). Sin embargo, la falta de experiencia en el desarrollo de aplicaciones para RV y algunos factores externos obligaron a realizar ajustes dinámicos sobre tareas concretas. A continuación, se detalla un análisis de estas desviaciones y las medidas correctas adoptadas.

Durante la fase correspondiente a la PEC2 se produjo un retraso significativo motivado por la combinación de un leve problema de salud, compromisos personales no contemplados durante la planificación inicial y una curva de aprendizaje sobre la RV más pronunciada de lo esperado. Esto último motivó la activación parcial de la contingencia prevista para el riesgo R4 (subestimación del tiempo de desarrollo) cuya mitigación sugería descartar el segundo escenario.

No obstante, en lugar de eliminar un escenario por completo, se optó por una estrategia adaptativa. Como medida de mitigación del riesgo R1 (falta de experiencia en Unity/RV) se había desarrollado un *sandbox* que permitiese probar las interacciones en RV en un entorno controlado. Aunque este entorno presentaba una complejidad escénica menor que un nivel completo, resultó ser un elemento crucial para implementar y validar todas las mecánicas e interacciones, así como una forma sencilla de introducir a los nuevos usuarios al videojuego. Por ello, se sustituyó el desarrollo de un primer nivel por la conversión del *sandbox* en el nivel Tutorial y se dejó el desarrollo del que acabaría

siendo el Nivel 1 (la estación espacial) para el periodo asignado al segundo nivel planificado originalmente.

Los retrasos de la segunda fase obligaron a replanificar las tareas finales. El diseño de la IU y el desarrollo del Nivel 1 se desplazaron a la última fase del proyecto, ocupando el tiempo que originalmente se había reservado para el diseño del segundo escenario descartado. Este cambio fue viable gracias a que en RV la IU no es tan crítica para la navegación básica como en otras plataformas, ya que el sistema operativo del visor gestiona el ciclo de vida de la aplicación, y las interacciones dependen más de elementos motrices que de paneles de control, permitiendo priorizar la interacción directa con el mundo virtual.

En este proceso también se realizaron algunas modificaciones en las funcionalidades previstas inicialmente. En particular, se descartó la implementación de un sistema de múltiples cámaras para observar y simular la trayectoria, implementando en su lugar un sistema de estelas que marcan el camino que ha seguido la bola y unos mapas de nivel esquemáticos. A cambio, dado que las pruebas de confort planificadas inicialmente para el final del desarrollo se adelantaron, siguiendo el plan de mitigación del riesgo R5 (incomodidad del usuario), se aprovechó la fase final para implementar un sistema de persistencia y puntuaciones no planificado inicialmente. Esto permitió recoger datos cuantitativos sobre el rendimiento de los usuarios en las pruebas finales.

A este respecto, uno de los cambios metodológicos más relevantes fue la reestructuración del plan de pruebas. Como se ha ido desarrollando a lo largo de la memoria, una vez completado el nivel Tutorial, surgieron dudas sobre la usabilidad, la facilidad de adaptarse a las interacciones planteadas, o a aspectos de configuración como el peso de las bolas. Si se hubiese esperado a la última etapa de desarrollo para hacer pruebas con usuarios, no hubiese habido margen de maniobra para corregir los problemas que pudieran detectarse. Así, se introdujo una ronda de pruebas preliminar que resultó ser fundamental para el correcto desarrollo del videojuego. De ella surgió la necesidad de implementar elementos de ayuda como el tutorial de locomoción, los *tooltips* y los *hints* visuales, los cuales se integraron como parte del desarrollo de la IU. Esto mostró la importancia de un enfoque iterativo frente a uno puramente secuencial en desarrollos de RV.

Finalmente, la fase de validación final originalmente planificada para la semana del 15 de diciembre del 2025 se vio condicionada por factores logísticos externos. En particular, durante la creación de la planificación inicial no se tuvo en cuenta el reciente cambio del calendario académico de la Universidad de Zaragoza, en la que trabaja el autor de este TF y que proporcionaba acceso fácil a voluntarios para las pruebas. Entre otros, el cambio hizo que los exámenes se iniciasen precisamente la semana del 15 de diciembre, coincidiendo con la fecha prevista para la entrega de la versión 0.0.3 y la realización de las pruebas finales. La falta de tiempo para poder terminarla, así como la indisponibilidad de los voluntarios en esas fechas, obligó a posponer las pruebas al periodo navideño.

Este último retraso puso de manifiesto una vez más otra dificultad intrínseca de los desarrollos en RV. A diferencia del software convencional que puede testearse remotamente, la RV requiere pruebas presenciales, individuales y en un entorno controlado y seguro. La realización de estas sesiones durante un periodo festivo, con la consecuente dificultad para coordinar agendas, supuso un reto logístico adicional que redujo el número total de usuarios disponibles para las pruebas. Por ello, hubo que realizar la prueba en varias jornadas, lo que permitió validar el prototipo final con varios usuarios sin mayores dificultades.

En resumen, este análisis revela que los principales errores de planificación fueron debido a la ignorancia sobre las sutilezas inherentes al desarrollo en RV, tanto en su dimensión técnica como logística. La experiencia acumulada ha mostrado que la creación de entornos inmersivos exige abandonar la linealidad en el desarrollo en favor de un enfoque profundamente iterativo, especialmente en las etapas iniciales. Para futuros proyectos, se establecería desde el principio la inclusión de un entorno de pruebas tanto como banco de pruebas técnico para el desarrollador, como un espacio de entrada para los nuevos jugadores. También se debería contemplar en el cronograma el diseño de sistemas de *onboarding*, incluso para las acciones más elementales. Dado que la RV sigue siendo una tecnología novedosa para el público general, no es viable asumir un conocimiento previo de los controles y su enseñanza guiada debe tratarse como un requisito funcional prioritario antes de exponer al jugador a los niveles principales.

6.2.1. Impacto en sostenibilidad, ético-social y de diversidad

En relación a los impactos previstos en la Sección 1.3, se puede concluir que el desarrollo ha contribuido positivamente a los objetivos marcados. El potencial educativo (ODS 4) ha quedado validado cualitativamente por la curiosidad y comprensión intuitiva mostrada por los usuarios en las pruebas, y la exploración técnica ha aportado conocimiento útil sobre el uso de tecnologías inmersivas innovadoras (ODS 9).

Sin embargo, la fase de validación también reveló importantes matices en el ámbito de la diversidad que no se habían contemplado con suficiente profundidad en el planteamiento inicial. Así, las pruebas revelaron una disparidad demográfica a la tolerancia al movimiento en RV, afectando en mayor medida a ciertos colectivos. Este impacto negativo fue mitigado eficazmente durante la etapa de diseño mediante la implementación de mecánicas que permitían reducir el número de desplazamientos, como el teletransporte automático introducido en el Nivel 1. Esto subraya la importancia de incluir una muestra demográfica diversa en las fases de testeo para garantizar que el software no excluya a parte de la población.

Dado que el cuerpo del usuario actúa como un controlador del videojuego, también se identificó una barrera de acceso no prevista para las personas zurdas. El diseño original, pensado inconscientemente desde una perspectiva diestra, generó pequeñas fricciones de usabilidad en jugadores zurdos. Afortunadamente, en este caso particular la solución es fácil de implementar, si bien por falta de tiempo no llegó a incluirse en la versión *Gold Master*. No obstante, dado que los usuarios utilizan su propio cuerpo para interactuar

con el juego, este hallazgo evidencia la necesidad de diseñar todos los elementos con un enfoque de diseño universal desde el primer momento.

Finalmente, estas observaciones también han suscitado una cierta reflexión al autor sobre los límites de la tecnología actual en términos de inclusión plena. La naturaleza intrínseca de la RV actual, muy dependiente de la movilidad física y la visión estereoscópica, plantea barreras insalvables para personas con movilidad reducida o discapacidad visual. Si el objetivo es democratizar la educación científica, la implementación de estas experiencias en el aula debe ir acompañada de estrategias alternativas desarrolladas junto a expertos en accesibilidad. De esta forma, será posible asegurarse de que todos los estudiantes puedan acceder a los mismos conocimientos, aunque sea a través de plataformas o canales sensoriales diferentes.

6.3. Líneas de futuro

El desarrollo de este prototipo ha demostrado la viabilidad de la propuesta y ha sentado las bases técnicas para un videojuego completo. No obstante, para transformar Astro Putt en un producto comercial viable y una herramienta educativa robusta, existen diversos aspectos sobre los que se podría trabajar más.

Una de las demandas más recurrentes durante las pruebas de usuario fue el disponer de libertad de movimiento fuera de las plataformas espaciales. Los usuarios querían poder saltar y desplazarse por el espacio libremente, cosa que actualmente no es posible. De hecho, por lo intrincado del propio diseño de la estación espacial del Nivel 1, la barrera implementada en el nivel Tutorial no existe en este nivel. Así, si un jugador se sale de la plataforma, empezará a caer irremediablemente hacia abajo sin posibilidad de volver a ella, rompiendo además el efecto de ingratidez que muestran el resto de los elementos. Para solucionarlo, se propone la implementación de un sistema de propulsión personal o *jetpack*. Esta mecánica no solo cubriría la demanda de los usuarios y soluciona el problema de las salidas de la plataforma, sino que permitiría diseñar niveles tridimensionales donde el desplazamiento entre plataformas sea parte del reto, ayudando al jugador a experimentar la inercia y el movimiento con 6 grados de libertad.

Así mismo, para enriquecer más el juego y aumentar la profundidad estratégica, se plantea introducir una mecánica de propulsión activa de la bola. Mediante la recolección de elementos energéticos distribuidos por el escenario (que además podrían servir de guía visual sobre las trayectorias recomendadas), el jugador cargaría una batería que le permitiría activar los pequeños propulsores de la bola durante el vuelo. Esto posibilitaría la corrección de trayectorias en tiempo real y la creación de niveles más complejos, transformando el juego de una experiencia puramente balística (dependiente solo del disparo inicial) a una experiencia de pilotaje dinámico. Ahora bien, para hacerlo viable, sería imprescindible recuperar e implementar el sistema de múltiples cámaras que se descartó durante el desarrollo del prototipo, permitiendo al jugador ver la bola de cerca mientras la controla a distancia.

Una versión final del juego también requeriría de una expansión significativa del contenido, incluyendo nuevos escenarios y retos variados. Para dotar de cohesión a estos niveles, se debería expandir la narrativa, desarrollando la historia del personaje y su progresión hasta convertirse en el mejor golfista del Sistema Solar. Además, la inclusión de un sistema de logros, tablas de clasificación globales e integración con redes sociales fomentaría la competitividad y la retención de usuarios.

Otro aspecto a trabajar sería la inclusión de un menú de configuración que permitiese a los usuarios la personalización de la experiencia. Así, por ejemplo, podría añadirse una opción que invierta programáticamente la disposición de la IU de la muñeca, los dispensadores de palos y los botones de reseteo de las bolas para solucionar los problemas ergonómicos detectados en usuarios zurdos. También se podrían agregar opciones para modificar el ángulo del *snap turn* e incluso limitar el uso del movimiento continuo para usuarios más propensos a la cinetosis, así como un control de volumen o de la intensidad de la respuesta háptica, entre otros.

Finalmente, aunque el desarrollo se ha basado en el XR Interaction Toolkit de Unity, que teóricamente permite la compatibilidad con cualquier dispositivo compatible con OpenXR, sería necesario realizar pruebas de validación con otros visores de RV del mercado. Esto aseguraría que las interacciones diseñadas para los mandos de Meta se traducen correctamente a otros controladores.

7. Glosario

HUD: Heads-Up Display (Pantalla Frontal)

IDE: Integrated Development Environment (Entorno de Desarrollo Interactivo)

IA: Inteligencia Artificial

IU: Interfaz de Usuario

NPC: Non-Player Character (Personaje No Jugable)

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

RA: Realidad Aumentada

RV: Realidad Virtual

TF: Trabajo Final

TFG: Trabajo Final de Grado

VFX: Efectos Visuales

XR: eXtended Reality (Realidad Extendida)

8. Bibliografía

- Abregman. (2025). *Space Mini Golf*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Abregman: <https://abregman.itch.io/space-mini-golf>
- Aleta, A., & Moreno, Y. (2019). The dynamics of collective social behavior in a crowd controlled game. *EPJ Data Science*. doi:10.1140/epjds/s13688-019-0200-1
- Atari Archive*. (2025). Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Golf – July 1980: <https://www.atariarchive.org/blog/golf-july-1980/>
- Aufenager, S., Bastian, J., Bastos, G., & et al. (2025). Immersive virtual reality learning environments for higher education: A student acceptance study. *Computers & Education: X Reality*. doi:10.1016/j.cexr.2025.100105
- Bannigan, G. M., Sousa, A. A., Scheller, M., Finnegan, D. J., & Proulx, M. J. (2024). Potential factors contributing to observed sex differences in virtual-reality-induced sickness. *Experimental Brain Research*. doi:10.1007/s00221-023-06760-0
- Biraki, M. D. (2023). *El nacimiento y muerte de Adobe Flash*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Hack A Boss: <https://www.hackaboss.com/blog/tecnologia-adobe-flash>
- CapyCapy275. (2025). *Controller or keyboard and mouse?* Recuperado el 7 de 12 de 2025, de Reddit: https://www.reddit.com/r/outerwilds/comments/1o6b032/controller_or_keyboard_and_mouse/
- Carrasco, L. S., Sánchez-Varo, I., Jorna, D. C., Iribar-Zabala, A., Bertelsen-Simonetti, Á., Sánchez-Margallo, J. A., & Sánchez-Margallo, F. M. (2025). System for assistance in ultrasound-guided percutaneous hepatic interventions using augmented reality: First steps. *Healthcare technology letters*. doi:10.1049/htl2.12110
- Caserman, P., Garcia-Agundez, A., Gámez Zerban, A., & Göbel, S. (2021). Cybersickness in current-generation virtual reality head-mounted displays: systematic review and outlook. *Virtual Reality*. doi:10.1007/s10055-021-00513-6
- Chattha, U. A., Janjua, U. I., Anwar, F., Madni, T. M., Cheema, M. F., & Janjua, S. I. (2020). Motion Sickness in Virtual Reality: An Empirical Evaluation. *IEEE Access*. doi:10.1109/ACCESS.2020.3007076
- Coding Shell. (2025). *Space Mini Golf*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Play Store: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.codingshell.space_mini_golf
- Comet Golf Project Team. (2020). *Comet Golf*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Steam: https://store.steampowered.com/app/1200300/Comet_Golf/

- Cooper, G., Thong, L. P., & Tang, K.-S. (2024). Transforming science education with virtual reality: an immersive representations model. *Educational Media International*. doi:10.1080/09523987.2024.2389348
- Count Whiskers. (2021). *Planetary Golf*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Google Play:
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.countwhiskers.planetarygolf>
- Dede, C. (2009). Immersive Interfaces for Engagement and Learning. *Science*, 66-68. doi:10.1126/science.1167311
- ElevenLabs. (2026). *The most realistic voice AI platform*. Recuperado el 04 de 01 de 2026, de IIElevenLabs: <https://elevenlabs.io/>
- Epic Games, Inc. (2025). *Unreal Engine*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de <https://www.unrealengine.com/en-US>
- ESA. (2023). *Rocket science for everyone*. Recuperado el 19 de 10 de 2025, de The European Space Agency:
https://www.esa.int/About_Us/Branding_and_Partnerships/Rocket_science_for_everyone
- Fang, D., & Hlavacs, H. (2025). Teaching the Solar System with a Video Game. *The Proceedings of the 19th European Conference on Games Based Learning*. doi:10.34190/ecgb.19.2.3966
- Fudgy Games. (2024). *Losing My MIND in Virtual Reality Golf - Walkabout Mini Golf VR*. Obtenido de YouTube:
<https://www.youtube.com/watch?v=Vr6W7sYg1Bk>
- Funkypear. (2015). *Gravitee*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Cool Math Games: <https://www.coolmathgames.com/0-gravitee>
- Gee, J. P. (2003). *What Video Games Have to Teach Us About Learning and Literacy*. New York: Palgrave/Macmillan. doi:10.1145/950566.950595
- Gelfan_Dothea. (2023). *Had to refund.... terrible controls (control mechanics not keybinding)*. Recuperado el 7 de 12 de 2025, de Steam Community:
<https://steamcommunity.com/app/753640/discussions/0/6960928795828171953/>
- GitHub. (2025). *GitHub Copilot*. Recuperado el 7 de 12 de 2025, de GitHub Features: <https://github.com/features/copilot>
- Godot Foundation. (2025). Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Godot Engine: <https://godotengine.org/>
- Golf Scope Inc. (2025). Recuperado el 16 de 11 de 2025, de GolfPlusVR: <https://www.golfplusvr.com/>
- Google. (2025). *El siguiente nivel de control creativo: Nano Banana Pro*. Recuperado el 7 de 12 de 2025, de Gemini:
<https://gemini.google/es/overview/image-generation/>
- Guinness World Records. (2025). *First commercially released golf videogame*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de

- <https://guinnessworldrecords.es/world-records/first-commercially-released-golfing-video-game>
- IBM. (1967). *Scan of a printed example of gameplay from The Sumerian Game*. Recuperado el 19 de 10 de 2025, de Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/File:TheSumerianGame_gameplay.png
- IDC Corporate. (2025). *AR & VR Headsets Market Insights*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de <https://www.idc.com/promo/arvr/>
- Johnson-Glenberg, M. C., Bartolomea, H., & Kalina, E. (2021). Platform is not destiny: Embodied learning effects comparing 2D desktop to 3D virtual reality STEM experiences. *Journal of Complex Assisted Learning*. doi:10.1111/jcal.12567
- Kent, S. L. (2001). *The Ultimate History of Video Games*. United States: Three Rivers Press.
- Koops, M. C., Verheul, I., Tiesma, R., de Boer, C.-W., & Koeweiden, R. T. (2016). Learning Differences Between 3D vs. 2D Entertainment and Educational Games. *Simulation & Gaming*, 159-178. doi:10.1177/1046878116632871
- Kramer, N. (2024). *Unity vs Unreal Engine for VR/AR Development*. Recuperado el 19 de 10 de 2025, de Daily.dev: <https://daily.dev/blog/unity-vs-unreal-engine-for-vrar-development>
- Lavoie, E., Hebert, J. S., & Chapman, C. S. (2025). How a lack of haptic feedback affects eye-hand coordination and embodiment in virtual reality. *Scientific Reports*. doi:10.1038/s41598-025-10319-0
- Leite, E. (2021). *Planetary Golf - Play golf in space! (Android)*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Discussions Unity: <https://discussions.unity.com/t/planetary-golf-play-golf-in-space-android/826374>
- Madonna, H. (2022). *Space Golf*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Hugo Madonna: <https://hugomadonna.itch.io/space-golf>
- Magnavox. (2021). *Computer Golf! (US)(Odyssey 2)(1978)*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Internet Archive: <https://archive.org/details/computer-golf-us-odyssey-2-1978/>
- Mehmedova, E., Berrezueta-Guzman, S., & Wagner, S. (2025). Virtual Reality User Interface Design: Best Practices and Implementation. *arXiv*. Obtenido de <https://www.arxiv.org/abs/2508.09358>
- Mergen, M., Graf, N., & Meyerheim, M. (2024). Reviewing the current state of virtual reality integration in medical education - a scoping review. *BMC Medical Education*. doi:10.1186/s13643-023-02266-6
- Meta. (2025). *Hardware and software requirements*. Recuperado el 19 de 10 de 2025, de Meta Horizon: <https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/unity-development-requirements>

- Meta. (2025). *Juegos*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de <https://www.meta.com/es-es/experiences/view/777072216186618/>
- Meta Developers. (18 de 12 de 2024). *Locomotion comfort and usability*. Recuperado el 7 de 12 de 2025, de Meta Horizon: <https://developers.meta.com/horizon/resources/locomotion-comfort-usability>
- Meta Horizon. (2024). *Use Link for App Development*. Recuperado el 7 de 12 de 2025, de Meta Horizon Develop: <https://developers.meta.com/horizon/documentation/unity/unity-link>
- Metacritic. (2025). *Outer Wilds - Nintendo Switch User Reviews*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de <https://www.metacritic.com/game/outer-wilds/user-reviews/?platform=nintendo-switch>
- Microsoft. (2025). *Visual Studio*. Recuperado el 7 de 12 de 2025, de Visual Studio Hub: <https://visualstudio.microsoft.com/es/>
- Mighty Coconut. (2025). Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Walkabout Mini Golf: <https://www.mightycoconut.com/minigolf>
- Mobius Digital Games. (2019). *Outer Wilds*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de <https://www.mobiusdigitalgames.com/outer-wilds.html>
- Mojang. (2021). *The Educational Benefits of Minecraft*. Minecraft Education.
- Mojang. (2025). *Minecraft*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de <https://www.minecraft.net/es-es>
- NEXT Manu. (2024). *This is the best GOLF GAME in Virtual Reality*  *Golf in VR*. Obtenido de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=9QIAYIn5mUw>
- OpenAI. (2026). Recuperado el 04 de 01 de 2026, de ChatGPT: <https://chatgpt.com/>
- Poisson, R. J., & Miller, M. E. (2014). Spatial disorientation mishap trends in the U.S. Air force 1993-2013. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. doi:10.3357/ASEM.3971.2014
- Private Division. (2025). *Kerbal Space Program*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de <https://www.kerbalspaceprogram.com/>
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., & Fromm, J. W. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*. doi:10.1016/j.compedu.2019.103778
- Rovio. (2024). *Our history*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Rovio: <https://www.rovio.com/rovio-history/>
- Rovio. (2025). *Angry Birds 2 Space Arrives October 24th!* Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Rovio: <https://www.rovio.com/articles/angry-birds-2-space-arrives-october-24th/>
- RwerdnA. (2020). *WalkaboutMiniGolf*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Reddit:

- https://www.reddit.com/r/WalkaboutMiniGolf/comments/nakim6/custom_maps/
- Salzman, M. C., Dede, C., & Loftin, R. B. (1999). VR's Frames of Reference: A Visualization Technique for Mastering Abstract Multidimensional Information. *CHI '99: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, 489-495. doi:10.1145/302979.303141
- Spatula Interactive Ltd. (2019). *Astro Golf*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Spatula Interactive: <https://spatulainteractive.itch.io/astrogolf>
- Starlight Games. (2025). Recuperado el 16 de 11 de 2025, de House of Golf VR: <https://starlightgames.co.uk/>
- Steam. (2024). *The Sumerian Game*. Recuperado el 19 de Octubre de 2025, de https://store.steampowered.com/app/2699250/The_Sumerian_Game/
- Suno AI. (2025). *Suno*. Recuperado el 7 de 12 de 2025, de <https://suno.com/home>
- Thatipelli, A., Lo, S.-Y., & Roy-Chowdhury, A. K. (2025). Egocentric and exocentric methods: A short survey. *Computer Vision and Image Understanding*. doi:10.1016/j.cviu.2025.104371
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2010). *Física para la ciencia y la tecnología*, Vol. 1. Editorial Reverté.
- Unity Docs. (2025). *XR Interaction Toolkit*. Recuperado el 7 de 12 de 2025, de Docs Unity 3D: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@3.3/manual/index.html>
- Unity Learn. (7 de 12 de 2025). *VR Development*. Obtenido de Unity Learn: <https://learn.unity.com/pathway/vr-development>
- Unity Technologies. (2025). *Unity*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de <https://unity.com/es>
- UVL. (2025). *Universal Videogame List*. Recuperado el 16 de 11 de 2025, de Golf - Sport theme: <https://www.uvlist.net/groups/info/golf>
- V. Bondarenko, M. A. (2024). Motion sickness comparison of 2 XR approaches: camera+screen or hologram on transparent lens (Meta Quest 3 or Microsoft HoloLens 2). *2024 International Electronics Symposium (IES)*. doi:10.1109/IES63037.2024.10665757
- Vimal, V. P., Panic, A. S., Lackner, J. R., & DiZio, P. (2023). Vibrotactile feedback as a countermeasure for spatial disorientation. *Frontiers in Physiology*. doi:10.3389/fphys.2023.1249962
- Wikipedia. (2025). *Golf equipment*. Recuperado el 7 de 12 de 2025, de Wikipedia The Free Encyclopedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Golf_equipment
- Wing, R. K. (1967). *The production and evaluation of three computer-based economics games for the sixth grade. Final Report*. Westchester: Westchester County Board of Cooperative Education Services.

Yu, K. C. (2005). Digital Full-Domes: The Future of Virtual Astronomy Education. *Planetarian*.

9. Anexos

I. Guion de pruebas de usuario del 3 de diciembre del 2025

Parte 1: Test de las Bolas (A/B/C)

Configuración: Cada bola tiene un peso distinto (blanca = 500 g, roja = 750 g, verde = 1000 g)

La Tarea: Golpea cada una de las tres bolas hacia el espacio (sin apuntar al hoyo todavía). Haz el swing con tu fuerza natural.

Preguntas (justo después de golpear):

1. ¿Con qué color has “sentido” mejor el golpe? [Blanca / Roja / Verde]
2. ¿La Verde la sentiste demasiado pesada (como una piedra) o estaba bien?
3. ¿La Blanca la sentiste demasiado ligera (como de playa) o estaba bien?

Parte 2: El Juego (Los 3 Hoyos)

La Tarea: Juega el nivel completo del tutorial.

Observación (sin preguntar):

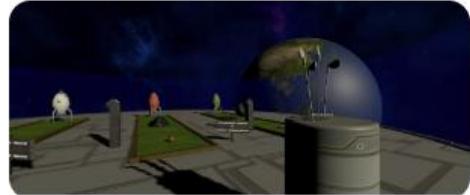
- Hoyo 1 (Recto): ¿Usan las dos manos instintivamente o intentan hacerlo con una?
- Hoyo 2 (Obstáculo): ¿Intentan curvar el tiro o apuntan directo a la roca?
- Hoyo 3 (Flotante): ¿Intentan hacer tiros laterales?

Parte 3: Encuesta Rápida Final

1. **Confort:** Del 1 al 5, siendo 1 nada y 5 mucho, ¿cuánto mareo sientes ahora mismo?
2. **Dificultad:** ¿Te resultó difícil adaptarte a la mecánica gravitatoria?
3. **Comentarios:** ¿Tienes algún comentario adicional?

II. Ejemplo de *prompts* utilizados para la generación de imágenes con Nano Banana Pro

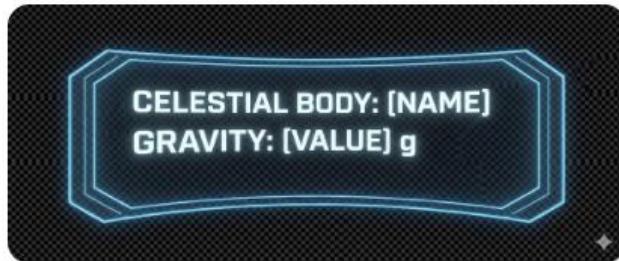
Images and tooltips ▾



I'm creating a VR game of golf in space. I want to add tooltips next to asteroids and other celestial bodies that I may find showing their name and gravity. I've attached an image of the game for reference.

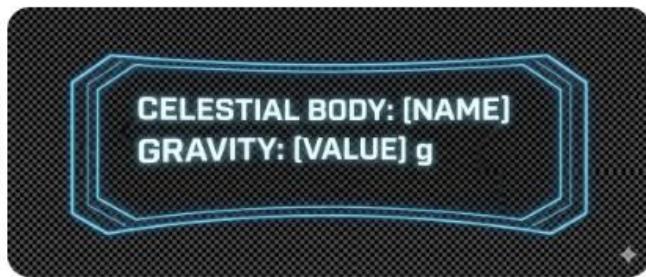
Give me an image that I can use as base to build the tooltips

◆ Show thinking (Nano Banana Pro) ▾



Great. Can you make the background transparent?

◆ Show thinking (Nano Banana Pro) ▾



Create an image that I can use for a checklist in the game tutorial, it should follow the same theme, so it should be futuristic in some way.

◆ Show thinking (Nano Banana Pro) ▾





Create now one with the same style but that is longer horizontally than vertically and says "Astro Putt"



Show thinking (Nano Banana Pro) ▾



Create one that says "Start Tutorial" and below has an image that somehow reflects that. Maybe a club hitting a ball in space or something similar. In any case it should integrate well with the panel and the theme of the game



Show thinking (Nano Banana Pro) ▾

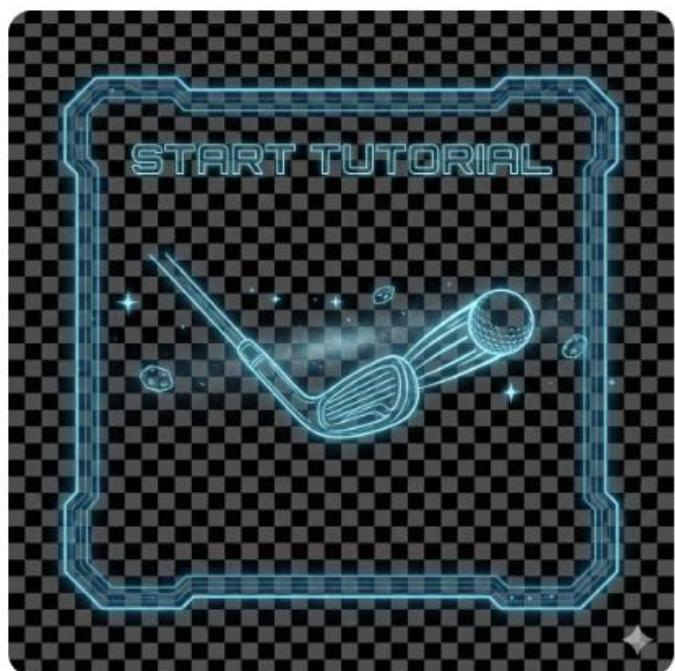




That's awesome, but do it square shaped

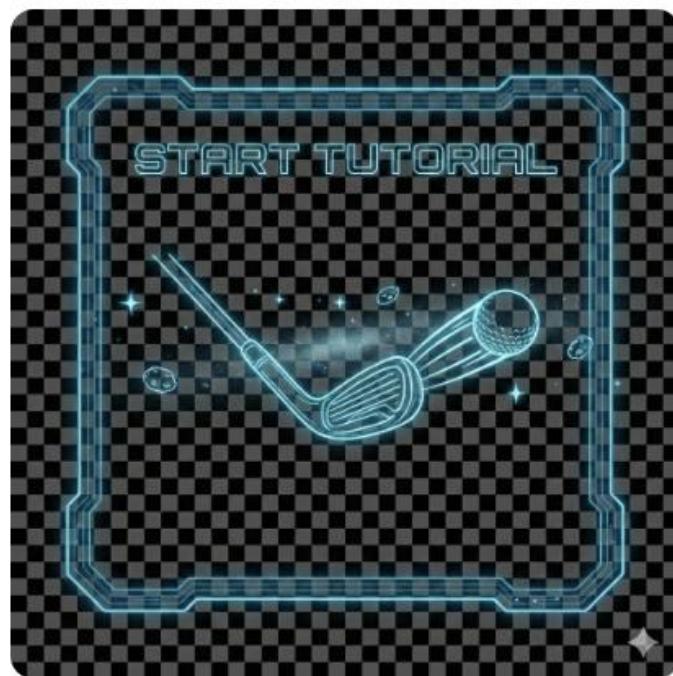


Show thinking (Nano Banana Pro) ▾



Now do it with transparent background

◆ Show thinking (Nano Banana Pro) ▾



Change the background to black

◆ Show thinking (Nano Banana Pro) ▾



I see a squared pattern in the background. I want it to be pitched black, without any pattern

◆ Show thinking (Nano Banana Pro) ▾

◆ Show thinking (Nano Banana Pro) ▾



Great, now create one with the same style, also black background, but with the text "COURSE 1" and for the image it should be similar but a space station with a tubular shape and a ring around it

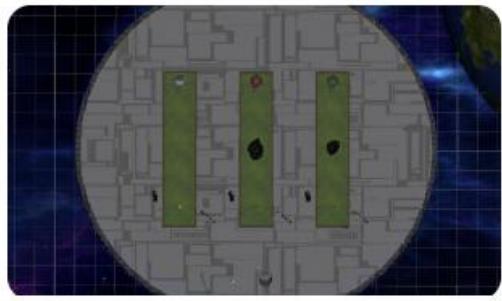
◆ Show thinking (Nano Banana Pro) ▾



Last one, using the same style, create a horizontal one that says ASTRO PUTT

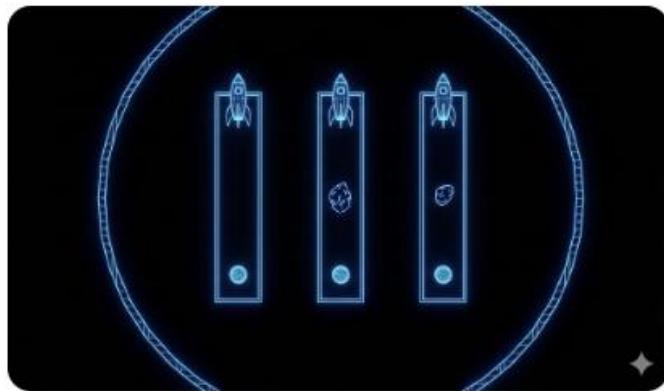
◆ Show thinking (Nano Banana Pro) ▾





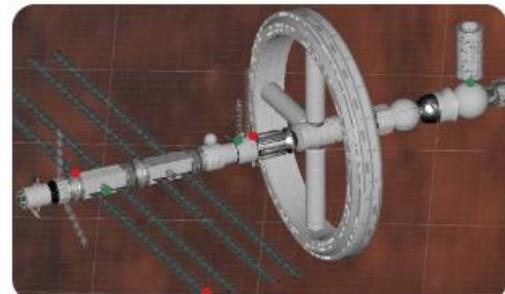
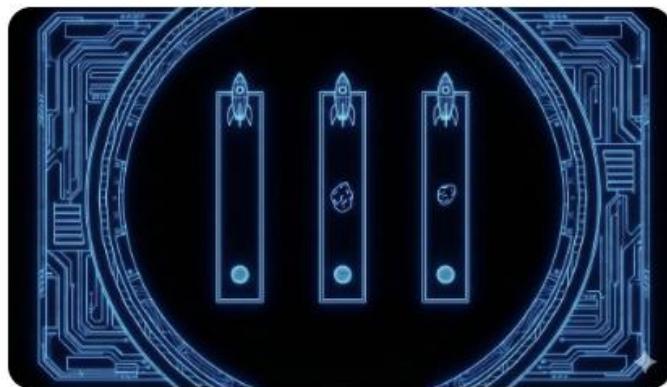
I'm attaching a picture seen from top of the first scenario. I want you to draw a schematic as the one you did in course 1 that depicts a sketch of the three holes: three straight lines, with the ball on the bottom, the rocket on top, nothing in the first one, a small asteroid in the middle one, and another asteroid in the one on the right.

◆ Show thinking (Nano Banana Pro) ▾



Great. Complete the circle and then add a frame around that preserves the overall style.

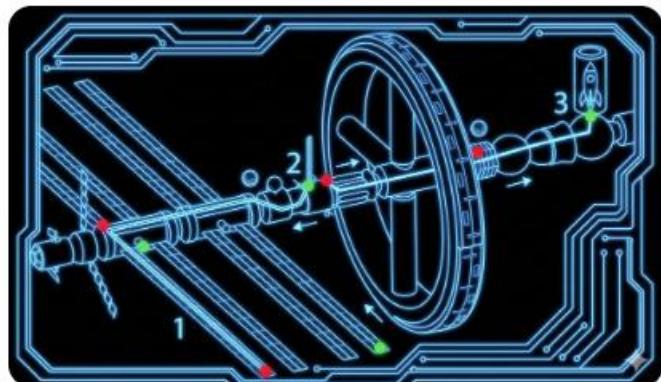
◆ Show thinking (Nano Banana Pro) ▾



I prefer the previous version. Anyway, now I need something similar for the second map. I'm attaching a figure. I've marked in red the 3 starting points and in

I prefer the previous version. Anyway, now I need something similar for the second map. I'm attaching a figure. I've marked in red the 3 starting points and in green the 3 holes. The first starting point is at the bottom, in the corner of the solar panel. The goal is the green circle that is at the end of the solar panel. It has a cylinder shape. The second hole starts on the red dot on the left, from there the ball has to follow the space station up to the green dot that is below a structure. The whole structure going up is the whole, so include it as an objective. Include also the sphere that is before it, as it is an important element of the path. The last one starts at the red dot slightly to the right of the previous end, and finishes at the right of the image, in the green dot. There, there is a hidden rocket inside the cylinder.

◆ Show thinking (Nano Banana Pro) ▾



Like Dislike Comment More

Ask Gemini 3

+ Tools

Pro ▾