

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
VALPARAÍSO - CHILE



**“VISUALIZACIÓN Y ENSEÑANZA SOBRE DISCOS
PROTOPLANETARIOS MEDIANTE UN VIDEOJUEGO
EDUCATIVO CON REALIDAD VIRTUAL”**

MIGUEL IGNACIO VERGARA PÉREZ

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN INFORMÁTICA**

Profesor Guía: Sven von Brand
Profesor Co-Guía: Jorge Cuadra Stipetich
Profesor Correferente: Pedro Godoy Barrera

Octubre - 2024

DEDICATORIA

Este trabajo esta dedicado al profesor Jorge Cuadra, quién ha confiado en mi desde el inicio de este proyecto, y me ha guiado a lo largo de este extenso proceso.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia, por todo el amor, tiempo, y comprensión que me han otorgado a lo largo de mi vida, y me han permitido llegar a este punto de mi vida.

Al profesor Sven von Brand, por haberme enseñado los fundamentos de la creación de videojuegos, y permitirme dar un vistazo al mundo de las empresas de videojuegos.

Al profesor Jorge Cuadra, por darme la oportunidad de trabajar en un área de mi interés, y convertirlo en el trabajo aquí presente

A mis amigos, por haberme ayudado desde que entramos a la universidad, y haberme dado tantos momentos de diversión.

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por ANID, proyecto FONDECYT 1211429.

RESUMEN

Resumen—Los juegos educativos son una forma de motivar a las personas para aprender sobre ciertos temas. En este trabajo se aborda el desarrollo de *Protoplanet Express*, el cual enseña sobre discos protoplanetarios, realizando mejoras al juego e implementando la posibilidad de jugarlo con un dispositivo de realidad virtual. Los resultados de la versión no VR muestran una recepción positiva del público, pero con resultados mixtos en el aprendizaje, mientras que la versión VR muestra tanto una buena recepción como un mayor aprendizaje de quienes lo jugaron.

Palabras Clave—Videojuegos; Educación; Realidad Virtual; Discos Protoplanetarios

ABSTRACT

Abstract— Educational games are a way to motivate people to learn about certain topics. This work addresses the development of *Protoplanet Express*, which teaches about protoplanetary disks, by making improvements to this game and implementing the possibility of playing it with a virtual reality device. The results of the non-VR version show a positive reception from the public, but mixed results in learning, while the VR version shows both good reception and greater learning among those who played it.

Keywords—Video games; Education; Virtual Reality; Protoplanetary Disks

GLOSARIO

Asset: Son los recursos utilizados en el desarrollo de un videojuego, como lo pueden ser sonidos, imágenes o modelos 3D.

Flat Screen: Traducido como “Pantalla plana”, hace referencia a los juegos que son jugados mediante un monitor (Y no mediante un *HMD*).

FOSS: *Free and open-source software*, o programas libres y de código abierto.

FPS: *Frames per second*, o cuadros por segundo.

Gameplay: Anglicismo usado para referirse a los aspectos relacionados a la interacción del jugador con el juego.

HMD: *Head Mounted Display*. Dispositivo montado en la cabeza, que cubre la visión del usuario y le muestra las imágenes del entorno virtual.

HUD: *Heads-Up Display*, es la interfaz encargada de entregarle información al jugador mientras está jugando.

IDE: *Integrated Development Environment*. Es una aplicación diseñada para la edición de código.

Low-poly: Estilo artístico usado por modelos 3D, caracterizado por la baja cantidad de polígonos usados por los modelos.

Sprites: Término usado para referirse a las imágenes que son integradas en un videojuego.

VR: *Virtual Reality*, o Realidad Virtual.

XR: *eXtended Reality*, o Realidad Extendida. Término que engloba la realidad virtual, realidad aumentada, y realidad mixta

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	4
ABSTRACT	4
INDICE DE FIGURAS	9
INDICE DE TABLAS	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	13
1.1 CONCEPTO	15
1.2 GAMIFICACIÓN DE LA EXPERIENCIA	15
1.3 ESCENAS DEL JUEGO	16
1.3.1 START MENU	16
1.3.2 MAIN SCENE	17
1.3.2.1 NAVE ESPACIAL	17
1.3.2.2 SIMULACIONES	19
1.3.2.3 INTERFAZ DE USUARIO	21
1.3.3 SIMULATION MODEL CREATION	25
1.4 CREACIÓN DE MODELOS DE DISCOS PROTOPLANETARIOS	25
CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL	29
2.1 VIDEOJUEGOS SERIOS.....	29
2.1.1 DEFINICIÓN	29
2.1.2 CLASIFICACIÓN	29
2.1.3 VIDEOJUEGOS EDUCATIVOS EN LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA	31
2.1.4 ESTADO DEL ARTE	32
2.2 REALIDAD VIRTUAL	33
2.2.1 DEFINICIÓN	33
2.2.2 VR Y VIDEOJUEGOS	34

2.2.3 MOTORES DE VIDEOJUEGOS	35
2.2.4 ESTADO DEL ARTE DE LOS DISPOSITIVOS DE REALIDAD VIRTUAL	36
2.3 DESARROLLO	37
2.3.1 METODOLOGÍA	38
2.3.2 TECNOLOGÍAS USADAS	38
CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE SOLUCIÓN	40
3.1 CAMBIOS MISCELÁNEOS	40
3.1.1 SISTEMA DE GUARDADO	40
3.1.2 CAMBIOS A LA PANTALLA INICIAL	41
3.1.3 CAMBIOS A LA CABINA	42
3.1.4 CAMBIOS A LA GALERÍA	43
3.1.5 REOBSERVACIÓN DE OBJETIVOS	44
3.1.6 CAMBIOS A LA CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR MODELO	44
3.1.7 REVISIÓN DE CONFIGURACIÓN ÓPTIMA	46
3.2 CREACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA AÑADIR NUEVAS SIMULACIONES	48
3.2.1 PHANTOM ASCII SIMULATION READER	48
3.2.2 ADD SIMULATION TOOL	49
3.3 ADAPTANDO A LA REALIDAD VIRTUAL	50
3.3.1 ELECCIÓN DE MODO VR	51
3.3.2 ESQUEMA DE CONTROL	51
3.3.3 VR START MENU	52
3.3.4 INTERFAZ DE USUARIO	53
3.3.4.1 HUD	53
3.3.4.2 MENÚ DE CONFIGURACIONES	54
3.3.4.3 MENÚ DE TELETRANSPORTACIÓN	55
3.3.4.4 PANTALLAS DE LA CABINA	56
3.3.5 CINEMÁTICA FINAL	56

CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN	57
4.1 ENCUESTA DE LA VERSIÓN FLAT SCREEN	57
4.2 EVALUACIÓN DE LA VERSIÓN VR	64
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXOS.....	73
Guía para añadir una simulación	73
Resultados de la encuesta de Protoplanet Express (Versión Flat Screen)	93
Resultados de la encuesta a grupo de control (Jóvenes 17 a 20 años)	97
Resultados de la encuesta de Protoplanet Express (Versión VR)	99
Resultados de la encuesta a grupo de control (Estudiantes de ingeniería civil informática)	103

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Captura de una de las versiones más actuales de Protoplanet Express. Elaboración propia	13
Figura 2: Gameplay loop de Protoplanet Express. Elaboración propia.....	16
Figura 3: Captura de <i>Start Menu</i> . Elaboración propia	17
Figura 4: Pop-up con las instrucciones. Elaboración propia	17
Figura 5: Captura de la cabina. Elaboración propia.....	18
Figura 6: Captura de la galería. Elaboración propia	19
Figura 7: Simulación vista desde el observatorio. Elaboración propia	19
Figura 8: <i>HUD</i> , con sus elementos enumerados. Elaboración propia.....	21
Figura 9: La flecha se encuentra activa y apuntando a un objetivo. Elaboración propia	22
Figura 10: Captura con el menú abierto. Elaboración propia.....	23
Figura 11: Submenú de opciones de jugabilidad. Elaboración propia.....	23
Figura 12: Submenú de opciones de video. Elaboración propia	24
Figura 13: Submenú de opciones audio. Elaboración propia	24
Figura 14: Submenú de opciones de gráficos. Elaboración propia.....	25
Figura 15: Script con los parámetros a ser modificados de acuerdo con el <i>snapshot</i> . Elaboración propia.....	27
Figura 16: Nodos del sistema de efectos visuales. Elaboración propia	28
Figura 17: Representación del modelo G/P/S. Fuente: [Djaoute11]	30
Figura 18: Representación del equilibrio en juegos educativos. Fuente: ANID	31
Figura 19: Representación del ciclo de creación. Fuente: ANID	32
Figura 20: Predicción de ventas de dispositivos de realidad virtual. Fuente: IDC	34
Figura 21: Controles usados por el set de VR Meta Quest 2. Fuente: Meta	34
Figura 22: Captura de la nueva pantalla inicial. Elaboración propia	41
Figura 23; Comparación de la cabina anterior (Arriba) y la cabina actual (Abajo). Elaboración propia.....	42
Figura 24: Nueva pantalla con texto acompaña a las imágenes de la galería. Elaboración propia	43
Figura 25: Interfaz para reobservar objetivos. Elaboración propia	44

Figura 26: Interfaz de configuración optima, dando a elegir entre ambas opciones. Elaboración propia	47
Figura 27: Interfaz mostrada cuando se requiere reducir la escala de renderizado. Elaboración propia	47
Figura 28: Interfaz mostrada por el programa <i>Phantom Simulation ASCII Reader</i> . Elaboración propia	48
Figura 29: Interfaz de <i>Phantom Simulation ASCII Reader</i> mostrando todos los parámetros. <i>Phantom Simulation ASCII Reader</i>	49
Figura 30: Interfaz mostrada por <i>Add Simulation Tool</i> . Elaboración propia	50
Figura 31: Pantalla inicial mostrada al jugar en realidad virtual. Elaboración propia.....	52
Figura 32: Instrucciones sobre cómo usar los controles mostrada en pantalla. Elaboración propia.	53
Figura 33: Elementos adaptados del <i>HUD</i> siendo mostrados junto al control. Elaboración propia.....	54
Figura 34: Menú de configuraciones sobre el control izquierdo. Elaboración propia.	55
Figura 35: Menú de teletransportación mostrado sobre el control derecho. Elaboración propia	55
Figura 36: Interfaces usadas en la cabina en realidad virtual. Elaboración propia.	56
Figura 37: Respuestas a la cuarta pregunta de quienes jugaron a la versión <i>Flat Screen</i> de <i>Protoplanet Express</i> . Elaboración propia	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resultados del cuestionario de la versión <i>Flat Screen</i> . Fuente: Elaboración propia.....	58
Tabla 2: Resultados de la evaluación a quienes jugaron la versión <i>Flat Screen</i> . Fuente: Elaboración propia.	62
Tabla 3: Resultados de jóvenes que no jugaron <i>Protoplanet Express</i> . Fuente: Elaboración propia.....	63
Tabla 4: Resultados del cuestionario de la versión VR. Fuente: Elaboración propia	64
Tabla 5: Resultados de estudiantes de informática que jugaron la versión VR. Fuente: Elaboración propia..	66

INTRODUCCIÓN

Los videojuegos educativos son una herramienta que permite presentar el conocimiento sobre un tema de una forma más atractiva para el público. En el caso de Protoplanet Express, este tema corresponde a los discos protoplanetarios, que resumidamente se pueden entender como sistemas planetarios en formación. Las simulaciones de estos, realizadas por astrofísicos, no son muy conocidas por el público general, y la información presente en ellas les puede ser difícil de interpretar.

Este videojuego, que antes del desarrollo de esta memoria ya permitía exponer sobre este tema, todavía posee áreas que, basadas en *feedback* entregado por quienes lo han probado, pueden ser mejoradas. Además, la implementación de una versión jugable mediante dispositivos de realidad virtual ofrece a las personas una alternativa más inmersiva en la exploración de las simulaciones ofrecidas.

En la presente memoria, se va a profundizar en el desarrollo de Protoplanet Express, estructurado en los siguientes capítulos:

- **Definición del problema:** Se describe la motivación que llevó al desarrollo tanto de Protoplanet Express, como en los cambios realizados como parte de esta memoria.
- **Marco conceptual:** Se profundiza en lo que es un videojuego educativo, cómo la realidad virtual es usada en los videojuegos, y en las herramientas y metodología usada para abordar el desarrollo de Protoplanet Express.
- **Estado previo de Protoplanet Express:** Se describe el estado de Protoplanet Express antes del trabajo realizado como parte de la memoria, con el fin de contextualizar al lector sobre su desarrollo.
- **Actualizando Protoplanet Express:** Se describen los cambios realizados como parte de esta memoria, distinguiéndose entre aquellos enfocados en su adaptación a la realidad virtual, y los que fueron realizados como mejoras al proyecto.
- **Validación de la solución:** Se evalúa la recepción y eficacia de Protoplanet Express basada en una evaluación realizada tanto para la versión VR como la versión no VR.
- **Conclusiones:** Se expone el aprendizaje obtenido de los anteriores capítulos, evaluándose el cumplimiento de los objetivos planteados.

CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los productos de difusión científica, pese a ser una fuente de conocimiento sobre temas que pueden normalmente ser interesantes para el público general, usualmente llegan a tener problemas en captar su interés, debido a la percepción que suelen tener de ellos como aburridos. La astronomía es uno de estos campos, en el cual, a pesar de que las imágenes derivadas de estos trabajos son atractivas para el público general, la interacción que tienen con ellas se limita a su contemplación.

Una de las soluciones desarrolladas para solucionar este problema es el programa de visualización en realidad virtual Galactic Center VR[Chandra20]. Creado gracias al equipo de astrofísicos conformado por Baltasar Luco, Christopher Russell, Jorge Cuadra y Miguel Sepúlveda, el cual permite ver en primera persona el agujero negro ubicado al centro de la Vía Láctea, enseñando sobre la órbita de las estrellas cercanas a este, y los vientos estelares de estas estrellas. Sin embargo, la complejidad del sistema, y la falta de una narrativa que contextualizara lo que se está viendo, causó que los usuarios no pudieran interpretar lo que visualizaban. A causa de esto, se consideró realizar un nuevo proyecto que usara el enfoque de un videojuego educativo, que fue manifestado en el desarrollo de Protoplanet Express, conceptualizado por el profesor [Cuadra23].

En su estado actual, Protoplanet Express permite al jugador explorar modelos tridimensionales de seis simulaciones de discos protoplanetarios a bordo de una nave espacial, incentivándole a buscar detalles de interés en cada una de estas, dándole información cuando los encuentre. Sin embargo, al ser jugable solo mediante computador, se ha perdido gran parte de la inmersividad que caracterizaba al proyecto del cual está basado.

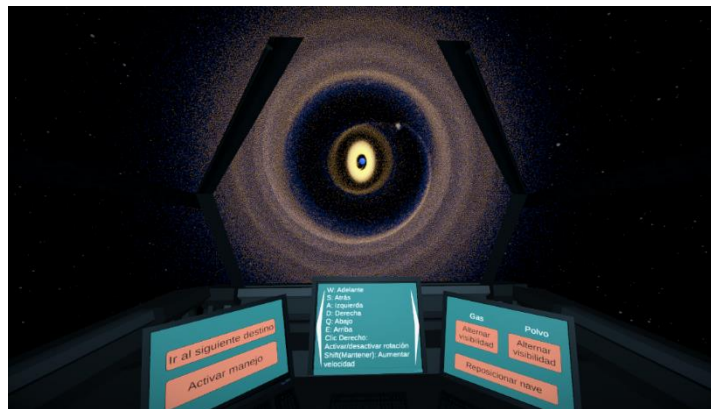


Figura 1: Captura de una de las versiones más actuales de Protoplanet Express. Elaboración propia

La realidad virtual, en su estado actual, consiste en un visor (conocido como *Head Mounted Display*), el cual les permite observar un entorno virtual tal como si se encontraran en ese mismo lugar, además de un par de controles (uno para cada mano), con los cuales pueden interactuar con los objetos dentro de este mundo de forma más natural. Gracias a esto, los jugadores pueden verse más inmersos en las experiencias que se les presentan, haciéndolas además más atractivas.

Cabe destacar que, aunque los videojuegos educativos han mostrado ser una gran herramienta en la presentación de información de forma atractiva, incluso cuando se usa en temas correspondientes a educación superior [Moro20], es necesario manejar un balance entre la atención que el usuario dedica al juego dado su valor de entretenimiento, y la atención que otorga a lo que se le quiere enseñar, por lo que también es un problema que debe ser abordado en esta nueva iteración del proyecto con el fin que cumpla su propósito educativo.

Objetivo general

- Desarrollar una versión del videojuego Protoplanet Express que sea jugable mediante dispositivos de realidad virtual, que pueda ser usado por los investigadores del Núcleo Milenio de Formación Planetaria como una plataforma para exponer y enseñar sobre simulaciones astrofísicas de una forma más inmersiva.

Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de control basado en los actuales dispositivos de realidad virtual.
- Identificar potenciales mejoras que pueden ser realizadas al proyecto.
- Evaluar la eficacia del videojuego en enseñar a los usuarios sobre discos protoplanetarios.

Debido a que el tema a desarrollarse hace referencia a un proyecto que ya se encontraba en desarrollo, se va a dedicar este capítulo a todo lo correspondiente a lo ya encontrado en la última versión realizada antes de la elaboración de esta memoria, la cual fue publicada en *itch.io* el 12 de junio de 2023 [Cuadra23].

1.1 CONCEPTO

Protoplanet Express es un videojuego educativo, en el cual el jugador puede visualizar modelos 3D de discos protoplanetarios, los cuales fueron creados a partir de la información obtenida de simulaciones realizadas por astrofísicos basadas en discos ya existentes. El jugador puede explorar estos modelos mediante una nave espacial, la cual puede mover y rotar libremente. Los astrofísicos que han colaborado con sus simulaciones para este proyecto hacen presencia en sus respectivas simulaciones, mostrándose una ilustración de ellos junto a un texto explicando cada simulación, y las partes de interés de estas.

1.2 GAMIFICACIÓN DE LA EXPERIENCIA

Lo anterior mencionado le otorga al Protoplanet Express todas las funciones necesarias para cumplir como herramienta de difusión científica. Pero con el fin de ofrecer una experiencia que se asemejara más a un videojuego, y llegar a un público más amplio, se implementó a la experiencia un desafío que el usuario deba superar.

El desafío en Protoplanet Express se encuentra en las partes de interés de las simulaciones, referidas como “objetivos” dentro del juego. En la pantalla central de la cabina de la nave se muestran dos listas: Una de objetivos primarios (aquellos que es obligación escanear), y otra de objetivos secundarios (aquellos que se da libertad al jugador de escanear si tiene interés). La tarea del jugador es “escanear” cualquiera de estos, acción que logra al apuntar a su ubicación en el modelo del disco y hacerle clic. Tras esto, se destacará en blanco el objetivo escaneado, mostrándose un diálogo describiendo el objeto o zona que se acaba de escanear.

Con el fin de dar un orden a los objetivos que le son explicados al jugador, ciertos objetivos se encuentran inicialmente ocultos, teniendo como prerequisite el haber escaneado otros objetivos. Esto cumple el propósito adicional de no sobrecargar con información al jugador cuando se le presente un nuevo disco protoplanetario.

De la misma forma, los discos protoplanetarios también siguen un orden secuencial en el cual son mostrados. Para desbloquear el siguiente “destino”, que es como se refiere dentro del juego al cambio de disco que está siendo mostrado, el jugador debe haber escaneado todos los objetivos mostrados en la lista de objetivos primarios. Todo lo anterior mencionado permite expresar la experiencia del jugador mediante un *gameplay loop*. Un *gameplay loop*, de acuerdo con [Czuderna19], es un método que permite expresar las acciones que serán realizadas por el jugador mediante un diagrama de flujo.

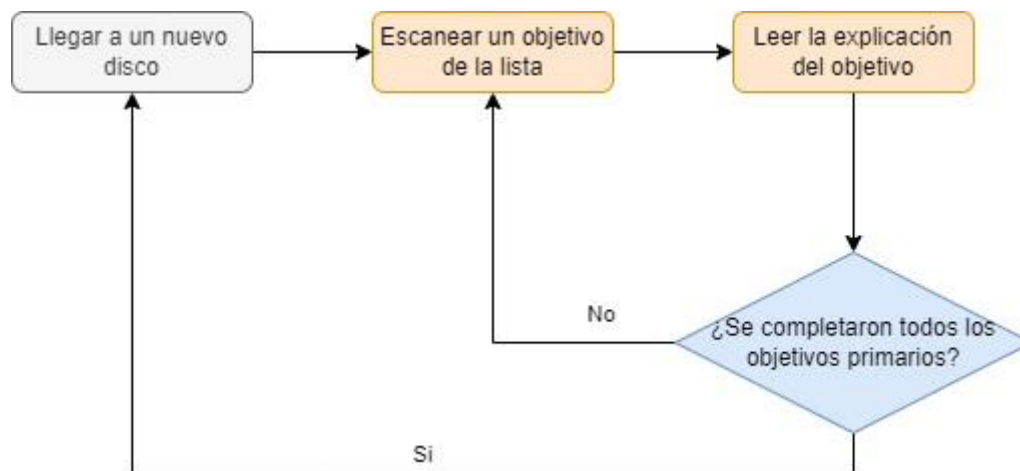


Figura 2: Gameplay loop de Protoplanet Express. Elaboración propia

1.3 ESCENAS DEL JUEGO

En Unity, las escenas son los archivos en los cuales se desarrolla el contenido del juego. Para el caso de Protoplanet Express, solo hay una única escena en funcionamiento en cada momento. A continuación, se nombrarán las escenas usadas por Protoplanet Express, junto a su propósito y los elementos que contienen.

1.3.1 START MENU

Es la pantalla inicial, siendo lo primero que es mostrado al jugador tras iniciar al juego. Se muestra el logotipo de Protoplanet Express, junto a cuatro botones:

- **English:** Cambia el lenguaje usado en el juego al inglés.
- **Español:** Cambia el lenguaje usado en el juego al español.
- **Salir:** Cierra el juego.
- **Empezar:** Permite jugar el juego desde el principio, activando antes un pop-up que contiene las instrucciones de cómo usar el teclado y ratón para interactuar con el juego.



Figura 3: Captura de *Start Menu*. Elaboración propia

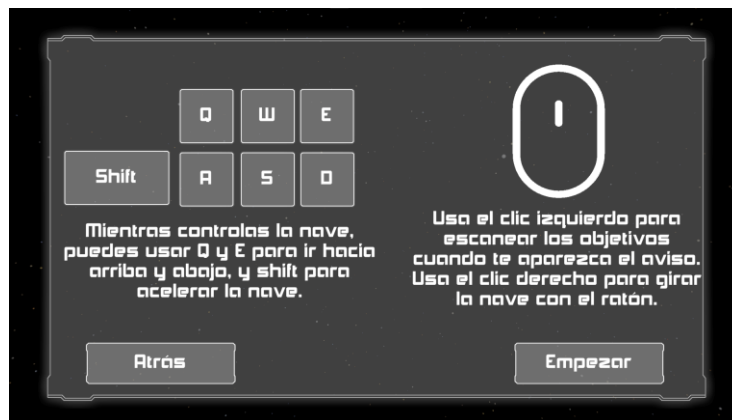


Figura 4: Pop-up con las instrucciones. Elaboración propia

1.3.2 MAIN SCENE

Nombrada así al ser la escena más importante del juego, pues acá se encuentra toda la información sobre discos protoplanetarios que va a ser expuesta al jugador. Esto la convierte también en la escena donde el jugador va a pasar la mayor parte del tiempo.

El diseño de nivel de esta escena considera dos secciones: La nave espacial, y los discos protoplanetarios, refiriéndose a estos últimos como “simulaciones” en el editor, por lo que este término también será usado para referirse a ellos.

1.3.2.1 NAVE ESPACIAL

La nave espacial es el lugar donde aparece el jugador tras iniciar el juego, y del cual no puede salir en ningún momento. El uso de una nave espacial para la exploración de los modelos cumple varios propósitos: otorga al jugador un punto de referencia sobre cómo

puede moverse alrededor de los discos protoplanetarios, permite la creación de interfaces diegéticas (entiéndase como aquellas que forman parte del mundo del juego), y el espacio dentro de esta puede ser modificado en caso de que se quieran añadir funciones adicionales. En esta versión de la nave, el espacio dentro de ella se divide en tres secciones, cada una con sus propias funciones: la cabina, la galería, y el observatorio.

- **Cabina:** Sección frontal de la nave, separada del resto por una puerta. En esta sección es donde se desarrolla el *gameplay loop* descrito anteriormente. Dispone de 3 pantallas, la izquierda, que cuenta con botones para cambiar la simulación actual, activar y desactivar el manejo de la nave, y reposicionar la nave a su posición inicial; la pantalla central, que muestra los objetivos que pueden ser escaneados en la simulación actual; y la pantalla derecha, que muestra un recordatorio de las instrucciones para manejar la nave.



Figura 5: Captura de la cabina. Elaboración propia

- **Galería:** Sección posterior de la nave, en la cual se encuentra información adicional sobre la simulación al jugador. Esto se hace mediante un par de pantallas, una mostrando texto con más detalles sobre la simulación, y la otra, imágenes obtenidas mediante telescopios. También cuenta con un “holograma” de la simulación actual, para que el jugador pueda ver la forma que otorgan el polvo y gas a la simulación, y un ascensor, que otorga acceso al observatorio.



Figura 6: Captura de la galería. Elaboración propia

- **Observatorio:** Sección inferior de la nave, que consiste en una caja transparente de base hexagonal, con un ancho de tamaño similar a la nave, que permite al jugador el ver la simulación actual sin ser obstruido por otros modelos.

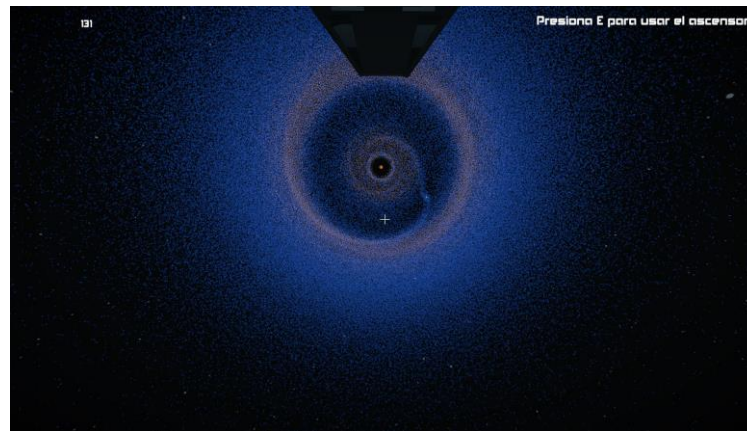


Figura 7: Simulación vista desde el observatorio. Elaboración propia

1.3.2.2 SIMULACIONES

Las simulaciones corresponden a las representaciones 3D de los discos protoplanetarios, de acuerdo con los datos obtenidos mediante simulaciones realizadas por astrofísicos sobre su respectivo sistema. Toda simulación implementada hace uso de una misma plantilla, la cual cuenta con 4 elementos: polvo, gas, cuerpos, y objetivos. Es posible que una simulación no posea uno o más de estos elementos.

- **Polvo:** Corresponde al conjunto de modelos del polvo de la respectiva simulación. Cada uno de estos modelos contiene una representación visual del 10% de las partículas de polvo de la simulación, siendo cada partícula representada por una pirámide triangular. A estos modelos se les es asignado un material naranja semitransparente, lo cual permite que este color sea más notable en las secciones con mayor densidad de partículas.
- **Gas:** Corresponden a las partículas creadas mediante la herramienta *VFX Graph*. Cada partícula que es instanciada por este sistema representa a una partícula de gas. Las partículas poseen un color azul, que les permite contrastar con el color naranja usado por el polvo, además de una velocidad inicial aleatoria (para dar la sensación de movimiento al gas), y un tiempo de vida aleatorio antes de desaparecer y reaparecer en su posición original.
- **Cuerpos:** Corresponden a todos los cuerpos celestes que se encuentran en la simulación, como lo son las estrellas y planetas.
- **Objetivos:** Corresponden a las partes de la simulación que el jugador debe buscar, y que son destacadas una vez las selecciona. Estos objetivos cuentan a su vez con cuatro partes:
 - **Collider:** Es la sección en la cual, si el jugador coloca su puntero sobre esta, se le da la opción de escanear el objetivo.
 - **Highlight:** Es la zona que va a ser destacada en blanco, mientras se muestra el diálogo correspondiente, una vez el jugador haya escaneado el objetivo. Esta puede ser tanto una imagen 2D, en el caso de las formaciones hechas por el polvo y gas, como un modelo 3D, los cuales se superponen sobre los modelos de los cuerpos celestes.
 - **Reposition:** Es la posición y rotación que va a ser usada por la nave mientras el objetivo esté siendo destacado. Este elemento cumple el propósito de asegurarse que el jugador esté mirando el objetivo destacado mientras este está siendo explicado.
 - **Hint:** Es la posición que será usada como referencia para el sistema de ayuda. Si un jugador pasa suficiente tiempo sin haber escaneado un objetivo, el juego asumirá que está teniendo problemas encontrándolo, por lo que elegirá un objetivo al azar, y mostrará una flecha en el centro de la pantalla, la cual apuntará a la posición de *Hint*. Este componente es opcional, y de no estar presente, no será considerado cuando se elija un objetivo al cual apuntar.

1.3.2.3 INTERFAZ DE USUARIO

Otro elemento propio de esta escena es su interfaz de usuario (*UI*) no diegética, entiéndase por esto a aquellos elementos de la interfaz que no existen dentro del mundo del juego, a diferencia de lo que en este caso serían las pantallas ubicadas en la cabina. Esta interfaz se dividirá en dos subinterfases: El *Head-Up Display*, y el menú.

El *Head-Up Display*, o *HUD*, corresponde a la interfaz de juego que se encuentra superpuesta sobre la escena, y entrega información contextual sobre la situación actual [Caroux16]. Los elementos que la componen serán descritos a continuación, en el orden indicado por la siguiente ilustración.

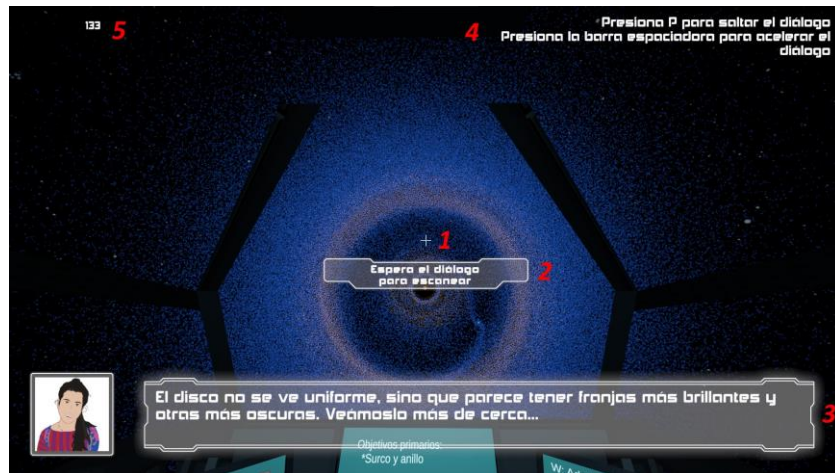


Figura 8: HUD, con sus elementos enumerados. Elaboración propia

1. Durante el juego, el cursor se va a encontrar siempre en el centro de la pantalla (a menos que se haya abierto el menú). Por razones estéticas, la imagen del cursor mostrada por defecto en el sistema operativo ha sido oculta, siendo remplazada con la imagen de una cruz blanca. Es necesario tener algo que represente la ubicación del cursor, debido a que, para interactuar con varios objetos dentro del juego, se debe hacer clic cuando el cursor esté sobre ellos.
2. Una caja de texto, ubicada un poco más abajo del cursor, aparece en pantalla cuando el jugador ha ubicado su cursor sobre un objetivo. Su propósito es evitar los casos en que el usuario hace clic constantemente mientras mueve el cursor sobre la simulación al buscar objetivos, al saber que solo es necesario hacer clic cuando se muestra esta notificación. En la ilustración se puede notar que además indica que no se puede escanear un objetivo mientras haya un diálogo en pantalla.

3. Los diálogos correspondientes a las explicaciones del actual disco protoplanetario cuando se acaba de llegar a él, y de los objetivos tras haber sido escaneados, son mostrados en un cuadro de texto ubicado en la zona inferior de la pantalla. Estos diálogos son acompañados de una imagen ubicada en la esquina inferior izquierda, representando a quienes están “hablando” dentro del juego, y que en la vida real corresponden a aquellos astrofísicos que aportaron la respectiva simulación en la que aparecen.
4. En la esquina superior derecha aparece un listado de instrucciones, las cuales indican una tecla y la acción que causará presionar esta. Cada instrucción es mostrada solo en el contexto que es relevante, como lo es el indicar como saltar el diálogo actual solo cuando hay un diálogo en pantalla.
5. Un indicador de cuadros por segundo, o *FPS* por sus siglas en inglés, es mostrado en la esquina superior izquierda. Este es el único elemento cuya importancia no es para el *gameplay* como tal, sino que es un indicador del rendimiento del juego. Debido a esto, se da la opción de activarlo y desactivarlo en el menú.

Un sexto elemento, que no se encuentra en la ilustración anterior, es la flecha mencionada en la descripción de *Hint* en el subcapítulo anterior. Esta aparece al centro de la pantalla, orbitando alrededor del cursor, apareciendo solo tras un determinado tiempo sin haber escaneado objetivos, y es ocultada si el jugador tiene su cursor sobre un objetivo que puede escanear.

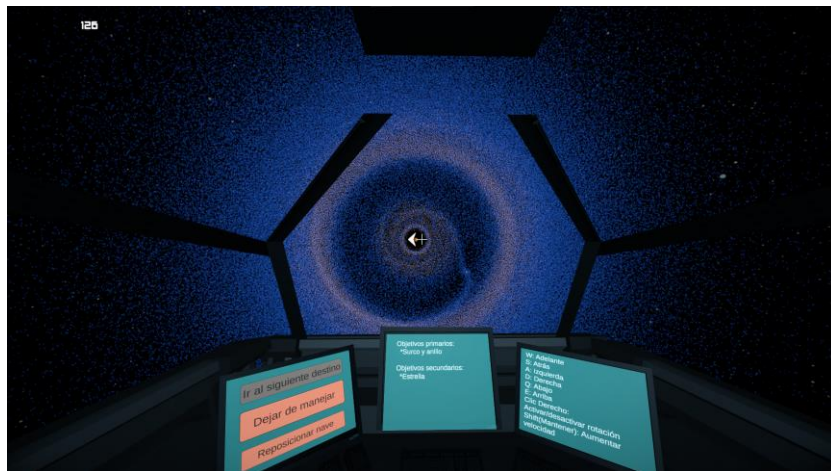


Figura 9: La flecha se encuentra activa y apuntando a un objetivo. Elaboración propia

El menú es una interfaz que puede ser abierta en cualquier momento, mediante la tecla *Esc*, y que da acceso al jugador a una variedad de opciones, con las cuales puede interactuar mediante el cursor, el cual se vuelve visible y deja de ser restringido al centro de la pantalla, descritas a continuación:

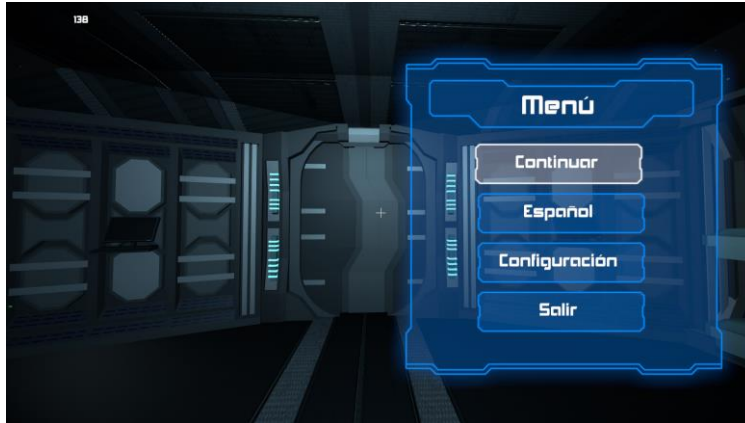


Figura 10: Captura con el menú abierto. Elaboración propia

- **Continuar:** Cierra el menú.
- **Español / English:** Este botón adquiere el nombre del idioma actual del juego, en su propio idioma. Hacer clic en este alterna el idioma usado por lenguaje entre español e inglés.
- **Configuración:** Abre un submenú llamado Configuración, el cual permite modificar ciertas características del juego, las cuales fueron divididas en 4 categorías:
 - **Jugabilidad:** Corresponde a cambios que afectarían tanto los controles como a los elementos relacionados al *gameplay*. La única opción que se da a modificar es la sensibilidad del ratón.



Figura 11: Submenú de opciones de jugabilidad. Elaboración propia

- **Video:** Corresponde a los cambios relacionados a la resolución usada, y el límite de *FPS*, además del contador de *FPS* ubicado en la esquina superior izquierda.

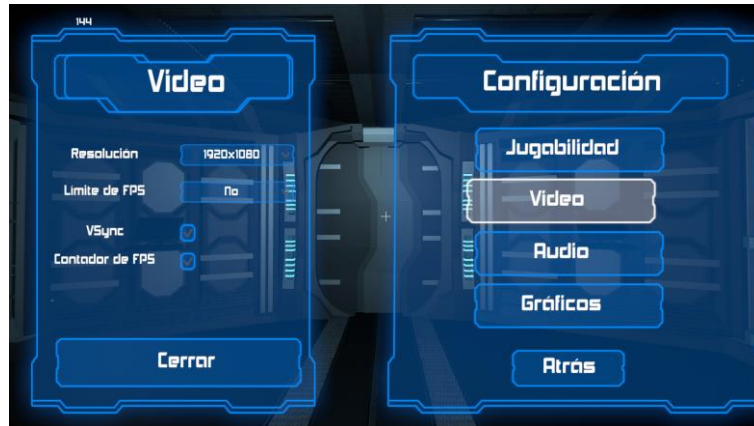


Figura 12: Submenú de opciones de video. Elaboración propia

- **Audio:** Corresponde a los cambios relacionados al volumen de la música y sonidos dentro del juego.

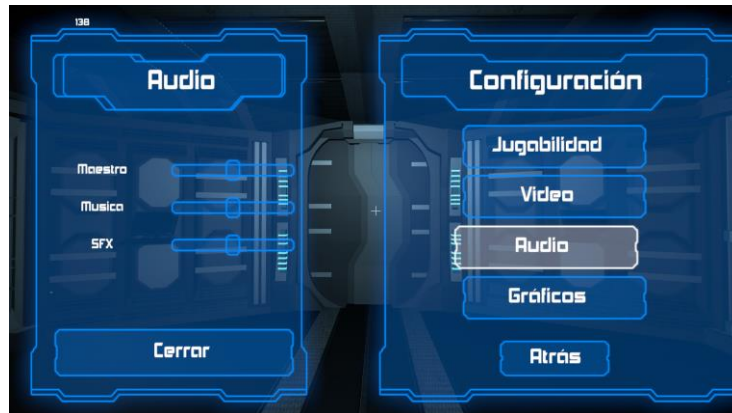


Figura 13: Submenú de opciones audio. Elaboración propia

- **Gráficos:** Corresponde a aquellos cambios que afectan la calidad visual del juego, a excepción de aquellos que ya se encuentran en video. La primera opción, llamada *Preset*s, permite al jugador elegir modificaciones predeterminadas de estos parámetros.



Figura 14: Submenú de opciones de gráficos. Elaboración propia

- **Salir:** Cierra el programa.

1.3.3 SIMULATION MODEL CREATION

Escena que se encuentra en desuso. Esta escena no es accesible para los jugadores, al no ser incluida en el ejecutable, ya que se encontraba diseñada para ser usada exclusivamente en el editor. Contiene exclusivamente de un *GameObject* con un script que, tras asignarle un archivo las coordenadas de cada partícula y ser ejecutado en el editor, exporta un archivo de formato *.asset*, que contiene un *mesh* que representa al archivo asignado, con una pirámide triangular en la posición de cada partícula.

1.4 CREACIÓN DE MODELOS DE DISCOS PROTOPLANETARIOS

Uno de los pilares fundamentales de este proyecto es el poder traducir los modelos obtenidos mediante simulaciones a un modelo tridimensional, el cual puede ser entendido más fácilmente por el jugador. El proceso para lograr esto ha contado con varias iteraciones, describiéndose a continuación aquel realizado en la versión actual de Protoplanet Express.

El primer paso de este proceso consiste en conseguir el archivo con la información que va a ser usada para crear el modelo 3D. A estos archivos se les refiere como *snapshot*, y son el resultado de capturar un instante de la simulación del disco protoplanetario que haya sido ejecutada en un software especializado (habiéndose usado *phantom* para la mayoría

de los sistemas incluidos). No se profundizará en el proceso de realizar esta simulación, dado que está fuera del alcance de esta memoria al ser trabajo de un astrofísico.

La información es presentada en forma de tabla, siendo las filas cada una de las partículas, y las columnas distintas propiedades de la partícula. El valor que representa cada columna varía entre los *snapshots*, siendo la única constante las tres primeras columnas, representando los valores de la posición en los ejes X, Y y Z, respectivamente.

Sin embargo, la información contenida en alguna de las otras columnas en la mayoría de los casos es necesaria para distinguir si una partícula es polvo, gas, u otra cosa. Basado en esto, se creó un script en Python que fuera capaz de obtener las coordenadas de las partículas deseadas y pasarlas a un archivo de texto (.txt) en un formato más fácil de procesar.

Los parámetros que tiene en consideración este script son:

- **snapshot:** Un string que contiene el nombre del *snapshot*.
- **output:** Un string que contiene el nombre del archivo que será creado por el script.
- **variableIndexDict:** Un diccionario que contiene el nombre e índice de las columnas que corresponden a propiedades que serán usadas para distinguir las partículas.
- **randomize:** Un bool que indica si se va a aleatorizar el orden de las partículas en el archivo a crear.
- **isHolo:** Un bool que indica si el archivo será usado para crear el holograma que es usado en la galería de la nave. Esto elimina las partículas más lejanas, lo que ayuda a mantener la ilusión de que el holograma solo se proyecta en la zona deseada.
- **maxPercentile:** El porcentaje de partículas más cercanas que no será eliminado si se está creando un holograma.
- **isItype:** Un bool que indica si se va a utilizar la propiedad *iType* que poseen las partículas en ciertos *snapshots*, la cual puede ser correlacionada a si esta corresponde a polvo, gas u otro.
- **itypeSet:** Un set que contiene los valores de *iType* que van a ser usados, si es que *isItype* es *True*. Si el valor del *itype* de una partícula no se encuentra en este set, será descartada.
- **separateItype:** Un bool que indica si se van a crear dos archivos en vez de uno, correspondiendo estos al gas y polvo. Esto se da en casos de que las partículas de

ambos posean el mismo valor para *itype*. Esta separación es realizada en base al valor de otra propiedad (el cómo se separarán varía de acuerdo con la simulación, siendo el código modificado para ello).

- **itypeToSeparate:** Un string o integer, el cual corresponde al valor de *itype* que será usado si *separateItype* es *True*. Aquellas partículas con otro valor serán descartadas.
- **gasProportion:** Un integer que indica el porcentaje de partículas que serán asignadas al archivo correspondiente al gas. El resto de las partículas serán asignadas al archivo correspondiente al polvo.

Este script debe ser usado en conjunto a un *IDE*, debido a que, para poder cambiar el valor de los parámetros antes mencionados, requiere modificar el código.

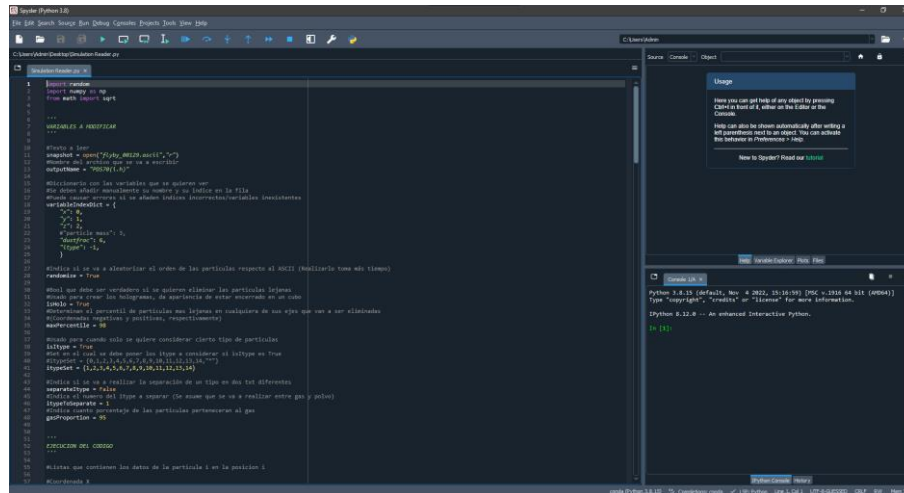


Figura 15: Script con los parámetros a ser modificados de acuerdo con el *snapshot*. Elaboración propia

Una vez se cuenta con los archivos correspondientes al gas, polvo, y al holograma, se procede a crear el modelo tridimensional del polvo.

En primera instancia, esto se hacía creando el modelo dentro de Unity, dentro de la escena *Simulation Model Creation*, cuyo funcionamiento ya fue explicado anteriormente.

Aunque el videojuego presentaba un rendimiento aceptable usando estos modelos, el tamaño de los archivos producidos por este método era mayor de lo que se esperaba, en base a la cantidad de vértices y triángulos de los modelos.

Esto llevó a que la elaboración de estos modelos fuera realizada en Blender. Este software cuenta con una API para Python, que permite editar cualquier data que la interfaz de usuario puede. Gracias a esto, se escribió un script de Python que siguiera la misma lógica

aquel usado en *Simulation Model Creation*, escrito en C#, produciendo modelos visualmente idénticos, pero con una reducción de más de la mitad de su tamaño.

El modelo del gas y el holograma no hacen uso de un *mesh*, optándose por hacer uso de VFX Graph para la visualización de estos. Esta es una herramienta que permite crear efectos visuales mediante sistemas de partículas, los cuales pueden contener millones de partículas individuales sin un impacto substancial en el rendimiento. Las razones por las cuales se decidió usar este sistema solo para estos son meramente estéticas, siendo el movimiento individual de cada partícula algo que se encontró más apto para representar al gas.

El proceso para crear estos modelos requiere de un archivo *Point Cache* (.pcache). Estos contienen una lista con las coordenadas de cada uno de los elementos a los que hace referencia el archivo. Debido a que esta lista presenta el mismo formato que el archivo de texto creado antes, esta puede ser usada para sobrescribir la lista de otro archivo *Point Cache* que puede ser usado como plantilla.

Una vez se cuenta con este archivo, se debe crear una copia de otro archivo VFX usado para el gas u holograma, que será usado de plantilla, y remplazar su *Point Cache* con el recién creado.

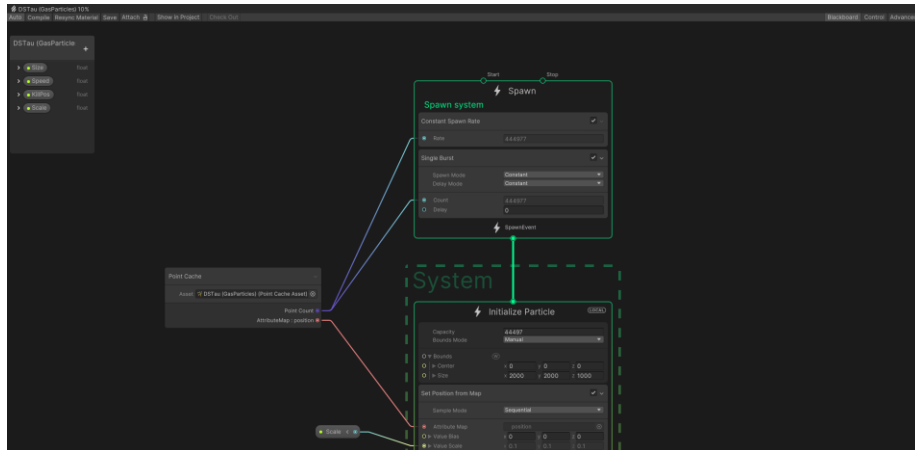


Figura 16: Nodos del sistema de efectos visuales. Elaboración propia

CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL

Los videojuegos, tanto con propósitos educativos como aquellos que son jugables en realidad virtual, son temas con una gran cantidad de estudios realizados sobre ellos. Basándose en una selección de estos, en este capítulo se van a presentar las bases fundamentales sobre las cuales se basa este proyecto, además de cómo va a ser abordado su desarrollo.

2.1 VIDEOJUEGOS SERIOS

2.1.1 DEFINICIÓN

De acuerdo con la Real Academia Española, un videojuego es un “Juego electrónico que se visualiza en una pantalla”, entendiéndose los juegos como productos cuyo propósito es entretener a quienes los consumen. Sin embargo, existe un conjunto de videojuegos que son creados con un propósito distinto al entrenamiento, dejando a este en segundo plano, los cuales son actualmente definidos como videojuegos serios.

Este término es introducido por primera vez en el libro *Serious Games* [Abt70], en el cual los define como aquellos juegos que son explícitamente creados con un propósito educativo, remarcando en su eficiencia en estudiantes al ser más motivantes y su eficiencia en comunicar conceptos.

Este término sería luego popularizado por Ben Sawyer, quien publicó un artículo donde los define como aquellos juegos creados por la industria de videojuegos que tienen la adquisición de conocimiento como una de sus principales características. [Wilkinson16]

2.1.2 CLASIFICACIÓN

No existe un consenso sobre las distintas clasificaciones que existen para los videojuegos serios. De acuerdo con [Zyda05], estos pueden ser clasificados de acuerdo con su propósito, los cuales son:

Salud, política pública, comunicación estratégica, entrenamiento y simulación, evaluación de juego, educación, e ingeniería de rendimiento humano

Esta es similar, pero no completamente igual a la clasificación propuesta por [Alvarez08], quienes los distinguen de acuerdo el área en que son usados, mencionando que esta no es exhaustiva:

Defensa, educación y entrenamiento, publicidad, información y comunicaciones, salud, cultura, y activismo.

[Djaoute11] proponen una clasificación más detallada para los videojuegos serios, la cual llaman el modelo *Gameplay / Purpose / Scope* (G/P/S). Esto hace referencia a los aspectos que toman en consideración:

- **Gameplay:** Se refiere a la jugabilidad, distinguiendo los juegos entre aquellos que tienen objetivos y los que no.
- **Purpose:** Se refiere al propósito que tiene el videojuego, distinguiendo entre dar un mensaje, entrenar, o intercambiar información
- **Scope:** Se refiere al público objetivo al que se quiere llegar, distinguiendo tanto por sector (ecología, política, religión, etc.), como si es para un público general, estudiantes o profesionales



Figura 17: Representación del modelo G/P/S. Fuente: [Djaoute11]

Cabe destacar que, a pesar de las diferencias entre clasificaciones, todas poseen la categoría de educación, que representa el principal objetivo del proyecto al que hace referencia esta memoria, con la consideración adicional de que en el modelo G/P/S este correspondería a *Purpose*, siendo su *Scope* la investigación científica.

2.1.3 VIDEOJUEGOS EDUCATIVOS EN LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Como se puede notar, la educación se encuentra estrechamente relacionada con los videojuegos serios, siendo prácticamente un sinónimo de la primera definición acuñada de juegos serios. Sin embargo, hay una gran variedad de temas sobre los cuales se puede educar, cada uno con sus propias complejidades y público objetivo, las cuales hay que tomar en consideración para poder alcanzar el equilibrio tal como lo plantea [Ortiz23].



Figura 18: Representación del equilibrio en juegos educativos. Fuente: ANID

En el contexto de la difusión científica, el ideal de este equilibrio es lo que se llama la “Ciencia de Contrabando”. Esto se refiere a cuando el jugador, fuera de un contexto formal donde normalmente se aprende sobre difusión científica, adquiere los conocimientos sobre el tema a difundir.

Además, también plantea como en un videojuego educativo de difusión científica, el científico participa de forma activa junto a los desarrolladores, validando no solo la información que se está enseñando, sino que también que la forma en que se está enseñando sea coherente. Este es un elemento que ya ha sido parte del desarrollo de Protoplanet Express desde sus inicios, ya que todos los cambios al contenido y presentación del juego son realizados bajo la supervisión del doctor en astronomía Jorge Cuadra.



Figura 19: Representación del ciclo de creación. Fuente: ANID

2.1.4 ESTADO DEL ARTE

Como punto de referencia, a continuación, se presentan algunos videojuegos educativos, junto a una descripción sobre como abordan el enseñar a los jugadores sobre sus temas.

- **Minecraft Education**

Basado en el popular videojuego de construcción y exploración *Minecraft*, esta versión del videojuego posee las herramientas necesarias para que un profesor pueda monitorear a los alumnos que se encuentren conectados en la misma partida multijugador, añadiendo objetos que permitan una mayor personalización a una partida normal, y mapas personalizados que abordan temas en específico para enseñar.

Aunque una atractiva herramienta al basarse en un juego popular entre la demografía más joven, debido a la libertad que otorga, fácilmente puede desequilibrarse este método en favor de la entretenimiento, requiriendo que haya una persona que monitoree que los jugadores presten atención al contenido.

- **Discovery Tour**

Basada en la franquicia de videojuegos *Assassin's Creed*, esta serie de videojuegos educativos presenta a los jugadores con una fiel recreación de lugares y épocas históricas, como el antiguo Egipto o la antigua Grecia.

Los jugadores, tras elegir un tour entre los propuestos, son transportados a un lugar que incluya cosas relacionadas a este, como lo puede ser estructuras, objetos o

personas, denominados estaciones, y se les permite recorrer libremente el lugar, pero con una línea que indica el recorrido que les permite ver todas las estaciones. Al acercarse a una estación, el jugador puede activar una narración que explica lo que está viendo, además de texto e imágenes que otorgan más detalle.

- **Universe Sandbox**

Este es un videojuego del género *sandbox*, lo cuales se caracterizan por la libertad que otorgan al jugador y la falta de objetivos predefinidos, siendo el jugador guiado por su curiosidad y ambición.

Este juego le permite al jugador crear y destruir cuerpos celestes, modificar su trayectoria, ver la formación de nebulosas, y otras acciones relacionadas a la astronomía, entregándole al jugador información contextual sobre lo que se está mostrando.

2.2 REALIDAD VIRTUAL

2.2.1 DEFINICIÓN

La realidad virtual (usualmente abreviado VR por sus siglas en inglés), se refiere a aquellas tecnologías que permiten a quienes la usan darle una experiencia sensorial del entorno virtual en el cual se encuentran. A pesar de la gran cantidad de dispositivos que han ido evolucionando con el tiempo, todos estos tienen en común el uso de un *Head-Mounted Display*, los cuales, mediante el mismo principio usado por el estereoscopio [Wheatstone38], creado en 1838, muestran una perspectiva ligeramente distinta de una imagen 2D para cada ojo, creando la ilusión de estar viendo una imagen 3D.

Los dispositivos de realidad virtual son un creciente mercado, con un estimado de 10 millones de ventas para el actual año 2023, y se estima que se duplique para el año 2026 de acuerdo con International Data Corporation[Needham23]. Varios de estos dispositivos son capaces de funcionar sin la necesidad de ser conectados a un computador, conocidos como dispositivos *standalone*.

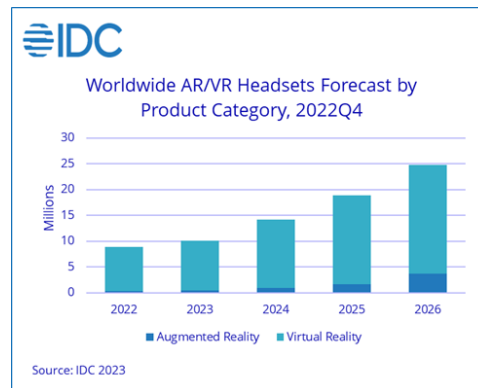


Figura 20: Predicción de ventas de dispositivos de realidad virtual. Fuente: IDC

2.2.2 VR Y VIDEOJUEGOS

En los videojuegos, uno de los aspectos más importantes es la interacción que tiene el usuario con el videojuego. Es por esta misma razón que al hablar sobre VR y videojuegos se debe destacar a los controles que se usan con este fin.

El primero de estos dispositivos presentado al mercado, en 1987 fue el DataGlove, creado por la empresa VPL Research, que junto al EyePhone (su propio HMD), permitía por primera vez interactuar con el mundo virtual mostrado mediante los gestos de la mano.

En la actualidad, los dispositivos usados con este fin consisten en un par de controles simétricos, uno para cada mano, los cuales son sujetados constantemente y poseen, al menos, una entrada para indicar direcciones, un botón para seleccionar, y uno para simular agarres.



Figura 21: Controles usados por el set de VR Meta Quest 2. Fuente: Meta

La diferencia entre la cantidad de botones y la posición de estos entre distintos dispositivos hace necesario que se deba tener especial consideración a que dispositivos se quiere apuntar el videojuego a desarrollar.

2.2.3 MOTORES DE VIDEOJUEGOS

Dada la complejidad que conlleva el desarrollo de videojuegos, la cual es aún mayor cuando se debe manejar un entorno tan fragmentado como lo es la realidad virtual, lo más común es hacer uso de un motor de videojuegos ya desarrollado por otra empresa. Los más destacados de estos son:

- **Unity**

Es un motor de videojuegos tanto 2D como 3D, el cuál es capaz de exportar sus proyectos a una gran variedad de plataformas, incluyendo Windows, Mac, Linux, Nintendo Switch, Xbox y Android (entre otros). Es el motor más usado en los videojuegos disponibles en la tienda virtual *Steam*¹.

Cuenta con su propio framework para manejar interacciones en entornos de realidad virtual, además de facilitar el desarrollo para una gran cantidad de distintos dispositivos de realidad virtual.

- **Unreal Engine 5**

Motor de videojuegos especializado en juegos 3D (pero también capaz de desarrollo 2D), el cual también es capaz exportar sus proyectos a una gran variedad de plataformas. Este motor se destaca principalmente por su capacidad de producir gráficos fotorrealistas, con acceso a la librería *Megascans* para obtener modelos de alta fidelidad.

Este motor también cuenta con las herramientas y documentación necesaria para el desarrollo de videojuegos en realidad virtual, con soporte para las APIs más usadas en este entorno mediante plugins (OpenXR, Oculus, Windows Mixed Reality y SteamVR).

¹ <https://steamdb.info/tech/>

2.2.4 ESTADO DEL ARTE DE LOS DISPOSITIVOS DE REALIDAD VIRTUAL

Dada la gran evolución que ha sufrido la realidad virtual en la última década, y como estos cambios impactan en las consideraciones a tener en el desarrollo, es necesario saber sobre los dispositivos más destacables en la actualidad. Teniendo en consideración que este videojuego será accesible mediante *Steam*, los dispositivos presentados corresponden a aquellos que son los más usados en esta plataforma².

- **Oculus Quest 2**

Dispositivo de realidad virtual con la mayor cantidad de usuarios, atribuible principalmente a su bajo coste y la no necesidad de conectarlo a un computador. Esto último es gracias a que posee un procesador Qualcomm Snapdragon XR2, SoC basado en la arquitectura del Snapdragon 865, SoC usado en celulares Android de gama alta lanzados el año 2020. Aunque el rendimiento de este dispositivo es menor a lo que se puede esperar de un computador, también existe la posibilidad de conectarlo a uno, tanto por cable como transmitiendo las imágenes del computador al HMD.

Los controles de estos dispositivos poseen 3 botones (uno reservado para interacciones con la interfaz de Oculus Quest, imposibilitando su uso para propósitos dentro del videojuego), 1 sensor, 2 gatillos, y 1 joystick.

- **Valve Index HMD**

Desarrollado por la misma compañía dueña de *Steam*, *Valve Corporation*, este dispositivo fue lanzado en 2019, requiriendo de ser conectado mediante un cable al computador para poder ser usado. Para poder rastrear el movimiento del *HMD* y de los controles, se necesita además instalar en la habitación en la cuál va a ser usado al menos un par de estaciones base, cada una de estar debiendo estar conectadas a un tomacorriente.

Los controles asociados a este dispositivo poseen 3 botones (uno de ellos reservados para abrir el menú del sistema, imposibilitando su uso para propósitos dentro del videojuego), 1 touchpad, 1 gatillo, 1 joystick, y un sensor para la posición de los dedos. Sin embargo, este cuenta con compatibilidad con los controles *HTC Vive* y *HTC Vive Pro*. Ambos controles, aunque poseen las mismas entradas, estas son diferentes al control antes mencionando, poseyendo en su lugar: 3 botones (uno de ellos

² Basado en los visores de RV usados en Steam <https://store.steampowered.com/hwsurvey/Steam-Hardware-Software-Survey-Welcome-to-Steam>

reservados para abrir el menú del sistema), 1 trackpad (el cual cumple la función de joystick), y 1 gatillo

- **Meta Quest 3**

Sucesor de Meta Quest 2, las diferencias de este dispositivo a su antecesor radican principalmente en su nuevo procesador más potente (Snapdragon XR2 Gen 2), mayor resolución de las imágenes mostradas, y sus lentes que permiten la realidad mixta. Esto último hace referencia a la capacidad del dispositivo de combinar las imágenes del mundo real capturadas por la cámara con el mundo virtual, permitiendo además que ambas interactúen entre sí (a diferencia de la realidad aumentada, donde se limita a mantener la posición de los objetos virtuales de forma relativa a un objeto físico). Posee retrocompatibilidad con los juegos desarrollados para Meta Quest 2.

- **Apple Vision Pro**

Descrito por Apple como un dispositivo de computación espacial, este apunta principalmente a la realidad mixta, permitiendo realizar todas las funcionalidades que se encuentran en un computador, como navegar por internet o enviar mensajes, pero con el añadido que, usando sus cámaras, permite al usuario crear pantallas virtuales que se muestran interactúan con el entorno. Aun así, este cuenta con todas las características necesarias para poder ser usado como un dispositivo de realidad virtual.

Este dispositivo no incluye controles, ya que se basa completamente en los gestos de las manos para interactuar con las ventanas que se muestran gracias al dispositivo, habiéndose anunciado compatibilidad únicamente con los controles usados por las consolas *PlayStation 5* y *Xbox Series X/S*.

Sin embargo, su elevado precio de salida de \$3499 y un lanzamiento inicial reducido a únicamente los Estados Unidos hacen difícil predecir si este producto va a tener un impacto notable en el mercado.

2.3 DESARROLLO

En este subcapítulo se va a abordar el cómo se realizará el desarrollo del videojuego, lo que incluye tanto el *software* usado para este propósito cómo la metodología usada para organizar lo que va a ser implementado.

2.3.1 METODOLOGÍA

Para este trabajo, se propone una metodología que se adapte a las necesidades que hay que tomar en consideración al desarrollar un videojuego. Además, esta debe ser una metodología ágil, la cual permita que cada cierto intervalo se pueda entregar un producto que pueda ser probado tanto por cliente como usuarios, y se pueda incorporar la retroalimentación en futuras entregas.

- **Kanban**

Este es un enfoque que prioriza visualizar y controlar el flujo de trabajo, mediante un tablero, en el cuál cada columna representa el estado de una tarea por hacer (que usualmente corresponden a “Por hacer”, “En desarrollo” y “Realizado”), y las tareas son movidas a la siguiente columna de acuerdo con su estado. El uso de este enfoque permite no solo organizar fácilmente las tareas, sino que además permite incorporar nuevas tareas fácilmente, lo cual puede darse cada vez que se reciba retroalimentación.

- **Extreme Programming (XP)**

Es una metodología ágil que se centra en la entrega rápida y continua de software. Esta requiere una estrecha comunicación con el cliente, ya que lo incorpora en la planificación y se necesita que entregue constantemente su *feedback* para futuras planificaciones. Esto es aplicable para este proyecto, dada la factibilidad de poder hacer reuniones semanales con el cliente (quien corresponde también al mentor de esta memoria, Jorge Cuadra). No se podrán aplicar todas las prácticas de XP, dado que varias están hechas con un equipo de desarrollo en mente, aunque de acuerdo con un estudio realizado por [Koutonen13], es común hacer uso de solo algunas prácticas incluso en equipos, además de mezclarlas con otras metodologías (como se planea realizar en este caso al hacer uso de un tablero Kanban).

2.3.2 TECNOLOGÍAS USADAS

- **Unity**

Motor de videojuegos usado por la versión actual del proyecto, y con el cuál se van a implementar las funcionalidades necesarias para realidad virtual, dado a la cantidad de tiempo que se usaría si se moviera el desarrollo a otro motor.

Sin embargo, esta motivación no significa que Unity no sería el principal candidato, dado que este no solo ya posee las herramientas necesarias para facilitar la integración de realidad virtual a los juegos desarrollados en este motor, sino que también es actualizada constantemente para adaptarse a los nuevos estándares que surgen de este medio que evoluciona rápidamente.

- **Blender**

Herramienta *FOSS* usada para la creación, animación y edición de modelos tridimensionales, además de otras actividades relacionadas a este ámbito. Esto permite la creación de objetos personalizados que se adecuen a las demandas del proyecto en el caso de que no se puedan usar alternativas en internet, ya sea por la falta de estas, su precio, o su licencia. Además, esta posee una API para Python, la cual permite automatizar ciertas tareas que consumirían demasiado tiempo de otra forma, como se ha dado en el caso de creación de modelos que consisten en cientos de miles de pirámides.

CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE SOLUCIÓN

En este capítulo se van a presentar los cambios realizados en el proyecto respecto a la versión descrita en el capítulo 1. Estos cambios están divididos de acuerdo con cada punto de mejora que fue discutido y anotado de acuerdo con lo propuesto en la metodología descrita en el capítulo 2.3.1, aunque se debe considerar que su orden no necesariamente corresponde a cuando fueron propuestos inicialmente o implementados.

3.1 CAMBIOS MISCELÁNEOS

Los cambios realizados como parte de esta memoria no se limitan al propósito de una adaptación a realidad virtual, siendo varios de estos realizados para mejorar la experiencia en la versión No VR (también referida como versión *Flat Screen*), o en ambas versiones. La mayoría de estos fueron realizados antes de realizar los cambios necesarios para que Protoplanet Express fuera jugable mediante el uso de un set de realidad virtual, debido a que se tenía planeado su lanzamiento en *Steam*³, y se decidió priorizar el refinamiento de la versión *Flat Screen* de acuerdo con el *feedback* recibido, debido a que esta versión es la más accesible para la mayoría de las personas, y la opción de jugar mediante VR sería añadida más adelante mediante una actualización.

3.1.1 SISTEMA DE GUARDADO

En anteriores versiones de Protoplanet Express, empezar una partida implicaba comenzar desde el principio, sin importar el progreso realizado por el jugador anteriormente, debido a que no se mantenía un registro del progreso del jugador. Este hecho también aplica para los cambios realizados mediante el submenú Configuración, los cuales también son reiniciados. Para solucionar esto, se implementó un sistema de guardado, el cuál almacena ciertas variables en un archivo *JSON*.

En el caso de Configuración, estas variables corresponden a todas las opciones dadas al jugador para modificar. Los valores de este menú son establecidos a los presentes en el *JSON* el momento en que el jugador accede a *Main Scene*, y son guardados en este archivo cada vez que el jugador los modifica.

En el caso del progreso, solo se almacena la última simulación a la cual el jugador ha llegado, y si es que el juego ha sido completado. El momento en que el jugador accede a

³ https://store.steampowered.com/app/2601120/Protoplanet_Express/

Main Scene, empezará en la última simulación que haya visitado, remplazándose el diálogo introductorio mostrado en la Tierra, con el mostrado cuando el jugador acaba de llegar a un disco protoplanetario.

3.1.2 CAMBIOS A LA PANTALLA INICIAL

La pantalla inicial ahora cuenta con más botones, habiéndose modificado además el funcionamiento de los antes presentes. El funcionamiento de cada uno es:

- **Empezar:** Empieza el juego desde el inicio. Si el jugador ya ha jugado antes, se advierte que usar esta opción eliminará su progreso anterior.
- **Continuar:** Empieza el juego desde la última simulación que haya visitado
- **Instrucciones:** Muestra un pop-up que contiene las instrucciones de cómo usar el teclado y ratón para interactuar con el juego, corresponde al anteriormente mostrado al usar el botón Empezar.
- **Idioma:** Botón cuyo nombre depende del idioma actual. Hacer clic en éste muestra una lista de los idiomas disponibles, y seleccionar uno de estos modifica instantáneamente el idioma usado por el juego al elegido.
- **Créditos:** Muestra un pop-up con los créditos del juego.
- **Salir:** Cierra el juego.



Figura 22: Captura de la nueva pantalla inicial. Elaboración propia

3.1.3 CAMBIOS A LA CABINA

La cabina anterior, aunque cumplía su propósito de permitir al jugador controlar la nave, e informar sobre los actuales objetivos, contaba con dos problemas: su diseño visual, y las pantallas.

El problema visual hace referencia a cómo, aunque la nave en la cual se encuentra el jugador tiene un diseño inspirado en la ciencia ficción, dentro de la cabina solo se encontraba un escritorio con tres monitores de computador. Además, el *mesh* de las ventanas presentaba algunos problemas visuales, como el tener barras de metal y ventanas completamente planas, y tapar el techo de la nave, obstruyendo parcialmente la visualización de los discos.

El problema presentado por las pantallas era causado porque las tres, junto al escritorio, consisten en un solo modelo. Esto causa que no puedan ser reposicionadas ni redimensionadas individualmente. Esto es problema especialmente para la pantalla central, debido a que la cantidad de objetivos que pueden encontrarse en un solo disco causa que el texto en esta deba ser reducido a un tamaño que puede complicar su lectura.

Ambos problemas fueron solucionados mediante el diseño de nuevos modelos en *Blender*, inspirados parcialmente por el videojuego de realidad virtual *Aircar*, pero manteniendo la estética *low poly* que poseen los modelos ya usados por la nave.



Figura 23; Comparación de la cabina anterior (Arriba) y la cabina actual (Abajo). Elaboración propia

La interfaz usada por las pantallas fue modificada, para que la tipografía, color, y *sprites* usados fueran consistentes con aquellos usados en la pantalla de inicio y las otras interfaces de usuario usadas en la escena. Estos cambios también fueron aplicados a las pantallas presentes en la galería. El ancho de la pantalla central fue incrementado, permitiendo separar las listas de objetivos primarios y secundarios en la sección izquierda y derecha de esta, respectivamente. Además, se añadió un botón que se muestra solo al iniciar esta escena, mostrándose el diálogo introductorio cuando se es presionado, a diferencia de versiones anteriores en las cuales este se activaba automáticamente.

La interfaz encargada de los diálogos pasó de ser una interfaz no diegética, a ser mostrada en la pantalla central. Este cambio fue realizado en consideración de la futura implementación de la realidad virtual, debido a que permitiría usar esta misma interfaz para ambas versiones. En caso de que el jugador abandone la cabina, esta volverá a ser mostrada en la parte inferior de la pantalla.

3.1.4 CAMBIOS A LA GALERÍA

Las ilustraciones mostradas en la galería de la nave corresponden a imágenes obtenidas mediante telescopios de la respectiva simulación en las cuales son mostradas. Debido a comentarios de algunos usuarios, los cuales manifestaron su confusión al ver tales imágenes y no saber cómo interpretarlas, una descripción fue añadida a cada imagen, la cual es mostrada en una nueva pantalla ubicada a la derecha de las imágenes.

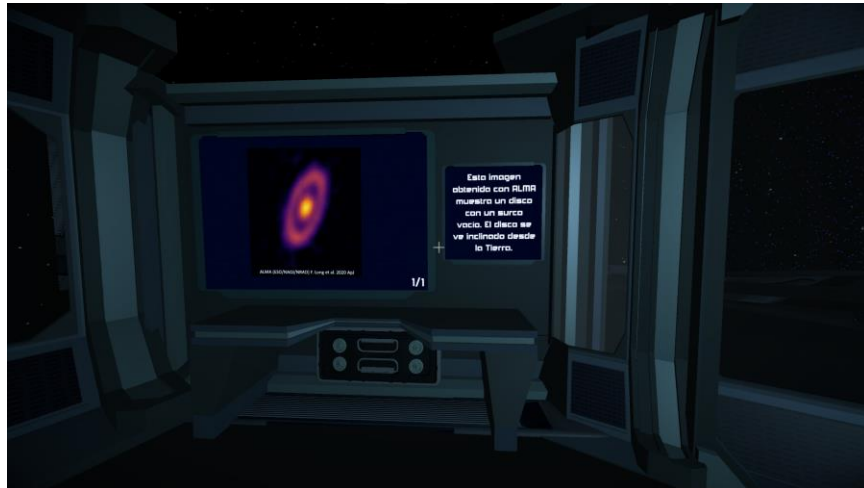


Figura 24: Nueva pantalla con texto acompaña a las imágenes de la galería. Elaboración propia

3.1.5 REOBSERVACIÓN DE OBJETIVOS

Anteriormente, un objetivo solo era descrito cuando era escaneado. Debido a esto, si un jugador quisiera volver a leer la descripción dada sobre alguno de estos, su única opción era volver a empezar el juego desde el principio, llegar a la simulación en la cual se encontraba, y escanear tal objetivo.

La solución a tal problema fue implementada mediante una nueva interfaz, la cual se encuentra presente en el monitor central de la cabina. Esta interfaz es mostrada sólo cuando el jugador ya ha completado el juego, reemplazando a la lista de objetivos. En ella se muestran botones con el nombre de los objetivos, mostrándose solo un máximo de seis, y botones en forma de flecha en los laterales permiten cambiar los objetivos mostrados en caso de que haya más que este valor en un disco. Hacer clic en uno de estos botones reproducirá la misma animación que cuando este es escaneado.



Figura 25: Interfaz para reobservar objetivos. Elaboración propia

3.1.6 CAMBIOS A LA CANTIDAD DE PARTÍCULAS POR MODELO

Una de las opciones de configuración más importantes que se encuentra en el juego es la cantidad máxima de partículas. Esta cantidad puede diferir en gran medida entre simulaciones, siendo el caso con menos partículas la simulación del disco protoplanetario *HR8799*, con 120.863 partículas, y aquel con mayor cantidad de partículas correspondiendo a *IRAS04158+2805*, con 1.654.490 partículas. La cantidad de partículas está directamente correlacionada con el rendimiento del juego, requiriendo las cantidades más altas de partículas con un mejor *hardware*. Por ende, la implementación de esta

característica permitiría el poder experimentar el juego en un mayor rango de computadores.

En sus versiones anteriores, la cantidad máxima de partículas de polvo y gas que pueden estar presentes eran elegidas por el usuario mediante un porcentaje. En el menú *Configuración*, en la pestaña *Gráficos*, al momento de seleccionar una cantidad máxima de partículas, se mostraba una lista de porcentajes múltiplos de diez. El juego contaba con 10 modelos de polvo y 10 efectos visuales de gas para cada simulación, siendo mostrados sólo los correspondientes a la opción elegida por el jugador.

Esta implementación, aunque ayudaba a cumplir su propósito inicial, contaba con un problema fundamental, que era la variación de la cantidad de partículas entre simulaciones antes mencionadas. Tomando como ejemplo las simulaciones anteriores, habiendo elegido la opción de mostrar el 80% de las partículas, la cantidad de *FPS* al encontrarse en *HR8799* va a ser muy diferente que cuando se esté mostrando *IRAS04158+2805*, debido a la diferencia de partículas entre ambas. Esto implica que, para que el jugador pueda experimentar el juego a la cantidad de *FPS* que considere aceptable, deberá modificar esta opción en cada simulación.

Por este motivo, se cambió la implementación de esta característica, pasando a una donde el máximo de partículas corresponde a cantidades fijas, siendo estos múltiplos de 100.000. Este cambio requirió la realización de cambios en la creación de modelos y efectos visuales para el polvo y el gas, respectivamente.

En el caso del polvo, las simulaciones pasan de tener 10 modelos, cada uno con 10% de las partículas de polvo, a tener un modelo por cada 100.000 partículas en total que posea la simulación, siendo la proporción de partículas que posee cada modelo igual a la proporción de partículas de polvo respecto al gas. Por ejemplo, si un modelo posee 735.000 partículas de polvo, y 315.000 partículas de gas (Una proporción 70/30), cada modelo creado y usado va a poseer 70.000 pirámides triangulares, a excepción de uno, que poseerá solo 35.000. Un cambio adicional que se realizó fue que el tamaño de las pirámides variara entre modelos, siendo las que poseen un mayor tamaño las últimas en ocultarse a medida que el jugador disminuye la cantidad de partículas. Esto permite que, aún en cantidades menores, se pudieran seguir distinguiendo las formas creadas por este. Este mayor tamaño no es usado por todos los modelos, debido a que el polvo evitaría apreciar las partículas de gas que se encuentran cerca de su posición.

En el caso del gas, se pasó de usar 10 sistemas de partículas por simulación, cada uno una mayor cantidad máxima de partículas, desde 10% a 100%, a usar solo uno por simulación. El motivo de la anterior implementación es porque la cantidad máxima de partículas que

se pueden encontrar presentes al mismo tiempo es un valor que puede ser establecido en el editor, pero no puede ser modificado fuera de este, por lo cual no se puede implementar una manera de que este valor sea cambiado por el jugador. De este modo, cada uno de los sistemas anteriores usa para este parámetro el valor correspondiente a su porcentaje.

Sin embargo, la cantidad de partículas que aparecen por segundo si puede ser modificado fuera de este. Por lo tanto, mediante una ecuación que toma en consideración: la cantidad máxima de partículas establecida por el jugador, la proporción de partículas de gas respecto al total, la cantidad total de partículas de gas, y el tiempo promedio en que una partícula individual se encuentra en pantalla, el sistema es capaz de mantener la cantidad de partículas solicitada, con un margen de error de $\sim 0.5\%$, pero solo a la baja. Tomando de ejemplo el caso de una distribución 70/30 para el polvo y el gas, si la cantidad máxima de partículas está establecida en 200.000, se van a mostrar entre 59.700 y 60.000 partículas de gas.

3.1.7 REVISIÓN DE CONFIGURACIÓN ÓPTIMA

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, de acuerdo con el *hardware* del usuario, es posible que este deba disminuir la cantidad de partículas con el fin de tener una mejor experiencia. Pero para un usuario que se encuentre jugando a Protoplanet Express por primera vez, el conocer su configuración adecuada requerirá modificar este valor, junto a los otros parámetros disponibles en el menú *Configuración*, hasta que encuentre que el juego corre con un rendimiento que considere aceptable. Debido a esto, se creó una nueva escena, llamada *Performance Check*, la cual solo es ejecutada cuando el jugador empieza una partida por primera vez (detectado por la ausencia de un archivo de guardado), al momento en que presiona el botón *Empezar* en la escena *Start Menu*.

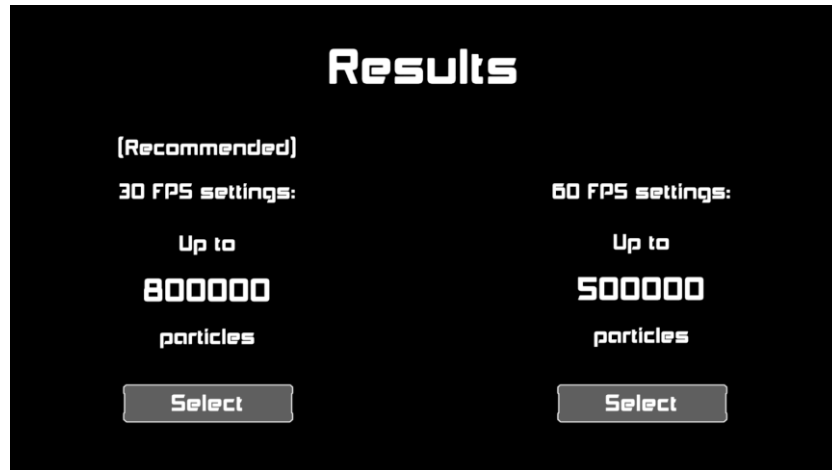


Figura 26: Interfaz de configuración óptima, dando a elegir entre ambas opciones. Elaboración propia

En esta escena se evalúa la cantidad máxima de partículas que pueden ser mostradas para alcanzar un mínimo de 30 *FPS* y 60 *FPS*. Ambas cantidades son almacenadas, y una vez completada la evaluación, una interfaz muestra los resultados al usuario, haciéndole elegir una de estas cantidades a ser establecida. La palabra “Recomendado” aparecerá sobre la configuración a la cual se le da preferencia que elija el usuario, con el propósito de facilitar su elección de alguna de las opciones.

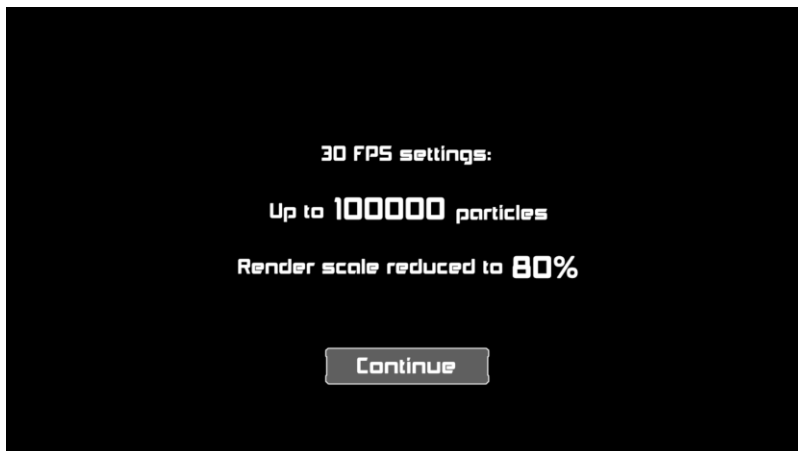


Figura 27: Interfaz mostrada cuando se requiere reducir la escala de renderizado. Elaboración propia

En caso de que, aún con solo 100.000 partículas, no se pueda llegar a un mínimo de 30 *FPS*, se procederá a disminuir gradualmente la escala de renderizado, hasta alcanzar esta métrica de rendimiento. En esta situación, la interfaz anterior es reemplazada con una que informa a qué escala de renderizado se ha configurado el juego, dando solo la opción de continuar.

3.2 CREACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA AÑADIR NUEVAS SIMULACIONES

El 31 de agosto de 2023, el estudiante de doctorado Dhruv Muley, mostró interés en hacer uso de Protoplanet Express como herramienta para enseñar sobre discos protoplanetarios en el evento *Open House* organizado por el Instituto Max Planck para la Astronomía⁴. Para su uso, solicitó saber cómo añadir nuevos discos protoplanetarios al juego basados en sus propios *snapshots*. Debido a que este proceso requería interactuar con código de *Python* y *C#*, además del editor de *Unity*, se decidió crear herramientas que simplificaran y abstractaran este proceso, dado que estas también serían de utilidad en un futuro para los investigadores del NPF.

3.2.1 PHANTOM ASCII SIMULATION READER

En el caso del proceso de pasar los *snapshots* a un archivo de texto utilizado en la incorporación de simulaciones, anteriormente realizado mediante un *script* de *Python*, se creó un programa, nombrado *Phantom ASCII Simulation Reader*, con una interfaz de usuario en la cual puede ingresar los parámetros requeridos.

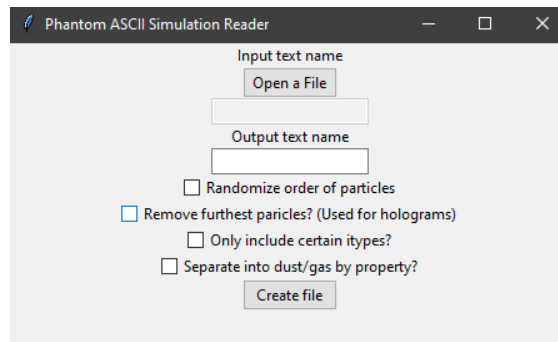


Figura 28: Interfaz mostrada por el programa *Phantom Simulation ASCII Reader*. Elaboración propia

Una de las mejoras de esta nueva interfaz, aparte de ser más familiar para usuarios que no acostumbren a trabajar con *scripts* de *Python*, es que, al hacer clic en el botón “*Open a File*”, se abre el explorador de archivos, desde la cual se puede elegir el *snapshot* a procesar.

Además, aquellos parámetros que son solo utilizados cuando otro parámetro tiene el valor *True*, son ocultados a menos que se cumpla esta condición.

⁴ <https://www.mpa.de/open-day-2023>

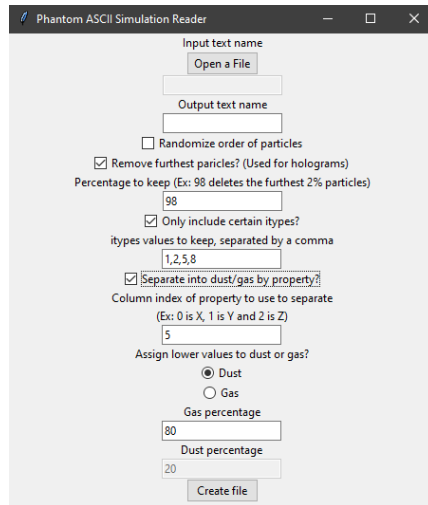


Figura 29: Interfaz de *Phantom Simulation ASCII Reader* mostrando todos los parámetros. *Phantom Simulation ASCII Reader*

3.2.2 ADD SIMULATION TOOL

Unity tiene la capacidad de programar herramientas personalizadas, las cuales pueden interactuar con el editor. Gracias a esto, se pudo crear una, nombrada *AddSimulationTool*, la cual automatiza parte del proceso realizado en el editor de *Unity* para añadir simulaciones. Esta requiere que se cuente con los *assets* que van a ser usados por la simulación guardados en el proyecto. Los campos por rellenar para añadir una simulación son:

- *Simulation Name*: Corresponde al nombre de la simulación. Este es usado para nombrar a todos los *GameObjects* y *keys* de la tabla de localización.
- *Gallery Sprites*: Es una lista que contiene los *sprites* que serán usados por la galería.
- *Amount of Screen Texts*: Corresponde a la cantidad de textos que serán mostrados en la pantalla explicando la simulación de la galería. No se debe confundir con aquella que describe a las imágenes mostradas.
- *Select Hologram VFX File*: Es un botón que permite elegir el archivo VFX correspondiente al sistema de partículas del holograma de la simulación a añadir.
- *Amount of Intro Dialogues*: Corresponde a la cantidad de diálogos que serán mostrados al llegar a una simulación.
- *Mouth Open Sprite*: Es un *sprite* de la persona que aparecerá en los diálogos de la simulación a añadir, con la boca abierta.

- *Mouth Closed Sprite*: Es un *sprite* de la persona que aparecerá en los diálogos de la simulación a añadir, con la boca cerrada.
- *Talking Audio*: Es el sonido que será reproducido cuando el diálogo se esté escribiendo en pantalla.
- *Select Dust Folder*: Es un botón que permite elegir la carpeta donde se encuentran guardados los modelos correspondientes al polvo de la simulación a añadir.
- *Select Gas VFX File*: Es un botón que permite elegir el archivo VFX correspondiente al sistema de partículas de gas de la simulación a añadir.

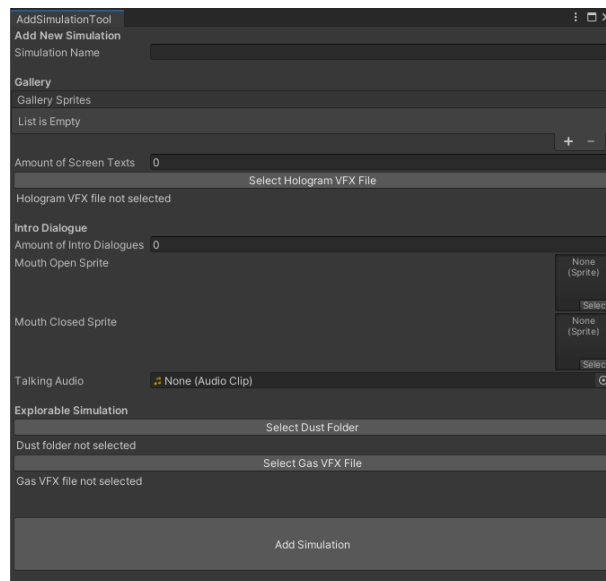


Figura 30: Interfaz mostrada por *Add Simulation Tool*. Elaboración propia

Tras crear la simulación, es necesario realizar algunas tareas adicionales para que esta no presente errores. Estas tareas, junto a las indicaciones de los *assets* necesarios, cómo crearlos, cómo hacer uso de las herramientas mencionados, y otros relacionados a este proceso, fueron descritos paso a paso en un documento que se encuentra en el repositorio de este proyecto, con el propósito de ayudar a futuros desarrolladores, y el cual también se ha adjuntado en el anexo de esta memoria.

3.3 ADAPTANDO A LA REALIDAD VIRTUAL

3.3.1 ELECCIÓN DE MODO VR

La forma en la que un jugador interactúa con su entorno en realidad virtual difiere en muchas formas en comparación a como lo realizaría en *Flat Screen*, razón por la cual se hicieron los cambios que serán explicados a continuación. Pero una elección de diseño, la cual no está relacionada a esto, fue el cómo se incorporó la existencia de un modo VR como tal en el Protoplanet Express.

Los motivos por los cuales no se creó un ejecutable separado para esta versión (entiéndase que Protoplanet Express y Protoplanet Express VR fueran dos juegos distintos) son dos: tener una sola página de *Steam* en la cual se puedan jugar de ambos modos, y que las actualizaciones y arreglos solo tuvieran que ser realizadas a un único proyecto, facilitando su mantención. Siguiendo esta lógica, debido a que la mayor parte del contenido se encuentra concentrado en una única escena (*Main Scene*), si se quisiera que cambios como modificaciones a la nave, o adición de más simulaciones, no tuvieran que replicarse en múltiples escenas, dentro de *Main Scene* se debe contener todo lo necesario para poder manejar ambos modos.

Para saber si el usuario va a hacer uso de un dispositivo de realidad virtual para jugar, *Steam* da la opción de ofrecer múltiples configuraciones de lanzamiento. De este modo, si esta configuración corresponde a usar *SteamVR*, el juego solo usará las escenas y método de control adecuados para esto.

3.3.2 ESQUEMA DE CONTROL

Como fue mencionado anteriormente, los dispositivos de realidad virtual actuales cuentan con sus propios controles, los cuales presentan ciertas diferencias de acuerdo con su fabricante. Usando de referencia los esquemas de control *HTC Vive* y *Oculus Touch*⁵, que fueron aquellos de los que se poseía acceso para realizar las pruebas de su funcionamiento en el desarrollo de este proyecto, los *inputs* en común que poseen son:

- Una entrada para indicar direcciones, referido como *trackpad* o *thumbstick*.
- Al menos un botón accesible mediante el pulgar.
- Un botón accesible mediante el dedo índice, conocido como gatillo
- Un botón accesible mediante el dedo corazón, conocido como botón de agarre

Además de esto, se puede acceder a la posición y rotación de estos controles con respecto al *HMD*.

⁵ <https://docs.unity3d.com/560/Documentation/Manual/OpenVRControllers.html>

La acción realizada por los *thumbsticks* depende de si el jugador se encuentra dentro o fuera de la cabina. Dentro de esta, estos controlan el movimiento de la nave, siendo el izquierdo usado para desplazar la nave, y el derecho usado para rotar la nave. En caso de estar fuera, el *thumbstick* izquierdo permite desplazarse dentro de la nave, y el derecho permite girar en 45°, limitado solo hacia la izquierda y derecha. Los botones accesibles mediante el pulgar son usados para activar y desactivar ciertas interfaces, las cuales serán explicadas más adelante. El botón de agarre mostrará un puntero, en forma de una línea color rojo originándose desde el control. Cuando este se encuentra sobre un elemento con el cual se puede interactuar, como un botón o un objetivo, este se vuelve de color blanco. El gatillo, además de también mostrar el puntero, va a ser que se interactúe con lo que se está apuntando, siendo esta interacción el equivalente a hacer clic en la versión *Flat Screen*.

3.3.3 VR START MENU

Los primeros cambios notados por un usuario que experimente Protoplanet Express en realidad virtual serán encontrados en el menú de inicio. Esta es una escena, nombrada *VR Start Menu*, la cual adapta la interfaz utilizada en la escena *Start Menu*.

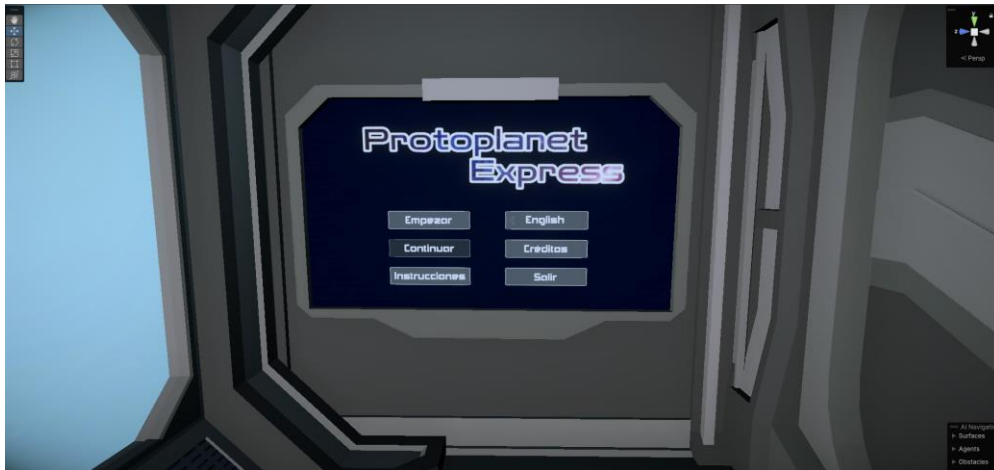


Figura 31: Pantalla inicial mostrada al jugar en realidad virtual. Elaboración propia

Esta escena consiste en una habitación pequeña, elaborada a partir de los mismos modelos usados para crear la nave, que cuenta con una pantalla, ubicada al frente de donde estará mirando el jugador al aparecer. Esta pantalla contiene la interfaz mencionada, implementada de la misma forma que aquellas usadas en la cabina. El único cambio que posee es en las instrucciones, que fueron cambiadas para indicar que realizan los botones de los controles usados por los dispositivos de realidad virtual. El usuario puede interactuar con estos botones mediante los gatillos.

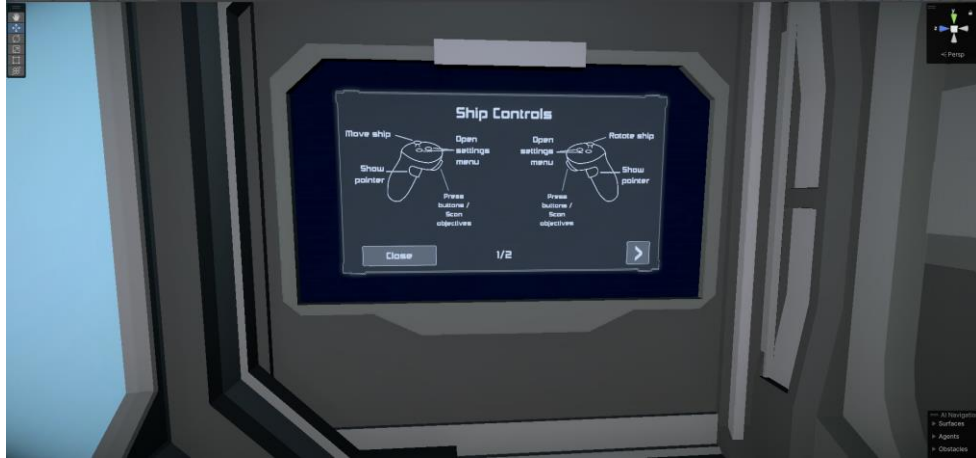


Figura 32: Instrucciones sobre cómo usar los controles mostrada en pantalla. Elaboración propia.

3.3.4 INTERFAZ DE USUARIO

Por cómo se describió anteriormente, todas las interfaces diegéticas presentes en la nave no requirieron de cambios, debido a que ya funcionan con los controles implementados. En el caso de aquellas no diegéticas, se optó por hacer que estas también pasaran a serlo, existiendo en una posición relativa a los controles.

3.3.4.1 HUD

En el caso del *HUD*, los únicos elementos que fueron adaptados a VR fueron las instrucciones contextuales, los diálogos, y la flecha utilizada por *Hint*. Las instrucciones son mostradas en la parte superior del control, y son mostradas cuando el control se encuentra apuntando a ciertos elementos interactivos. Esta instrucción indicará qué acción realizará el presionar el gatillo. En el caso de los diálogos, estos son mostrados únicamente en el control izquierdo, cuando el jugador no se encuentra en la cabina (incluyendo la cinemática final). La imagen está ubicada a la izquierda del control, y el texto a la derecha.

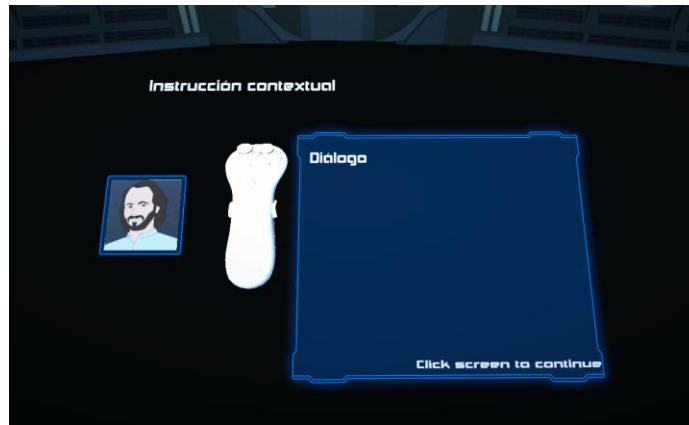


Figura 33: Elementos adaptados del HUD siendo mostrados junto al control. Elaboración propia.

La flecha, mostrada sólo cuando el jugador se encuentra en la cabina, está posicionada delante del control, y esta es mostrada, además de cuando se cumplen sus condiciones antes descritas, cuando el puntero esté activado, orbitando a su alrededor.

3.3.4.2 MENÚ DE CONFIGURACIONES

Mediante los botones accesibles mediante el pulgar del control izquierdo, se activa y desactiva el menú de configuraciones, el cual es mostrado en la parte superior del control. A diferencia de aquel usado en la versión *Flat Screen*, este no posee la opción “Video”, debido a que las configuraciones contenidas en esta pestaña no suelen ser usadas al usar un *HMD*. En esta interfaz también se encuentra un botón para cerrar el juego.

Para interactuar con este menú, el usuario debe hacer uso de su control derecho, interactuando con los botones apuntando sobre estos y presionando el gatillo, al igual que el resto de las interfaces.



Figura 34: Menú de configuraciones sobre el control izquierdo. Elaboración propia.

3.3.4.3 MENÚ DE TELETRANSPORTACIÓN

Mediante los botones accesibles mediante el pulgar del control derecho, se activa y desactiva el menú de teletransportación. Hacer movimientos en realidad virtual que no concuerdan con los realizados en la realidad, pueden causar que la persona experimente cinetosis [Chattha20]. Con el fin de dar una alternativa que permita al jugador ir a los puntos de interés de la nave sin tener que desplazarse en ella, se implementó esta interfaz.

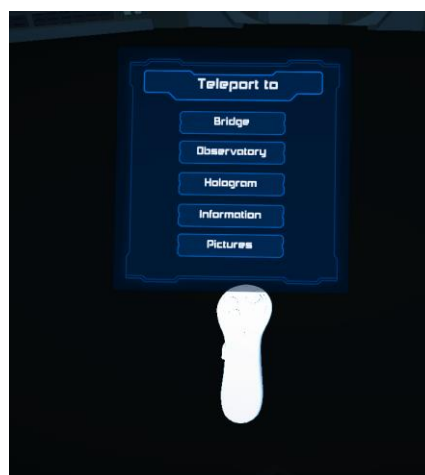


Figura 35: Menú de teletransportación mostrado sobre el control derecho. Elaboración propia

3.3.4.4 PANTALLAS DE LA CABINA

Las instrucciones de la pantalla derecha, que mostraba los controles usados para mover la nave, fue remplazada con una interfaz que permite ajustar la altura a la cual se encuentra el jugador dentro de la nave. Esto es debido a que la altura a la cual se va a encontrar depende de la distancia entre el *HMD* y el suelo, que va a variar entre cada jugador, y si este se encuentra parado o sentado. No se consideró necesario mostrar las instrucciones en realidad virtual, ya que se espera que el uso de los *joysticks* de los controles para mover la nave sea intuitivo para el jugador.

La pantalla central posee dos botones adicionales en la parte superior, permitiendo acelerar y saltar el diálogo, funciones que antes eran realizados mediante teclas que eran indicadas en el *HUD*. Este fue un cambio necesario, debido a la menor cantidad de botones en los controles que acompañan al *HMD* en comparación a un teclado.



Figura 36: Interfaces usadas en la cabina en realidad virtual. Elaboración propia.

3.3.5 CINEMÁTICA FINAL

Debido al riesgo de que los jugadores experimenten cinetosis a causa de los movimientos de cámara usados en la cinemática final, una cinemática diferente es reproducida al jugar en VR, la cual posee trayectorias más simples de movimiento, y una velocidad reducida.

CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Con el fin de evaluar la eficacia del videojuego en enseñar sobre discos protoplanetarios, se decidió hacer un *testing*, tanto de la versión *Flat Screen* como la versión *VR*, en el cual el usuario debería responder una encuesta tras probar el juego. Una propuesta para tal encuesta fue tomada del paper “*Avaliação de jogos voltados para a disseminação do conhecimento*” [Savi10], con un modelo hecho para juegos educativos que considera la motivación, la experiencia de usuario del juego, y el conocimiento. Debido a que este cuestionario presenta una cantidad de preguntas (43 en total) que podrían demorar más de lo deseado a los encuestados, además de considerarse algunas de estas como innecesarias, se decidió optar por una versión con menor cantidad de preguntas, y que ya haya sido usado para validar un juego educativo.

El cuestionario usado fue propuesto en el paper “*Evaluation of Board Game about Immunopreventable Diseases for Higher Education in Health Course*” [deCarvalho18], con un total de 27 preguntas, pero siendo tres de estas eliminadas: Dos por hacer referencia a la interacción social, elemento ausente en *Protoplanet Express*, y una haciendo relación a la aplicación del conocimiento adquirido, al considerarse innecesaria, para un total de 24 preguntas. Las respuestas usan una escala Likert de cinco puntos, siendo un valor de 1 “Muy en desacuerdo”, y un valor de 5 “Totalmente de acuerdo”.

Tras responder este cuestionario, se le presenta al encuestado una evaluación de 4 preguntas sobre datos generales relacionados a discos protoplanetarios, con 5 alternativas cada una, de la cual solo se puede elegir una por pregunta.

4.1 ENCUESTA DE LA VERSIÓN *FLAT SCREEN*

Para la versión *Flat Screen*, se obtuvieron las respuestas de 52 estudiantes de educación media, los cuales asistieron como parte de una actividad previa a un ensayo de la Prueba de Acceso a la Educación Superior (PAES) realizada en el Campus Viña del Mar de la Universidad Adolfo Ibáñez. Las respuestas entregadas por los estudiantes no necesariamente fueron realizadas tras haber explorado todas las simulaciones disponibles.

La tabla 1 muestra el puntaje medio para cada respuesta, junto a la desviación estándar. Se debe tener en consideración que un menor puntaje implica estar más en desacuerdo, y si esto tiene una connotación positiva o negativa depende del contexto dado por la pregunta.

VISUALIZACIÓN Y ENSEÑANZA SOBRE DISCOS PROTOPLANETARIOS MEDIANTE UN VIDEOJUEGO EDUCATIVO
CON REALIDAD VIRTUAL

Tabla 1: Resultados del cuestionario de la versión *Flat Screen*. Fuente: Elaboración propia.

N°	Pregunta	Media	Desviación estándar (SD)
1	Había algo interesante al principio del juego que capturó mi atención	4.15	1.00
2	El diseño de la interfaz del juego es atractivo	4.37	0.97
3	Se me hizo claro como el contenido de este juego está relacionado a cosas que ya conocía	3.77	1.10
4	Disfrute tanto el juego que me gustaría aprender más sobre los temas relacionados a él	3.85	1.11
5	El contenido de este juego es relevante a mis intereses	3.58	1.19
6	Pude relacionar los contenidos de este juego a cosas que ya he hecho o pensado	3.90	0.98
7	El contenido de este juego me será útil	3.81	1.10
8	El juego era más difícil de entender de lo esperado	2.79	1.45
9	El juego tenía tanta información que era difícil identificar y recordar los puntos importantes	3.10	1.21
10	Las actividades del juego eran muy difíciles	2.46	1.51
11	No pude entender ni la mitad del material presentado en el juego	2.46	1.47
12	Aprendí algunas cosas del juego que eran sorprendentes o inesperadas	3.94	0.98
13	Me sentí bien tras completar el juego	3.98	1.11
14	No sentí el paso del tiempo mientras jugaba	3.73	1.09
15	Intenté obtener buenos resultados en el juego	4.06	1.16
16	Hubo momentos en los que quería dejar el juego	3.04	1.34

17	Me sentí estimulado/a a aprender del juego	3.79	1.00
18	Me gustó el juego y no sentí ansiedad ni aburrimiento	3.90	0.89
19	El juego me mantuvo motivado/a a seguir usándolo	3.85	1.02
20	El juego es adecuadamente desafiante para mí, las tareas no son muy fáciles ni muy difíciles	3.81	1.09
21	Jugaría este juego de nuevo	3.92	1.15
22	Estaba esperando que el juego terminara pronto	2.67	1.39
23	Después del juego puedo recordar más información relacionada a los discos protoplanetarios	3.75	1.10
24	Después del juego puedo entender mejor los discos protoplanetarios	3.83	1.23

En la mayoría de las preguntas se puede notar una respuesta principalmente positiva, entendiéndose esto como que más del 50% de los usuarios dieron un puntaje de 4 o 5 en las preguntas que hacen referencia a los aspectos positivos del juego, o 1 o 2 en aspectos negativos (las respuestas obtenidas para cada pregunta se encuentran en el anexo). De acuerdo con estas, los aspectos más a destacar de *Protoplanet Express* son el diseño de su interfaz, y la impresión inicial que otorga al público.

Aunque ninguna pregunta presenta una respuesta mayormente negativa, se puede notar que algunas preguntas presentan una respuesta más dividida por parte de los usuarios, siendo esta reflejada en la desviación estándar presente en la anterior tabla. Haciendo uso de esta métrica, se realizará un análisis de las preguntas que tengan una mayor *SD*.

- **Las actividades del juego eran muy difíciles:** Esta pregunta es la que más división presenta en los usuarios, con una desviación estándar de 1.51. En *Protoplanet Express*, esta actividad corresponde al escaneo de objetivos. Usuarios que probaron versiones anteriores ya habían mostrado en ocasiones problemas encontrando objetivos, llevando a la creación de una notificación cuando se tiene el cursor sobre el objetivo, y una flecha que apuntara al objetivo tras cierto tiempo sin escanear nada (descritos en el capítulo 3.3.2.3). La flecha fue diseñada para que el tiempo que tarda en aparecer dependa de la cantidad de tiempo que el jugador se demora en encontrar objetivos, con el fin de que se adaptara a la

habilidad de cada jugador para encontrar objetivos. Dadas las respuestas, es posible que esta funcione como esperado solo con algunos usuarios, necesitando cambiar los parámetros que determinan este tiempo para una mejor adaptabilidad. Para ciertos objetivos, el tamaño del área en la cual se detecta el cursor sobre este también puede ser un problema. Previo a esta encuesta, estas áreas ya fueron incrementadas anteriormente en algunos objetivos, principalmente en planetas al ser los más pequeños, por las dificultades que presentaban los jugadores en escanearlos.

- **No pude entender ni la mitad del material presentado en el juego:** Las respuestas obtenidas indican que, para algunas personas del sector demográfico usado para esta encuesta, la información sobre discos protoplanetarios no fue expresada de una forma adecuada para ellos. Las causas de este problema podrían ser por no establecer adecuadamente en el inicio la información necesaria para entender qué son los discos protoplanetarios, o el uso de ciertos términos en los diálogos, como usar la masa de Júpiter en comparación a otros planetas, que requieran ser explicados.
- **El juego era más difícil de entender de lo esperado:** Esta pregunta presenta cierta ambigüedad sobre en qué aspecto el usuario tuvo dificultades, al poder referirse tanto a las mecánicas como a la información presentada, sirviendo principalmente para saber si el usuario presentó alguna de estas dificultades en su experiencia, como ya se mostró en los puntos anteriores.
- **Estaba esperando que el juego terminara pronto/Hubo momentos en los que quería dejar el juego:** Ambas preguntas son mencionadas en conjunto debido a que hacen referencia al mismo problema, que es mantener la atención del jugador. Al ser un videojuego educativo, la falta de elementos de entretenimiento que equilibren el contenido educativo presentado es una de las principales causas, como se plantea en el capítulo 2.1.3.

Para contextualizar la evaluación realizada para evaluar cuanto aprendieron los jugadores de *Protoplanet Express*, se presentan a continuación las preguntas realizadas con sus respectivas alternativas, resaltando en negrita la respuesta correcta:

1. ¿Dónde se forman los planetas?
 - a. Aislados en el espacio
 - b. Dentro de las estrellas

- c. En nubes de gas
 - d. En discos protoplanetarios**
 - e. En acumulaciones de materia oscura
2. ¿Qué hay al centro de un disco protoplanetario?
- a. Una acumulación de gas y polvo
 - b. Una o dos estrellas**
 - c. Uno o dos planetas
 - d. Muchos asteroides
 - e. Una acumulación de materia oscura
3. ¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen espirales y anillos?
- a. Por la gravedad de planetas o estrellas**
 - b. Por el choque de asteroides
 - c. Por la gravedad de la materia oscura
 - d. Porque la estrella central se está deshaciendo
 - e. Por la destrucción del polvo
4. ¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen partes inclinadas?
- a. Por la gravedad de la estrella central
 - b. Por el crecimiento de los planetas en su interior
 - c. Por la acumulación de gas y polvo
 - d. Por la gravedad de una estrella en órbita inclinada**
 - e. Por el campo magnético

En la tabla 2 se pueden ver los resultados de la evaluación del conocimiento adquirido sobre discos protoplanetarios, junto al margen de error, dada la población. Las preguntas fueron elaboradas para que no hagan referencia a los detalles de un disco protoplanetario en particular, si no que a conceptos generales de estos.

Tabla 2: Resultados de la evaluación a quienes jugaron la versión *Flat Screen*. Fuente: Elaboración propia.

N°	Pregunta	Porcentaje que respondió correctamente
1	¿Dónde se forman los planetas?	(55.8 ± 6.9) %
2	¿Qué hay al centro de un disco protoplanetario?	(36.5 ± 6.7) %
3	¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen espirales y anillos?	(46.2 ± 6.9) %
4	¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen partes inclinadas?	(19.2 ± 5.5) %

Los resultados muestran que, a pesar de que el cuestionario indica que la mayoría de los jugadores se encontraba de acuerdo con que conocieron más sobre los discos protoplanetarios tras haber jugado, parte de ellos no pudieron aplicar estos conocimientos. Se debe destacar que, debido a que varias de las personas que respondieron no completaron el juego, por consecuencia podrían no haber llegado a ver los discos protoplanetarios en los cuales se muestran partes inclinadas, y se explica sobre estas mediante un diálogo, lo cual explica la menor cantidad de respuestas correctas.

Para comparar el aprendizaje en relación con personas que no hayan jugado a *Protoplanet Express*, se realizó esta misma encuesta a 22 jóvenes de entre 17 a 20 años, quienes se encontraban en educación media o acababan de rendir la PAES (Tabla 3). Al contrastar los resultados, el porcentaje de alumnos que respondió correctamente las primeras tres preguntas es mayor en el grupo que previamente jugó *Protoplanet Express*, mientras que en la cuarta tuvieron peores resultados. Sin embargo, teniendo en consideración el margen de error, no se cuenta con la suficiente información para asegurar que el videojuego tuvo un impacto positivo. Respecto a la segunda pregunta, la diferencia más significativa de respuestas correctas si permite afirmar que hubo un impacto positivo en la enseñanza gracias a este juego.

Tabla 3: Resultados de jóvenes que no jugaron *Protoplanet Express*. Fuente: Elaboración propia

N°	Pregunta	Porcentaje que respondió correctamente
1	¿Dónde se forman los planetas?	(45.5 ± 10.6) %
2	¿Qué hay al centro de un disco protoplanetario?	(4.5 ± 4.4) %
3	¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen espirales y anillos?	(40.9 ± 10.5) %
4	¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen partes inclinadas?	(36.4 ± 10.5) %

En cuanto a la cuarta pregunta, aunque el margen de error muestra una pequeña probabilidad de que el juego no haya tenido impacto en enseñar sobre ese tema en particular, dado el posible caso de que quienes jueguen tengan un peor resultado, se desconocen cuáles podrían ser las posibles causas de este hecho, al ser esta información sobre un aspecto más particular de ciertos discos en comparación a las otras preguntas, y no mostrar las respuestas una tendencia a una alternativa en particular.

¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen partes inclinadas?

52 respuestas

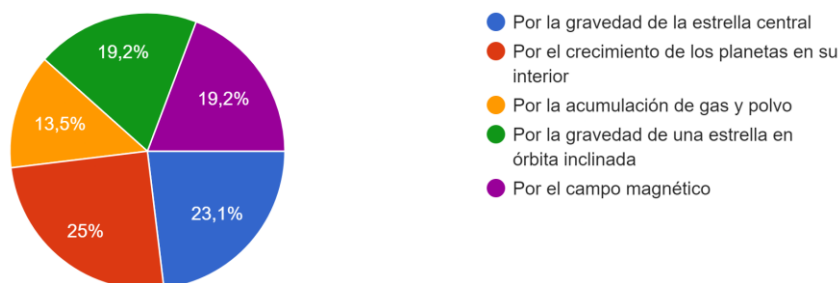


Figura 37: Respuestas a la cuarta pregunta de quienes jugaron a la versión *Flat Screen* de *Protoplanet Express*. Elaboración propia

4.2 EVALUACIÓN DE LA VERSIÓN VR

Para la versión VR, se obtuvieron las respuestas de 15 estudiantes de informática de la Casa Central de la Universidad Técnica Federico Santa María. Esta encuesta presenta un número reducido de integrantes, y de un diferente sector demográfico a quienes probaron la versión *Flat Screen*, debido a las dificultades que presenta el realizar pruebas que requieren hardware capaz de realidad virtual, como lo son el no poseer solo un par de dispositivos (requiriendo uno de ellos, el *HTC Vive*, la instalación de otros dispositivos en la habitación que se va a usar), la necesidad de usar computadores con una mayor potencia en comparación a la versión *Flat Screen*, el tiempo adicional que requiere explicar cómo ponerse y usar el *HMD* para quienes no están familiarizados con ellos, entre otros.

Tabla 4: Resultados del cuestionario de la versión VR. Fuente: Elaboración propia

N°	Pregunta	Media	Desviación estándar
1	Había algo interesante al principio del juego que capturó mi atención	4.47	0.64
2	El diseño de la interfaz del juego es atractivo	4.27	0.96
3	Se me hizo claro como el contenido de este juego está relacionado a cosas que ya conocía	4.07	0.80
4	Disfrute tanto el juego que me gustaría aprender más sobre los temas relacionados a él	3.93	0.96
5	El contenido de este juego es relevante a mis intereses	3.40	0.99
6	Pude relacionar los contenidos de este juego a cosas que ya he hecho o pensado	3.67	1.34
7	El contenido de este juego me será útil	3.53	0.83
8	El juego era más difícil de entender de lo esperado	2.33	0.98
9	El juego tenía tanta información que era difícil identificar y recordar los puntos importantes	2.13	1.06
10	Las actividades del juego eran muy difíciles	1.53	0.64

11	No pude entender ni la mitad del material presentado en el juego	1.40	0.83
12	Aprendí algunas cosas del juego que eran sorprendentes o inesperadas	4.07	0.88
13	Me sentí bien tras completar el juego	4.27	0.80
14	No sentí el paso del tiempo mientras jugaba	4.60	0.51
15	Intenté obtener buenos resultados en el juego	4.73	0.45
16	Hubo momentos en los que quería dejar el juego	1.53	1.06
17	Me sentí estimulado/a a aprender del juego	4.00	0.85
18	Me gustó el juego y no sentí ansiedad ni aburrimiento	4.47	0.74
19	El juego me mantuvo motivado/a a seguir usándolo	4.33	1.11
20	El juego es adecuadamente desafiante para mí, las tareas no son muy fáciles ni muy difíciles	3.07	1.39
21	Jugaría este juego de nuevo	3.73	1.16
22	Estaba esperando que el juego terminara pronto	1.67	0.90
23	Después del juego puedo recordar más información relacionada a los discos protoplanetarios	3.93	0.70
24	Después del juego puedo entender mejor los discos protoplanetarios	4.13	0.83

De acuerdo con los resultados, el valor de la media muestra resultados satisfactorios por parte de los usuarios. Entre los aspectos más positivos, se destacan que los usuarios no hubieran sentido el paso del tiempo, y su motivación por obtener buenos resultados en el juego.

Basándose en la desviación estándar, las preguntas que mayor división muestran en las respuestas, y sus posibles causas, son:

- **El juego es adecuadamente desafiante para mí, las tareas no son muy fáciles ni muy difíciles:** Esta es la pregunta con mayor desviación estándar, con un valor de

1.39. Dado a que ninguna respuesta manifestó estar de acuerdo con la pregunta “Las actividades del juego eran muy difíciles”, se puede deducir que, quienes no están de acuerdo con esta pregunta, encontraron el juego muy fácil. Esto contrasta con las respuestas a la anterior encuesta, donde varios usuarios encontraron el juego difícil, lo que podría indicar una mayor facilidad en distinguir los objetivos al ser observados en realidad virtual. Sin embargo, es posible que esto se deba a que los estudiantes universitarios de informática poseen menor dificultad realizando esta tarea, a comparación de los estudiantes de educación media.

- **Pude relacionar los contenidos de este juego a cosas que ya he hecho o pensado:** Los contenidos de este juego, al ser relacionados a un área específica de la astrofísica, pueden ser en gran parte desconocidos por los jugadores. Debido a que las personas usadas para esta encuesta consistían sólo de estudiantes de informática, es que su área de conocimiento está relacionada a esta carrera. Los resultados negativos de esta pregunta por sí solos no indican si es necesario realizar un arreglo, siendo que se debe tener en cuenta si los jugadores pudieron adquirir correctamente los conocimientos, ya que esta podría ser una casa en caso de que se hubiera fallado en esto.

Los resultados de la evaluación de conocimiento (Tabla 5) muestran resultados positivos en la mayoría de los jugadores, destacando especialmente la segunda y tercera pregunta, en la cual un 86.7% respondió correctamente.

Tabla 5: Resultados de estudiantes de informática que jugaron la versión VR. Fuente: Elaboración propia

N°	Pregunta	Porcentaje que respondió correctamente
1	¿Dónde se forman los planetas?	(66.7 ± 12.2) %
2	¿Qué hay al centro de un disco protoplanetario?	(86.7 ± 8.8) %
3	¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen espirales y anillos?	(86.7 ± 8.8) %
4	¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen partes inclinadas?	(46.7 ± 12.9) %

Para comparar el aprendizaje en relación con personas que no hayan jugado a *Protoplanet Express*, se realizó esta misma encuesta a 20 estudiantes de informática de la Universidad

Técnica Federico Santa María (Tabla 6). Al contrastar los resultados, todas las preguntas poseen mejores resultados en el caso de quienes jugaron la versión VR. Tomando en cuenta los márgenes de error, la diferencia de resultados en la segunda y tercera pregunta muestran no solo los mejores resultados, pero además permiten afirmar un resultado positivo en este aspecto gracias al videojuego. En el caso de la primera y cuarta pregunta, aunque hay una diferencia de ~20% a favor de los jugadores en la cantidad de respuestas correctas, es necesario indicar que existe la posibilidad, dado el peor de los casos, de que el juego no hubiera tenido impacto en el aprendizaje de estos aspectos de los discos protoplanetarios.

Tabla 6: Resultados de estudiantes de informática que no jugaron *Protoplanet Express*. Fuente: Elaboración propia

N°	Pregunta	Porcentaje que respondió correctamente
1	¿Dónde se forman los planetas?	(45.0 ± 11.1) %
2	¿Qué hay al centro de un disco protoplanetario?	(10 ± 6.7) %
3	¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen espirales y anillos?	(40 ± 11.0) %
4	¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen partes inclinadas?	(25 ± 9.7) %

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

En esta memoria, se ha documentado parte del desarrollo realizado en *Protoplanet Express*, de acuerdo con los objetivos planteados al inicio de esta. Las conclusiones presentadas a continuación estarán relacionadas con el proceso realizado para cada uno de los objetivos específicos.

La metodología *Extreme Programming* mostró ser adecuada al desarrollo de este videojuego, al poseer la flexibilidad requerida para incorporar las sugerencias entregadas por aquellas personas que probaron *Protoplanet Express*. Esto se destaca especialmente en la implementación de las herramientas usadas para añadir nuevas simulaciones, al haber sido esta solicitud un imprevisto realizado cuando se estaba iniciando el proceso de realizar la adaptación a realidad virtual, poseyendo además una fecha límite al ser usado prontamente en una exposición. Y en cuanto a las sugerencias, una de las lecciones más importantes que se aprendió es realizar pruebas con personas ajenas al proyecto. Esto es debido a que, debido a la naturaleza del desarrollo de videojuegos, uno llega a familiarizarse con los elementos presentes en el juego, incluyendo aquellos que no son intuitivos.

En cuanto a las herramientas creadas, aunque estas pudieran parecer útiles para el desarrollo de *Protoplanet Express*, estas pueden mostrar cierta incompatibilidad con *Extreme Programming*, al ser un elemento adicional que debe ser actualizado cada vez que se haga un cambio relacionado a la estructura usada para las simulaciones, retrasando más los cambios.

En lo que respecta a realidad virtual, una de las principales precauciones que se debe tener es con la cinetosis, tanto para los usuarios como por el desarrollador. Por parte de los usuarios, la sensación de mareo puede causar que abandonen el juego independientemente del interés que tuvieran en seguir jugando, por lo que se debe prestar atención las partes del juego que impliquen mover al jugador en el mundo virtual, e implementar medidas que reduzcan este efecto, como usar un efecto de fundido a negro cada vez que se realicen movimientos bruscos, o permitirle teletransportarse a un lugar en vez de caminar hacia él. Por parte del desarrollador, existe la posibilidad de que sufra de estos mareos a causa de probar el juego mediante un *HMD*, disminuyendo su productividad mientras se vea afectado por esta dolencia, siendo lo más recomendable dejar de usar el dispositivo de realidad virtual apenas se empiecen a sentir los síntomas, y, en el caso de *Unity*, hacer uso de las herramientas que posee para imitar el uso de la realidad virtual, pero haciendo uso del monitor.

Respecto a diseñar un videojuego que sea jugable tanto en *Flat Screen* como en *VR*, la facilidad que poseen las interfaces diegéticas en poder ser adaptadas a ambas versiones por sobre las no diegéticas (como el *HUD*), hacen que sea recomendable usar este tipo de interfaces de usuario en la medida de lo posible. En el caso del *HUD*, cuyos elementos usualmente se encuentran a los bordes de la pantalla, puede que se considere el mostrar estos en la visión periférica del jugador en la versión *VR*, donde no estorben la visión del jugador. Pero en el caso de los *HMD* que hacen uso de lentes fresnel, como el *Meta Quest 2*, la imagen se distorsiona a medida que se aleja del centro de los lentes, causando dificultades al momento de distinguir las imágenes y textos presentes en esta zona.

Respecto a los resultados obtenidos de las personas que jugaron *Protoplanet Express*, la versión *Flat Screen* muestra una recepción mayormente positiva en todos sus aspectos, pero que no han llegado a satisfacerlos completamente. El conocimiento sobre discos protoplanetarios de estos jugadores es ligeramente mayor en comparación a quienes no lo han jugado, con la diferencia en la cantidad de respuestas correctas respecto al grupo control no siendo lo suficientemente significativa para comprobar la eficiencia del videojuego en su aprendizaje. Esto se puede entender como que la información presentada en el juego no fue lo suficientemente clara para estos usuarios, aunque también existe la alternativa de que *Protoplanet Express* no sea usado como un único método de enseñanza sobre este tema, si no como un material complementario en la enseñanza sobre estos, como lo puede ser en el caso de exposiciones.

Respecto a los resultados de la versión *VR*, estos una reacción mayormente positiva, con una notable diferencia de respuestas correctas en comparación al grupo control, permitiendo afirmar un impacto positivo en el aprendizaje sobre conceptos generales de los discos protoplanetarios, aunque no sea lo suficientemente conclusivo en todos los aspectos. Debido a la diferencia de rango de edad y nivel educacional comparado con quienes probaron la versión *Flat Screen*, aunque los resultados de la versión *VR* son más positivos respecto a la versión, tal resultado pudo verse afectado por las variables antes mencionadas en una medida desconocida.

En cuanto a trabajo futuro, la principal preocupación de este proyecto es en dar apoyo a los posibles investigadores que quisieran hacer uso de *Protoplanet Express* para exponer los resultados de sus descubrimientos a un público general, ya que, aunque la guía y herramientas fueron creadas con el propósito de que pudieran realizar esto por sí mismos, se realizaron con solo 6 simulaciones para poder probarlas, por lo que pueden existir casos que requieran ayuda adicional.

Como se comentó sobre los resultados de la validación, los puntajes indican que la mayoría de los aspectos del juego todavía poseen margen de mejora, por lo que conseguir a un grupo de *playtesters* ajenos al área de la astrofísica que den un informe detallado sobre su experiencia al jugar, y basar los futuros cambios en estos, similar a como se ha desarrollado hasta este momento. Y, también respecto a la validación de este proyecto, realizar las pruebas la versión *Flat Screen* y VR con un mismo grupo demográfico, permitiría poder contrastar los resultados con la certeza de que estos fueran influidos por otras variables.

Por último, un área de interés es realizar otra validación de *Protoplanet Express*, pero usando a un sector demográfico más joven, principalmente niños. Versiones anteriores de este juego, presentadas en dos exposiciones realizadas en la región de Valparaíso⁶⁷, fueron probadas en mayor parte por jóvenes en un rango de edad entre 6 a 14 años. Este hecho se repitió en el *Open House* mencionado en el capítulo 3.2, realizado en Alemania. Aunque muestran motivación, debido a su edad existe una gran posibilidad de que posean dificultades entendiendo los temas expuestos, viendo que este ya fue un problema expuesto en estudiantes de educación media. Sin embargo, esto también lleva al contexto de hacer uso de este videojuego en una exposición, donde ya se entrega información adicional sobre discos protoplanetarios, y si tienen interés en el tema, pueden volver a jugar *Protoplanet Express* en sus propias casas descargando el juego en *Steam*.

⁶ <https://lacompaniavalparaiso.cl/todas-las-actividades/quadrivium/>

⁷ <https://lcalera.cl/noticias/vecinos-de-villa-nueva-ohiggins-ejecutaron-novedoso-taller-de-astronomia/>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Caroux16] Caroux, L., Isbiter, K. (2016). Influence of head-up displays' characteristics on user experience in video games. *International Journal of Human-Computer Studies*, volume 87, 65-79.
- [Chandra20] Chandra (2020). Travelling to Our Galactic Center Through Virtual Reality. Lugar de publicación: Chandra X-Ray Observatory. Recuperado de <https://chandra.harvard.edu/blog/node/755>
- [Chattha20] 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. Lugar de publicación: *IEEE Access*, volume 8, 130486-130499.
- [Cuadra23] Cuadra, J., Vergara, M., Escárate, B., Sandoval, J., Cordero B. (2023). Protoplanet Express, a video game based on numerical simulations. Lugar de publicación: arXiv. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2303.17654>
- [Czauderna19] Czauderna, A., Guardiola, E. (2019). The Gameplay Loop Methodology as a Tool for Educational Game Design. Lugar de publicación: *The Electronic Journal of e-Learning (EJEL)*. Recuperado de <https://academic-publishing.org/index.php/ejel/article/view/1884>
- [deCarvalho18] de Carvalho, C. F. G., Coutinho, R. F., de Araujo Lima, I. D., de Leon, C. G. R. M. P., Ribeiro, L. M., Vieira, G. B., Del Alamo Guarda, L. E., Paula, R. A. P., dos Santos, S. R. (2018). Evaluation of Board Game about Immunopreventable Diseases for Higher Education in Health Course. *Creative Education*, 9, 646-657.
- [Koutonen13] Koutonen, J., Leppänen M. (2013). How Are Agile Methods and Practices Deployed in Video Game Development? A Survey into Finnish Game Studios. *Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming*, 135-149.
- [Needham23] Needham, M. (2023). Slower Growth for AR/VR Headset Shipments in 2023 but Strong Growth Forecast Through 2027, According to IDC. Lugar de publicación: IDC. Recuperado de <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS50511523>
- [Moro20] Moro, C., Phelps, C., Stromberga, Z. (2020). Utilizing serious games for physiology and anatomy learning and revision. *Advances in Physiology Education*, volumen 44, edición 3, 505-507.
- [Ortiz23] Ortiz, M., Winkler, D., Leniz, B. (2023). Los videojuegos como herramienta de divulgación científica [Taller]. Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo. <https://www.youtube.com/watch?v=j1asHSNg6k>

[Savi10] Savi, R., Von Wangenheim, C. G., Ulbricht, V., Vanzin, T. (2010). Avaliação de jogos voltados para a disseminação do conhecimento. Lugar de publicación: Revista Novas Tecnologias na Educação, Porto Alegre, v. 8, n. 3

[Wheatstone38] Wheatstone, C. (1838). Contributions to the Physiology of Vision.—Part the First. On some remarkable, and hitherto unobserved, Phenomena of Binocular Vision. Lugar de publicación: "Philosophical Transactions" of the Royal Society of London, Vol. 128, pp. 371 - 394.

[Wilkinson16] Wilkinson, P. (2016). Brief history of serious games. Lecture Notes in Computer Science (Entertainment Computing and Serious Games), 9970, 17 - 41.

ANEXOS

Guía para añadir una simulación

Guía para añadir una simulación

1. Nociones básicas de Unity

1.1. Glosario

En esta guía, se hace uso de algunos términos con los cuales las personas que no hayan usado Unity no se encontrarán familiarizados. Con este fin, se dará una breve explicación de ellos, nombrando las características relevantes para esta guía.

GameObject: Corresponden a cualquier objeto que es añadido al juego, y cuyas propiedades son otorgadas mediante componentes. Son representados con el icono de un cubo en la ventana *Hierarchy*.

Hijo: Referido como *Child* en el editor, estos son GameObjects cuya posición y si se encuentran activados depende de su GameObject padre. En la ventana *Hierarchy*, esto se puede ver representado en que, si un GameObject posee una flecha a la izquierda, hacer clic en esta mostrara sus hijos, los cuales a su vez pueden tener más hijos. Arrastrar un GameObject dentro de otro convertirá al primero en hijo del segundo.

Script: Código escrito en el lenguaje C#, que en la mayoría de los casos son usados como componentes para los GameObjects. (Técnicamente se añade el componente Script, al cual se le enlaza el script a usar, pero para esta guía nos referiremos al script usado como el componente).

Componentes: Son las piezas que les dan sus atributos a los GameObjects. Todos los GameObjects tienen por defecto el componente *Transform*, que les otorga una posición rotación y escala a cada objeto. Otros componentes incluidos en Unity son los *Collider*, encargados de detectar colisiones, *Sprite Renderer*, encargado de mostrar imágenes, y *Mesh Filter*, el cual contiene el modelo que será mostrado por el componente *Mesh Renderer*.

Sprite: Corresponden a las imágenes. Al importar una imagen a Unity, dentro de la ventana *Inspector*, se debe indicar su *Texture Type* como Sprite.

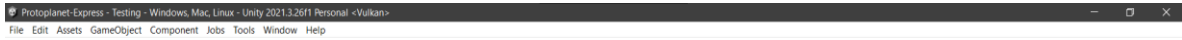
Scene: Es el nivel actual en el cual se está trabajando. En esta guía se estará trabajando en la escena *Main Scene* (Se puede verificar la escena actual viendo el nombre del primer elemento en la ventana *Hierarchy*).

1.2. Navegando Unity

VISUALIZACIÓN Y ENSEÑANZA SOBRE DISCOS PROTOPLANETARIOS MEDIANTE UN VIDEOJUEGO EDUCATIVO CON REALIDAD VIRTUAL

Otro aspecto clave para poder hacer uso de esta guía es saber cómo manejarse a través de los menús para poder realizar las acciones solicitadas. Se hará una mención de los aspectos básicos, omitiendo aquello que no es necesario en el proceso de añadir una simulación.

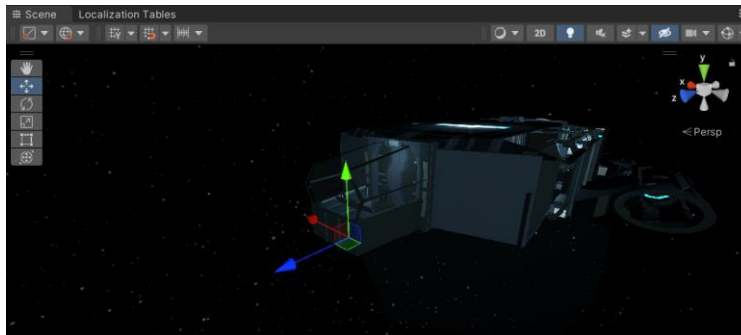
Dentro de Unity, se van a encontrar diferentes ventanas, cada una con un propósito en partículas. Estas pueden cambiar de tamaño haciendo clic y arrastrando el ratón en los bordes, y pueden moverse de lugar arrastrando la etiqueta con su nombre que se encuentra en la parte superior izquierda. Pueden añadirse más ventanas mediante el botón *Window* que se encuentra en la barra de la parte superior.



Barra superior. El botón Window es el penúltimo de izquierda a derecha.

Las ventanas que se van a usar para este proceso son:

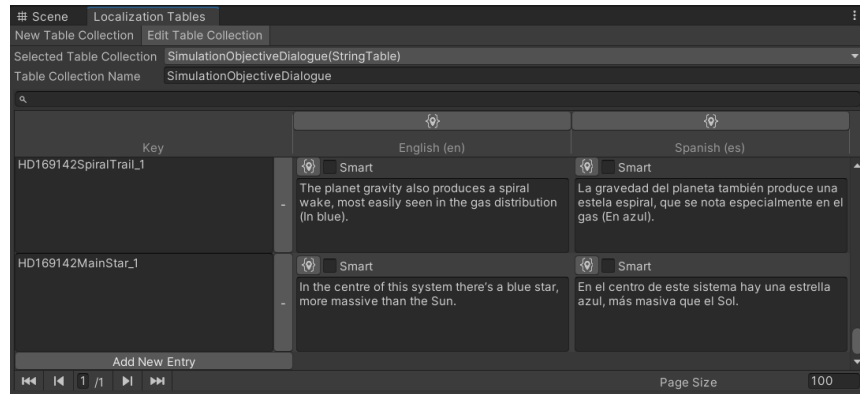
Scene: Corresponde a la vista del espacio 3D de la escena actual. Se puede navegar a través de el usando las flechas WASD y moviendo el ratón mientras se mantiene presionado el botón derecho, pudiendo presionar shift para moverse más rápido. Se puede elegir e interactuar con los GameObjects presionándolos con el botón izquierdo. Presionar las teclas W, E y R activan los modos para mover, rotar y escalar los GameObjects, respectivamente. Estos modos también pueden elegirse con los botones que se encuentran a la izquierda de la ventana.



Ventana de Scene

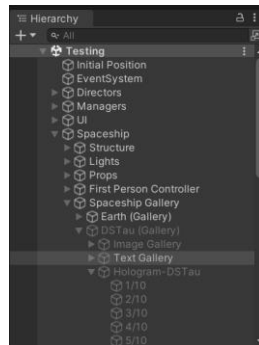
Localization Tables: Muestra las tablas que contienen las llaves y los textos correspondientes a cada llave, usados para la localización de los textos a diferentes idiomas. Para seleccionar una tabla se debe hacer clic en el dropdown a la izquierda de *Selected Table Colection*. Tener cuidado de no modificar el nombre de la tabla, pues eso evitaría la traducción de los textos que contiene dentro. Para añadir un nuevo texto, en la parte más baja de la tabla se encuentra el botón *Add New Entry*.

VISUALIZACIÓN Y ENSEÑANZA SOBRE DISCOS PROTOPLANETARIOS MEDIANTE UN VIDEOJUEGO EDUCATIVO CON REALIDAD VIRTUAL



Ventana de Localization Table

Hierarchy: En esta ventana se muestra la escena actual, junto a todos los GameObjects que se encuentran en esta. En caso de que aparezca una flecha a la izquierda de un GameObject, hacer clic en esta va a expandir/ocultar los hijos de este. Hacer clic derecho en un GameObject, y luego en *Create Empty*, creará un hijo al GameObject elegido. Arrastrar un GameObject permite reordenarlo, volverlo hijo de otro, o hacer que deje de ser hijo de su actual padre. Arrastrar un GameObject de esta ventana a un campo, hará que ese campo sea rellenado con el GameObject seleccionado o con uno de sus componentes, según el contexto. Posee una barra de búsqueda en la parte superior. Hacer clic en un GameObject muestra sus componentes en el inspector.



Ventana de Hierarchy

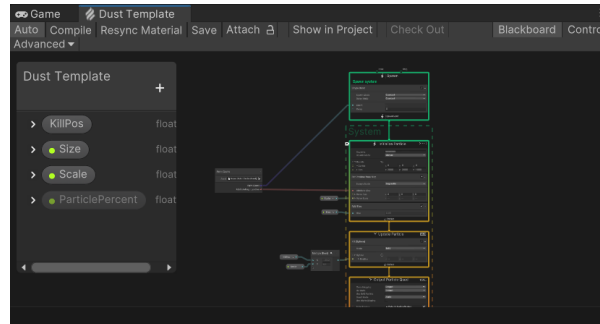
Game: Corresponde a lo que ve el usuario cuando se está jugando. Para nuestro caso, solo será de uso cuando se esté usando *Reposition Camera Testing* (Explicado en la sección 7.2).



Ventana de Game

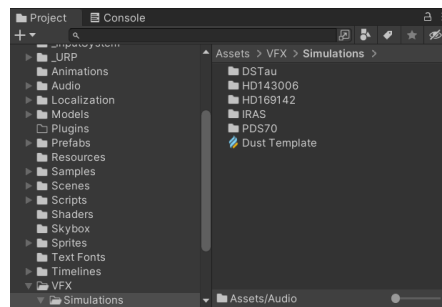
VISUALIZACIÓN Y ENSEÑANZA SOBRE DISCOS PROTOPLANETARIOS MEDIANTE UN VIDEOJUEGO EDUCATIVO CON REALIDAD VIRTUAL

Visual Effect Graph: Ventana en la cuál se muestran los grafos contenidos por los archivos .vfx. Esta ventana tendrá el nombre del archivo .vfx que está mostrando actualmente. Hacer clic con la rueda del ratón y arrastrar se puede navegar esta ventana.



Ventana de Visual Effect Graph

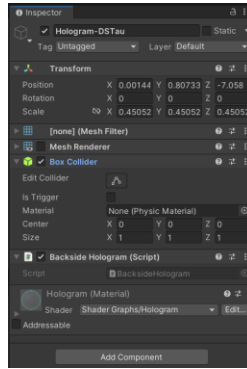
Project: En esta ventana se muestran los archivos correspondientes al proyecto de Unity, que se encuentran en las carpetas *Assets* y *Packages* (Esta última se puede ignorar). Hacer clic derecho en un elemento, y luego en *Show In Explorer*, permite abrir el navegador de archivos del sistema, con el cual puede resultar más fácil añadir nuevos assets. Hacer clic en un assets muestra sus propiedades en el inspector.



Ventana de Project

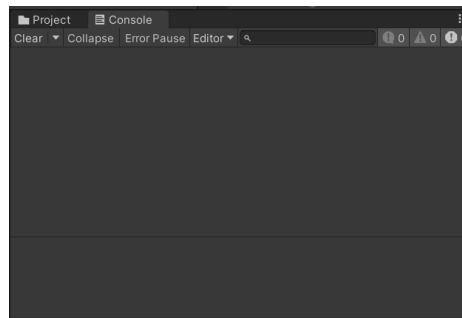
Inspector: En esta ventana se muestran todos los componentes del GameObject elegido, o las propiedades del asset elegido. Arriba de los componentes/propiedades se puede ver el nombre del objeto elegido, y a la izquierda de este puede encontrarse un cuadrado, al cual hacerle clic causa que el GameObject se active o desactive (El checkmark indica que está activado).

VISUALIZACIÓN Y ENSEÑANZA SOBRE DISCOS PROTOPLANETARIOS MEDIANTE UN VIDEOJUEGO EDUCATIVO CON REALIDAD VIRTUAL



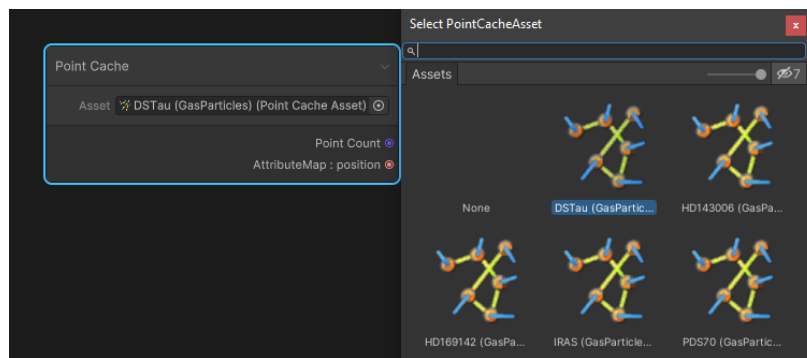
Ventana de Inspector

Console: En esta ventana pueden verse todos los mensajes, advertencias y errores generados hasta el momento. El último de estos se muestra siempre en la parte inferior de Unity. Hacer clic en *Clear* limpiará la consola de estos mensajes.



Ventana de Console

Un detalle adicional a mencionar es que, en el caso de que un campo requiera ser llenado con un GameObject, componente, o asset, esto puede realizarse de dos maneras. La primera es arrastrando el elemento solicitado de la ventana *Hierarchy* o *Project* al campo a llenar. La segunda es presionar el icono circular que se encuentra a la derecha del campo. Esto abre una ventana donde se puede buscar y seleccionar el elemento a elegir.



Ventana que se muestra para elegir un asset .pcache para el nodo Point Cache

2. Antes de abrir el editor

2.1. Assets a tener preparados

Estos son algunos assets que deben ser guardados en los archivos del proyecto. Algunos de estos requieren crear una carpeta con el nombre de la simulación.

- Sprites que se van a mostrar en la parte posterior de la nave. Guardar en *Assets/Sprites/Simulations/NombreDeLaSimulación*. Recordar que, al importar una imagen en Unity, en el inspector se debe modificar su propiedad *Texture Type* a *Sprite (2D and UI)*.
- Sprites del avatar de la persona que va a ser mostrada con el diálogo, un par con la boca abierta y cerrada. (De ser necesario, se puede usar solo uno, quedando el avatar sin animar). Estos deben ser cuadrados. Guardar en *Assets/Sprites/Avatars*
- Clip de audio que se reproduce cuando el avatar “hable”. Guardar en *Audio/SFX*
- Modelos usados para representar los distintos conjuntos de polvo de la simulación, creados mediante *Blender*, y usados para la simulación a explorar. Guardar en *Assets/Models/Simulations/NombreDeLaSimulación/Dust*
- 1 archivo .vfx que represente las partículas de gas de simulación. (Usado para la simulación a explorar). Guardar en *Assets/VFX/Simulations/NombreDeLaSimulación*
- 1 archivo .vfx que represente las partículas de la simulación. (Usado para el holograma). Guardar en *Assets/VFX/Simulations/NombreDeLaSimulación*

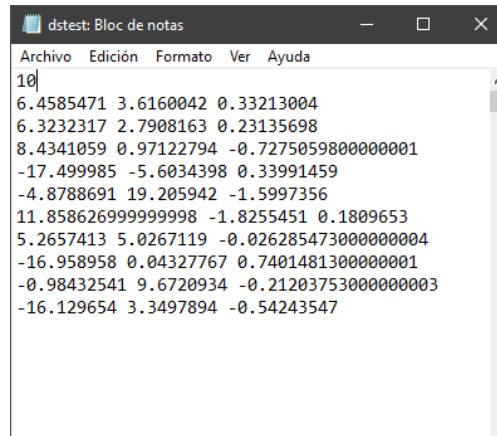
2.2. Otros elementos a tener preparados

- Nombre de la simulación a añadir (Debe ser consistente cada vez que se escriba, aunque se puede hacer una excepción en las carpetas creadas).
- Diálogos para incluir cuando se llega a una simulación
- Diálogos para incluir cuando se escanea un objetivo
- Textos para mostrar en la parte posterior de la nave

3. Creación de assets

3.1. Archivo de partículas

Para la creación de los modelos usados a continuación, se hace uso de un archivo de texto (.txt), el cual contiene, en la primera línea, la cantidad de partículas que se encuentran en el archivo, seguido de, en cada línea, el valor numérico de las coordenadas X, Y y Z de una partícula, separadas por un espacio.



Ejemplo del archivo de la simulación “dstest”, que posee 10 partículas

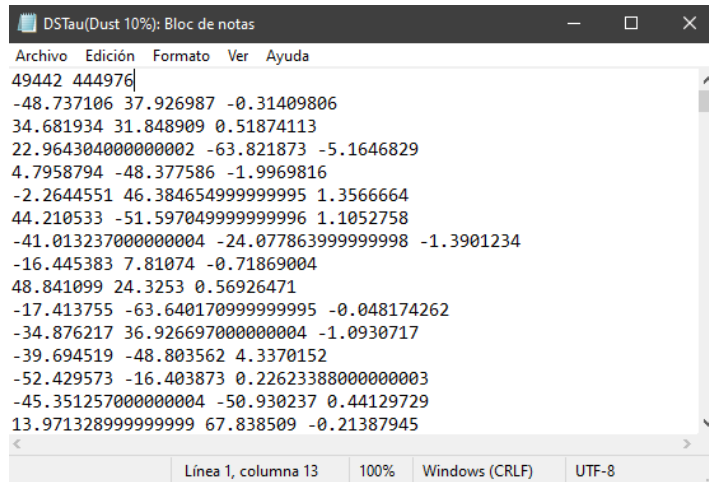
3.2. Crear modelos en Blender

Los modelos usados para el polvo dentro de Unity consisten en distintas partes de una misma simulación, cada uno con un conjunto diferente de partículas, y de distinto tamaño. Con el fin de obtenerlos, junto al repositorio se encuentra un archivo de Blender, el cual cuenta con un script que automáticamente los genera mientras se cuente con el archivo de partículas antes mencionado. Se debe usar la versión 3 de Blender.

Las instrucciones para su uso son:

- Abrir el archivo de Blender, el cual se encuentra en la carpeta *Simulation Part Generator*.
- Junto al archivo se encuentra la carpeta *Texts*, en la cual se deben insertar los archivos .txt que contienen la información de las partículas.
- A los archivos de textos ingresados, en la primera línea (Que contiene la cantidad de partículas de polvo), se debe añadir, a la derecha y separada por un espacio, la cantidad de partículas de gas. Esto es necesario para que los modelos creados tengan la proporción correcta de polvo.

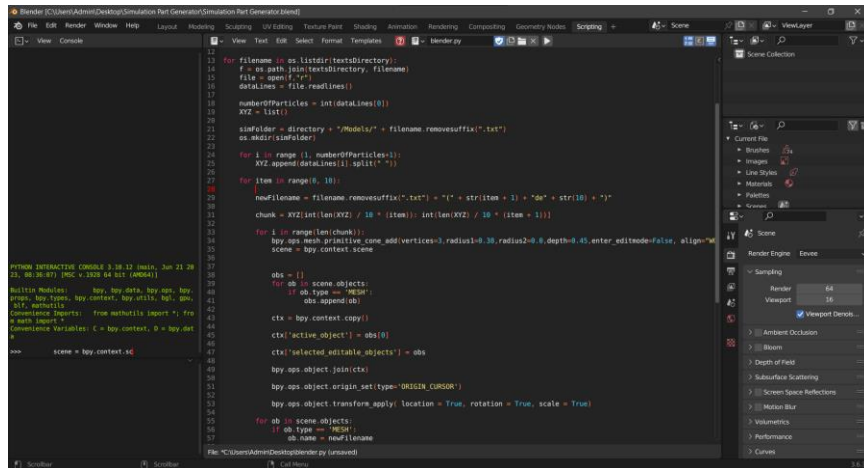
VISUALIZACIÓN Y ENSEÑANZA SOBRE DISCOS PROTOPLANETARIOS MEDIANTE UN VIDEOJUEGO EDUCATIVO CON REALIDAD VIRTUAL



```
49442 444976
-48.737106 37.926987 -0.31409806
34.681934 31.848909 0.51874113
22.964304000000002 -63.821873 -5.1646829
4.7958794 -48.377586 -1.9969816
-2.2644551 46.384654999999995 1.3566664
44.210533 -51.597049999999996 1.1052758
-41.013237000000004 -24.077863999999998 -1.3901234
-16.445383 7.81074 -0.71869004
48.841099 24.3253 0.56926471
-17.413755 -63.640170999999995 -0.048174262
-34.876217 36.926697000000004 -1.0930717
-39.694519 -48.803562 4.3370152
-52.429573 -16.403873 0.22623388000000003
-45.351257000000004 -50.930237 0.44129729
13.971328999999999 67.838509 -0.21387945
```

Ejemplo de texto usado por Blender

- Se debe abrir el archivo .blend (Se debe tener instalado Blender), acceder a la pestaña Scripting, y ejecutar el script *blender.py*. (Hacer clic en *Run Script* o presionar *Alt + P*). Mientras se crean los modelos Blender va a aparecer como si no respondiera.
- Los modelos creados se encuentran en la carpeta *Models*, dentro de la carpeta con el mismo nombre que el archivo .txt usado para generarlos.
- Cabe destacar que los primeros modelos generados tendrán partículas de un tamaño más grande, con el fin de aumentar su visibilidad cuando el resto se encuentran ocultas con el fin de aumentar el rendimiento.



Vista de la pestaña Scripting

3.3. Crear archivo .vfx

3.3.1. Partículas de gas

VISUALIZACIÓN Y ENSEÑANZA SOBRE DISCOS PROTOPLANETARIOS MEDIANTE UN VIDEOJUEGO EDUCATIVO CON REALIDAD VIRTUAL

Para las partículas de gas, se hace uso de la herramienta Visual Effect Graph, incluida en Unity. Esta nos permite generar de forma dinámica partículas individuales, con la capacidad de darles una velocidad inicial de forma individual, para dar una sensación de movimiento al gas. Esto requiere un archivo .pcache, el cual se puede obtener fácilmente del archivo de partículas. Los pasos para esto son:

- Realizar una copia del archivo de partículas, y renombrarlo a *NombreDeLaSimulación (GasParticle)*
- Copiar el número de partículas que se encuentra en el archivo.
- Eliminar la primera línea (Que contiene la cantidad de partículas)
- Añadir 8 líneas al archivo (De forma que las coordenadas empiecen en la novena)
- En las 8 líneas, copiar los siguientes textos:

pcache

format ascii 1.0

comment Exported with PCache.cs

elements *CantidadDePartículas*

property float position.x

property float position.y

property float position.z

end_header

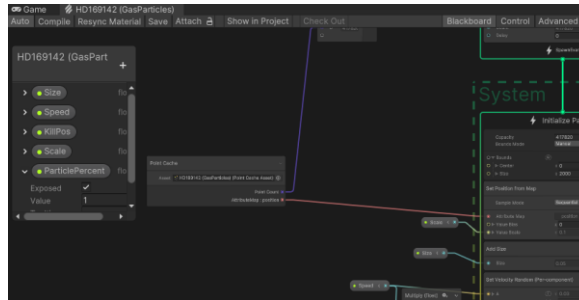
- Reemplazar *CantidadDePartículas* con la cantidad de partículas copiada
- Cambiar el formato del archivo de .txt a .pcache

```
IRAS (GasParticles).pcache X
C:\Users\Admin\Documents\GitHub\Protoplanet-Express\Assets\VFX\Simulations\IRAS\IRAS (GasParticles).pcache
1 pcache
2 format ascii 1.0
3 comment Exported with PCache.cs
4 elements 827245
5 property float position.x
6 property float position.y
7 property float position.z
8 end_header
9 -58.82958 -303.6697 -268.0716
10 -269.5186 -16.40043 180.8006
11 -222.6346 425.5097 54.31293
12 -469.1855 180.3852 -173.2548
13 -72.73879 379.0435 -75.5826
14 57.60336 1851.391 -468.4673
15 852.2185 -444.8152 -43.10976
16 29.35125 -283.8859 -67.88582
17 186.583 372.9859 335.5088
18 366.8575 -189.4808 -178.3045
19 281.5451 292.9826 38.42041
20 -17.91588 174.16 57.86617
21 -166.8685 -95.68959 78.76245
22 -191.8883 -391.4958 123.8656
23 -232.2143 -362.715 183.5267
24 319.3293 -155.5653 132.1947
```

Ejemplo de archivo .pcache

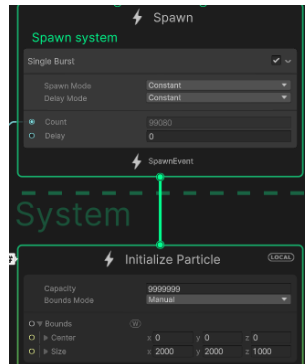
- Guardar el archivo .pcache en Assets/VFX/Simulations/*NombreDeLaSimulación*
- Copiar un archivo .vfx de otra simulación (Tienen un ícono de 2 líneas celestes y una naranja), pegarlo en la carpeta Assets/VFX/Simulations/*NombreDeLaSimulación* y renombrarlo a *NombreDeLaSimulación (GasParticles)*.

- Abrir el archivo .vfx dentro de Unity (Hacer doble clic en este en la ventana *Project* mostrará su grafo en la ventana *Visual Effect Graph*), localizar el nodo *Point Cache*, seleccionar la variable *Asset*, y elegir el archivo .pcache creado para esta simulación. (Se puede arrastrar el archivo .pcache a este campo, o hacer clic en el círculo y seleccionar el archivo).



Grafo correspondiente a la simulación HD169142, mostrando el nodo Point Cache.

- Por último, se debe modificar la variable *Capacity* del nodo *Initialize Particle* para que tenga el mismo valor de la variable *Count* del nodo *Single Burst*.



En este caso, se debe cambiar el valor 9999999 por 99080

3.3.2 Holograma

El holograma es creado de una forma similar a las partículas de gas, con unas leves diferencias en su creación. El archivo de texto usado para este propósito contiene las coordenadas de las partículas de polvo y gas, pero con las más lejanas eliminadas. En caso de no poseerlo, es aceptable copiar las coordenadas de los archivos .txt correspondientes al polvo y gas en uno solo, aunque esto causara que aparezcan algunas partículas fuera de la zona designada para el holograma. (Recordar, en caso de hacer esto último, que la primera línea debe tener como valor la cantidad de partículas incluidas en el archivo .txt).

- Realizar una copia del archivo de partículas, y renombrarlo a *NombreDeLaSimulación (Hologram)*
- Copiar el número de partículas que se encuentra en el archivo.
- Eliminar la primera línea (Que contiene la cantidad de partículas)
- Añadir 8 líneas al archivo (De forma que las coordenadas empiecen en la novena)

- En las 8 líneas, copiar los siguientes textos:

pcache

format ascii 1.0

comment Exported with PCache.cs

elements *CantidadDePartículas*

property float position.x

property float position.y

property float position.z

end_header

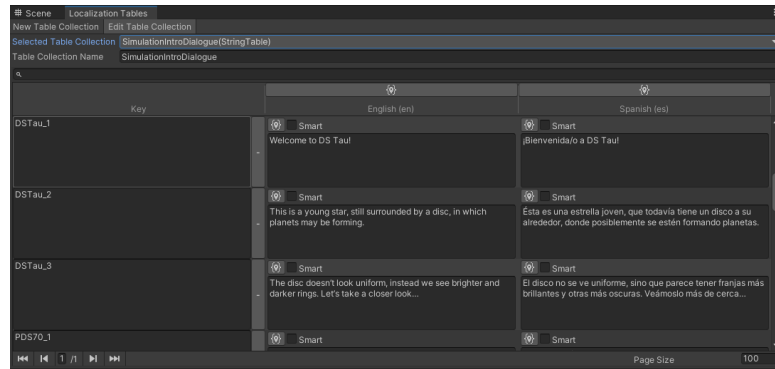
- Reemplazar *CantidadDePartículas* con la cantidad de partículas copiada
- Cambiar el formato del archivo de .txt a .pcache
- Guardar el archivo .pcache en Assets/VFX/Simulations/*NombreDeLaSimulación*
- Copiar un archivo .vfx de otra simulación (Tienen un icóno de 2 líneas celestes y una naranja), pegarlo en la carpeta Assets/VFX/Simulations/*NombreDeLaSimulación* y renombrarlo a *NombreDeLaSimulación (Hologram)*.
- Abrir el archivo .vfx dentro de Unity (Hacer doble clic en este en la ventana *Project* mostrará su grafo en la ventana *Visual Effect Graph*), localizar el nodo Point Cache, seleccionar la variable *Asset*, y elegir el archivo .pcache creado para esta simulación. (Se puede arrastrar el archivo .pcache a este campo, o hacer clic en el círculo y seleccionar el archivo).
- Por último, se debe modificar la variable *Capacity* del nodo *Initialize Particle* para que tenga el mismo valor de la variable *Count* del nodo *Single Burst*.

4. Añadiendo los textos

La forma en que se añaden textos para que puedan ser mostrados y traducidos es mediante la Localization Table que ya viene incluida en Unity. Al añadir una nueva simulación, las tablas en las que hay que escribir nuevas filas son: *SimulationIntroDialogue* (Contiene los diálogos introductorios), *SimulationObjectiveDialogue* (Contiene los diálogos que se muestran una vez se escanea un objetivo), *SimulationObjectivesNames* (Contiene los nombres de los objetivos) y *ScreenText* (Contienen los textos explicando la simulación y describiendo las imágenes).

En *SimulationIntroDialogue*, las keys a añadir (String al que se referencia para el texto de cada columna) deben llevar un nombre con el formato “Simulación_Índice” (Ej: DSTau_2), siendo índice la referencia al orden en que se muestra el diálogo (Primero se muestra DSTau_1, después DSTau_2).

VISUALIZACIÓN Y ENSEÑANZA SOBRE DISCOS PROTOPLANETARIOS MEDIANTE UN VIDEOJUEGO EDUCATIVO CON REALIDAD VIRTUAL



Key	English (en)	Spanish (es)
DSTau_1	Welcome to DS Tau!	¡Bienvenido/a a DS Tau!
DSTau_2	This is a young star, still surrounded by a disc, in which planets may be forming.	Esta es una estrella joven, que todavía tiene un disco a su alrededor, donde posiblemente se están formando planetas.
DSTau_3	The disc doesn't look uniform, instead we see brighter and darker rings. Let's take a closer look...	El disco no se ve uniforme, sino que parece tener franjas más brillantes y otras más oscuras. Veámoslo más de cerca...
PD570_1		

Localization Table correspondiente a los diálogos introductorios que se muestran al llegar a DSTau

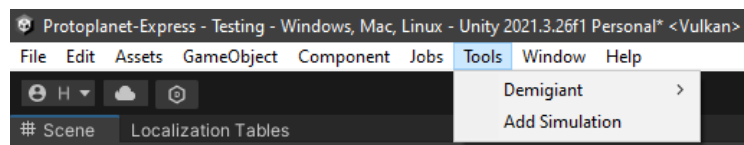
En *SimulationObjectiveDialogue*, las keys a deben llevar un nombre con el formato “SimulaciónObjetivo_Indice” (Ej: DSTauPlanet_2), siendo índice la referencia al orden en que se muestra el diálogo (Primero se muestra DSTauPlanet_1, después DSTauPlanet_2).

En *SimulationObjectivesNames*, las keys deben llevar el nombre en inglés del objetivo al que representan (Ej: Groove and exterior ring). Este nombre debe ser igual al que sea usado para nombrar el GameObject que representa al objetivo.

En *ScreenText*, para los textos que explican la simulación, las keys deben llevar un nombre con el formato “Simulación_Indice” (Ej: DSTau_2), siendo índice la referencia al orden en que se muestran estos textos en la pantalla. Para los textos que acompañan a las imágenes, las keys deben llevar un nombre con el formato “I_Simulación_Indice” (Ej: I_DSTau_2), siendo el índice la referencia al orden de la imagen que va a acompañar este texto.

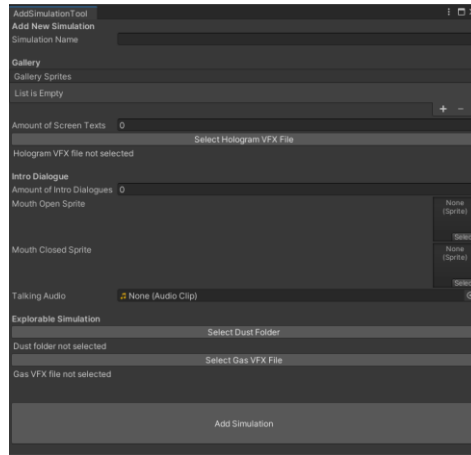
5. AddSimulation

Con el fin de automatizar parte del proceso de añadir una nueva simulación, el proyecto de Unity cuenta con la herramienta Add Simulation, la cual se puede acceder mediante Tools en la barra superior.



Ubicación de la herramienta AddSimulation.

Esta herramienta consiste en una ventana, donde se muestran varios campos que deben ser rellenados, separados de acuerdo con que familia de GameObjects pertenecen. Si no se puede ver un botón que diga *Add Simulation*, es necesario expandir verticalmente la ventana hasta que se pueda ver.



Ventana de la herramienta AddSimulation.

Los campos y el uso que se les da corresponden a:

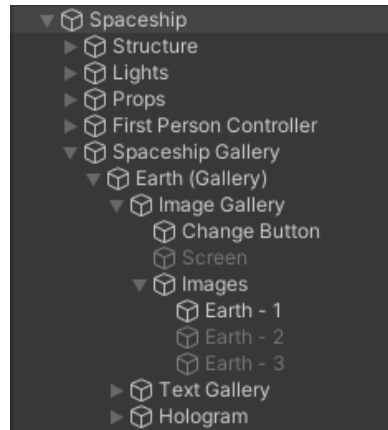
5.1. Add New Simulation

Simulation Name: Corresponde al nombre de la simulación, y que va a ser usado al generar gran parte de los GameObjects y textos. Es por esto por lo que se sugiere ser consistente en el nombre usado, evitando abreviaciones.

5.2. Gallery

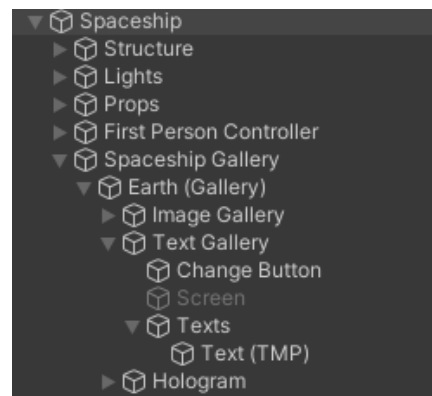
Corresponde al GameObject que va a ser creados como hijo de *Spaceship Gallery*, con el nombre *NombreDeLaSimulación (Gallery)*.

Gallery Sprites: Corresponde a las imágenes mostradas en la galería ubicada en la parte posterior de la nave. No se debe dejar ningún espacio sin asignar una imagen. Para modificarse manualmente, dentro de *Image Gallery* -> *Images*, deben eliminarse y añadirse los GameObjects hijos, en este último caso asignándose el sprite a mostrar en el componente *Sprite Renderer*. Siempre debe encontrarse solo la primera imagen activa.

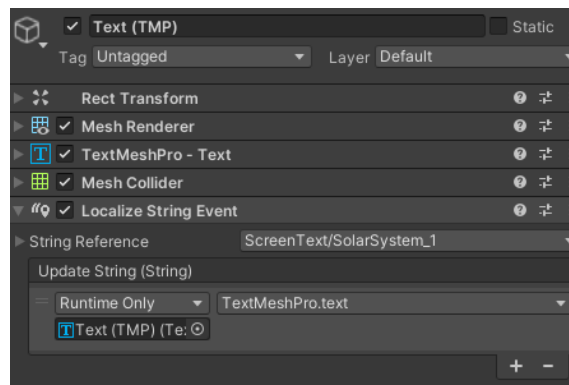


Galería de imágenes de la Tierra, la cual posee 3 imágenes

Amount of Screen Texts: Corresponde a la cantidad de textos que se van a mostrar en la galería ubicada en la parte posterior de la nave. El valor numérico ingresado en este campo debe corresponder a la cantidad de filas ingresadas en la tabla *ScreenText* para esta simulación. Para modificarse manualmente, dentro de *Text Gallery* -> *Texts*, se deben duplicar o eliminar textos hasta tener la cantidad deseada, para luego en el componente *Localize String Event*, asignar en *String Reference* las keys añadidas en *ScreenText* que correspondan a la simulación a modificar.

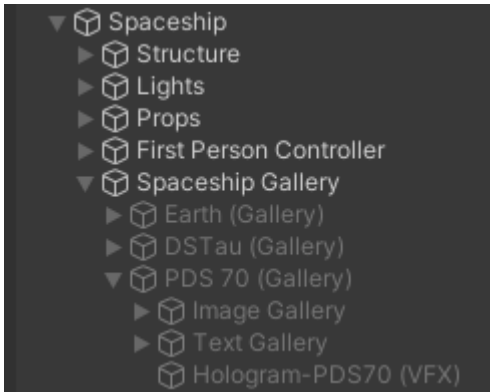


Galería de textos de la Tierra, la cual posee solo un texto



Componentes que posee el GameObject correspondiente al texto

Select Hologram VFX File: Botón que abre una ventana en la cual se debe elegir el archivo *NombreDeLaSimulación (Hologram)*. Lo que esto hace es asignar automáticamente este asset al componente *Visual Effect* del GameObject *Hologram*, el cual puede cambiarse en un futuro de ser necesario.



Holograma de la galería correspondiente a PDS70

5.3. Intro Dialogue

Corresponde al GameObject que va a ser creado como hijo de Intro Dialogues, aunque la información proporcionada en esta sección también será usada para los diálogos mostrados tras detectar un objetivo.

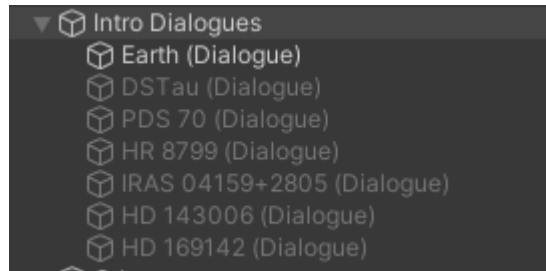
Amount of Intro Dialogue: Corresponde a la cantidad de diálogos que van a ser mostrados tras llegar a una simulación. El valor numérico ingresado en este campo debe corresponder a la cantidad de filas ingresadas en la tabla *SimulationIntroDialogue* para esta simulación.

Mouth Open Sprite: Corresponde a la imagen mostrada cuando se muestra el avatar de la persona hablando. Este lo debe mostrar con la boca abierta, usado para dar la impresión de que está habla

Mouth Closed Sprite: Corresponde a la imagen mostrada cuando se muestra el avatar de la persona hablando. Este lo debe mostrar con la boca cerrada, usado para dar la impresión de que está hablando. De ser necesario, puede usarse la misma imagen tanto en este como en *Mouth Open Sprite*, quedando así un avatar estático.

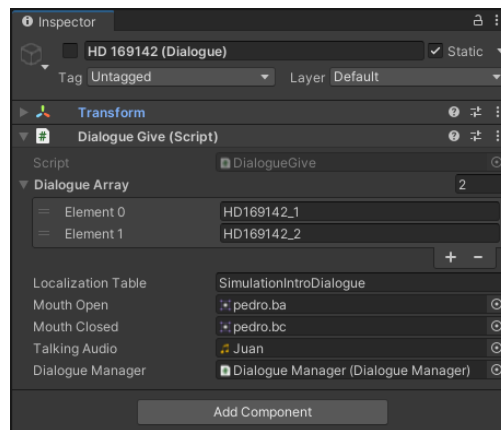
Talking Audio: Corresponde al sonido que se va a reproducir repetidamente mientras se escribe el diálogo en pantalla. En caso de no querer que se reproduzca ningún sonido, se debe asignar el archivo *Silence.wav*.

Para realizar modificaciones a alguno de los elementos aquí mostrados, se debe buscar dentro de los hijos del GameObject *Intro Dialogues* aquel que corresponda a la simulación que queramos modificar, seleccionarla, y en el inspector modificar sus parámetros



GameObjects que contienen los diálogos al entrar a una simulación.

En el caso de los diálogos, dentro de *Dialogue Array* se encuentra una lista con las keys que hacen referencia a la tabla *SimulationIntroDialogue*, en el orden en el cual se van a reproducir de arriba abajo. De añadir o modificar el diálogo, se debe de tener en consideración esta tabla de localización.



Componente Dialogue Give de la simulación HD169142

5.4. Explorable Simulation

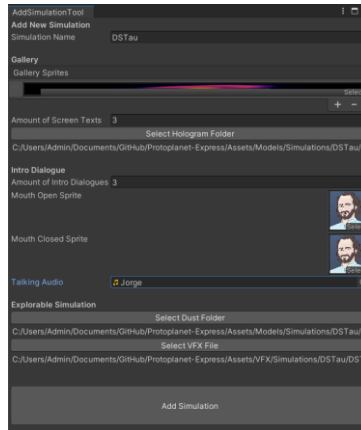
Corresponde al GameObject que va a ser creado como hijo de Simulations Explorable, la cual contiene todo lo relacionado a la simulación que el jugador explora en su nave, lo que incluye el polvo, gas, cuerpos adicionales (Planetas, estrellas, etc.) y la información de los objetivos específicos para la simulación.

Select Dust Folder: Botón que abre una ventana en la cual se debe elegir la carpeta *Dust* correspondiente a la simulación a añadir. No hay que buscar un contenido dentro de la carpeta, si no que solo seleccionarla. Lo que esto hace es asignar automáticamente los modelos del holograma a los hijos del GameObject *Dust*, los cuales pueden cambiarse en un futuro de ser necesario.

Select Gas VFX File: Botón que abre una ventana en la cual se debe elegir el archivo *NombreDeLaSimulación (GasParticles)*. Lo que esto hace es asignar automáticamente este asset al componente *Visual Effect* del GameObject *Gas*, los cuales pueden cambiarse en un futuro de ser necesario.

5.5. Añadiendo la simulación

Una vez se hayan llenado todos los campos, se debe hacer clic en el botón *Add Simulation* que se encuentra en la parte inferior de la ventana.



Ejemplo de simulación lista para añadir.

6. Ajustes por realizar

Aunque AddSimulation este hecho para automatizar la mayor parte posible del proceso de añadir simulaciones, hay algunos aspectos que deben ser revisados manualmente. Y aunque la mayor parte de este proceso está relacionada con los objetivos a añadir, se sugiere antes revisar los aspectos a continuación.

6.1. Revisar el tamaño de los elementos en la galería

Es posible que el tamaño del holograma y las imágenes en la galería no sea el adecuado. Para corregir esto, lo que se debe hacer es:

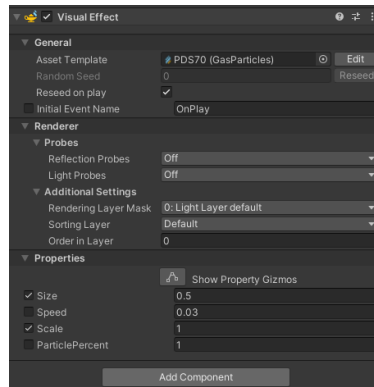
- Expandir el GameObject *Spaceship*.
- Expandir el GameObject *Spaceship Gallery*.
- Desactivar la galería de la primera simulación.
- Expandir y activar la galería de la simulación que se acaba de añadir.
- Seleccionar *Hologram* y escalarlo a un tamaño similar a los que ya están añadidos.
- Expandir el GameObject *Gallery*.
- Expandir el GameObject *Images*.
- Uno a uno activar los GameObjects correspondientes a cada imagen, escalarlo a un tamaño adecuado, y desactivarlo. Una vez terminado, asegurarse de que solo la primera imagen se encuentre activada.
- Desactivar el GameObject *Gallery* correspondiente a la simulación actual.

- Activar el GameObject *Gallery* correspondiente a la primera simulación.

6.2. Cuadrar polvo y gas

Si se activa el GameObject (*Explorable*) de la simulación añadida (Que se puede encontrar al expandir el GameObject *Simulations Explorable*), lo más probable es que las posiciones del polvo y gas no concuerden (Y aunque parezca que lo hacen, se sugiere realizar este paso para revisarlo). La forma sugerida para corregir esto es:

- Crear un archivo .pcache con las coordenadas de las partículas de polvo (Se puede crear de la misma forma que se hizo para crear el correspondiente al gas), y guardarlo en *Assets/VFX/Simulations/NombreDeLaSimulación*, con el nombre *NombreDeLaSimulación (DustParticle)*.
- En la carpeta *Assets/VFX/Simulations*, abrir *Dust Template*.
- Reemplazar el archivo *Point Cache* que se encuentra por el recién creado con la información del polvo.
- Expandir el GameObject *NombreDeLaSimulación (Explorable)*.
- Duplicar el GameObject *Gas*.
- A este duplicado, asignar *Dust Template* al campo *Asset Template*, y modificar las propiedades *Size* y *Scale* para que sean las mismas que el gas.



El campo de propiedades se encuentra en la parte inferior del componente Visual Effect

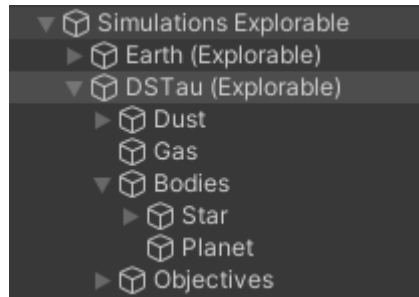
- Escalar el GameObject *Dust*, hasta que la posición de las partículas del modelo calce con la posición de las partículas blancas.
- Eliminar el GameObject duplicado.
- Si se desea cambiar el tamaño del polvo y gas al mismo tiempo, se debe hacer clic en los GameObjects *Dust* y *Gas* correspondientes manteniendo la tecla shift, y escalarlos en la ventana *Scene*.

7. Añadidos a la simulación explorable

Los últimos elementos con los que hay que trabajar para tener lista la nueva simulación se encuentran en el hijo de *Simulations Explorable* correspondiente a la simulación.

7.1. Añadiendo modelos adicionales

En el caso de que se quiera añadir uno o más modelos adicionales a la simulación, estos deben ser añadidos como hijos del GameObject *Bodies*. Mientras se cumpla esta condición, queda a discreción de la persona el cómo son añadidos los modelos, pero se recomienda que los nombres de los GameObjects correspondan a lo que representan.



Se puede ver como DSTau posee los modelos de una estrella y un planeta

Dentro de la carpeta Assets/Prefabs/Bodies se encuentran algunos modelos de planetas y estrellas, que pueden ser arrastrados hacia el GameObject *Bodies* para que aparezcan en la simulación.

7.2. Añadiendo objetivos

Este es un paso obligatorio, dado que la forma en que está planteado este juego educativo, todas las simulaciones están diseñadas con la consideración de que el jugador debe buscar puntos de interés en ella para continuar. Todo lo necesario para esto se encuentra en el GameObject *Objectives* y sus hijos, incluyendo el GameObject *Objective Template*, el cual será la base de todos los objetivos a añadir.

- Expandir el GameObject *NombreDeLaSimulación (Explorable)*, viendo los GameObjects hijos *Primary Objective* y *Secondary Objective*.
- Como hijo de *Primary Objective* se encuentra *Objective Template*, el cual contiene todo lo necesario para crear un objetivo, y debe ser duplicado para crear las bases de todos los objetivos a añadir.
- Los objetivos primarios deben ser hijos de *Primary Objective*, y los secundarios hijos de *Secondary Objective*.
- Los objetivos deben tener como nombre las keys que fueron escritas en la tabla *SimulationObjectivesNames*.

Objective Template cuenta con 2 componentes: *Objective Object* y *Dialogue Give*.

- En *Objective Object*, se deben añadir a la lista *Objectives To Unlock List* los GameObjects correspondientes a los objetivos que van a ser desbloqueados tras escanear este objetivo.

Si un objetivo es incluido por varios como requisito para desbloquearlo, todos ellos deben ser escaneados para que se pueda desbloquear.

- En *Dialogue Give*, se debe añadir a la lista *Dialogue Array* las keys añadidas a *SimulationObjectiveDialogue* correspondientes al objetivo, en el orden en que se van a reproducir (La key de más arriba debe corresponder a *NombreObjetivo_1*).

Objective Template cuenta además con tres hijos: *Collider*, *Highlight* y *Reposition*.

Collider: Corresponde al espacio en el cual se considera que el jugador está apuntando al objetivo. Este debe poseer como hijo al menos un componente tipo *Collider*, con *Is Trigger* activado. Asegurarse que el *Collider* cubra toda la zona que va a ser posible escanear.

Highlight: Corresponde al espacio que va a ser iluminado para marcar el objetivo que se acaba de escanear. Como componentes puede tener o un *Mesh Filter* y un *Mesh Renderer* (Cuando se quiere destacar un espacio 3D), como un *Sprite Renderer* (Cuando se quiere destacar un espacio 2D).

Reposition: Corresponde a la posición que va a tomar la nave espacial una vez haya sido escaneado el objetivo. Para encontrar la posición indicada, se encuentra disponible el *GameObject Reposition Camera Testing*, dentro de *Others*. Se debe activar el *GameObject NombreDeLaSimulación (Explorable)* de la simulación a añadir y el *GameObject Reposition Camera Testing*. Se debe mover en la escena este último *GameObject*, y en la ventana de juego se va a mostrar lo que estará viendo el jugador. Una vez se encuentre una posición con la que se esté satisfecho para poder apreciar bien el objetivo, se debe copiar el componente *Transform* de *Reposition Camera Testing*, y pegarlo en el mismo componente de *Reposition*, para luego desactivar *Reposition Camera Testing*.

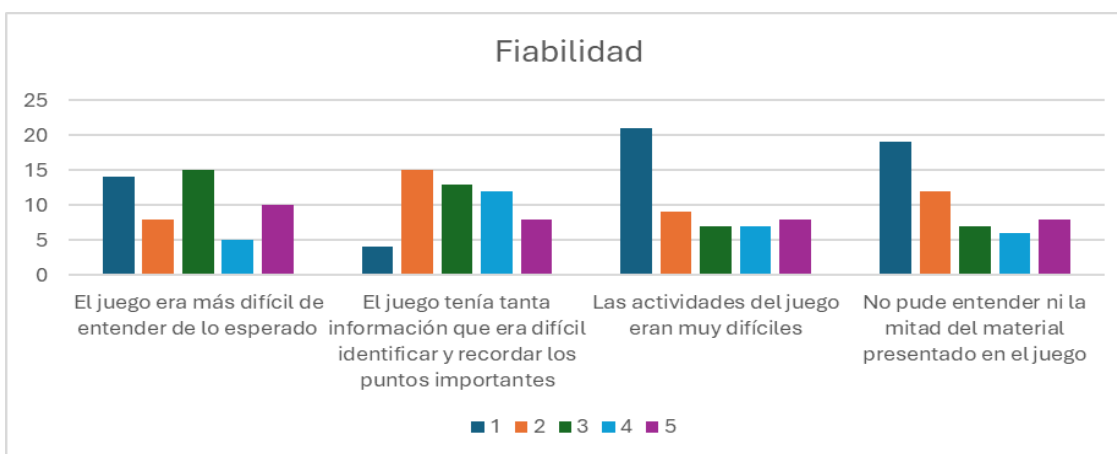
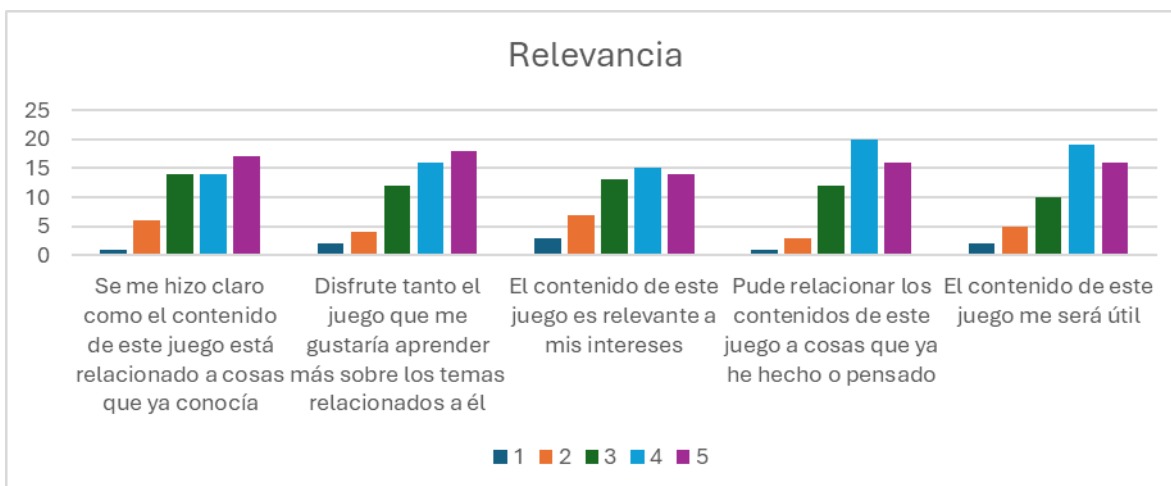
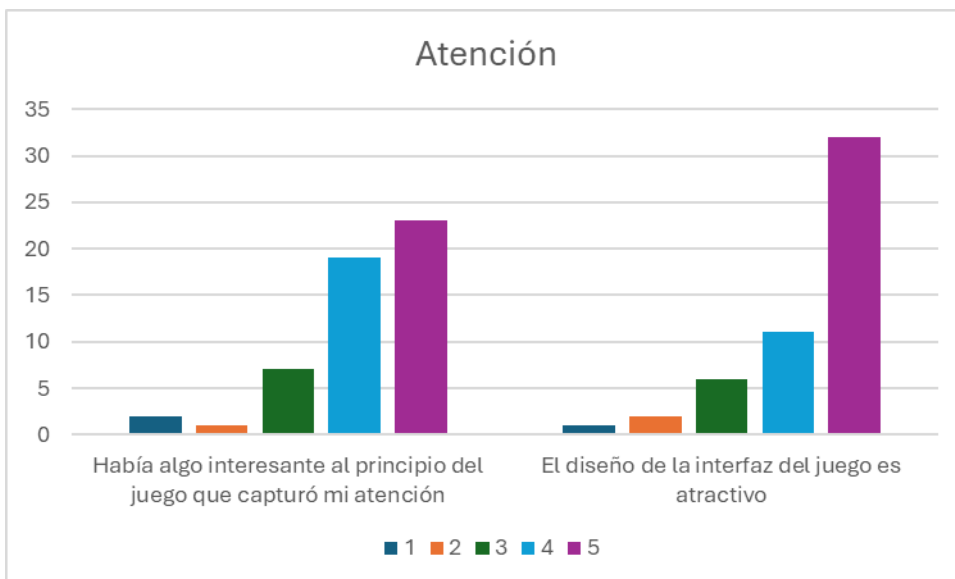
- Opcionalmente, se puede añadir otro *GameObject* como hijo de *Objective Template*, el cuál debe ser nombrado *Finder*, y debe encontrarse debajo de los otros tres. Este corresponde a la posición a la cuál apuntará la flecha que ayuda al jugador a encontrar un objetivo si se ha demorado demasiado. Este debe moverse a un espacio que este abarcado por *Collider*. De no encontrarse, la flecha no aparecerá para este objetivo.

8. Remover una simulación

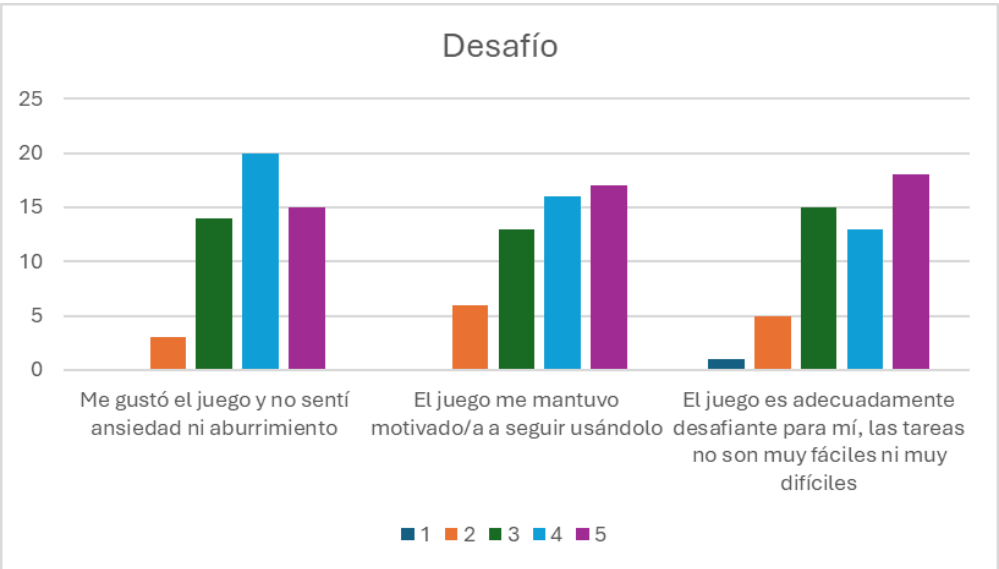
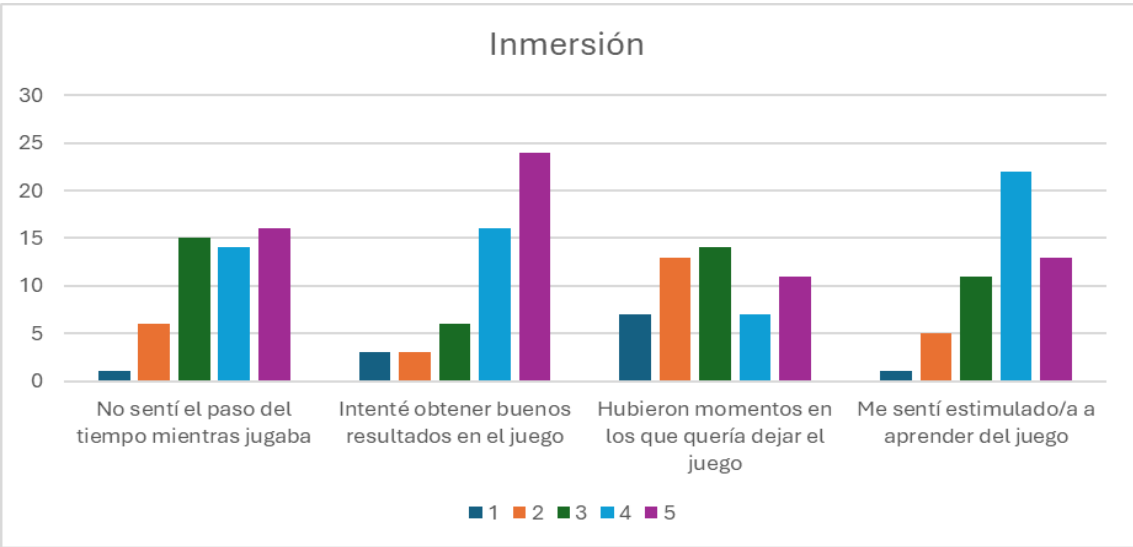
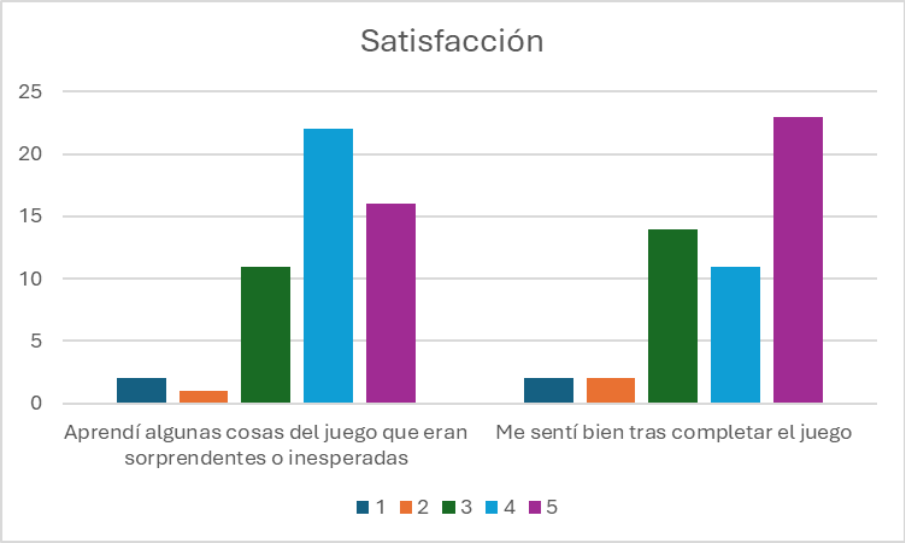
Para realizar esto, es necesario eliminar todos los *GameObjects* que sean usados únicamente por la simulación a utilizar. Estos corresponden a los *GameObjects* asignados en el componente *Simulation Package*. Estos pueden encontrarse dentro de *Managers* -> *Simulations Manager*, con los nombres de la simulación a la que representan.

Hacer clic en uno de los *GameObjects* contenidos dentro de *Simulation Package* mostrará su ubicación en la ventana *Hierarchy*. De esta manera se debe encontrar y eliminar los *GameObjects* (*Explorable*), (*Gallery*) y (*Dialogue*) correspondientes a la simulación. Una vez realizado esto, se debe eliminar el *GameObject* que contiene *Simulation Package*.

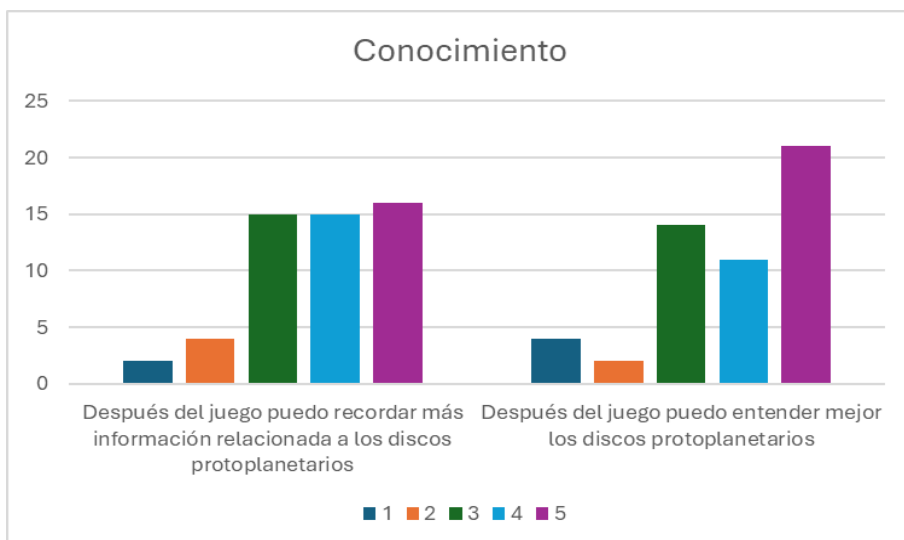
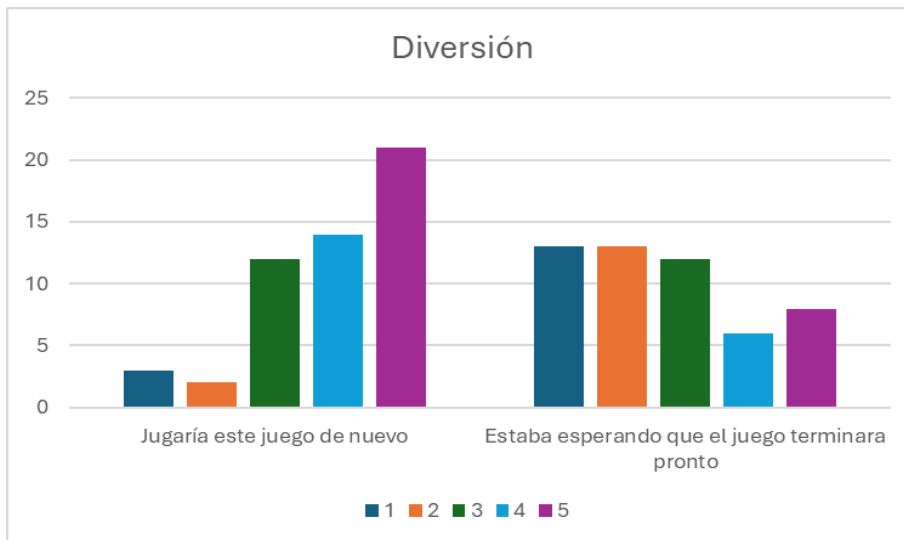
Resultados de la encuesta de Protoplanet Express (Versión *Flat Screen*)



VISUALIZACIÓN Y ENSEÑANZA SOBRE DISCOS PROTOPLANETARIOS MEDIANTE UN VIDEOJUEGO EDUCATIVO CON REALIDAD VIRTUAL

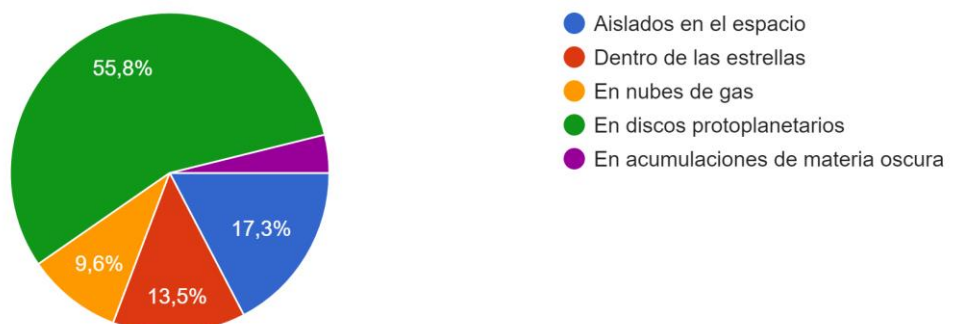


VISUALIZACIÓN Y ENSEÑANZA SOBRE DISCOS PROTOPLANETARIOS MEDIANTE UN VIDEOJUEGO EDUCATIVO CON REALIDAD VIRTUAL



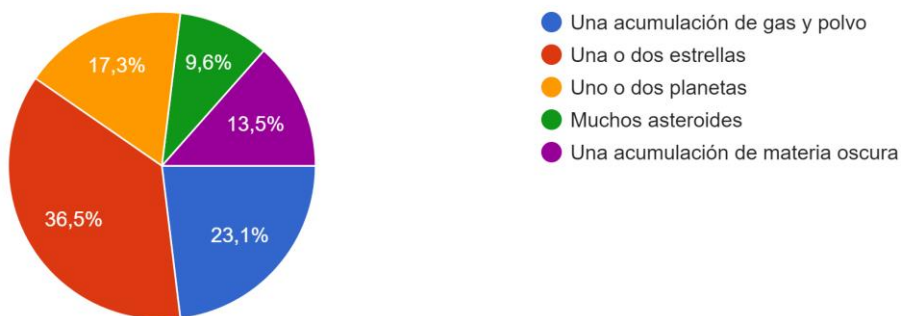
¿Dónde se forman los planetas?

52 respuestas



¿Qué hay al centro de un disco protoplanetario?

52 respuestas



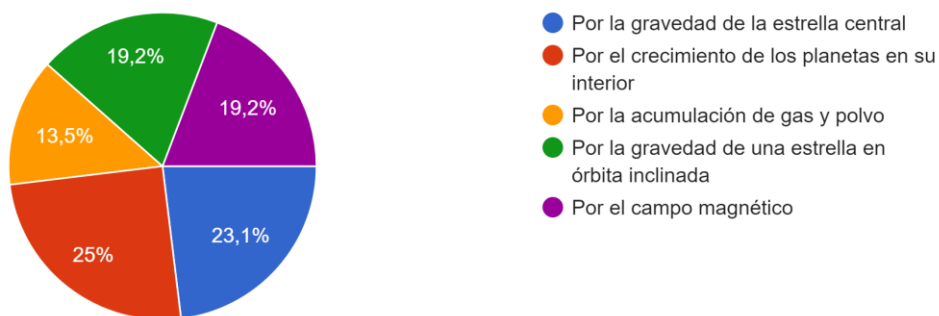
¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen espirales y anillos?

52 respuestas



¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen partes inclinadas?

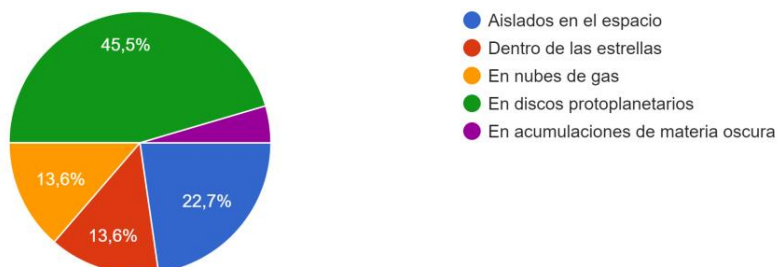
52 respuestas



Resultados de la encuesta a grupo de control (Jóvenes 17 a 20 años)

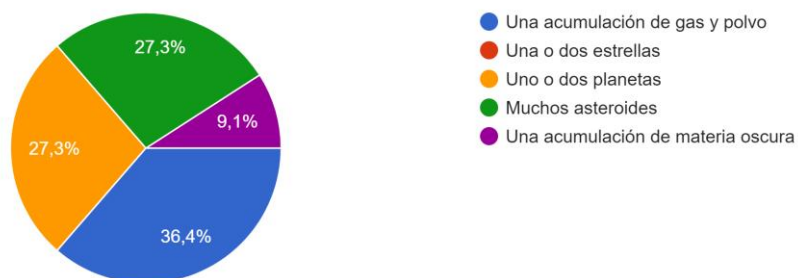
¿Dónde se forman los planetas?

22 respuestas



¿Qué hay al centro de un disco protoplanetario?

22 respuestas



¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen espirales y anillos?

22 respuestas

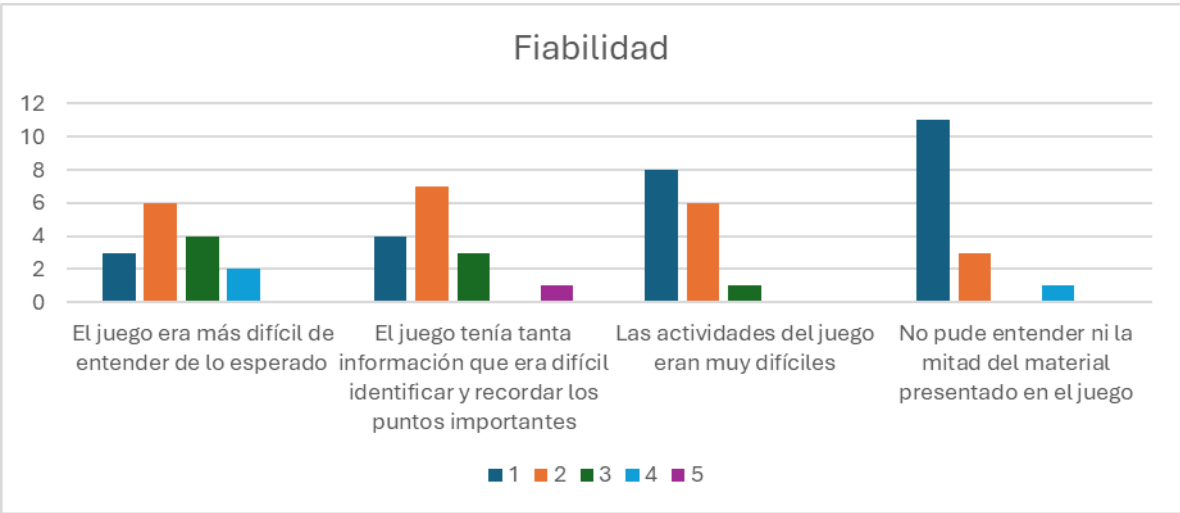
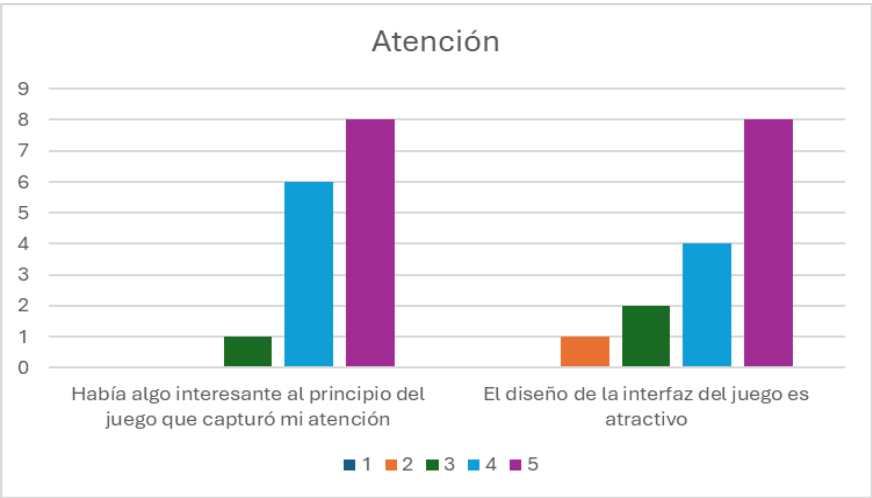


¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen partes inclinadas?

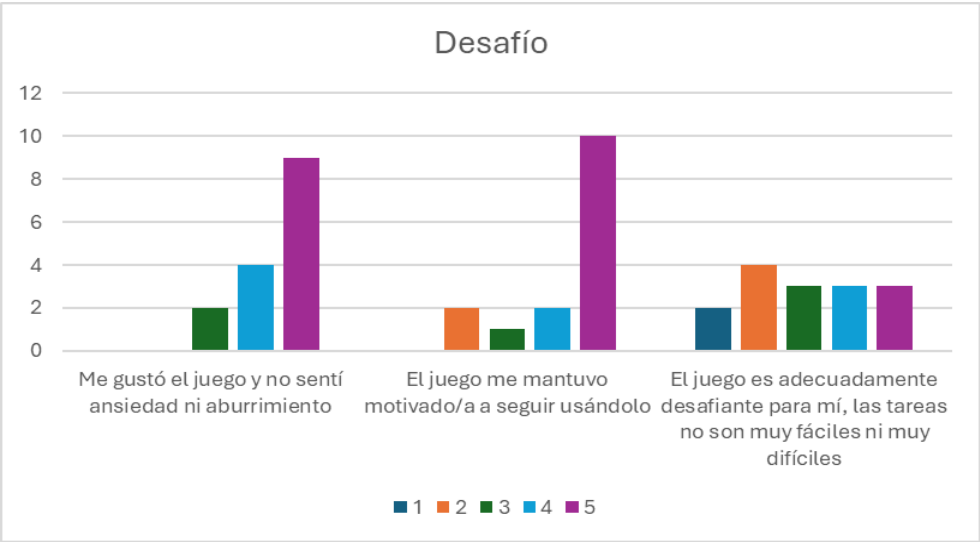
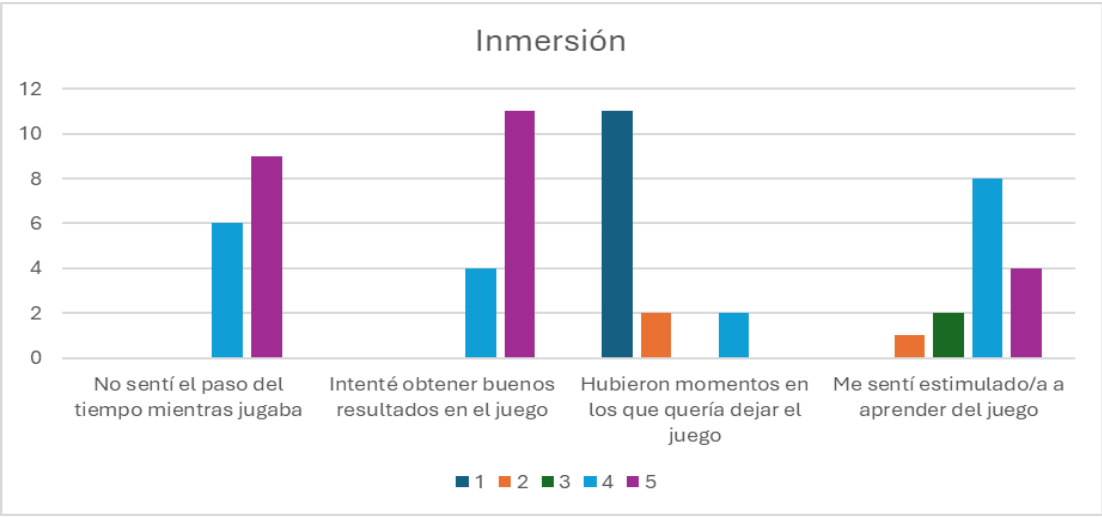
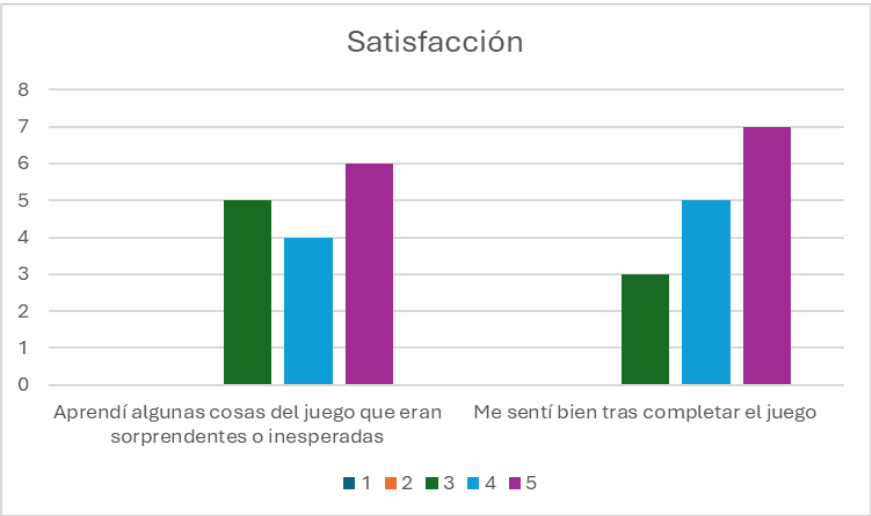
22 respuestas



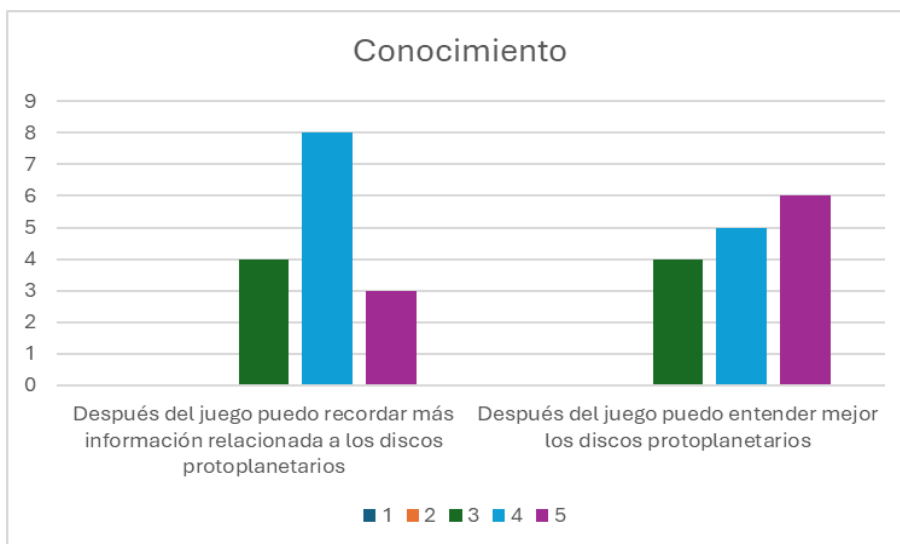
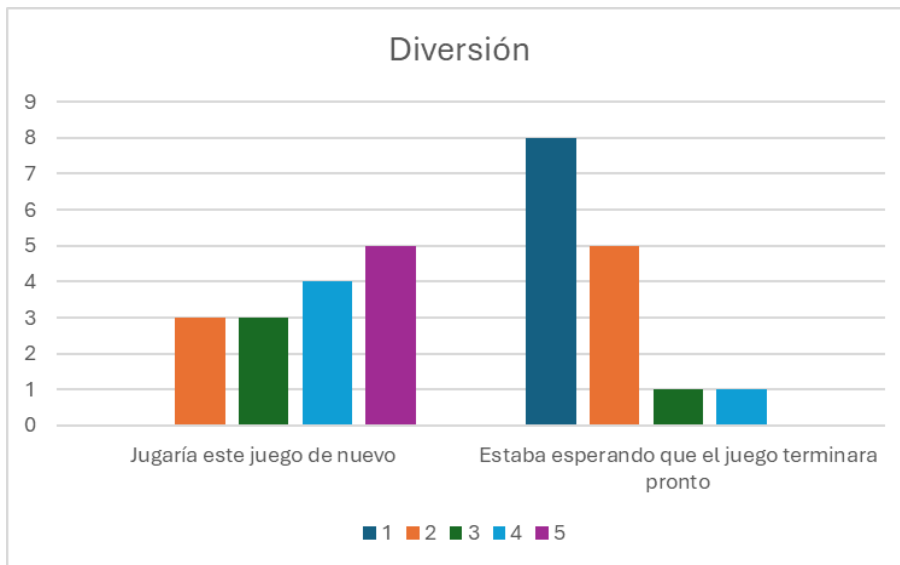
Resultados de la encuesta de Protoplanet Express (Versión VR)



VISUALIZACIÓN Y ENSEÑANZA SOBRE DISCOS PROTOPLANETARIOS MEDIANTE UN VIDEOJUEGO EDUCATIVO CON REALIDAD VIRTUAL

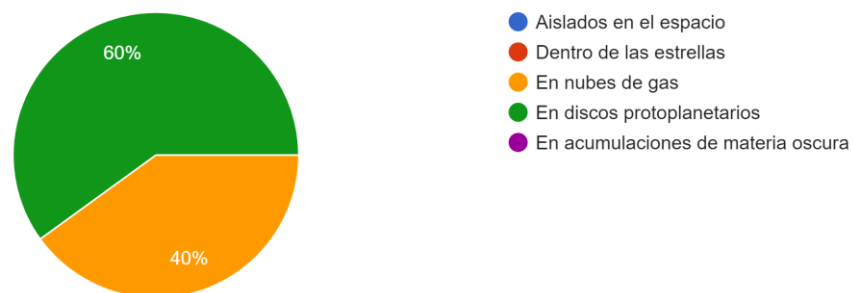


VISUALIZACIÓN Y ENSEÑANZA SOBRE DISCOS PROTOPLANETARIOS MEDIANTE UN VIDEOJUEGO EDUCATIVO CON REALIDAD VIRTUAL



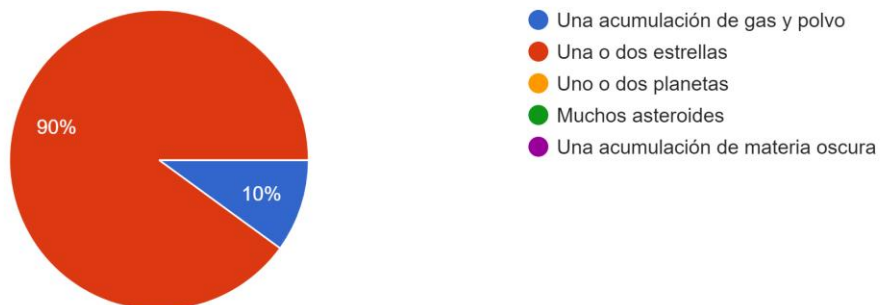
¿Dónde se forman los planetas?

10 respuestas



¿Qué hay al centro de un disco protoplanetario?

10 respuestas



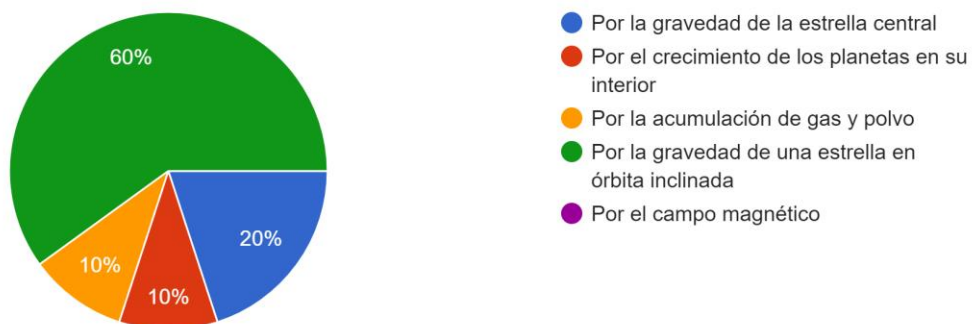
¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen espirales y anillos?

10 respuestas



¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen partes inclinadas?

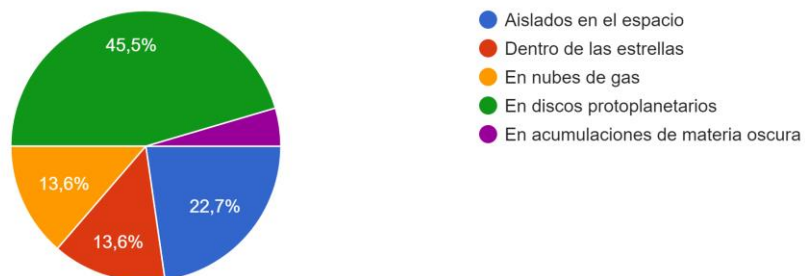
10 respuestas



Resultados de la encuesta a grupo de control (Estudiantes de ingeniería civil informática)

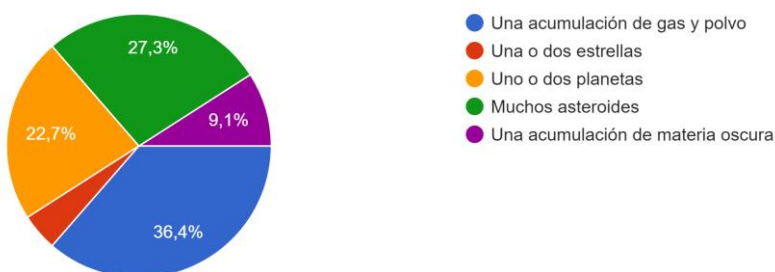
¿Dónde se forman los planetas?

22 respuestas



¿Qué hay al centro de un disco protoplanetario?

22 respuestas



¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen espirales y anillos?

22 respuestas



¿Por qué algunos discos protoplanetarios tienen partes inclinadas?

22 respuestas

