

DESARROLLO Y COMPARACIÓN DE SISTEMAS EN REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA EN LA NARRATIVA EDUCATIVA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD

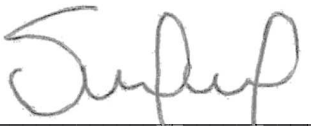
JHON FREDDY GÓMEZ GÓMEZ

Nota de Aceptación

Certificamos que el presente Trabajo de Grado Satisface, en alcances y calidad, todos los requisitos que demanda un Trabajo de Grado de Maestría.


ANDRÉS ADOLFO NAVARRO NEWBALL
Director


JUAN CARLOS MARTÍNEZ ARIAS
Jurado


SIMENA DINÁS
Jurado

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali, para optar el título de Magister en Ingeniería de Software.


HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO Ph. D.
Decano Facultad de Ingeniería y Ciencias


JUAN CARLOS MARTÍNEZ ARIAS
Director Posgrados de Ingeniería y Ciencias

Santiago de Cali, 18 de enero de 2024

Santiago de Cali, 11 de octubre de 2023

Ingeniero:
Juan Carlos Martínez Arias
Director Posgrados de Ingeniería
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Pontificia Universidad Javeriana - Cali

Con el fin de cumplir con los requisitos exigidos por la Universidad para llevar a cabo el Trabajo de Grado y posteriormente optar por el título de Magíster en Ingeniería de Software, nos permitimos presentar a su consideración el proyecto de Trabajo de Grado denominado DESARROLLO Y COMPARACIÓN DE SISTEMAS EN REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA EN LA NARRATIVA EDUCATIVA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD, el cual será realizado por el (la) estudiante JHON FREDDY GÓMEZ GÓMEZ con código 8938475 perteneciente al énfasis en Software, bajo la dirección del profesor ANDRÉS ADOLFO NAVARRO NEWBALL.

El suscrito director del Trabajo de Grado autoriza para que se proceda a hacer la evaluación de este Proyecto ante el Tribunal que para el efecto se designe, toda vez que ha revisado cuidadosamente el documento y avala que ya se encuentra listo para ser presentado oficialmente.

Atentamente,



Firma
JHON FREDDY GÓMEZ GÓMEZ
C.C. 1.130.657.040 de Cali



Firma
ANDRÉS ADOLFO NAVARRO NEWBALL
C.C. 16.790.443 de Cali



Maestría en Ingeniería de Software Facultad de Ingeniería y Ciencias

FICHA RESUMEN TRABAJO DE GRADO DE MAESTRÍA

TITULO: “DESARROLLO Y COMPARACIÓN DE SISTEMAS EN REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA EN LA NARRATIVA EDUCATIVA PARA NIÑOS CON DISCAPACIDAD”

1. ÉNFASIS: Ingeniería de Software
2. TIPO DE PROYECTO: Investigación
3. ÁREA DE TRABAJO: Realidad Virtual, Realidad Aumentada
4. ESTUDIANTE (S): Jhon Freddy Gómez Gómez
5. CORREO ELECTRÓNICO: dullich@javerianacali.edu.co
6. DIRECCIÓN Y TELÉFONO: Calle 48 # 12C - 53
7. DIRECTOR: Andrés Adolfo Navarro Newball
8. VINCULACIÓN DEL DIRECTOR (en la universidad): Planta
9. CORREO ELECTRÓNICO DEL DIRECTOR: anavarro@javerianacali.edu.co
10. CO-DIRECTOR(ES) (Si aplica): N/A
11. GRUPO O EMPRESA QUE LO AVALA (Si aplica): N/A
12. OTROS GRUPOS O EMPRESAS: N/A
13. PALABRAS CLAVE (al menos 5): realidad virtual, realidad aumentada, realidad extendida, narrativa educativa, niños con discapacidad
14. ODS QUE APLICA EL PROYECTO (Agenda 2030):
15. FECHA DE INICIO (Desarrollo del proyecto): 15/09/2022
16. RESUMEN:

Las personas con discapacidad, en especial aquellas con discapacidad visual y/o auditiva, se enfrentan a barreras en la comunicación que dificultan su acceso a la educación y el correcto desenvolvimiento en la sociedad. A pesar de que en Colombia la educación es un derecho social fundamental, la mayoría de las instituciones educativas no cuenta ni con personal calificado ni con los recursos necesarios para brindar una educación de calidad a estas personas. Es allí donde la tecnología juega un papel importante. El auge de las realidades extendidas o XR (por sus siglas en ingles), tales como la realidad virtual y la realidad aumentada, ha permitido desarrollar nuevas herramientas que pueden ser usadas para la educación con el fin de ofrecer alternativas para estas y otras personas. Este proyecto busca entonces comparar prototipos de realidad virtual y aumentada para evaluar el efecto del uso de estas tecnologías en el proceso de aprendizaje de niños con discapacidad visual y auditiva del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca como parte del proyecto “Proyecto colaborativo Colombia-Québec Narrativa, realidad virtual y deficiencias sensoriales”, que desarrollan la Pontificia Universidad Javeriana de Cali en conjunto con la Universidad de Sherbrooke.



Vigilada Mineducación

Res. 2333 del 2012

Desarrollo y comparación de sistemas en realidad virtual y aumentada en
la narrativa educativa para niños con discapacidad

Jhon Freddy Gómez Gómez
Código 8938475

*Anteproyecto de trabajo de grado para optar al título de
Magíster en Ingeniería de Software*

Director
Andrés Adolfo Navarro Newball

FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SOFTWARE
SANTIAGO DE CALI, OCTUBRE DE 2023

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, en especial a mi padre, quien falleció recientemente y me acompaña ahora desde el cielo, y a mi pareja, por el apoyo brindado a lo largo de mi vida, por todos sus consejos, por la confianza y por todo cariño que me han dado.

A mi director Andrés Adolfo Navarro Newball por acompañarme durante este proceso, por su tiempo y dedicación, y sus valiosos aportes para hacer posible este logro.

A Gloria Inés Álvarez Vargas, quien me apoyo inicialmente con otros proyectos que desafortunadamente no pudieron realizarse, por su tiempo y esfuerzo.

A todos los profesores que guiaron esta ruta de aprendizaje.

A todos aquellos quienes de una u otra manera han hecho posible este gran logro.

Tabla de contenido

1. Introducción	9
2. Planteamiento del problema	10
2.1. Formulación del problema	12
2.2. Objetivos del proyecto	12
2.2.1. Objetivo general	12
2.2.2. Objetivos específicos	12
2.3. Alcance	12
2.4. Justificación	13
3. Marco conceptual	14
3.1. Marco teórico	14
3.1.1. Narrativa Interactiva	14
3.1.2. Realidad Virtual	15
3.1.3. Realidad Aumentada	15
3.1.3.1. Basada en marcadores	15
3.1.3.2. Sin marcadores	16
3.1.3.2.1. Basada en la ubicación	16
3.1.3.2.2. Basada en proyección	17
3.1.3.2.3. Basada en superposición	18
3.1.4. Realidad Mezclada	19
3.1.5. Discapacidad	19
3.1.6. Ángulos de Euler	23
3.1.7. Interpolación de Ángulos de Euler	25
3.1.8. Cuaternión (Quaternion)	26
3.1.9. Interpolación de Cuaterniones (Quaterniones)	27
3.1.10. Animación de Esqueleto	28
3.1.11. Máquina de Estados Finitos	28
3.1.12. Detección de colisiones	30
3.2. Marco de referencia y antecedentes	32
3.2.1. Antecedentes	32
4. Metodología	35

4.1.	Actividades	35
4.2.	Gestión del proyecto	35
5.	Análisis	37
5.1.	Identificación de los usuarios	37
5.2.	Identificación de las herramientas de desarrollo	38
5.2.1.	Unity + Vuforia vs Unity AR Foundation vs Unreal Engine	38
5.2.2.	Unity 3D vs Unreal Engine	41
5.3.	Narrativa simplificada	43
5.3.1.	Narrativa Simplificada RA	44
5.3.2.	Narrativa Simplificada RV	44
5.3.3.	Requisitos	45
5.4.	Requisitos del sistema	46
5.4.1.	Comunes	48
5.4.2.	Realidad Aumentada	48
5.4.3.	Realidad Virtual	51
6.	Diseño	54
6.1.	Modelo de datos	54
6.2.	Contenido Multimedia (audio y texto)	55
6.3.	Modelos 3D	56
6.4.	Marcadores para Realidad Aumentada	64
7.	Implementación	69
7.1.	Realidad Aumentada	69
7.1.1.	Escena 1: Características físicas del Cóndor Andino	73
7.1.2.	Escena 2: Hábitat del Cóndor Andino	74
7.1.3.	Escena 3: Alimentación del Cóndor Andino	75
7.1.4.	Escena 4: Situación de peligro del Cóndor Andino	77
7.1.5.	Escena 5: mini juego (puzle)	79
7.1.6.	Refactorización	80
7.2.	Realidad Virtual	82
7.2.1.	Objeto interactivo 1: Guardabosques	88
7.2.2.	Objeto interactivo 2: Carroña	89
7.2.3.	Objeto interactivo 3: Señal	90
7.2.4.	Objeto interactivo 4: Situación de peligro	91

7.2.5.	Objeto interactivo 5: Condor Andino	92
7.2.6.	Objeto Interactivo 6: Minijuego (puzle)	94
7.2.7.	Inconvenientes	96
7.3.	Particularidades	99
8.	Resultados y pruebas	100
8.1.	Configuración de las pruebas	100
8.1.1.	Cuestionario Especialista	100
8.1.2.	Cuestionario Niños y Niñas	100
8.2.	Resultados	102
8.2.1.	Realidad Virtual	102
8.2.2.	Realidad Aumentada	108
8.2.3.	Discusión	114
9.	Conclusiones	115
10.	Trabajo futuro	116
11.	Referencias	117
Anexos		121
	Configuración entorno de desarrollo	121
	Evolución de la narrativa	122
	Evolución de los requisitos	125
	Marcadores Realidad Aumentada	137
	Configuración Sistema de Partículas	139
	Tutorial de animación del vuelo de Condor	¡Error! Marcador no definido.

Listado de tablas

Tabla 1. Comparativa de tecnologías para realidad aumentada.....	40
Tabla 2. Comparativa de tecnologías para realidad virtual.....	42
Tabla 3. Resultados Realidad Virtual.....	106
Tabla 4. Resultados Realidad Virtual (discapacidad visual/sin discapacidad).....	107
Tabla 5. Resultados Realidad Virtual (con discapacidad).....	107
Tabla 6. Resultados Realidad Aumentada.....	112
Tabla 7. Resultados Realidad Aumentada (discapacidad visual/sin discapacidad).....	113
Tabla 8. Resultados Realidad Aumentada (con discapacidad).....	113

Listado de ilustraciones

Ilustración 1. Los parques y sus ecosistemas amenazado.....	10
Ilustración 2. Realidad Virtual - Oculus Quest 2.....	15
Ilustración 3. RA basado en marcadores.....	16
Ilustración 4. Pokémon Go.....	17
Ilustración 5. RA basado en proyección.....	18
Ilustración 6. RA basado en superposición.....	18
Ilustración 7. Máscaras faciales Instagram.....	19
Ilustración 8. Realidad mezclada.....	19
Ilustración 9. Pérdida de visión central.....	21
Ilustración 10. Pérdida de visión periférica.....	21
Ilustración 11. Hemianopsia. De arriba abajo: homónima izquierda, binasal, bitemporal.....	22
Ilustración 12. Visión borrosa.....	23
Ilustración 13. Sistemas ortogonales y Ángulos de Euler.....	23
Ilustración 14. Ángulos de Euler 90°, 90°, 30°. Transformada de Euler (90°, 90°, 30°).....	24
Ilustración 15. Suspensión de Cardan.....	24
Ilustración 16. Interpolación de Ángulos de Euler.....	25
Ilustración 17. Plano complejo.....	27
Ilustración 18. Notación axial-angular.....	27
Ilustración 19. Animación del Esqueleto del Cóndor Andino.....	28
Ilustración 20. Máquina de Estado Finito.....	29
Ilustración 21. Máquina de Estados Finitos modelando un switch on/off.....	29
Ilustración 22. Caja de Colisiones en 2D.....	31
Ilustración 23. Caja de Colisiones 3D.....	32
Ilustración 24. Tablero KanBan.....	36
Ilustración 25. Procedimiento basado en heurísticas.....	38
Ilustración 26. Características soportadas por AR Foundation.....	39
Ilustración 27. XR en Unity 3D.....	41
Ilustración 28. Diagrama de casos de uso para RA.....	46
Ilustración 29. Diagrama de secuencia RA.....	47
Ilustración 30. Diagrama de casos de uso para RV.....	47
Ilustración 31. Diagrama de secuencia RA.....	48
Ilustración 32. Modelo relacional.....	55
Ilustración 33. Cóndor Andino en Blender.....	57
Ilustración 34. Cóndor Andino en Unity 3D.....	57
Ilustración 35. Textura césped.....	58
Ilustración 36. Modelo 3D Plantas.....	58
Ilustración 37. Modelo 3D Casa Guardabosques.....	59
Ilustración 38. Modelo 3D Árbol de Limones.....	59
Ilustración 39. Skybox.....	60
Ilustración 40. Modelo 3D Rocas.....	60
Ilustración 41. Modelo 3D Palmas.....	61
Ilustración 42. Modelo 3D Pinos.....	61

Ilustración 43. Modelo 3D Césped.	62
Ilustración 44. Modelo 3D Montaña Nevada.....	62
Ilustración 45. Modelo 3D Ciervo (representación carroña).....	63
Ilustración 46. Modelo 3D Pez (representación carroña envenenada).	63
Ilustración 47. Modelo 3D Guardabosques.	64
Ilustración 48. Modelo 3D Humano.	64
Ilustración 49. Marcador Alimentación V1.	65
Ilustración 50. Marcador Características del Cóndor V1.....	65
Ilustración 51. Marcador Características del Cóndor V2.....	66
Ilustración 52. Marcador Hábitat V2.	66
Ilustración 53. Marcador Alimentación V2.	67
Ilustración 54. Marcador Situación de Peligro V2.	67
Ilustración 55. Marcador Mini Juego V2.	68
Ilustración 56. Creación de proyecto para RA en Unity 3D.....	69
Ilustración 57. Importación de Vuforia SDK.....	70
Ilustración 58. Menú Vuforia Engine en Unity 3D.	71
Ilustración 59. Jerarquía de objetos en Unity 3D para RA.	72
Ilustración 60. Marcadores y contenido aumentado.	72
Ilustración 61. Escena 1: Características físicas del Cóndor Andino.	73
Ilustración 62. Máquina de estado del vuelo del Condor.	74
Ilustración 63. Escena 2: Hábitat del Cóndor Andino.....	75
Ilustración 64. Animación Venado muerto.	76
Ilustración 65. Escena 3: Alimentación del Cóndor Andino.	77
Ilustración 66. Máquina de estado del humano vertiendo.....	78
Ilustración 67. Escena 4: Situación de peligro del Cóndor Andino.....	79
Ilustración 68. Escena 5: mini juego (puzle).	80
Ilustración 69. Estructura del proyecto.	81
Ilustración 70. Estructura final proyecto en RA.....	82
Ilustración 71. Creación proyecto para RV en Unity 3D.....	83
Ilustración 72. Importación de Oculus Integration SDK.	83
Ilustración 73. Jerarquía de objetos en Unity 3D para RV.	84
Ilustración 74. Componentes básicos para apuntar/seleccionar objeto (interactivo).....	85
Ilustración 75. Componentes básicos para agarrar/soltar objeto.	86
Ilustración 76. Escena en Realidad Virtual.	87
Ilustración 77. Condor en estado de vuelo en Realidad Virtual.	87
Ilustración 78. Objetos interactivos en Realidad Virtual.....	88
Ilustración 79. Objeto interactivo 1: Guardabosques.	88
Ilustración 80. Interacción Guardabosques.	89
Ilustración 81. Objeto interactivo 2: Carroña.	89
Ilustración 82. Interacción Carroña.....	90
Ilustración 83. Objeto interactivo 3: Señal.	90
Ilustración 84. Interacción Señal.	91
Ilustración 85. Objeto interactivo 4: Situación de peligro.	92
Ilustración 86. Interacción Situación de Peligro.	92

Ilustración 87. Objeto interactivo 5: Condor Andino.....	93
Ilustración 88. Interacción Condor Andino.....	93
Ilustración 89. Objeto Interactivo 6: Minijuego (puzle).....	94
Ilustración 90. Interacción Minijuego Parte 1.....	95
Ilustración 91. Interacción Minijuego Parte 2.....	95
Ilustración 92. Interacción Minijuego Parte 3.....	96
Ilustración 93. Error con compresión ASTC.....	97
Ilustración 94. Configuración de iluminación para corregir texturas.....	98
Ilustración 95. Corrección de textura "gelatinosa".....	98
Ilustración 96. Sistema de Partículas para simulación de moscas.....	99
Ilustración 97. Sistema de Partículas para simulación de veneno.....	99
Ilustración 98. Pruebas con el prototipo en Realidad Virtual.....	104
Ilustración 99. Pruebas con el prototipo en Realidad Aumentada.....	110
Ilustración 100. Puzle deslizante.....	116

1. Introducción

A pesar de que para 2021 Colombia era el segundo país con mayor biodiversidad en el mundo, unos años atrás, en 2019, también era el quinto país del mundo con más especies amenazadas sólo superado por México, Indonesia, Madagascar e India. Entre los principales factores generadores de esta problemática se encuentran la deforestación, la falta de políticas públicas y la falta de conciencia ambiental en las personas. De ahí la importancia de enseñar a las nuevas generaciones acerca de la conservación del medio ambiente.

La educación ambiental es una herramienta que busca enseñar y transmitir los conocimientos necesarios para desarrollar una conciencia ambiental que nos permita tomar mejores decisiones respecto al uso de los recursos naturales, el manejo de los desperdicios, las energías limpias, entre otros; y entender la importancia de la conservación de los ecosistemas.

Sin embargo, es necesario crear estrategias de inclusión que garanticen una mayor accesibilidad a estas herramientas ya que existen algunas limitantes que dificultan el proceso de enseñanza tales como discapacidades en las personas, dificultad de acceso a las zonas afectadas, entre otras.

Este proyecto consiste en la creación de un prototipo en realidad virtual y un prototipo en realidad aumentada y la evaluación de cómo puede favorecer el proceso de aprendizaje de niños con discapacidad visual y auditiva del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca como parte del proyecto "*Proyecto colaborativo Colombia-Quebec Narrativa, realidad virtual y deficiencias sensoriales*", que desarrollan la Pontificia Universidad Javeriana de Cali en conjunto con la Universidad de Sherbrooke.

2. Planteamiento del problema

Colombia es el segundo país con mayor biodiversidad del mundo con 63303 especies entre flora y fauna registradas en el año 2021. Se ubica a nivel mundial como el primer país en diversidad de aves, orquídeas y mariposas; el segundo en diversidad de anfibios, peces y plantas; el tercero en reptiles y palmas; y el sexto en mamíferos. Antioquia, Meta, Valle del Cauca, Guainía, Cesar y Sucre, son los departamentos con el mayor número de registros de especies silvestres [1]. Sin embargo, alrededor de 1.203 especies se encuentran amenazadas, de las cuales 173 se encuentran en peligro crítico, 390 en peligro y 640 vulnerables [2]. Algunas de estas especies no solo se encuentran amenazadas en el territorio colombiano, sino también a escala mundial, estas son: Oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*), Jaguar (*Panthera onca*), Delfín rosado (*Inia geoffrensis*), Tortugas carey (*Eretmochelys imbricata*), Tití cabeciblanco (*Saguinus oedipus*), Manatí del Caribe (*Trichechus manatus*), Águila solitaria (*Buteogallus solitarius*), Caimán negro (*Melanosuchus niger*), Mero guasa (*Epinephelus itajara*), Pez sierra (*Pristis pectinata*), Bagre rayado del magdalena (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*).

Aunque en Colombia existen 59 parques nacionales naturales (PNN) que conservan la biodiversidad de más de 17 millones de hectáreas y donde están representados el 64,5 % de los ecosistemas del país, muchos de ellos, principalmente en la región Caribe, se encuentran con algún grado de amenaza (Ver Ilustración 1) ocasionado principalmente por problemáticas como deforestación, cultivos de coca y hechos de violencia [3].

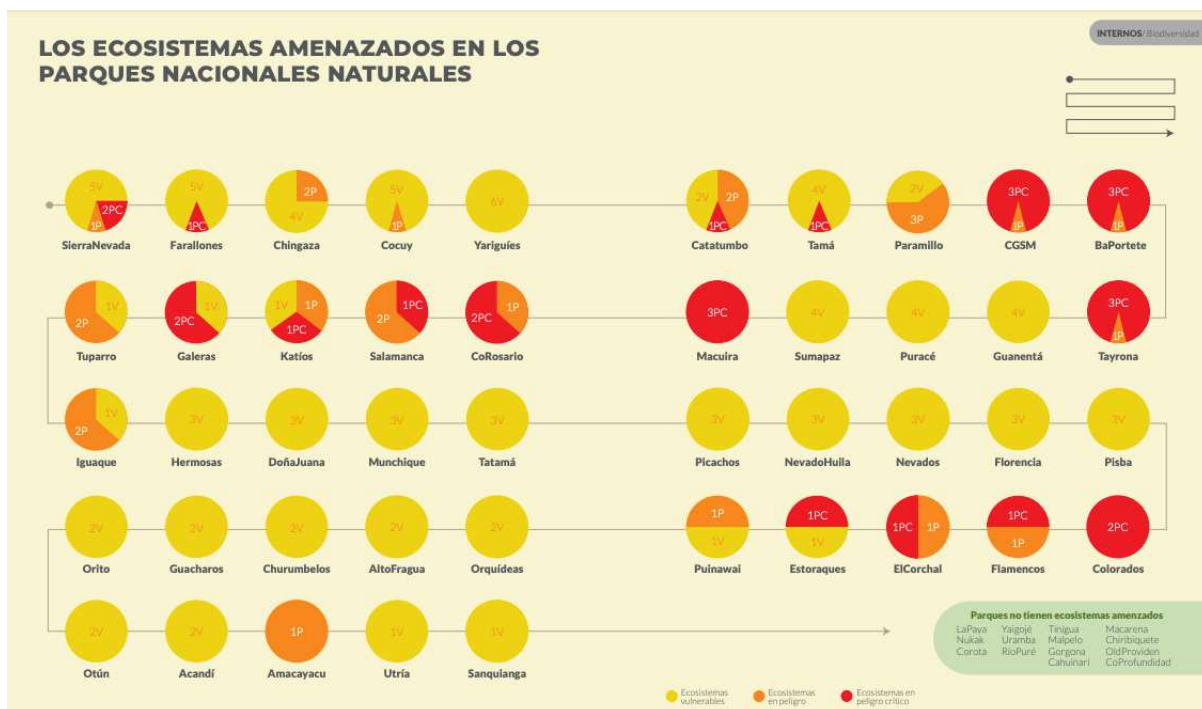


Ilustración 1. Los parques y sus ecosistemas amenazado¹.

¹ Gráfico de Parques Nacionales Cómo Vamos. Imagen obtenida de <https://imgs.mongabay.com/wp-content/uploads/sites/25/2021/09/01160143/Screen-Shot-2021-08-29-at-5.35.03-PM.png>.

Es por esto que a través de la educación ambiental se busca enseñar y transmitir conocimientos que ayuden a generar conciencia del entorno que nos rodea y la importancia de protegerlo, así como también, a crear hábitos y actitudes que le permitan a la población tomar acción en las problemáticas medioambientales. Los expertos coinciden en que esta es la vía más expedita para generar conciencia y fomentar comportamientos responsables frente al manejo sostenible del ambiente. Existen dos alternativas de enseñanza, la tradicional a través de textos, audios, videos o documentales, y otra que consiste en interactuar directamente con el medio ambiente y las especies. Sin embargo, estas no están al alcance de toda la población. Por un lado, existen personas con algún tipo de discapacidad o enfermedad que les impide o dificulta llevar una vida normal, y por el otro, algunas de estas regiones son de difícil acceso.

Según datos recientes [4], el 15 % de la población mundial, o 1000 millones de habitantes, experimentan algún tipo de discapacidad, y la prevalencia de la discapacidad es mayor en los países en desarrollo. Entre 110 millones y 190 millones de personas, o sea la quinta parte de la población mundial, se ven afectadas por discapacidades importantes. En Colombia, para agosto de 2020 había en total 1.319.049 personas con discapacidad identificadas y localizadas en el registro oficial del Ministerio de Salud y Protección Social [5]. Esta cifra equivale al 2,6% de la población total nacional.

De ahí la importancia de generar alternativas, mediante el uso de tecnología, que permitan ofrecer educación inclusiva y de calidad de una manera más fácil. Algunas de estas alternativas son la realidad virtual, la realidad aumentada y la realidad mezclada.

La realidad virtual es un entorno simulado compuesto de escenas y objetos de apariencia real generados generalmente por computador [6]. Es una experiencia completamente inmersiva en la que se hace necesario utilizar un casco o gafas que cubran completamente los ojos, y auriculares u otro dispositivo auditivo, para que solo se pueda ver y oír el entorno simulado. Por otra parte, la realidad aumentada permite a través de algún dispositivo complementar el entorno real en el cual nos encontramos con elementos simulados [7]. Para esto, se suelen usar gafas especiales u otro dispositivo como el smartphone, gracias a su pantalla y cámara. Finalmente, la realidad mezclada, como su nombre lo indica, mezcla lo mejor de ambos mundos para ofrecer una experiencia aún más enriquecedora en la que es posible estar en entornos completamente simulados, llevar objetos reales a un entorno virtual o llevar objetos simulados a un entorno real.

En los últimos años se han hecho grandes esfuerzos por aportar ya sea para mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje de educación ambiental, como lo hicieron Chang y Tien [8] estudiando la efectividad de la realidad virtual y aumentada en la educación ecológica marina, o para ofrecer mayores posibilidades a personas con discapacidades, como el trabajo hecho por Vargas y compañía [9] para ayudar a personas con discapacidad cognitiva usando realidad virtual y música. A pesar de todos estos esfuerzos, aún es difícil encontrar alternativas para los niños y más aún comparativos en los que se evalúe la eficacia del uso de este tipo de sistemas en su proceso de aprendizaje cuando presentan alguna discapacidad.

Como parte del proyecto “*Proyecto colaborativo Colombia-Quebec Narrativa, realidad virtual y deficiencias sensoriales*”, la Pontificia Universidad Javeriana de Cali en conjunto con la Universidad de Sherbrooke, están desarrollando alternativas que permitan ofrecer una educación ambiental inclusiva para los niños del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca. Este instituto cuenta con un área de rehabilitación para niños con discapacidad visual y auditiva la cual ofrece una atención integral que les permite desarrollar habilidades y competencias para su inclusión social y educativa. Este proyecto busca entonces medir el impacto que podría tener la realidad virtual y la realidad aumentada en el aprendizaje de los niños del Instituto. Surge entonces la siguiente pregunta:

2.1. Formulación del problema

¿Cómo realizar un estudio comparativo de sistemas en realidad virtual y realidad aumentada para la educación ambiental de niños con discapacidad?

2.2. Objetivos del proyecto

2.2.1. Objetivo general

Realizar un estudio comparativo de sistemas en realidad virtual y realidad aumentada para la educación ambiental de niños con discapacidad visual y auditiva.

2.2.2. Objetivos específicos

1. Desarrollar una narrativa sencilla basada en un animal que pueda ser implementada en realidad virtual y realidad aumentada.
2. Analizar las características fundamentales para la creación de un prototipo que presente la narrativa en realidad virtual y realidad aumentada.
3. Diseñar un prototipo que funcione en realidad virtual y realidad aumentada.
4. Implementar el prototipo en realidad virtual y en realidad aumentada.
5. Evaluar el efecto del uso de la realidad virtual y la realidad aumentada en niños con discapacidad visual y auditiva.

2.3. Alcance

El proyecto consistirá en la implementación de un prototipo para realidad virtual y un prototipo para realidad aumentada.

El animal que protagonizará los prototipos será determinado durante la ejecución del proyecto teniendo en cuenta que se están adelantando algunos diseños de animales en condición de peligro para el proyecto macro “*Proyecto colaborativo Colombia-Quebec Narrativa, realidad virtual y deficiencias sensoriales*”.

El prototipo se implementará con una narrativa interactiva simplificada que incluirá algunos movimientos y sonidos propios del animal elegido.

2.4. Justificación

Este trabajo de grado forma parte del proyecto “*Proyecto colaborativo Colombia-Quebec Narrativa, realidad virtual y deficiencias sensoriales*”, cuyo objetivo es la creación de herramientas que permitan tener una mayor comprensión de los animales, enfocado en animales de origen colombiano que se encuentran en peligro de extinción.

También se busca con este proyecto apoyar el desarrollo del lenguaje en niños con discapacidad visual y auditiva, en especial para los niños del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca.

3. Marco conceptual

De acuerdo con el Sistema de Clasificación Computacional (CCS por sus siglas en inglés) de la Association for Computing Machinery o ACM [10], el eje temático para este proyecto será el siguiente:

- Social and professional topics → User characteristics → People with disabilities.
- Applied computing → Education → Interactive learning environments.
- Computing methodologies → Computer graphics → Graphics systems and interfaces → Mixed / augmented reality.
- Computing methodologies → Computer graphics → Graphics systems and interfaces → Mixed / Virtual reality.
- Human-centered computing → Human computer interaction (HCI) → Interaction paradigms → Virtual reality.
- Human-centered computing → Human computer interaction (HCI) → Interaction paradigms → Mixed / augmented reality.

3.1. Marco teórico

3.1.1. Narrativa Interactiva

Las narrativas interactivas son aquellos tipos de historias, dando igual su clasificación, género o plataforma, que necesitan de la respuesta directa de un espectador o usuario para ser consumidas, ya sea a través de una acción física, clic, scroll, interfaces de voz, ventanas emergentes o nuevos formatos adaptados [11].

A continuación, se describen brevemente los diferentes tipos de narrativa interactiva:

- Narrativa lineal: la historia se recorre siempre en el mismo orden de inicio a fin.
- Narrativa "espina de pescado": La historia tiene un principio, desarrollo y final lineales, pero podemos tomar diferentes "desvíos" para explorar aspectos secundarios de la trama.
- Narrativa paralela: las acciones del usuario alteran el recorrido, pero siempre se vuelve al hilo principal en los momentos decisivos.
- Narrativa en hilo: la historia se cuenta desde distintos puntos de vista y los hilos pueden unirse o permanecer separados.
- Narrativa ramificada: los usuarios parten de un mismo principio, pero el recorrido y los finales son diferentes.
- Narrativa concéntrica: la historia gira en torno a un punto central, pero se tiene acceso a diferentes hilos de la historia. A su vez, estos hilos se ramifican para dar lugar a diferentes finales o para volver al punto central después de haberlos explorado. Es probable que haya hilos que se queden sin explorar.
- Narrativa dinámica: es una estructura experimental, se extiende tanto como el usuario lo desee o los elementos narrativos lo permitan. Son experiencias que contienen historias independientes en forma de sucesos interconectados con múltiples conexiones entre los nodos de dicha experiencia. El usuario construye la narrativa a voluntad.

3.1.2. Realidad Virtual

La realidad virtual (VR, por sus siglas en inglés) es un entorno de escenas y objetos de apariencia real, generados por computador, que crea en el usuario la sensación de estar inmerso en él, permitiéndole visualizar, manipular e interactuar con todos estos elementos e incluso con otros participantes. En la actualidad, este entorno inmersivo se contempla a través de dispositivos conocidos como gafas o cascos de Realidad Virtual, pero también puede ir acompañado de otros dispositivos, como guantes o trajes especiales, que permiten una mayor interacción con el entorno, así como la percepción de diferentes estímulos que intensifican la sensación de realidad [6]. Algunos ejemplos de dispositivos para realidad virtual son: PlayStation VR, Nintendo Labo VR, Valve Index, HTC Vive/ Vive Pro, Oculus Rift Oculus Quest (ver Ilustración 2).



Ilustración 2. Realidad Virtual - Oculus Quest 2.²

3.1.3. Realidad Aumentada

La realidad aumentada (AR, por sus siglas en inglés) describe el conjunto de tecnologías que permiten que un usuario visualice parte del mundo real a través de un dispositivo tecnológico con información gráfica superpuesta por este. El dispositivo, o conjunto de dispositivos, añaden información virtual a la información física ya existente, es decir, una parte virtual aparece en la realidad. De esta manera los elementos físicos tangibles se combinan con elementos virtuales, creando así una realidad aumentada en tiempo real [7].

La realidad aumentada debe cumplir con 3 características esenciales [12]:

- Combinación de mundo real y virtual.
- Interacción en tiempo real.
- Registro 3D preciso de los objetos reales y virtuales.

3.1.3.1. Basada en marcadores

Este tipo de realidad aumentada se caracteriza por utilizar señales, símbolos o imágenes previamente seleccionadas como marcador u objetivo del software para posteriormente

² Imagen obtenida de <https://tii.imgix.net/production/articles/7829/5cbf7c7-1cc8-4948-be93-ad09f02d41ca.jpg>.

superponer algún tipo de contenido una vez el sistema identifique dicho patrón. Básicamente se sustituye un elemento real por otro elemento virtual.

En la *Ilustración 3* se puede observar un ejemplo en el que en una hoja de papel se ubica un marcador, el cual está compuesto por un recuadro negro y dentro del recuadro algo que se asemeja a un triángulo. El sistema utiliza la cámara del dispositivo móvil para escanear continuamente e identificar dicho patrón, una vez identificado se presenta en la pantalla del dispositivo un modelo 3D de una casa.



Ilustración 3. RA basado en marcadores.³

3.1.3.2. Sin marcadores

Este tipo de realidad aumentada permite escanear continuamente el entorno real e identificar características para posteriormente presentar la información. Para esto no solo hace uso de la cámara sino también de otros sensores como el GPS, el acelerómetro, entre otros. Esta tecnología es capaz de detectar objetos o puntos característicos de una escena sin conocimiento previo del entorno.

3.1.3.2.1. Basada en la ubicación

Como su nombre lo indica, esta tecnología utiliza la ubicación y los sensores de un dispositivo inteligente para posicionar el objeto virtual en el lugar o punto de interés deseado. De esta manera, se logra la fusión de objetos virtuales en 3D en el espacio físico donde se encuentra el usuario. Un ejemplo de este tipo es Pokémon Go [13], un videojuego disponible para dispositivos IOS y Android que utiliza el GPS del dispositivo para localizar, capturar, entrenar y luchar contra criaturas virtuales llamadas Pokémon (ver *Ilustración 4*).

³ Imagen obtenida de <https://ardev.es/realidad-aumentada/>.



*Ilustración 4. Pokémon Go.*⁴

3.1.3.2.2. Basada en proyección

Lo que busca este tipo de realidad aumentada es renderizar objetos 3D virtuales dentro del espacio físico del usuario. Permite al usuario desplazarse libremente por el entorno de una zona específica mientras una cámara realiza el seguimiento del entorno para proyectar el objeto deseado. El principal uso que se le da a esta tecnología es la creación de ilusiones sobre la profundidad, la posición y la orientación de un objeto al proyectar luz artificial sobre las superficies planas reales.

El ejemplo de la *Ilustración 5*, quizá una tienda de materas, permite al comprador visualizar el modelo 3D de la matera que le interesa en el espacio en donde quiere ubicarla.

⁴ Imagen obtenida de <https://www.pokemon.com/el/app/pokemon-go/>.



Ilustración 5. RA basado en proyección.⁵

3.1.3.2.3. Basada en superposición

Se utiliza con el fin de reemplazar la vista original de un objeto con una imagen virtual actualizada para el ojo humano. Esto proporciona múltiples vistas del objeto con información adicional relevante.

En la *Ilustración 6* se usa como manual de instrucción para un dispositivo industrial, agregando elementos importantes acerca del funcionamiento y elemento críticos del mismo.



Ilustración 6. RA basado en superposición.⁶

Otro ejemplo de este tipo de realidad aumentada, son los filtros o las máscaras faciales que se han implementado en algunas redes sociales como Instagram, Snapchat o Facebook (ver *Ilustración 7*).

⁵ Imagen obtenida de <https://mashable.com/article/plant-life-balance-app-ar>.

⁶ Imagen obtenida de <https://www.atriainnovation.com/la-realidad-aumentada-y-su-uso-en-mantenimiento/>.



Ilustración 7. Máscaras faciales Instagram.⁷

3.1.4. Realidad Mezclada

Este término fue acuñado por primera vez en 1994 para definir un ambiente en el que el mundo real y objetos del mundo virtual son presentados juntos con una sola pantalla [14], es decir, construir una experiencia en la que lo físico y lo digital sean prácticamente indistinguibles o como ellos lo dicen: en cualquier extremo de la Realidad-Virtualidad continua (ver *Ilustración 8*).

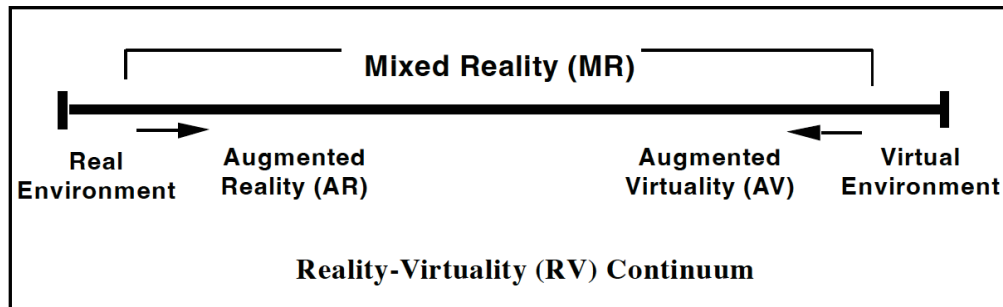


Ilustración 8. Realidad mezclada.⁸

3.1.5. Discapacidad

La discapacidad es un concepto que evoluciona y que resulta de la interacción entre las personas con deficiencias y las barreras debidas a la actitud y al entorno que evitan su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás [15].

En Colombia, el Ministerio de Salud y Protección Social reconoce 7 tipos de discapacidad [16]:

- Discapacidad física
- Discapacidad auditiva

⁷ Imagen obtenida de <https://tipsmake.com/instagram-launched-a-poison-mask-filter-netizens-sat-arguing-whether-the-action-makes-sense-or-not>.

⁸ Figure 1: Simplified representation of a RV Continuum. En *Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum* (p. 2), por P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi y F. Kishino, 1994.

- Discapacidad visual
- Sordoceguera
- Discapacidad intelectual
- Discapacidad psicosocial (mental)
- Discapacidad múltiple

Teniendo en cuenta que este trabajo se desarrolla junto con El Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, el enfoque estará en dos tipos de discapacidad:

- Discapacidad auditiva: personas que presentan en forma permanente deficiencias en las funciones sensoriales relacionadas con la percepción de los sonidos y la discriminación de su localización, tono, volumen y calidad; como consecuencia, presentan diferentes grados de dificultad en la recepción y producción de mensajes verbales y, por tanto, para la comunicación oral.
- Discapacidad visual: personas que presentan deficiencias para percibir la luz, forma, tamaño o color de los objetos. Se incluye a las personas ciegas y a las personas con baja visión, es decir, quienes, a pesar de usar gafas o lentes de contacto, o haberse practicado cirugía, tienen dificultades para distinguir formas, colores, rostros, objetos en la calle, ver en la noche, ver de lejos o de cerca, independientemente de que sea por uno o ambos ojos.

En los niños pequeños, la discapacidad visual grave de inicio temprano puede causar retrasos en el desarrollo motor, lingüístico, emocional, social y cognitivo, con consecuencias para toda la vida. En los niños en edad, pueden generar niveles más bajos de rendimiento académico [17]. De ahí la importancia de brindar un tratamiento adecuado y oportuno.

Las principales causas a nivel mundial del deterioro de la visión son:

- Errores de refracción no corregidos
- Cataratas
- Degeneración macular relacionada con la edad
- Glaucoma
- Retinopatía diabética
- Opacidad de la córnea
- Tracoma [18]

El deterioro de la visión se puede manifestar de diferentes maneras, a continuación, se describen las condiciones tratadas en el Instituto:

Pérdida de visión central [19]: la visión central depende de la mácula, un área muy pequeña situada en el centro de la retina (la capa más interna del ojo), que está directamente ligada a la agudeza visual, es donde se concentra la mayor cantidad de células fotorreceptoras (conos), lo que nos permiten ver con nitidez y captar los colores

y la intensidad de la luz. Su deterioro suele manifestarse como una mancha oscura, zona borrosa o área deformada en el centro del campo visual (ver Ilustración 9) que impide ver los objetos con detalle.

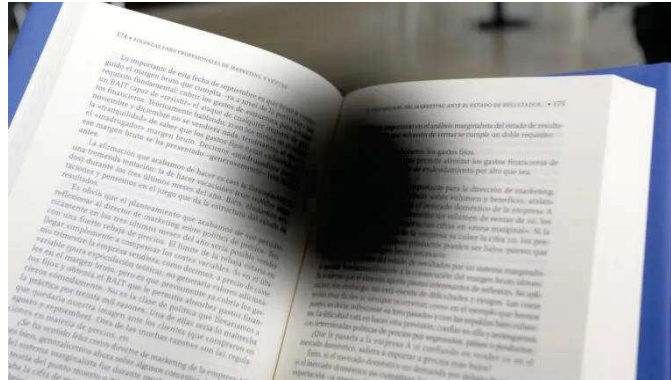


Ilustración 9. Pérdida de visión central.⁹

Pérdida de visión periférica [20]: la visión periférica está relacionada con la localización y reconocimiento de la información visual que se encuentra alrededor del objeto sobre el que fijamos nuestra atención. Es decir, nos permite ver el entorno que nos rodea de forma general, mientras que la visión central se encarga de los detalles más pequeños. Las células que intervienen en este proceso son denominadas bastones. Su deterioro se caracteriza por la reducción del campo visual: dejamos de ver los laterales, pero seguimos percibiendo aquello que se encuentra en el centro (ver Ilustración 10).

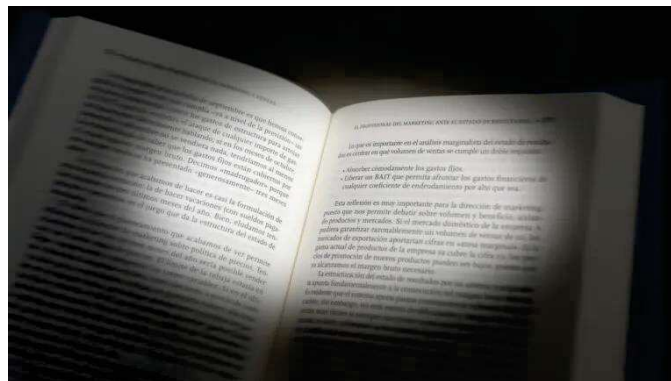
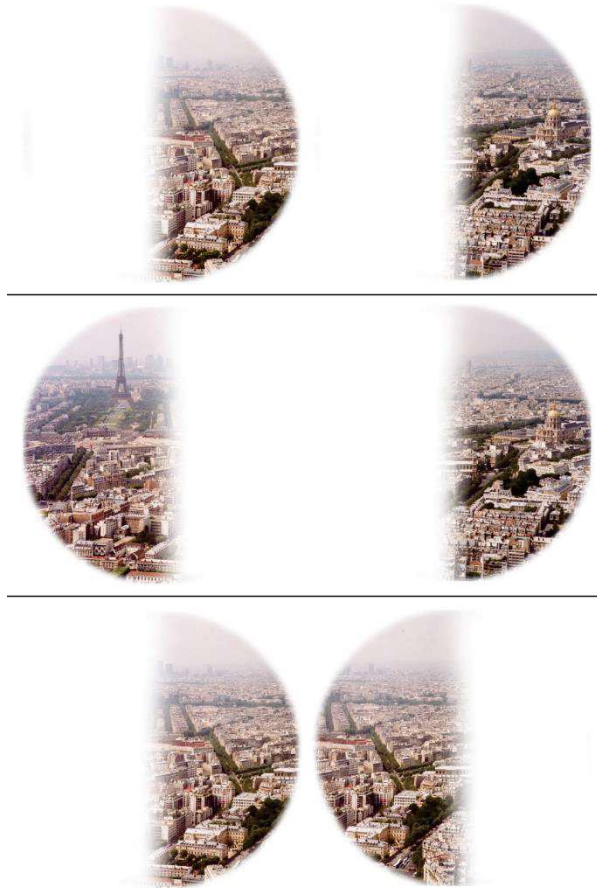


Ilustración 10. Pérdida de visión periférica.¹⁰

Hemianopsia [21]: es el deterioro de la mitad del campo visual. Permite ver ya sea la zona izquierda, la zona derecha, o el centro del campo visual (ver Ilustración 11). Este cuadro está provocado por una lesión en el quiasma óptico.

⁹ Imagen obtenida de <https://miranza.es/wp-content/webp-express/webp-images/uploads/2020/09/Perdida-vision-central-1-768x432.jpg.webp>

¹⁰ Imagen obtenida de <https://miranza.es/wp-content/webp-express/webp-images/uploads/2020/09/Perdida-vision-periferica-MAL-768x432.jpg.webp>.



*Ilustración 11. Hemianopsia. De arriba abajo: homónima izquierda, binasal, bitemporal.*¹¹

Visión borrosa [22]: es un problema relacionado con la agudeza visual, por diferentes causas y durante un tiempo variable, el ojo presenta dificultades para enfocar los objetos del entorno que queremos ver y notamos que no los percibimos con total nitidez, tal como se muestra en la Ilustración 12. Puede manifestar de cerca: hipermetropía, presbicia o vista cansada; de lejos: miopía, alta miopía; o de cerca y de lejos: aniridia, astigmatismo.

¹¹ Imagen obtenida de <https://es.wikipedia.org/wiki/Hemianopsia>.



Ilustración 12. Visión borrosa.¹²

3.1.6. Ángulos de Euler

Los Ángulos de Euler [23] son ampliamente utilizados para representar la orientación de un objeto. Son generados por una serie de rotaciones en los ejes x , y y z , de un sistema de referencia de ejes ortogonales, respecto a otro sistema de referencia de ejes ortogonales normalmente fijos (ver Ilustración 13).

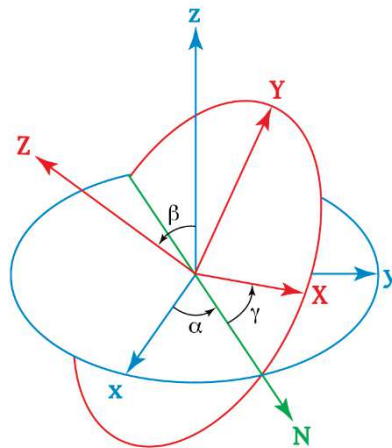


Ilustración 13. Sistemas ortogonales y Ángulos de Euler.¹³

Los ángulos de rotación α , γ y β (θ_x , θ_y y θ_z , en la Ilustración 14) son denominados Ángulos de Euler, y si son combinadas en un solo vector, este es denominado *Transformada de Euler* (ver).

¹² Imagen obtenida de <https://miranza.es/wp-content/webp-express/webp-images/uploads/2020/09/Vision-borrosa-1-768x432.jpg.webp>.

¹³ Imagen obtenida de <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/82/Euler.png>.

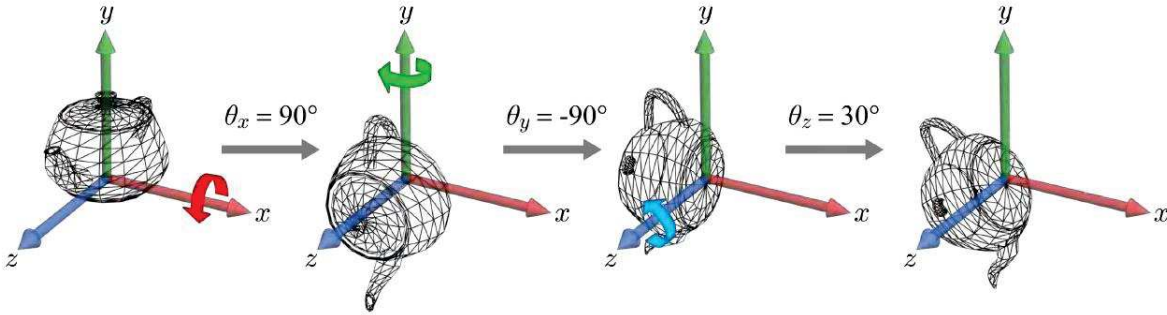


Ilustración 14. Ángulos de Euler 90°, 90°, 30°. Transformada de Euler (90°, 90°, 30°).¹⁴

A partir de la relación entre los ángulos de Euler y el movimiento de una suspensión de Cardan, este último consistente de dos aros concéntricos cuyos ejes forman un ángulo recto, lo cual permite mantener la orientación de un eje de rotación en el espacio, aunque su soporte se mueva (ver Ilustración 15); se puede probar que todo sistema de coordenadas puede ser descrito con los tres ángulos de Euler.

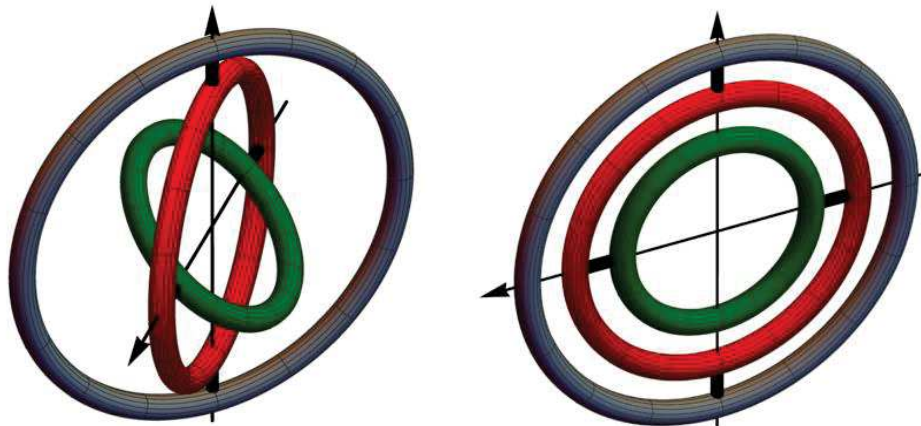


Ilustración 15. Suspensión de Cardan.¹⁵

Si llamamos $[R]$ a la matriz de rotación tridimensional que representa la transformación de coordenadas desde el sistema fijo al sistema móvil, el teorema de Euler sobre rotaciones tridimensionales, afirma que existe una descomposición única en términos de los tres ángulos de Euler:

$$[R] = \begin{bmatrix} \cos \psi & \text{sen } \psi & 0 \\ -\text{sen } \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \text{sen } \theta \\ 0 & -\text{sen } \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi & \text{sen } \phi & 0 \\ -\text{sen } \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

¹⁴ Fig. 2.7: The teapot is successively rotated using the Euler angles and acquires an orientation. En *3D Graphics for Game Programming* (p. 31), por J. Han, 2011, Seoul: CRC Press.

¹⁵ Imagen obtenidas de <http://tesla.us.es/wiki/images/thumb/d/d2/Cardan-2-00.png/400px-Cardan-2-00.png> y <http://tesla.us.es/wiki/images/thumb/5/54/Cardan-2-01.png/400px-Cardan-2-01.png>.

3.1.7. Interpolación de Ángulos de Euler

Se denomina interpolación a la obtención de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto de puntos [24]. Entonces, teniendo en un t_0 la rotación $(0^\circ, 90^\circ, 0^\circ)$ y en un t_1 la rotación $(90^\circ, 45^\circ, 90^\circ)$, es posible hallar un $t_{0.5}$ cuya rotación correspondería a $(45^\circ, 67.5^\circ, 45^\circ)$, tal como se muestra en la Ilustración 16.

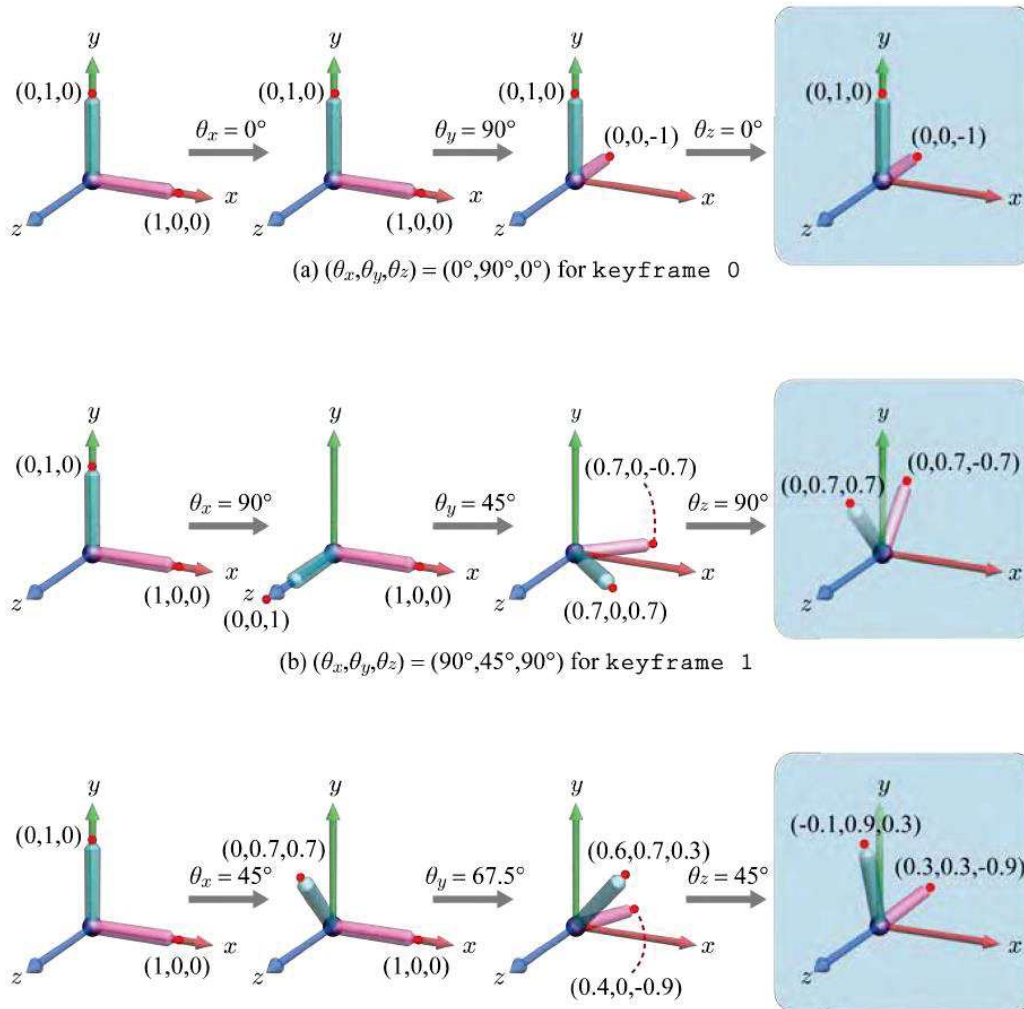


Ilustración 16. Interpolación de Ángulos de Euler.¹⁶

Dado que los puntos iniciales se encuentran en el plano yz (Ilustración 16a e Ilustración 16b), se esperaría que las coordenadas x del punto interpolado también se *encontraran* en el plano yz , pero, desafortunadamente, esto no sucede tal como se ve en la Ilustración 16c. Este es un problema conocido de los Ángulos de Euler los cuales no siempre son correctamente interpolados.

¹⁶ Fig. 11.4: Euler angles are widely used for representing an arbitrary orientation but are not correctly interpolated. En 3D Graphics for Game Programming (p. 261), por J. Han, 2011, Seoul: CRC Press.

3.1.8. Cuaternión (Quaternion)

Los Cuaterniones fueron descubiertos por Sir William Rowan Hamilton en 1843 en su afán por modelar el espacio tridimensional real con una estructura como los números complejos, cuya suma y multiplicación ocurre en un espacio bidimensional [25].

Un número complejo es un número real extendido que puede representarse como:

$$a + bi$$

Donde a y b son números reales y i es denominada la *unidad imaginaria* y corresponde al valor $\sqrt{-1}$. En palabras simples, se puede decir que un número complejo es la suma de un número real y un número imaginario.

Así pues, un Quaternion es un número complejo extendido que está representado por la siguiente ecuación [23]:

$$a + bi + cj + dk$$

Donde a , b , c y d son números reales y, i , j , k son unidades imaginarias que describen la rotación alrededor de cada eje x , y y z del espacio tridimensional, y satisfacen las siguientes propiedades:

$$i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$$

Los números complejos se pueden representar como un sistema de coordenadas (x, y) donde x corresponde al **eje real** y y el **eje imaginario**, tal como se ve en la Ilustración 17.

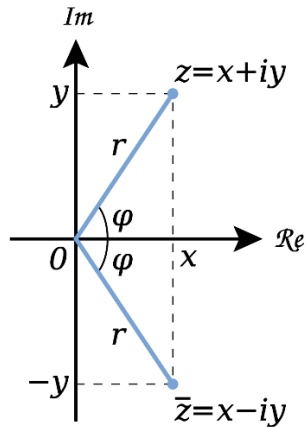


Ilustración 17. Plano complejo.¹⁷

Desafortunadamente, la representación gráfica de un Cuaternión no es tan sencilla, ya que está determinada por la notación axial-angular [26] la cual describe una rotación en un espacio tridimensional a partir de dos elementos: un vector unitario que indica la dirección de un eje de rotación y una magnitud que indica la rotación respecto de ese eje (ver Ilustración 18).

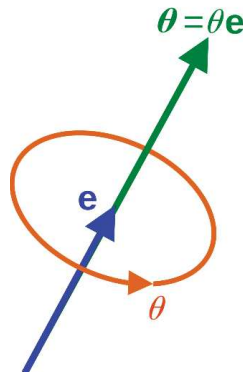


Ilustración 18. Notación axial-angular.¹⁸

3.1.9. Interpolación de Cuaterniones (Quaterniones)

A diferencia de los Ángulos de Euler, la interpolación de Cuaterniones es una operación precisa [23]. Si consideramos 2 Cuaterniones p y q , los cuales representan rotaciones. Ellos pueden ser interpolados usando un parámetro t en el rango de $[0, 1]$:

$$\frac{\sin(\theta(1-t))}{\sin\theta} p + \frac{\sin(\theta t)}{\sin\theta} q$$

¹⁷ Imagen obtenida de https://es.m.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAmero_complejo#/media/Archivo%3AComplex_conjugate_picture.svg.

¹⁸ Imagen obtenida de https://es.wikipedia.org/wiki/Notaci%C3%B3n_axial-angular#/media/Archivo:Angle_axis_vector.svg.

Donde θ denota el ángulo entre \mathbf{p} y \mathbf{q} . Así que θ puede ser computado usando el producto punto de \mathbf{p} y \mathbf{q} porque:

$$\cos \theta = \mathbf{p} \cdot \mathbf{q} = (p_x, p_y, p_z, p_w) \cdot (q_x, q_y, q_z, q_w) = p_x q_x + p_y q_y + p_z q_z + p_w q_w$$

3.1.10. Animación de Esqueleto

La animación del esqueleto o Skeletal Animation [27], es un método de animación por computadora usado para la simulación de animales vertebrados o movimientos musculares principalmente en la industria del cine. Para crear la animación de vuelo del Cóndor Andino se utilizó esta técnica en Blender, herramienta open-source muy popular para el modelado y animación 3D. A continuación, se muestra la composición del modelo 3D:

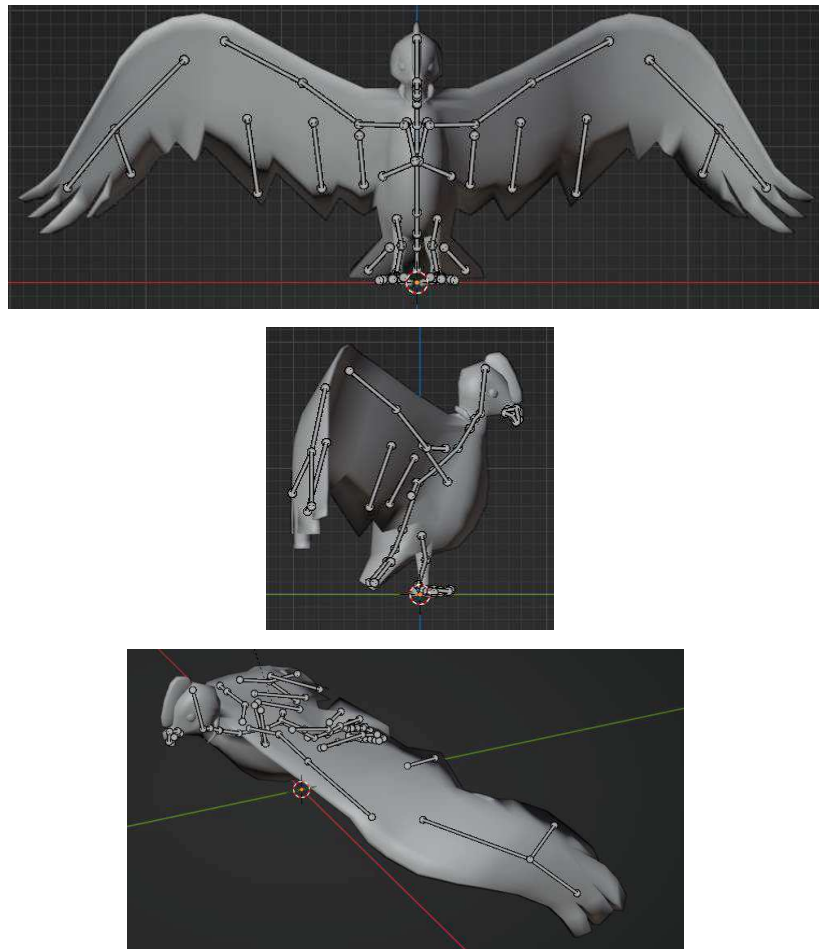


Ilustración 19. Animación del Esqueleto del Cóndor Andino.

3.1.11. Máquina de Estados Finitos

Un autómata finito o máquina de estados finitos (Finite State Machine o FSM por sus siglas en inglés) es un modelo matemático de un sistema con entradas y salidas discretas [28]. El sistema

puede estar en cualquiera de un número finito de configuraciones internas denominadas estados. Se dice que es determinístico si solo puede estar en único estado en un momento determinado, o no determinístico si puede estar en más de un estado al mismo tiempo.

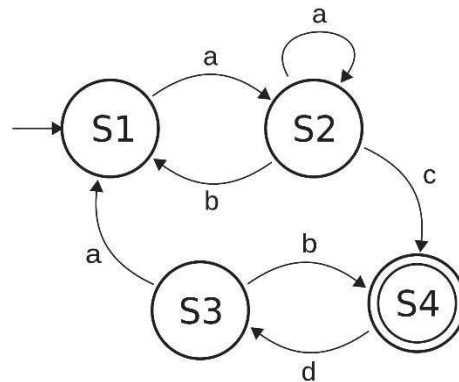


Ilustración 20. Máquina de Estado Finito.¹⁹

Como se muestra en la Ilustración 20, de manera formal máquina de estados finitos consiste de:

1. Un conjunto finito de estados.
2. Un conjunto finito de entradas.
3. Una función de transición que toma como argumentos un estado y unas entradas y retorna un nuevo estado.
4. Un estado inicial (Dentro del conjunto de estados).
5. Un conjunto de estados finales aceptados (Subconjunto del conjunto de estados)

Un ejemplo de máquina de estado finito sería un interruptor. Al presionarlo una vez este cambio de estado, al presionarlo otra vez retorna a su estado inicial, tal como se muestra en la Ilustración 21.

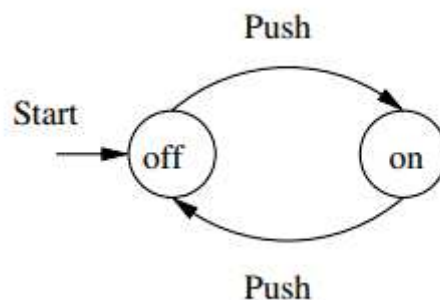


Ilustración 21. Máquina de Estados Finitos modelando un switch on/off.²⁰

¹⁹ Imagen obtenida de <https://www.profesionalreview.com/wp-content/uploads/2022/10/fsm.jpg>.

²⁰ Figure 1.1: A finite automaton modeling an on/off switch. En *Introduction to automata theory, languages, and computation, 3rd Edition*. (p. 3), por J. Hopcroft, R. Motwani y J. Ullman., 2007, Boston: Pearson Education, Inc.

Las máquinas de estado finito se utilizan mucho en los sistemas del mundo real, desde una simple aplicación de calculadora hasta complejos sistemas como el analizador léxico de un compilador o sistemas de verificación de la correctitud de circuitos o protocolos.

A continuación, se exponen las ventajas de utilizar FSM frente a otras técnicas [29]:

Simplicidad: Las máquinas de estado son sencillas de implementar y entender. El flujo de control es claro y no hay estructuras de control complejas, como los bucles, que se interpongan en el camino.

Extensibilidad: El código es fácil de extender. Todo lo que necesitas hacer es añadir más transiciones con las condiciones adecuadas y no necesitas cambiar el código existente.

Reutilización: Se puede compartir fácilmente la misma máquina de estado entre múltiples casos de uso. Como la máquina de estado es independiente de los casos de uso, puedes implementarla una vez y utilizarla tantas veces como quieras.

Capacidad de comprobación: Puedes escribir pruebas unitarias para cada estado y las transiciones entre ellos. Esto facilita la identificación de problemas en el código, especialmente cuando se tiene una máquina de estados grande.

3.1.12. Detección de colisiones

En un ambiente virtual existen varios objetos que interactúan entre sí, estas interacciones involucran que un objeto empuje, golpee, aplaste o destruya a otro y, normalmente, implican una detección de colisiones [30]. La detección de colisiones es el método utilizado para saber si un objeto ha colisionado con otros.

Por ejemplo, en juegos 2D se utilizan formas genéricas tales como círculos o cuadrados (o rectángulos), para recubrir el objeto, y la detección de colisiones depende del tipo de formas que estén colisionando: rectángulo con círculo, rectángulo con rectángulo, etc.; tal como se muestra en la Ilustración 22.



Ilustración 22. Caja de Colisiones en 2D.²¹

En juegos 3D, también se utilizan formas genéricas como cubos o esferas, pero también existen representaciones más complejas denominadas mallas, las cuales se construyen a partir de triángulos. En la Ilustración 23 se puede ver un comparativo a partir del objeto del Condor Andino, en la primera imagen se usa un cubo para recubrirlo, en la segunda imagen se usa una malla que lo recubre externamente y en la tercera se usa una malla que lo bordea. El número de polígonos utilizados para construir el recubrimiento de la tercera imagen es mayor al de la imagen 2 y al de la imagen 1, por lo que la complejidad de los cálculos para detectar las colisiones es mucho mayor, es por eso que usualmente se utilizan formas genéricas para el manejo de colisiones básicas.

²¹ Imagen obtenida de <https://rodrigomontemayor.files.wordpress.com/2012/03/img0-1.png>.

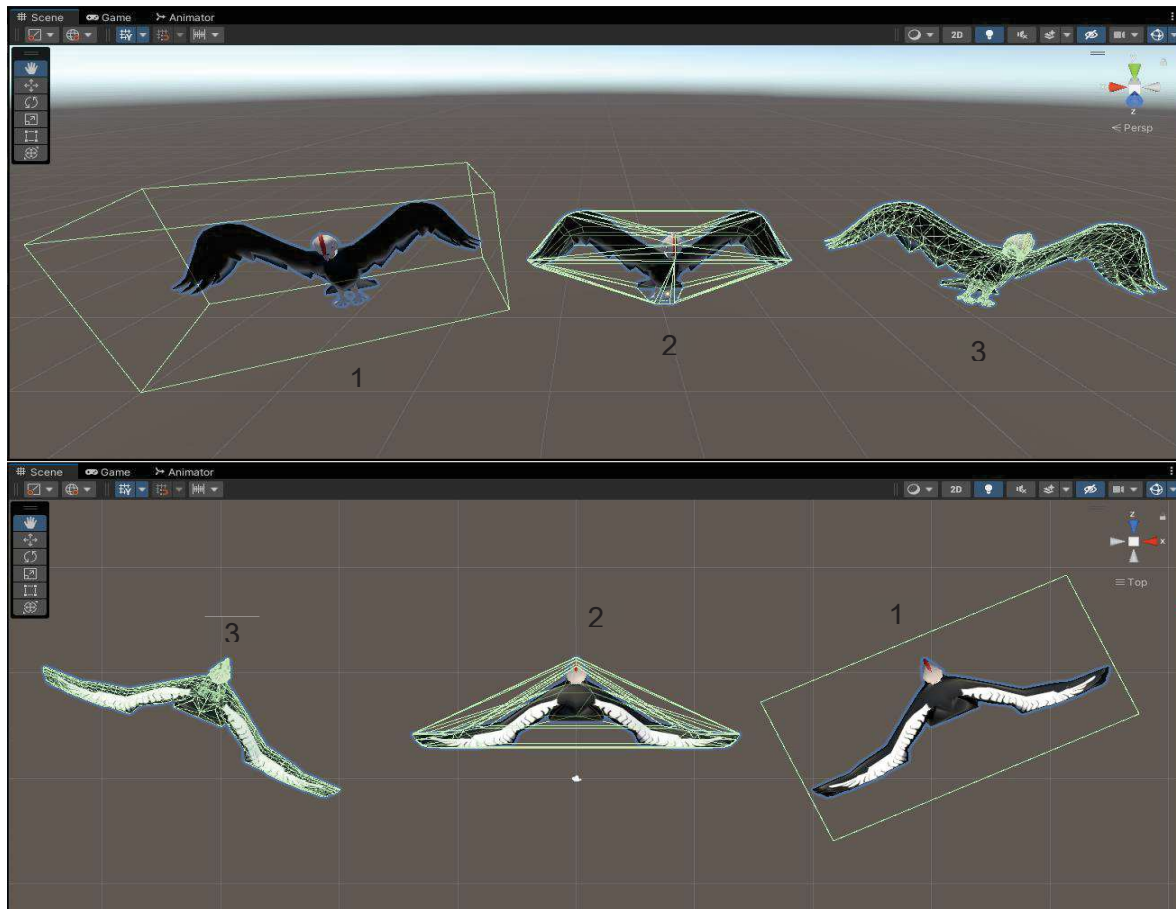


Ilustración 23. Caja de Colisiones 3D.

La comparación de cada objeto con todos los demás es la forma obvia de detectar las colisiones, pero es demasiado ineficiente para usarse cuando la cantidad de objetos es grande. Así mismo comparar objetos con geometría compleja (como la presentada en la Ilustración 23-3) entre sí de la manera obvia, comparando cada cara con la otra cara, es bastante lento. Por esto desarrollado estrategias para optimizar el proceso siendo las más utilizadas en mallas poligonales los volúmenes delimitadores jerárquicos y los volúmenes delimitadores alineados con ejes.

3.2. Marco de referencia y antecedentes

3.2.1. Antecedentes

Hasta ahora se habían usado videos, audios e imágenes, es decir, formatos multimedia tradicionales, para la enseñanza y aprendizaje de la educación ambiental. Pero recientemente han surgido nuevas alternativas que hacen uso de realidad virtual, realidad aumentada o realidad mezclada con las cuales se logra captar la atención de las personas al ofrecer una mayor interacción durante el proceso.

Para realidad virtual, por ejemplo, en 2019 se hizo un estudio empírico para medir el impacto en la educación ambiental a través de un ambiente inmersivo [31], en dicho estudio, se formaron dos grupos de personas, a uno se le presentó un video de educación ambiental en formato tradicional a través de un computador, mientras que al otro se le presentó un video en realidad virtual. Posteriormente se realizó un cuestionario a ambos grupos con preguntas asociadas al video y a la sensación de conexión con la naturaleza. Como resultado, el grupo que visualizó los videos a través de realidad virtual tuvo mejores resultados en la evaluación.

Más adelante en 2020, Vargas y compañía se enfocaron sus esfuerzos en mejorar el proceso de aprendizaje de personas con discapacidad cognitiva [9]. Fue así como combinando música y realidad virtual diseñaron una serie de juegos para el proceso de terapia y rehabilitación de las personas de la Fundación Vodafone España. Los juegos cubrían un amplio rango de habilidades y se clasificaron así: Juego A, para habilidades de coordinación y motoras; Juego B, para habilidades de memoria; y Juego C, para percepción espacial. Con estos juegos se lograba evaluar las siguientes habilidades en las personas: habilidades motoras, coordinación, atención, concentración, sentidos de la vista y oído, ritmo, reconocimiento de melodías o memoria musical, memoria, diferenciación de colores, ubicación espacial de objetos y ubicación espacial de sonidos. Para su implementación hicieron uso del Oculus Rift. Finalmente concluyeron que para los profesionales era una herramienta muy útil en su trabajo y para los pacientes resultaba ser una experiencia enriquecedora.

De igual manera, la realidad aumentada ha sido ampliamente usada para mejorar los procesos de aprendizaje. En 2021, se realizó un estudio acerca del uso de realidad aumentada para enseñar el impacto de la polución industrial sobre la atmósfera de la tierra y como los árboles ayudan con la purificación de la atmósfera contaminada [32]. Para esto, construyeron un prototipo con el motor de videojuegos Unity 3D, porque es más fácil de aprender y menos costoso que otros en el mercado, y el kit de desarrollo de Vuforia. Posteriormente se evaluó el entendimiento de los profesores del sistema y la viabilidad de su utilización para la enseñanza. La conclusión fue satisfactoria pues encontraron un sistema fácil de usar y lo suficientemente consistente para enseñar.

Otro estudio similar relacionado con la polución del aire fue realizado en Taiwán con niños de quinto grado [33]. Allí han identificado que en zonas con aire limpio los niños tienen un mejor desempeño en términos de memoria, vocabulario, habilidad para el aprendizaje y un mayor coeficiente intelectual, comparado a zonas con aire contaminado, es decir que la contaminación del aire tiene un impacto negativo en el desarrollo de los niños. Por esto, decidieron generar conciencia en los niños a través unas tarjetas enlazadas a una animación 3D que introducía conocimientos acerca de la contaminación del aire. La animación fue realizada con Unity. Los estudiantes podrán seleccionar cualquiera de las tarjetas para explorar un nuevo tema asociado a la contaminación del aire.

También en este año, se inició un proyecto llamado WaterWays [34], el cual combina realidad aumentada y un sitio web personalizado para enseñar a niños de tercero a quinto grado acerca del impacto del ser humano en los biomas marinos. Esta metodología consiste en presentar

algunos videos explicando las tareas que realizan los científicos con los tiburones Mako y con la contaminación de las fuentes hídricas ocasionada por plásticos, y luego, a través de realidad aumentada, ofrecer a los niños actividades interactivas y juegos para replicar algunas de estas como: poner un GPS al tiburón y monitorear su movimiento o visualizar el estómago del tiburón e identificar restos de plástico. Finalmente, se les presenta algunas preguntas para evaluar el conocimiento adquirido.

4. Metodología

4.1. Actividades

A continuación, se describen las actividades por cada uno de los objetivos:

1. Desarrollar una narrativa sencilla basada en un animal y que pueda ser implementada en realidad virtual y en realidad aumentada.
 - a. Determinar el contexto en que se desarrolla la narrativa (personaje(s), tiempo, espacio, historia a relatar, entre otros)
 - b. Crear una narrativa que pueda ser implementada en los dos sistemas.
2. Analizar las características fundamentales para la creación de un prototipo que presente la narrativa en realidad virtual y en realidad aumentada.
 - a. Identificar las características de cada sistema.
 - b. Ajustar la narrativa de acuerdo con las características identificadas.
 - c. Determinar las necesidades para cada sistema.
3. Diseñar un prototipo que funcione en realidad virtual y en realidad aumentada.
 - a. Diseñar el modelo de datos para cada sistema.
 - b. Diseñar el modelo de interacción ajustado a la narrativa.
 - c. Diseñar los componentes para cada prototipo.
 - d. Diseñar los prototipos.
4. Implementar el prototipo en realidad virtual y en realidad aumentada.
 - a. Seleccionar el motor de videojuegos y el SDK que mejor se ajuste a los prototipos y dispositivos disponibles.
 - b. Definir texturas, audio y demás elementos necesarios para la narrativa.
 - c. Implementar los prototipos.
5. Evaluar el efecto del uso de la realidad virtual y la realidad aumentada en niños con discapacidad visual y auditiva.
 - a. Determinar los elementos a evaluar en términos de desarrollo, empatía, aprendizaje, entre otros.
 - b. Evaluar la posibilidad de usar un casco neuronal y la lectura de un neuropsicólogo.
 - c. Evaluar los prototipos de acuerdo con los elementos escogidos.
 - d. Comparar los resultados.

4.2. Gestión del proyecto

A pesar de ser un proyecto de tipo investigativo-exploratorio, se requiere gestionar las actividades y monitorear el avance en la implementación de los prototipos, por esta razón utilizamos una metodología híbrida denominada Scrumban.

Scrumban [35] es una metodología de gestión de proyectos que combina dos estrategias: Scrum y Kanban. Nació como ayuda para la migración de Scrum a Kanban o viceversa, pero se ha demostrado buenos resultados en su utilización. Para este caso, definimos la duración del Sprint de 1 semana, con el fin de avanzar rápidamente en las diferentes actividades. El Sprint Planning

se llevaba a cabo los días lunes a las 6:00p.m. Aquí se revisaba el avance en las diferentes actividades y se presentaba un mini demo del progreso en los prototipos (diseño e implementación). En la Ilustración 24 se presenta un ejemplo del tablero Kanban utilizado para el control de las actividades.

To Do	Doing	Done
<p>Determinar los elementos a evaluar en términos de desarrollo, empatía, aprendizaje, entre otros</p> <p>Evaluar la posibilidad de usar un casco neuronal y la lectura de un neuropsicólogo.</p> <p>Evaluar los prototipos de acuerdo con los elementos escogidos.</p> <p>Comparar los resultados.</p> <p>Corregir desplazamiento del Condor en RA</p>	<p>Diseñar los componentes para cada prototipo.</p> <p>Diseñar los prototipos.</p> <p>Implementar los prototipos.</p>	<p>Determinar el contexto en que se desarrolla la narrativa (personaje(s), tiempo, espacio, historia a relatar, entre otros)</p> <p>Crear una narrativa que pueda ser implementada en los dos sistemas.</p> <p>Identificar las características de cada sistema.</p> <p>Determinar las necesidades para cada sistema.</p> <p>Diseñar el modelo de datos para cada sistema.</p> <p>Diseñar el modelo de interacción ajustado a la narrativa.</p> <p>Seleccionar el motor de videojuegos y el SDK que mejor se ajuste a los prototipos y dispositivos disponibles.</p>
<p>> Learn more (6)</p>		

Ilustración 24. Tablero KanBan.²²

²² Tablero Kanban de <https://kanbantool.com/>.

5. Análisis

5.1. Identificación de los usuarios

Un aspecto esencial a tener en cuenta para la implementación de aplicaciones es la audiencia. Estos prototipos van dirigidos a niños del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca con las siguientes características [36]:

- Edad: 5 a 12 años.
- Nivel de adaptabilidad a la tecnología: bajo – medio.
- Idioma nativo: español.
- Intención: aprender sobre el cóndor andino.
- Capacidades diferentes: discapacidad visual y/o auditiva.

Estas discapacidades que presentan los niños, las cuales fueron detalladas en el numeral 3.1.5, se deben tener en cuenta con el fin de construir interfaces adaptativas o elementos de ayuda que les permita interactuar de una manera óptima con los prototipos sin importar su condición.

Para esto, se hará uso de un procedimiento basado en heurísticas (ver *Ilustración 25*) propuesto para identificar los requerimientos en herramientas de realidad extendida (eXtended Reality, o XR por sus siglas en inglés) inclusivas [37].



Ilustración 25. Procedimiento basado en heurísticas.²³

Algunos aspectos a tener en cuenta son:

- Costo
- Condiciones del ambiente en el que se desenvuelven los usuarios
- Diseño minimalista
- Ayudas visuales y auditivas
- Contenido didáctico

5.2. Identificación de las herramientas de desarrollo

5.2.1. Unity + Vuforia vs Unity AR Foundation vs Unreal Engine

Vuforia es una plataforma de desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada (AR) y Realidad Mixta (MR) multiplataforma, con buen rendimiento en una variedad de hardware (incluyendo dispositivos móviles y monitores de realidad mixta montados en la cabeza (HMD) como Microsoft HoloLens). Se integra perfectamente con Unity lo que permite crear aplicaciones y juegos de visión para Android y iOS utilizando un flujo de trabajo de creación de arrastrar y soltar [38]. De acuerdo con su fabricante es la más rápida, más sencilla y más avanzada solución de desarrollo

²³ Fig. 2. Procedure based on heuristics. Items to consider in each step are given as examples in possible XR configurations, en *Expanded Realities for Smart Inclusive Education* de *Proceedings of the V Ibero-American Conference on Smart Cities (ICSC-CITIES 2022)*, por A.A. Navarro y otros, 2022.

de contenido en realidad aumentada para ayudar a las empresas a abordar los desafíos de la fuerza laboral y alcanzar los objetivos comerciales.

Esta plataforma ofrece una amplia variedad de caminos para desplegar el contenido digital sobre el mundo físico, tales como marcadores de área, de modelo, de imagen, de cilindro o múltiples, otros más robustos como utilizar el mundo real, y otros personalizables como ThingMarks y VuMarks que se asemejan a códigos QR.

ARKit [39] es el SDK de realidad aumentada de Apple que emplea la información obtenida por las cámaras y sensores de los móviles, para así medir el entorno y mostrar objetos sobre este.

ARCore [40] es el SDK de realidad aumentada de Google que ofrece API multiplataforma para crear nuevas experiencias inmersivas en Android, iOS, Unity y Web.

AR Foundation [41] es un marco de trabajo creado especialmente para el desarrollo en realidad aumentada que te permite generar experiencias enriquecidas una vez y luego implementarlas en diferentes dispositivos AR móviles y vestibles. Incluye funciones centrales de ARKit, ARCore, Magic Leap y HoloLens (ver Ilustración 26), así como funciones únicas de Unity, para crear aplicaciones robustas, listas para enviarse a las personas interesadas internas o para publicarse en cualquier tienda de aplicaciones.

Unity's AR Foundation Supported Features

Functionality	ARCore	ARKit	Magic Leap	HoloLens
Device tracking	✓	✓	✓	✓
Plane tracking	✓	✓	✓	
Point clouds	✓	✓		
Anchors	✓	✓	✓	✓
Light estimation	✓	✓		
Environment probes	✓	✓		
Face tracking	✓	✓		
Meshing			✓	✓
2D Image tracking	✓	✓		
Raycast	✓	✓	✓	
Pass-through video	✓	✓		
Session management	✓	✓	✓	✓

Ilustración 26. Características soportadas por AR Foundation.

Finalmente, Unreal Engine [42] integra un módulo de realidad aumentada que proporciona un marco de trabajo rico y unificado para crear aplicaciones para plataformas móviles iOS y Android. El marco de trabajo unificado proporciona una única ruta de desarrollo para ambas plataformas, lo que permite a los desarrolladores crear aplicaciones de realidad aumentada para ambas plataformas utilizando una única ruta de código. La plantilla Handheld AR Blueprint proporciona un proyecto de ejemplo completo que demuestra la funcionalidad de realidad aumentada disponible en Unreal Engine. Soporta ARCore y ARKit.

En la Tabla 1, se presenta una pequeña tabla comparativa de estas tecnologías.

Tabla 1. Comparativa de tecnologías para realidad aumentada.

Característica	Vuforia	AR Foundation	Unreal Engine
Licenciamiento	Gratis, con premisas Despliegue a las tiendas con costo	Gratis, con premisas Despliegue a Apple Store con costo para ARKit	Gratis, con premisas Despliegue a Apple Store con costo para ARKit
Lenguaje de programación	C#	C#	C++
Curva de aprendizaje	Baja	Baja	Media-Alta
Modo de uso	SDK propio. Funciona como plugin para Unity 3D, Android Studio, iOS, UWP o MagicLeap.	Soporta <ul style="list-style-type: none"> • ARCore • ARKit • MagicLeap 	SDK propio Soporta <ul style="list-style-type: none"> • ARCore • ARKit
Comunidad	Muy activa.	Muy activa.	Sin información
Madurez	Alta. Lanzada en 2012	Media Lanzada en 2018	Alta Lanzado en 2014 (opciones para realidad aumentada).
Capacidad	Detección y seguimiento de imágenes y objetos, estimación de luz.	ARKit/ARCore: Detección y seguimiento de imágenes (marcadores), detención del plano terrestre, reconocimiento facial, captura de movimiento, oclusión de objetos y sesiones de colaboración, estimación de luz	Sin información acerca de la implementación propia. Pero tiene soporte para ARKit/ARCore.

Teniendo en cuenta lo anterior se decidió desarrollar el prototipo en realidad aumentada basado en marcadores utilizando Vuforia.

5.2.2. Unity 3D vs Unreal Engine

Existen varias alternativas a la hora de desarrollar aplicaciones en realidad virtual, aumentada o mixta, por lo que se realizó un comparativo entre las diferentes opciones:

Unity 3D [43] es un motor de videojuego multiplataforma creado por Unity Technologies. Está disponible como plataforma de desarrollo para Microsoft Windows, Mac OS, Linux. Tiene soporte de compilación con diferentes tipos de plataformas como PC, dispositivos móviles, consolas de videojuegos, entre otras. Adicionalmente, permite la integración con herramientas de diseño y animación como Blender, 3Ds Max, Maya, Photoshop, entre otros.

El motor gráfico utiliza OpenGL (en Windows, Mac y Linux), Direct3D (solo en Windows), OpenGL ES (en Android y iOS), e interfaces propietarias (Wii). Para realidades extendidas ofrece bastantes alternativas como AR Foundation o el XR Interaction Toolkit (ver Ilustración 27). A partir de su versión 5.4.0 ya no permite el desarrollo de contenido para navegador a través de su plugin web, en su lugar se utiliza WebGL. Unity tiene dos versiones: Unity Professional (pro) y Unity Personal.

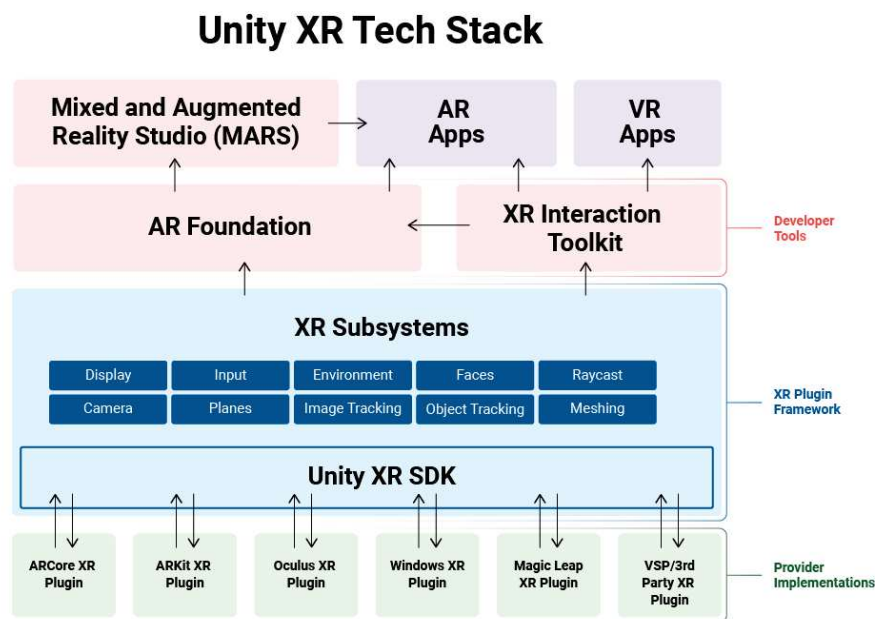


Ilustración 27. XR en Unity 3D.

Algunos juegos populares desarrollados en esta plataforma:

- Call of Duty mobile
- Pokemon Go
- Genshin Impact
- Rust
- Among Us

Unreal Engine [44] es un motor de juego creado por la compañía Epic Games, mostrado inicialmente en el shooter en primera persona Unreal en 1998. Aunque se desarrolló principalmente para los shooters en primera persona, se ha utilizado con éxito en una variedad de otros géneros, incluyendo videojuegos de sigilo, lucha, MMORPG y otros RPG. Con su código escrito en C++, el Unreal Engine presenta un alto grado de portabilidad y es una herramienta utilizada actualmente por muchos desarrolladores de juegos.

Algunos juegos populares desarrollados en esta plataforma:

- Ark: Survival Evolved
- Batman: Arkham City (Return To Arkham)
- Final Fantasy 7 Remake
- Dragon Ball Fighter Z
- Borderlands 3

La Tabla 2 compara los dos motores de videojuegos que tienen el mayor apogeo actualmente.

Tabla 2. Comparativa de tecnologías para realidad virtual.

Característica	Unity	Unreal Engine
Licenciamiento	Gratis, con premisas	Gratis, con premisas
Lenguaje de programación	C#	C++
Curva de aprendizaje	Baja	Media – Alta Aunque tiene una tecnología llamada Blueprint Visual Scripting para facilitar el desarrollo
Gráficos	Buen nivel de detalle	Nivel de detalle avanzado. Luces, sombras, post procesado es más robusto ofreciendo un mayor nivel de detalle y calidad.
Realidades Extendidas	A través de SDK adicionales o plugins	Incluido
Documentación	Cuenta con documentación propia y recursos en la web.	Cuenta con documentación propia y recursos en la web.
Plataformas	Multiplataforma WebGL, Windows, macOS, Linux, iOS, Android, Consolas, Oculus Rift	Multiplataforma HTML5, Windows, macOS, Linux, iOS, Android, Consolas, Oculus Rift
Recursos adicionales	Unity Asset Store	Unreal Engine Marketplace
Rendimiento en etapa de desarrollo	Alto consumo de GPU y CPU	Alto consumo de GPU y CPU
Gestión de las versiones	Cambios de versión en el motor pueden dejar algunas	

	cosas sin funcionar, necesidades de refactorización o nuevos errores	
Potencia grafica	Alta	Muy alta
Comunidad	Muy activa, ampliamente usado	Usados en empresas que desarrollan juegos AAA

Aunque tienen características similares, se decidió utilizar Unity 3D debido a su facilidad de uso y a su comunidad.

5.3. Narrativa simplificada

El Cóndor Andino (*Vultur gryphus*) es una especie de ave que habita en América del Sur [45]. Es una de las aves más grandes y emblemáticas de esta parte del continente.

Algunas características de este ejemplar son:

- Carroñero
- Se reproduce poco
- Nido en zonas rocosas inaccesibles

Desafortunadamente su población viene decreciendo debido la expansión de la frontera agrícola hacia bosques alto andinos y páramos y al uso indiscriminado de cebos envenenados por considerarse falsamente como una amenaza para el ganado doméstico. Esta especie fue catalogada en 2020 como una especie en peligro [46] por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés), siendo su situación más grave en la región denominada los Andes del norte, la cual comprende los Andes venezolanos, colombianos y ecuatorianos. En Colombia está registrado como en Peligro Crítico, puesto que en el último censo coordinado solo se lograron observar 63 especímenes. De ahí la importancia de transmitir mensajes de protección para esta y otras especies en peligro.

A partir de esta información se busca elaborar una experiencia comparable en los prototipos en Realidad Virtual y en Realidad Aumentada, por lo que se definió una narrativa sencilla que puede ser fácilmente adaptada. Nuestro personaje principal será el cóndor andino y el enfoque de la narrativa será la educación ambiental. Teniendo en cuenta esto se definieron los siguientes temas a tener en cuenta:

- Características físicas
- Hábitat
- Alimentación
- Situación de peligro

El contexto de la narrativa será el siguiente:

El niño o la niña, representando a un(a) observador(a) de aves, se sumerge en una zona cercana a una Sierra Nevada con el fin de observar al Cóndor Andino. Durante la breve caminata en el punto de observación se le explican las características de su hábitat. En la zona donde se encuentra el animal se observa un poco de carroña en el suelo, el observador se acerca y la verifica, en este punto le explica acerca de su alimentación. Cerca de la carroña se observa al cóndor sobrevolando junto a otro cóndor posado en alguna parte. Este será el momento oportuno para explicar las características físicas, hábitat, alimentación y su situación de peligro.

5.3.1. Narrativa Simplificada RA

La narrativa para el prototipo en realidad aumentada se presentará en primera persona y está constituida por los siguientes diálogos:

Características físicas

“Bienvenido! Me llamo Eric, soy un cóndor andino. Una de las aves voladoras más grandes del planeta. Mis alas son negras y tengo un collar de plumas blanco en el cuello. Nosotros los machos tenemos el cuello rosado y una gran cresta.

Tócame para ver como muevo las alas.”

Hábitat

“Éste es mi hogar, Sudamérica. Me gustan las zonas montañosas. Estos lugares tienen corrientes de viento abundantes, para así planear sobre ellas y no cansarme.”

Alimentación

“¿Te gusta la comida descompuesta? Pues esa es mi preferida. Me alimento de animales muertos como vacas o venados y en ocasiones cazo pequeños conejos y roedores.”

Situación de peligro

“Desafortunadamente me encuentro en peligro de extinción. Algunas personas ponen cebos tóxicos para envenenarme, pero no soy peligroso, en cambio ayudo a eliminar bacterias en el ambiente para que tú y otros animales no se enfermen.”

Puzle

“¡Ahora vamos a jugar un rato! Presiona el botón iniciar y arma la figura nuevamente.”

Felicitaciones

“¡Lo hiciste muy bien!”

5.3.2. Narrativa Simplificada RV

La narrativa para el prototipo en realidad virtual es presentada en tercera persona ya que el escenario es mucho más grande y la experiencia propuesta requiere de interacción individual con cada personaje. Esta narrativa está constituida por los siguientes diálogos:

Guardabosques

“Bienvenido! Me llamo Benjamín, soy el Guardabosques. Me dedico a la protección y conservación de áreas naturales. En esta región podrás encontrar al increíble Cóndor Andino.

Echa un vistazo en los alrededores.”

Características físicas

“¡Hola! Me llamo Eric, soy un cóndor andino. Una de las aves voladoras más grandes del planeta. Mis alas son negras y tengo un collar de plumas blanco en el cuello. Nosotros los machos tenemos el cuello rosado y una gran cresta.”

Hábitat

“¡Esto es Sudamérica! El hogar del Cóndor Andino. Prefiere zonas montañosas con corrientes de viento abundantes, para así planear sobre ellas y no cansarse.”

Alimentación

“¿Te gusta la comida descompuesta? Pues al Cóndor Andino le encanta. Se alimenta principalmente de animales muertos como vacas o venados y en ocasiones caza pequeños conejos y roedores.”

Situación de peligro

“Algunas personas ponen cebos tóxicos para envenenar al Condor Andino. Pero no es peligroso, en realidad ayuda a eliminar bacterias en el ambiente para que tú y otros animales no se enfermen.”

Ayuda Puzle

“Acércate a la ficha y mantén presionado el gatillo para agarrarla y moverla. Una vez escogida la posición final, suelta el botón para soltarla. Para poner las fichas en su posición inicial, señala y selecciona la imagen de ejemplo.”

5.3.3.Requisitos

A partir de las narrativas se encuentran los siguientes requisitos para la adaptación de cada experiencia.

La adaptación para realidad aumentada contara con lo siguiente:

- 1x modelo 3D del cóndor.
- 4x marcadores (cada escena contara con su propio marcador para facilitar el despliegue de contenido y de información en texto y audio)

Por otro lado, la adaptación para realidad virtual contará con lo siguiente:

- 1x escena principal ambientada en una zona cercana a una Sierra Nevada.
- 1x modelo 3D del cóndor.

- 5 o 6 objetos interactivos (cada uno permitirá realizar el despliegue información en texto y audio)

5.4. Requisitos del sistema

Tomando la información anterior como insumo, se plantean el diagrama de casos de uso de la Ilustración 28 para realidad aumentada.

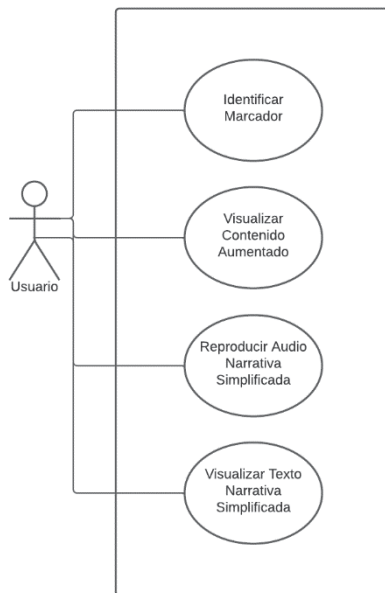


Ilustración 28. Diagrama de casos de uso para RA.

Junto al diagrama de casos de uso se plantea el diagrama de secuencia de la Ilustración 29, en donde se observa que el SDK de Vuforia intermediaria para presentar la información al usuario en el momento adecuado dependiendo del estado de reconocimiento del marcador.

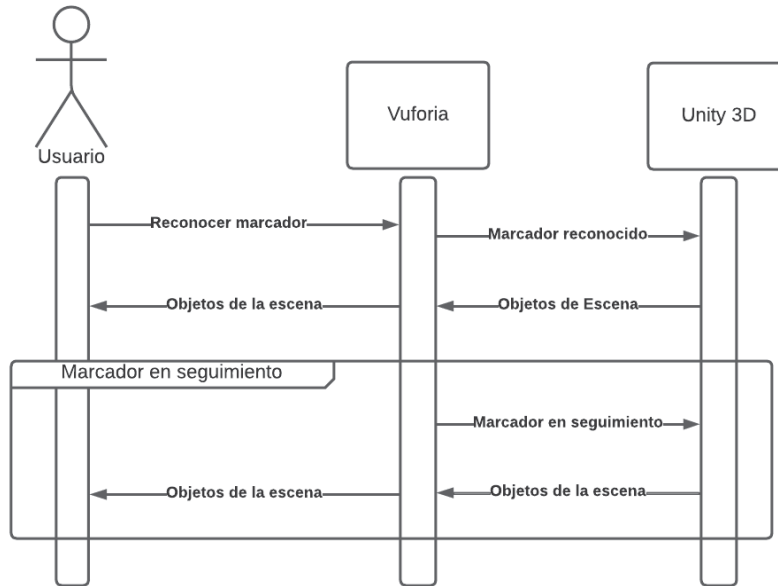


Ilustración 29. Diagrama de secuencia RA.

De igual forma, se plantea el diagrama de casos de uso de la Ilustración 30 para realidad virtual.

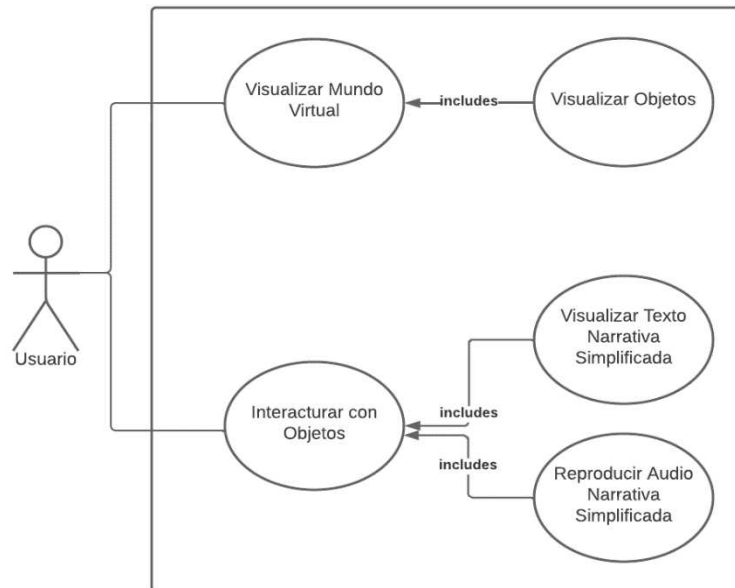


Ilustración 30. Diagrama de casos de uso para RV.

Finalmente, para realidad virtual, se plantea el diagrama de secuencia de la Ilustración 31 en donde en vez de Vuforia se tiene el Oculus Integration como intermediador para controlar las acciones del usuario con los mandos.

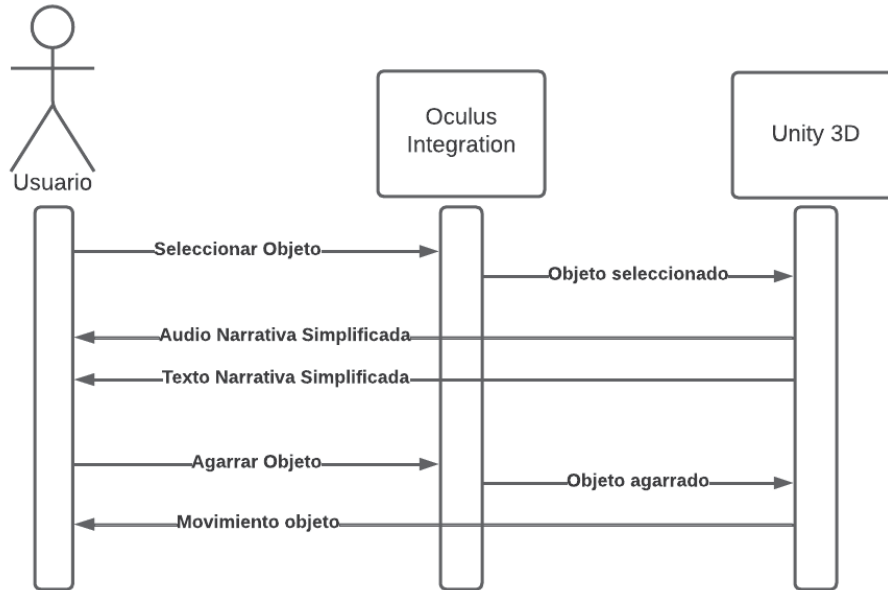


Ilustración 31. Diagrama de secuencia RA.

A partir de estos diagramas se definieron los requisitos que se presentan en los numerales 5.4.1 a 5.4.3.

5.4.1. Comunes

Estos requerimientos no varían respecto al prototipo que se esté desarrollando. Es decir, ambos prototipos incluirán estas características.

ID	RFC-001
Nombre	Pantalla de bienvenida
Descripción	El sistema debe presentar el logo de la Universidad mientras la aplicación carga en la denominada Splash Screen.

ID	RFC-002
Nombre	Pantalla introductoria
Descripción	<p>El sistema debe presentar una pantalla de introducción cuando el usuario abra la aplicación.</p> <p>Esta pantalla debe tener:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fondo de pantalla • Título de la aplicación • Botón de ayuda en donde se explica la dinámica. • Botón para continuar.

5.4.2. Realidad Aumentada

El prototipo se realizará utilizando marcadores, a continuación, se presentan los requisitos necesarios para construir el prototipo en realidad aumentada utilizando marcadores:

ID	RFRA-001
Nombre	Escenas
Descripción	<p>El sistema debe tener 4 escenas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Características físicas • Hábitat • Alimentación • Situación de peligro

ID	RFRA-002
Nombre	Texto y audio narrativa simplificada.
Descripción	<p>El sistema debe presentar un texto fijo para la narrativa simplificada.</p> <p>El sistema debe reproducir el audio de la narrativa simplificada automáticamente una vez identificado el marcador.</p> <p>El sistema debe presentar un botón para reproducir el audio en cualquier momento.</p>

ID	RFRA-003
Nombre	Escena 1: Características físicas del Cóndor Andino
Descripción	<p>El sistema debe presentar el modelo 3D del cóndor andino en estado de reposo, es decir, la animación de vuelo debe estar desactivada.</p> <p>El modelo 3D debe estar resaltado para indicar al usuario una posible interacción con él.</p> <p>Cuando el usuario toque el modelo 3D se debe iniciar la animación de vuelo.</p>

ID	RFRA-004
Nombre	Escena 2: Hábitat del Cóndor Andino
Descripción	<p>El sistema debe presentar un modelo 3D de una región montañosa.</p> <p>El sistema debe presentar al cóndor andino volando en movimiento circular encima de esta.</p> <p>El movimiento circular debería ser igual sin importar la orientación del dispositivo.</p>

ID	RFRA-005
Nombre	Escena 3: Alimentación del Cóndor Andino
Descripción	<p>El sistema debe presentar un modelo 3D de carroña o algún animal muerto.</p>

	<p>El sistema debe presentar al cóndor andino volando en movimiento circular encima de esta.</p> <p>El movimiento circular debería ser igual sin importar la orientación del dispositivo.</p>
--	---

ID	RFRA-006
Nombre	Escena 4: Situación de peligro del Cóndor Andino
Descripción	<p>El sistema debe presentar un modelo 3D de carroña o algún animal muerto con símbolos de veneno alrededor y un cazador cerca.</p> <p>El sistema debe presentar al cóndor andino volando en movimiento circular encima de esta.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El movimiento circular debería ser igual sin importar la orientación del dispositivo.

ID	RFRA-007
Nombre	Escena 5: mini juego (puzle)
Descripción	<p>El sistema debe presentar el puzle armado al identificar el marcador.</p> <p>El sistema debe presentar un botón para iniciar el juego.</p> <p>El sistema debe permitir mover las fichas a través del táctil del smartphone.</p> <p>Al iniciar el juego el sistema debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Presentar en desorden las fichas del puzle en la parte inferior de la pantalla 2. Presentar una guía de su ubicación final. 3. Permitir arrastrar las fichas de la parte inferior hacia la ubicación final. 4. Si la ficha está ubicada en una posición correcta y el usuario la suelta, la ficha debe quedarse ubicada en dicha posición. 5. Si la ficha está ubicada en una posición errada y el usuario la suelta, la ficha debe volver a su posición inicial en la parte inferior de la pantalla. <p>Al completar el puzle correctamente el sistema debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Presentar una animación de confeti, mostrar un mensaje en pantalla y reproducir un audio para indicar al usuario que lo resolvió correctamente.

5.4.3. Realidad Virtual

Para realidad virtual, se construirá una escena que simulará el hábitat del Condor Andino, para esto será necesario lo siguiente:

ID	RFRV-001
Nombre	Creación del terreno del mundo virtual
Descripción	Diseñar y crear el terreno para el mundo virtual. El terreno debe tener montañas. El terreno debe tener al menos un nevado. La textura principal del terreno debe ser césped. Restricciones: <ul style="list-style-type: none">• El tamaño debe ser 512 x 512 para limitar un poco las dimensiones

ID	RFRV-002
Nombre	Creación de detalles del ambiente
Descripción	Diseñar y crear los detalles del terreno. El terreno debe tener árboles. El cielo debe tener colores vistosos. Agregar objetos adicionales para ambientar. Restricciones: <ul style="list-style-type: none">• Los objetos descargados deben ser de libre distribución.

ID	RFRV-003
Nombre	Cámara en primera persona
Descripción	La interacción en el mundo virtual debe ocurrir en primera persona. Restricción: El desplazamiento debe ser a través de los mandos.

ID	RFRV-004
Nombre	Creación de componente para el despliegue de información
Descripción	Se debe crear un componente para desplegar el texto en el mundo virtual. El componente debe ser genérico, reutilizable. El componente debe mostrarse hacia el usuario para facilitar su visualización.

ID	RFRV-005
Nombre	Creación de componente de audio
Descripción	Se debe crear un componente de audio para reproducir la información. El componente debe ser genérico, reutilizable.

ID	RFRV-006
Nombre	Visualización e interacción con la carroña (Alimentación)
Descripción	Crear el objeto 3D en el mundo virtual y texturizar. Agregar opciones interactivas: <ul style="list-style-type: none"> • Identificación como objeto interactivo. • Posibilidad de seleccionar el objeto. • Reproducción de audio al seleccionar. • Presentación de audio en texto al seleccionar. Restricción: <ul style="list-style-type: none"> • Ubicarlo en el mundo virtual cerca a los demás objetos.

ID	RFRV-007
Nombre	Visualización e interacción con el Cóndor Andino (características físicas)
Descripción	Crear el objeto 3D en el mundo virtual y texturizar. El objeto debe estar posado sobre piedras o un árbol cerca de la carroña. La animación de vuelo debe estar desactivada. Agregar opciones interactivas: <ul style="list-style-type: none"> • Identificación como objeto interactivo. • Posibilidad de seleccionar el objeto. • Reproducción de audio al seleccionar. • Presentación de audio en texto al seleccionar.

ID	RFRV-008
Nombre	Visualización del cóndor en estado de vuelo
Descripción	Crear el objeto 3D en el mundo virtual y texturizar. La animación de vuelo debe estar activa por defecto. El vuelo debe ser circular alrededor de la ubicación de la carroña. Restricción: <ul style="list-style-type: none"> • El objeto no debe ser interactivo.

ID	RFRV-009
Nombre	Visualización e interacción con objeto (hábitat)
Descripción	<p>Crear el objeto 3D en el mundo virtual y texturizar.</p> <p>Agregar opciones interactivas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificación como objeto interactivo. • Posibilidad de seleccionar el objeto. • Reproducción de audio al seleccionar. • Presentación de audio en texto al seleccionar. <p>Restricción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ubicarlo en el mundo virtual cerca a los demás objetos.

ID	RFRV-010
Nombre	Visualización e interacción con objeto (situación de peligro)
Descripción	<p>Crear el objeto 3D en el mundo virtual y texturizar.</p> <p>Agregar opciones interactivas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificación como objeto interactivo. • Posibilidad de seleccionar el objeto. • Reproducción de audio al seleccionar. • Presentación de audio en texto al seleccionar. <p>Restricción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ubicarlo en el mundo virtual cerca a los demás objetos.

ID	RFRV-011
Nombre	Visualización e interacción con objeto (Mini juego)
Descripción	<p>El sistema debe presentar un ejemplo del puzle armado.</p> <p>El sistema debe presentar un botón para iniciar el juego.</p> <p>El sistema debe presentar un botón de ayuda para escuchar/leer las instrucciones.</p> <p>Al iniciar el juego el sistema debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Presentar en desorden las fichas del puzle. 2. Permitir que el usuario mueva las fichas mediante la función de agarrar / soltar. <p>Al completar el puzle correctamente el sistema debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Presentar una animación de confeti, mostrar un mensaje en pantalla y reproducir un audio para indicar al usuario que lo resolvió correctamente.

6. Diseño

6.1. Modelo de datos

Se planteó un modelo de datos para controlar la interacción del usuario con los diferentes objetos en la escena. Este modelo está constituido por:

- **user_profile**: datos básicos del usuario que esta interactuando con el prototipo.
- **model**: conjunto de modelos 3D utilizados en la escena (para realidad virtual) o en los diferentes marcadores (para realidad aumentada)
- **texture**: textura utilizada por el modelo 3D cuando esta no está integrada al modelo. Utilizado para: animación de moscas, animación de veneno, entre otros.
- **resource**: audio o video asociado al modelo 3D. Necesario para presentar al usuario en las interacciones.
- **model_resource_association**: asociacion entre el modelo 3D y el recurso en audio o video.
- **image_target_model_association**: define los modelos 3D utilizados para cada marcador en realidad aumentada.
- **Interaction_with_model**: interacción del usuario con el modelo 3D en realidad virtual.
- **Interaction_with_image_target**: interacción del usuario con el marcador en realidad aumentada.

En la Ilustración 32 se presenta el modelo relacional para los prototipos.

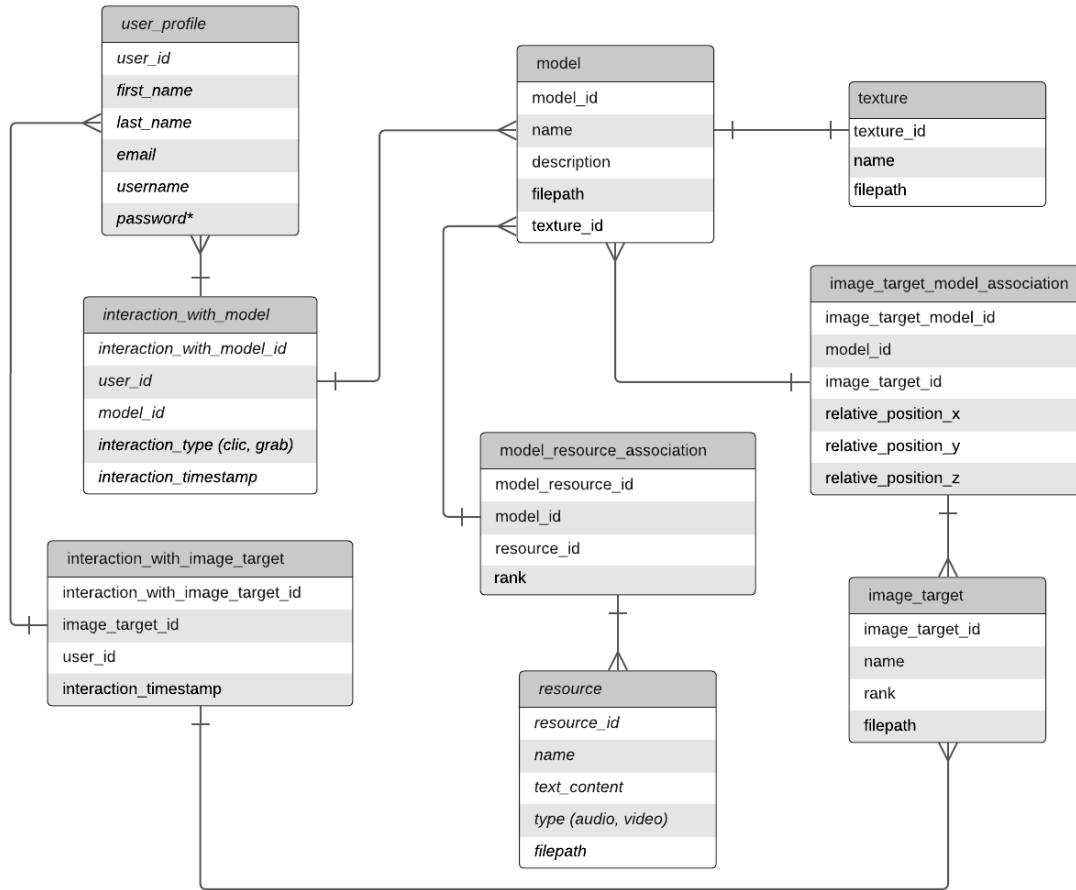


Ilustración 32. Modelo relacional

Durante la etapa de implementación se presentaron algunas dificultades para integrar el modelo de datos principalmente todo lo relacionado con el posicionamiento de los objetos en la escena para realizar una carga dinámica de los modelos 3D. Sumado a eso, durante la implementación se nos informó que para la etapa de pruebas no era posible recolectar información de los niños pues no se contaba con las autorizaciones requeridas. Por lo que finalmente se decidió integrar el modelo de datos en trabajos futuros.

6.2. Contenido Multimedia (audio y texto)

Como opciones de accesibilidad para los niños del Instituto, se pensó en contenidos multimedia en audio y texto en pantalla. Los textos fueron convertidos a audio con una herramienta gratuita disponible en internet llamada TTSMP3²⁴ utilizando la opción de voz *US Spanish - Miguel*.

²⁴ <https://ttsmp3.com/>

6.3. Modelos 3D

Parte esencial de la implementación de los prototipos son los modelos 3D utilizados para presentar la información. Para el caso del modelo 3D del Cóndor Andino, la Universidad Javeriana Cali contaba con uno diseñado y animado en Blender a través de la técnica de animación de esqueleto (ver Ilustración 33).

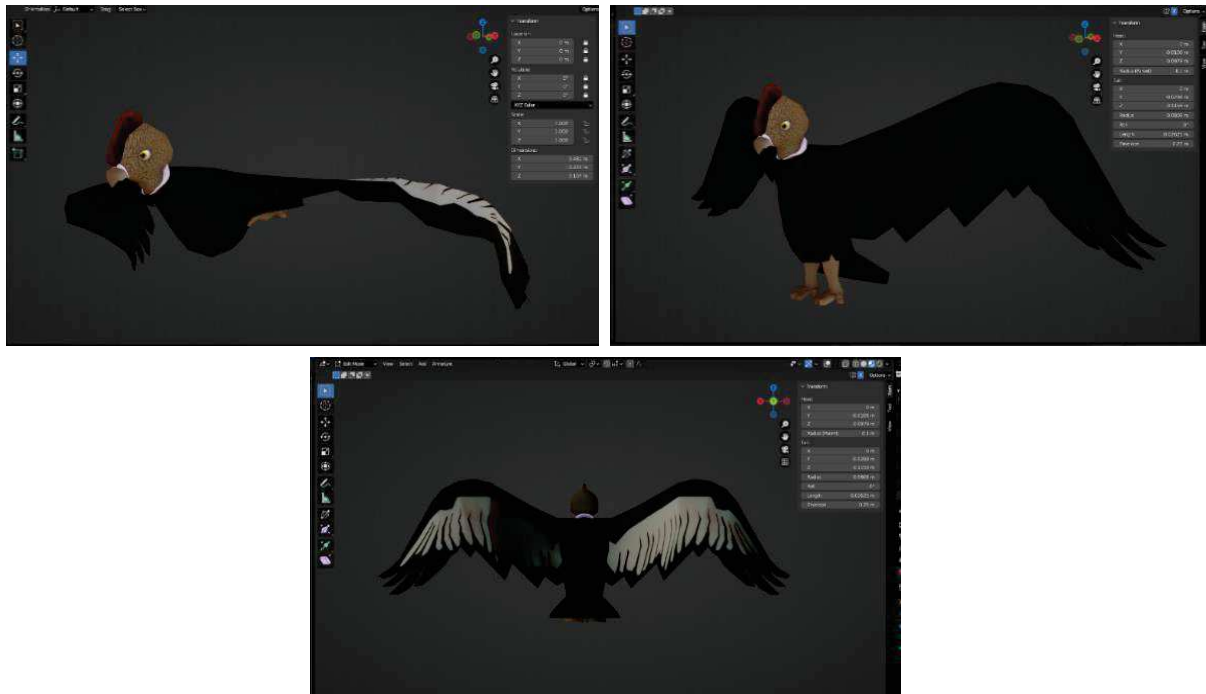


Ilustración 33. Cóndor Andino en Blender. ²⁵

Al importar el modelo 3D en Unity, se visualiza tal como se muestra en la Ilustración 34:

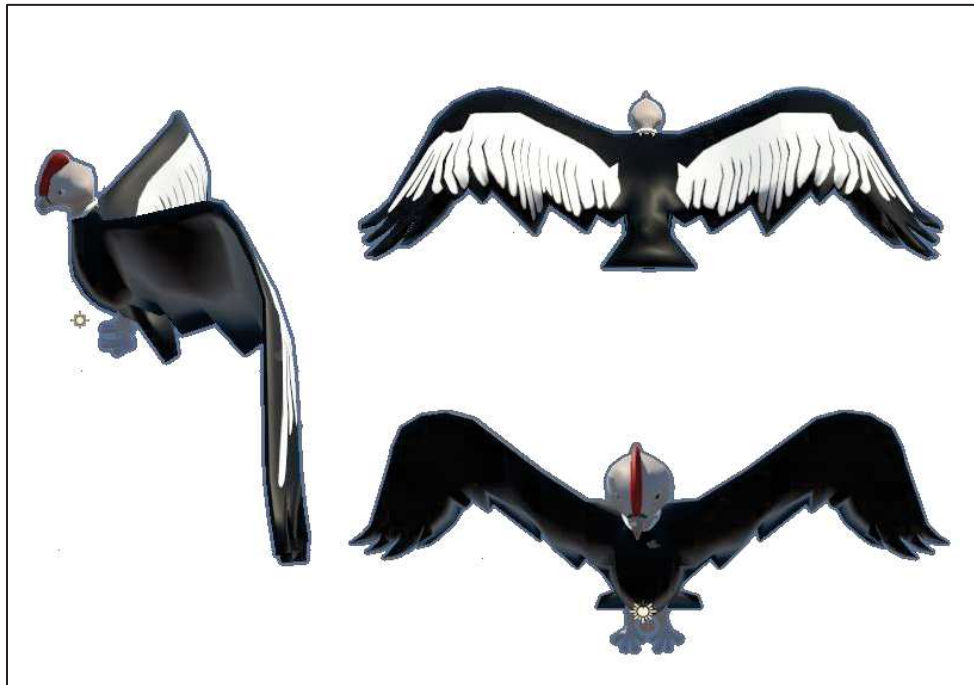


Ilustración 34. Cóndor Andino en Unity 3D.

Dado que no se cuenta con diseñadores y/o con experiencia en modelado 3D a través de herramientas como Blender o 3Ds Max, los demás modelos fueron obtenidos desde páginas web en donde creadores de contenido 3D ponen a disposición sus creaciones a través de licencias de distribución gratuita bajo ciertos parámetros o a través de pagos.

El diseño del mundo virtual para el prototipo en realidad virtual requería de algunos elementos para crear el entorno. Para el terreno fue necesario obtener elementos como césped, arboles, plantas, y otros objetos decorativos los cuales son presentados desde la Ilustración 35 hasta la Ilustración 42.

²⁵ El diseñador y animador del modelo 3d fue: Jonathan Soto.
<http://Instagram.com/whoissoto>



Ilustración 35. Textura césped.²⁶

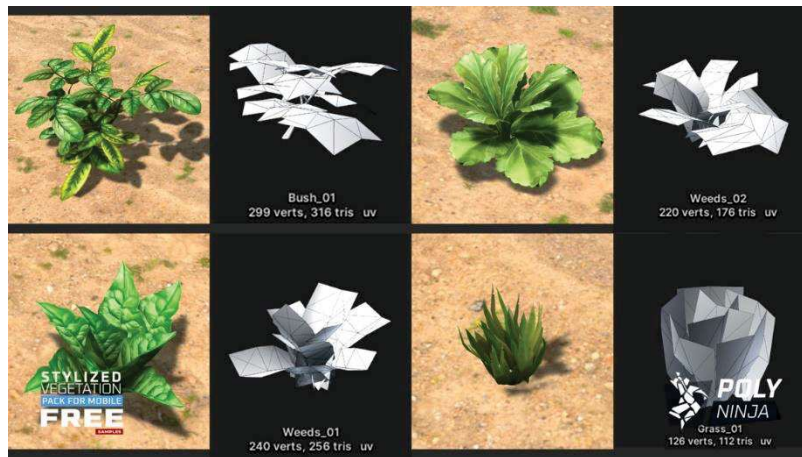


Ilustración 36. Modelo 3D Plantas.²⁷

²⁶ Obtenida de <https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/glass/stylized-grass-texture-153153> bajo licencia Extension Asset.

²⁷ Obtenido de <https://assetstore.unity.com/packages/3d/stylized-vegetation-free-samples-59916> bajo licencia Extension Asset.



Ilustración 37. Modelo 3D Casa Guardabosques.²⁸



Ilustración 38. Modelo 3D Árbol de Limones.²⁹

²⁸ Obtenido de <https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/urban/wasteland-cabin-94865> bajo licencia Extension Asset.

²⁹ Obtenido de <https://assetstore.unity.com/packages/3d/vegetation/trees/lemon-trees-200372> bajo licencia Extension Asset.



*Ilustración 39. Skybox.*³⁰



*Ilustración 40. Modelo 3D Rocas.*³¹

³⁰ Envoltura alrededor de la escena de realidad virtual que muestra cómo el mundo se vería más allá de su geometría. Utilizada para el cielo. Obtenido de <https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/sky/allsky-free-10-sky-skybox-set-146014> bajo licencia Extension Asset.

³¹ Obtenido de <https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/exterior/hq-rock-pack-free-83388> bajo licencia Extension Asset.



*Ilustración 41. Modelo 3D Palmas.*³²



*Ilustración 42. Modelo 3D Pinos.*³³

Por otra parte, para el prototipo en realidad aumentada, en algunas proyecciones se utilizó una especie de terreno para complementar la información aumentada, pero con características más limitadas y compatibles con dispositivos móviles, este modelo 3D es presentado en la Ilustración 43.

³² Obtenido de <https://assetstore.unity.com/packages/3d/vegetation/trees/coconut-palm-tree-pack-7888> bajo licencia Extension Asset.

³³ Obtenido de <https://assetstore.unity.com/packages/3d/vegetation/trees/conifers-botd-142076> bajo licencia Extension Asset.



Ilustración 43. Modelo 3D Césped. ³⁴

Para simular una región montañosa en realidad aumentada, se utilizó el modelo 3D de la Ilustración 44.

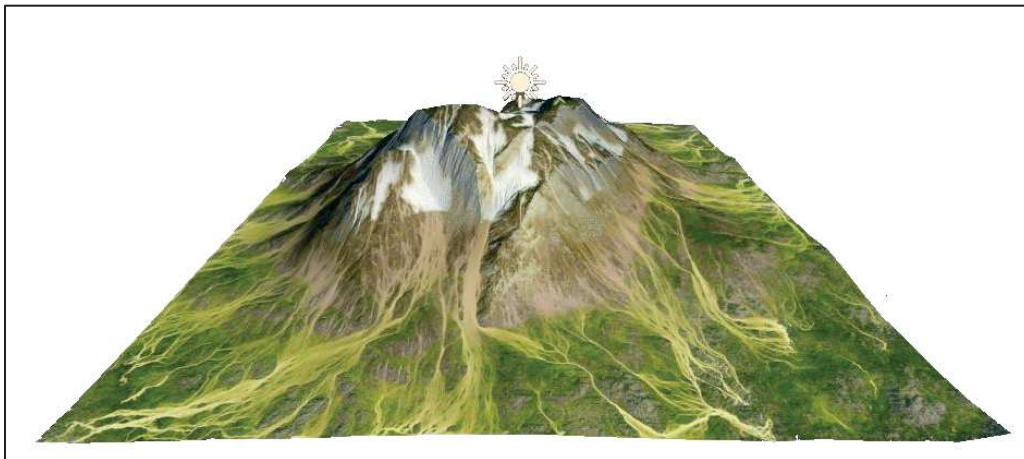


Ilustración 44. Modelo 3D Montaña Nevada. ³⁵

Otros objetos 3D fueron usados para representar la narrativa tanto en realidad aumentada como en realidad virtual, pero en realidad virtual sirvieron, adicionalmente, para definir algunas interacciones. Estos modelos se presentan desde la Ilustración 45 a la Ilustración 48:

³⁴ Obtenido de <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/3d-model-ground-grass-1621007> bajo licencia Estándar disponible en <https://blog.turbosquid.com/turbosquid-3d-model-license/>.

³⁵ Obtenido de <https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/landscapes/free-background-mountain-157924> bajo licencia Extension Asset.

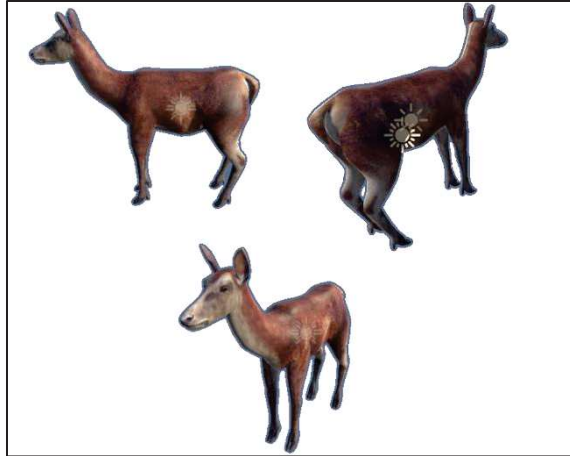


Ilustración 45. Modelo 3D Ciervo (representación carroña).³⁶



Ilustración 46. Modelo 3D Pez (representación carroña envenenada).³⁷

³⁶ Obtenido de <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/3d-deer-animation-model/1012108> bajo licencia Estándar disponible en <https://blog.turbosquid.com/turbosquid-3d-model-license/>.

³⁷ Obtenido de <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/fish-max-free/621824> bajo licencia Estándar disponible en <https://blog.turbosquid.com/turbosquid-3d-model-license/>.



Ilustración 47. Modelo 3D Guardabosques.³⁸



Ilustración 48. Modelo 3D Humano.³⁹

6.4. Marcadores para Realidad Aumentada

Para la implementación del prototipo en realidad aumentada, es de vital importancia definir las imágenes que permitirán el reconocimiento de patrones para presentar la información correspondiente. Es decir, las imágenes que representan los marcadores.

Vuforia ofrece una funcionalidad a través de su página web para desarrolladores que permite crear marcadores a partir de una imagen propia, con esta herramienta es posible determinar si la imagen será un buen marcador, es decir, si el patrón de la imagen será reconocido fácilmente. Algunos marcadores utilizados al inicio fueron reemplazados porque presentaban inconvenientes en el reconocimiento durante la etapa de desarrollo usando una cámara web de bajo perfil. El marcador utilizado para presentar información referente a la alimentación (ver Ilustración 49)

³⁸ Obtenido de <https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/humanoids/humans/free-modular-character-fantasy-rpg-human-male-228952> bajo licencia Extension Asset.

³⁹ Obtenido de <https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/humanoids/fantasy/free-low-poly-human-rpg-character-219979> bajo licencia Extension Asset.

tenía pocos puntos de identificación (cruces amarillas en la imagen) y, adicionalmente, estos puntos se encontraban en regiones que no se identifican con tanta claridad en el marcador impreso de unos 4x4 cm.

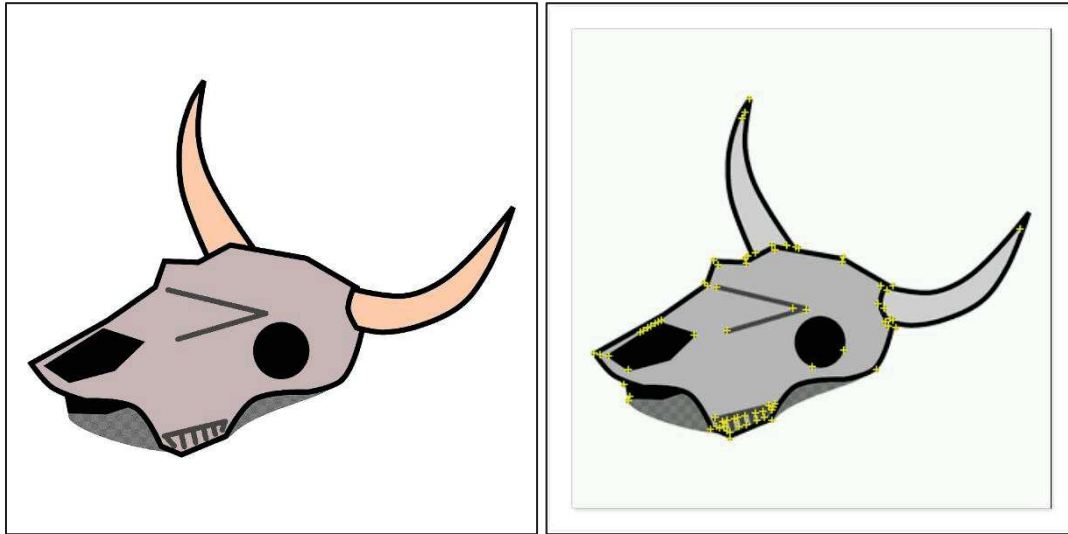


Ilustración 49. Marcador Alimentación V1⁴⁰.

De igual forma, el marcador utilizado para presentar información referente a las características del Cóndor (ver Ilustración 50) a pesar de tener buenas características (gran cantidad de cruces amarillas) también tenía inconvenientes en el reconocimiento, quizá las letras en la parte inferior no son identificadas fácilmente en el marcador impreso por la cámara de bajo perfil y no logra hallar coincidencia.

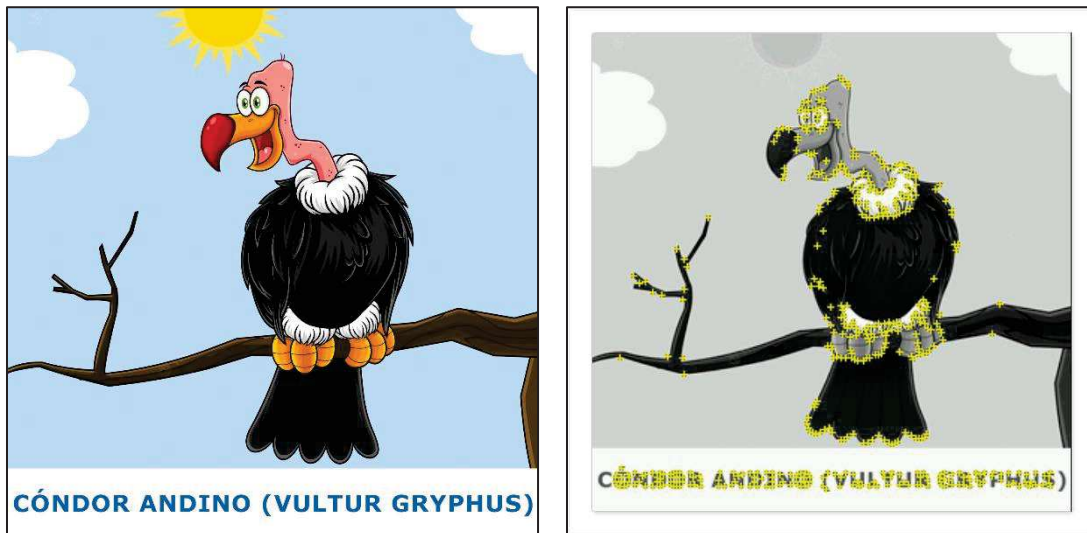


Ilustración 50. Marcador Características del Cóndor V1⁴¹.

⁴⁰ Imagen obtenida de <https://creazilla.com/es/nodes/17101-craneo-de-vaca-clipart>.

⁴¹ Imagen obtenida en internet, pertenece a https://www.freepik.es/vector-premium/personaje-dibujos-animados-condor-o-buitre-sentado-rama_12831336.htm, pero fue removida del proyecto.

Además, se optó por el uso de imágenes que tuvieran más relación entre ellas en cuanto al tipo de ilustración.

Los nuevos marcadores presentan un mejor rendimiento en cámaras de bajo perfil. En la Ilustración 51 a la Ilustración 55 se presentan los marcadores definitivos para cada una de las interacciones.



Ilustración 51. Marcador Características del Cóndor V2.⁴²



Ilustración 52. Marcador Hábitat V2.⁴³

⁴² Imagen obtenida de <https://www.klipartz.com/es/sticker-png-hvpic> bajo licencia de uso no comercial.

⁴³ Imagen obtenida de https://www.freepik.com/free-vector/outdoor-nature-scene-illustration_11693195.htm.

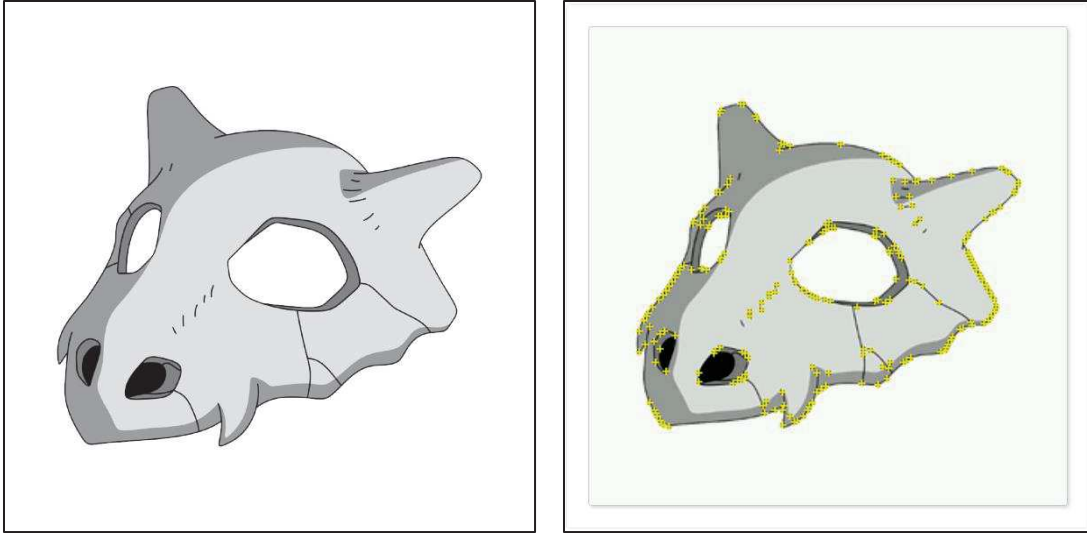


Ilustración 53. Marcador Alimentación V2.⁴⁴



Ilustración 54. Marcador Situación de Peligro V2.⁴⁵

⁴⁴ Imagen obtenida de <https://www.pngwing.com/es/free-png-xgww> bajo licencia de uso no comercial.

⁴⁵ Imagen obtenida de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/af/ISO_No_Hunting.png/600px-ISO_No_Hunting.png?20190218010921.

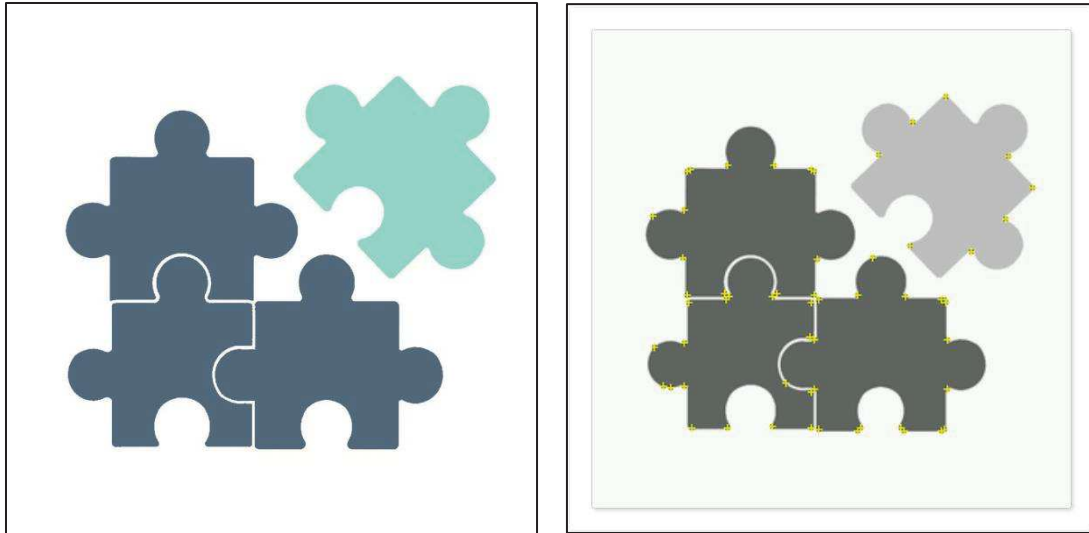


Ilustración 55. Marcador Mini Juego V2.⁴⁶

Una vez definido el contenido necesario para los dos prototipos se da inició a la implementación.

⁴⁶ Imagen obtenida de https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoescuela/caosnumerico/files/2018/08/ilustracion-del-icno-del-rompecabezas_53876-5904-626x600.jpg

7. Implementación

Ambos prototipos fueron implementados usando Unity 3D v2021.3.18f1 y la lógica de algunas funcionalidades fue creada a través de Scripting.

El Scripting [47] es parte esencial de las aplicaciones creadas en Unity 3D. Este nos permite responder a la entrada del jugador y organizar los eventos en la experiencia de interacción para que sucedan cuando deberían. Más allá de eso, los scripts se pueden usar para crear efectos gráficos, controlar el comportamiento físico de los objetos o incluso implementar un sistema de IA personalizado para los personajes del juego. Unity utiliza una implementación del tiempo de ejecución Mono estándar para el scripting.

7.1. Realidad Aumentada

El prototipo en realidad aumentada fue creado junto al SDK de Vuforia v10.15.

El primer paso fue crear un proyecto utilizando la plantilla 3D Mobile. La Ilustración 56 muestra las opciones seleccionadas para la creación del proyecto.

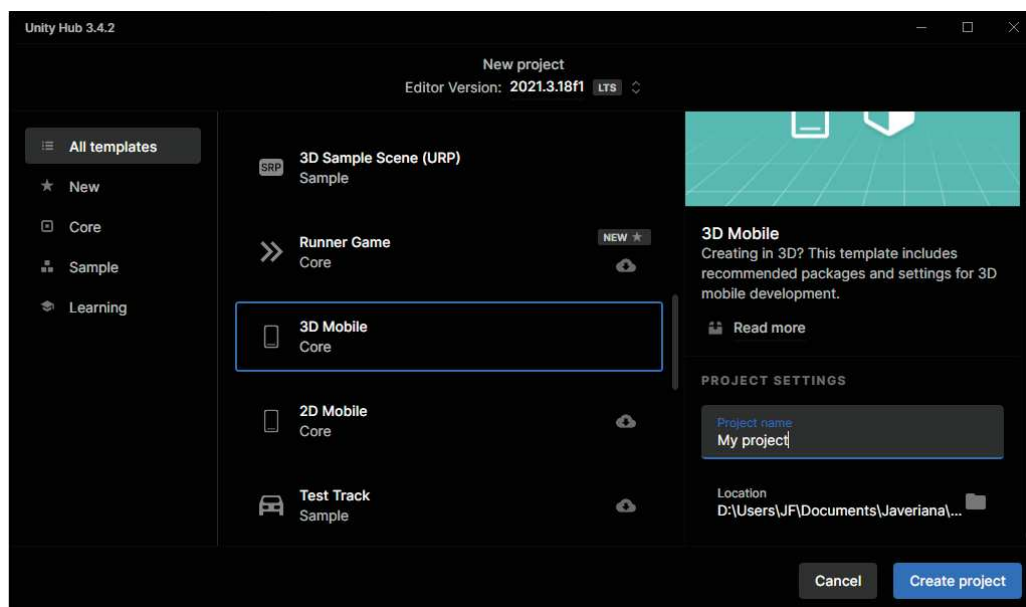


Ilustración 56. Creación de proyecto para RA en Unity 3D.

Después de esto se importó el SDK descargado directamente desde el portal de desarrollador de Vuforia⁴⁷, tal como se muestra en la Ilustración 57.

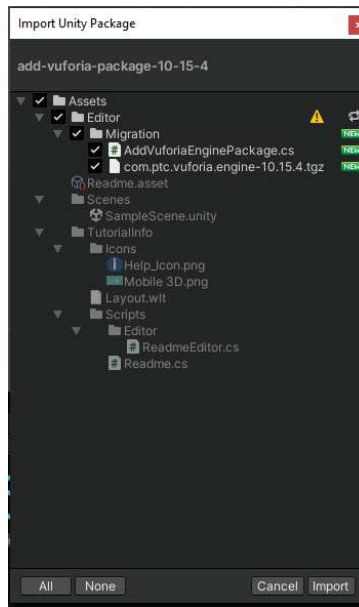


Ilustración 57. Importación de Vuforia SDK.

Una vez importado se habilitan las opciones para agregar los objetos que permitirán crear la experiencia y dar sentido a la narrativa. La Ilustración 58 presenta el menú que se habilita en Unity 3D una vez importada la librería.

⁴⁷ <https://developer.vuforia.com/downloads/sdk>

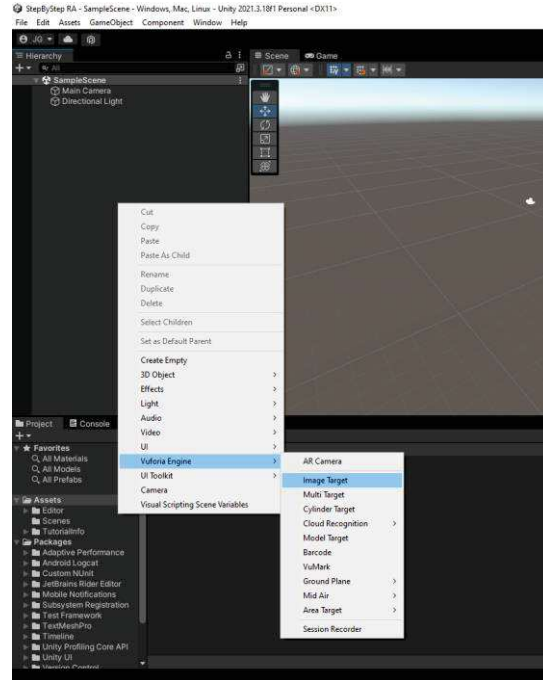


Ilustración 58. Menú Vuforia Engine en Unity 3D.

Para cada marcador diseñado se agrega un **ImageTarget**, bajo la jerarquía de cada uno se agregan los objetos que serán presentados en cada escena tal como se ve la siguiente imagen. En la Ilustración 59 se muestran los marcadores denominados *CondorTarget*, *HabitatTarget*, *FoodTarget*, *InDangerTarget* y *PuzzleTarget*, y bajo cada uno de ellos los modelos 3D que serán presentados al usuario una vez reconocido el marcador.

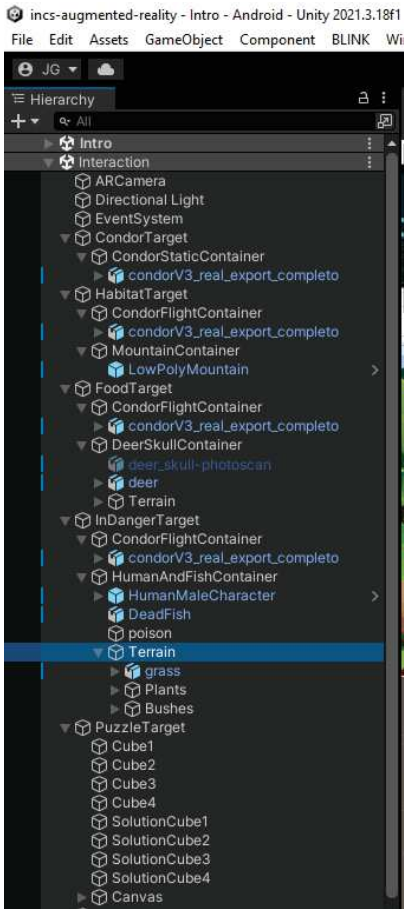


Ilustración 59. Jerarquía de objetos en Unity 3D para RA.

El resultado final en Unity 3D se muestra en la Ilustración 60.



Ilustración 60. Marcadores y contenido aumentado.

Sobre cada marcador se encuentra el contenido que será presentado al usuario en la pantalla del dispositivo una vez que sea identificado. En los numerales 7.1.1 a 7.1.5 se detalla cada escena.

7.1.1. Escena 1: Características físicas del Cóndor Andino

En esta escena se presenta el personaje. Inicialmente se muestra en estado de reposo (ver Ilustración 61) y se reproduce el audio explicativo de las características físicas del Condor Andino. Al final del audio se indica al usuario la posibilidad de interactuar con el objeto tocando sobre este para activar la animación de vuelo.

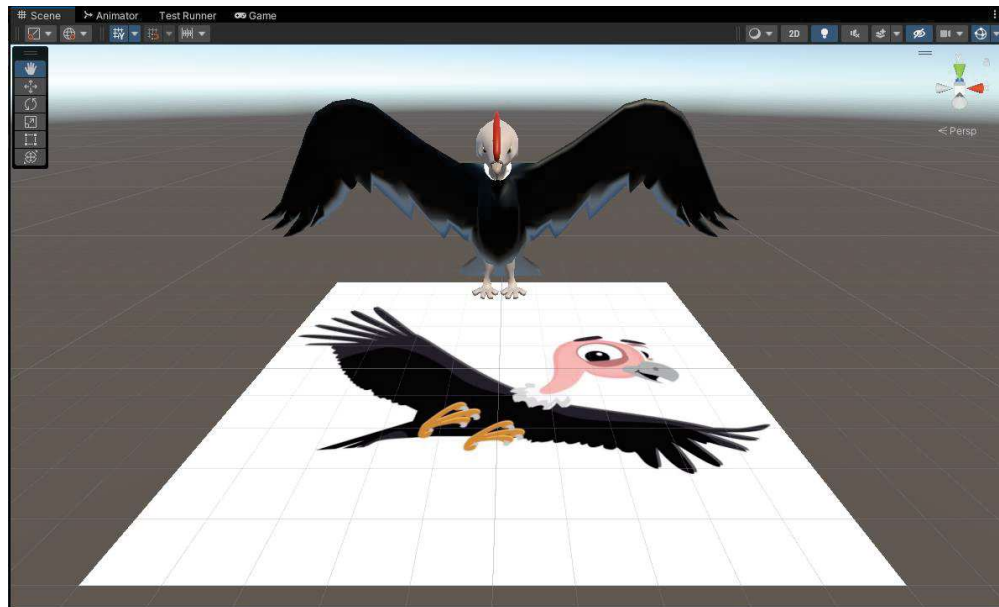


Ilustración 61. Escena 1: Características físicas del Cóndor Andino.

La animación de vuelo es activada mediante una máquina de estado. La máquina de estado está compuesta por dos estados Idle y Flight, tal como se ve en la Ilustración 62. Esta última animación fue creada en la sección de clips del objeto 3D de Unity seleccionando los frames específicos necesarios. Una vez el usuario toca al Condor Andino presentado en pantalla, se activa un flag (isFlying) que indica a la máquina de estado que debe activar el estado Flight.

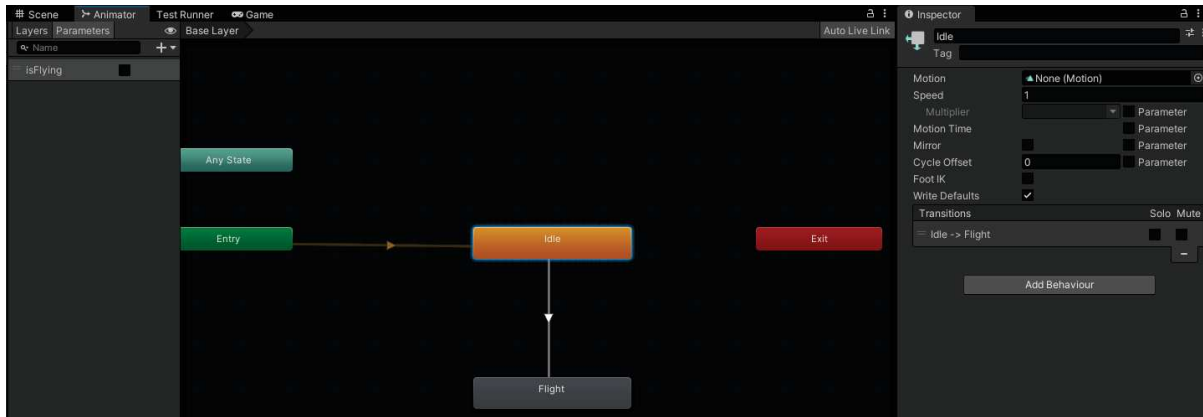


Ilustración 62. Máquina de estado del vuelo del Condor.

7.1.2. Escena 2: Hábitat del Cóndor Andino

Esta escena presenta el Condor Andino en estado de vuelo “infinito”, es decir, durante la reproducción de la escena el Condor esta siempre volando. Para lograr esto, una vez identificado el marcador, se activa el flag de la máquina de estado de la Ilustración 62. Adicionalmente, mediante un script se desplaza el objeto simulando una trayectoria circular alrededor de las montañas.

La composición final se presenta en la Ilustración 63.

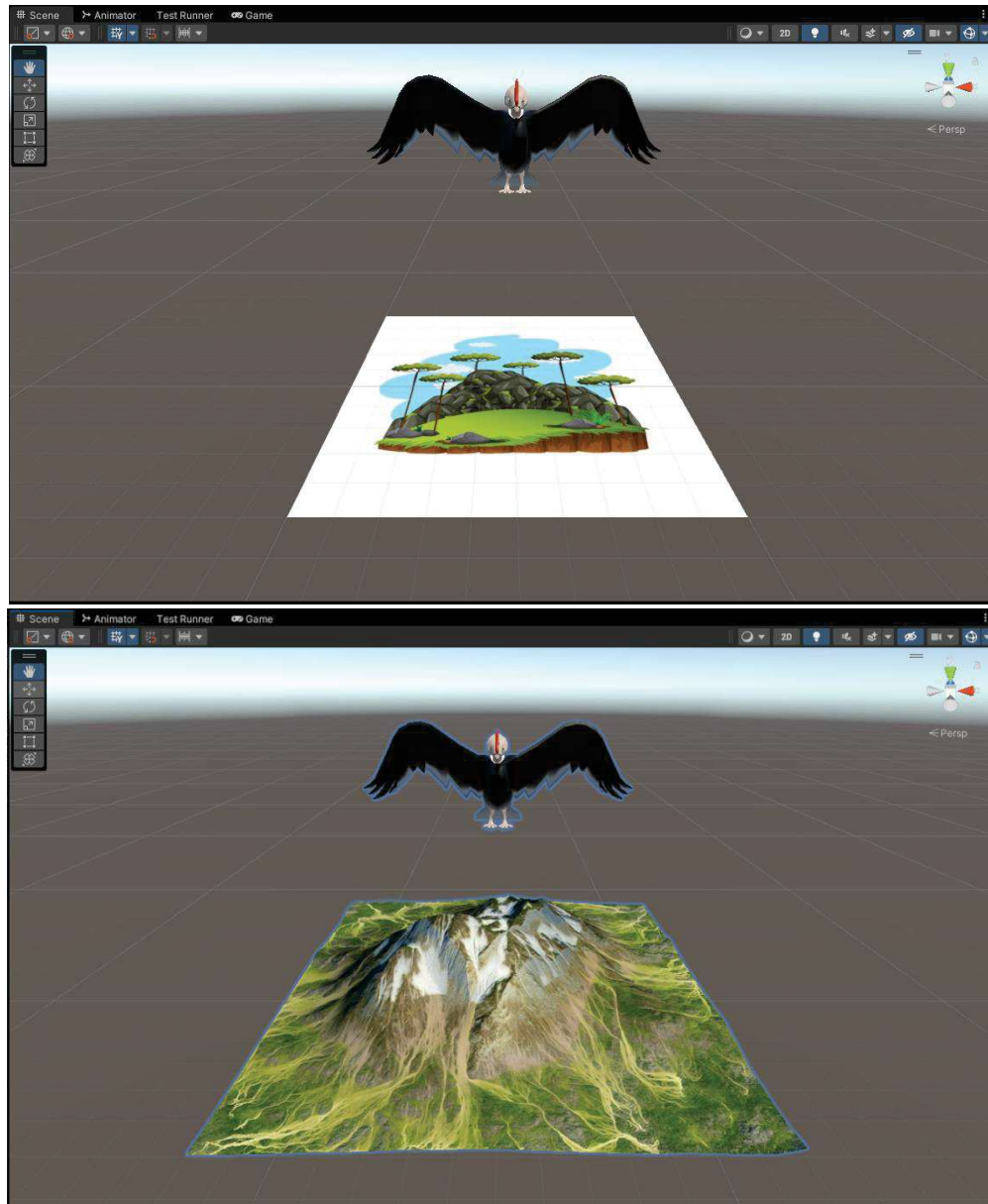


Ilustración 63. Escena 2: Hábitat del Cóndor Andino.

7.1.3. Escena 3: Alimentación del Cóndor Andino

Para esta escena se utilizó una estrategia similar a la utilizada para la animación de vuelo del Condor en las escenas 1 y 2 para presentar al venado muerto en el terreno. El objeto del venado incluye un par de animaciones, Idle y Die, para la nueva animación se seleccionó el ultimo frame, ese en el que el venado está totalmente tendido en el suelo. De esta manera se logra obtener el cuerpo, la cabeza y el dobléz en las patas de una manera más natural, tal como se muestra en la Ilustración 64.

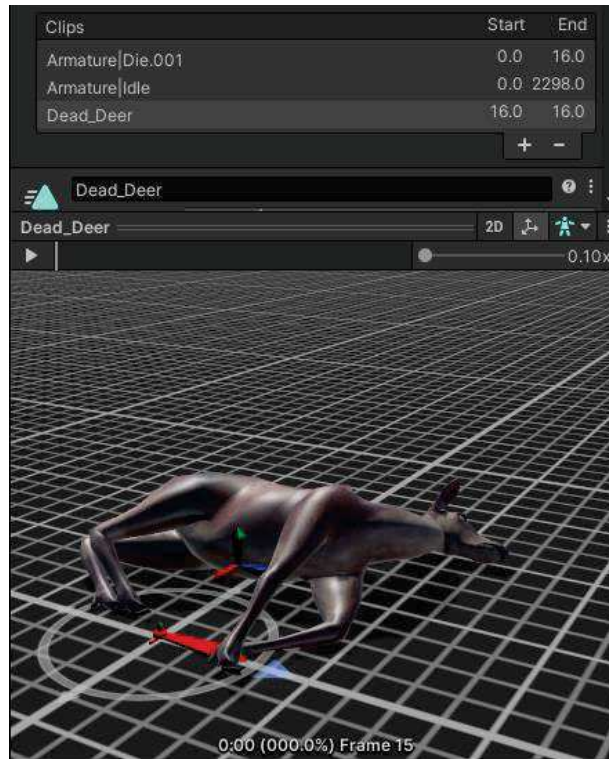


Ilustración 64. Animación Venado muerto.

La Ilustración 65 muestra la composición final para esta escena.

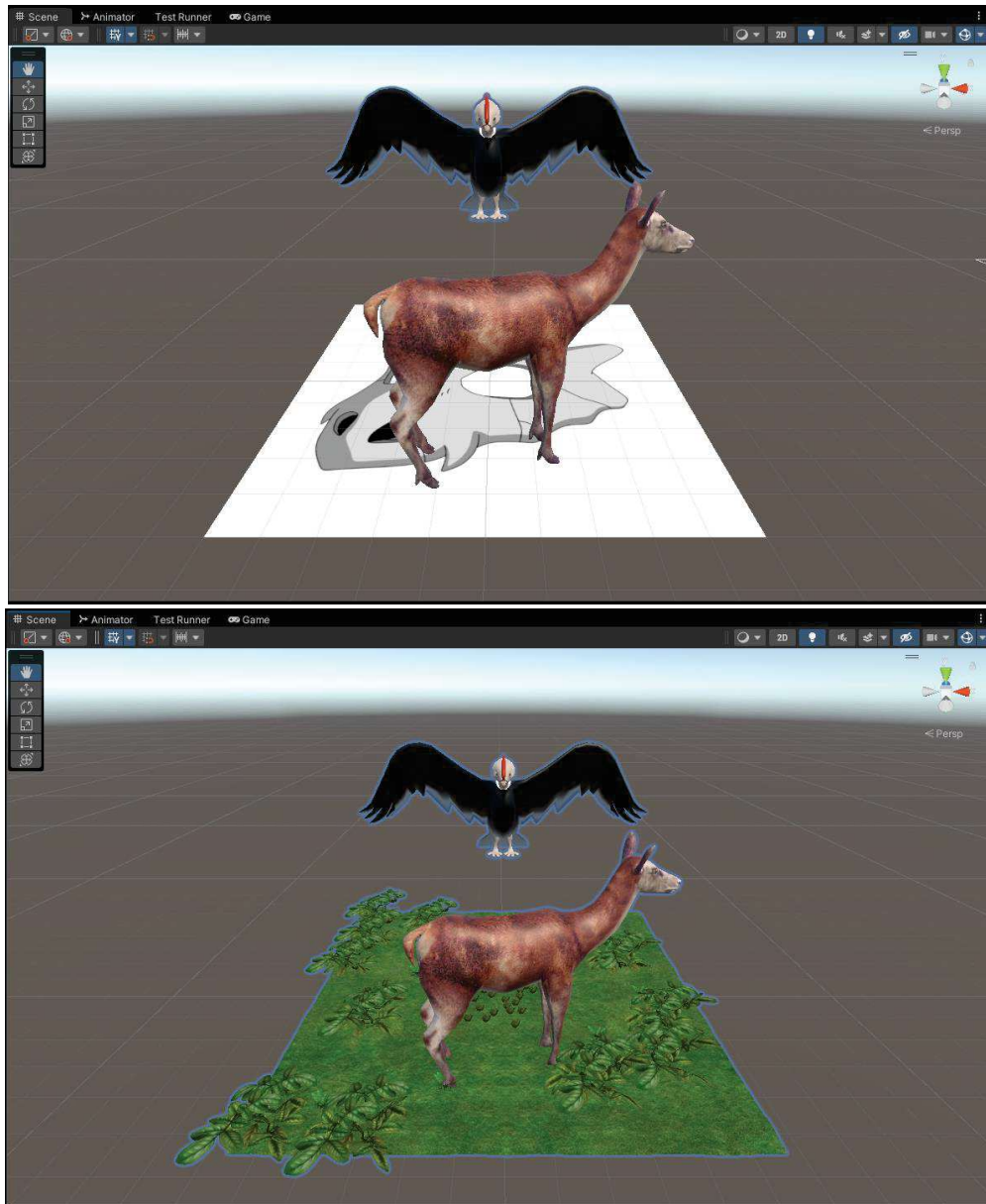


Ilustración 65. Escena 3: Alimentación del Cóndor Andino.

7.1.4. Escena 4: Situación de peligro del Cóndor Andino

En esta escena se tienen un total de 3 animaciones: el Condor Andino en estado de vuelo; el humano simulando el vertimiento o la recogida de algo; y la animación que simula el veneno contenido en el pescado. Para el humano, se utilizó una de las animaciones incluidas en el paquete *FREE Low Poly Human - RPG Character*⁴⁸ llamada Gathering y una nueva máquina de estado (ver Ilustración 66). Para el veneno se usó el Sistema de Partículas de Unity tal como se explica en los Anexos.

⁴⁸ <https://assetstore.unity.com/packages/3d/characters/humanoids/fantasy/free-low-poly-human-rpg-character-219979>

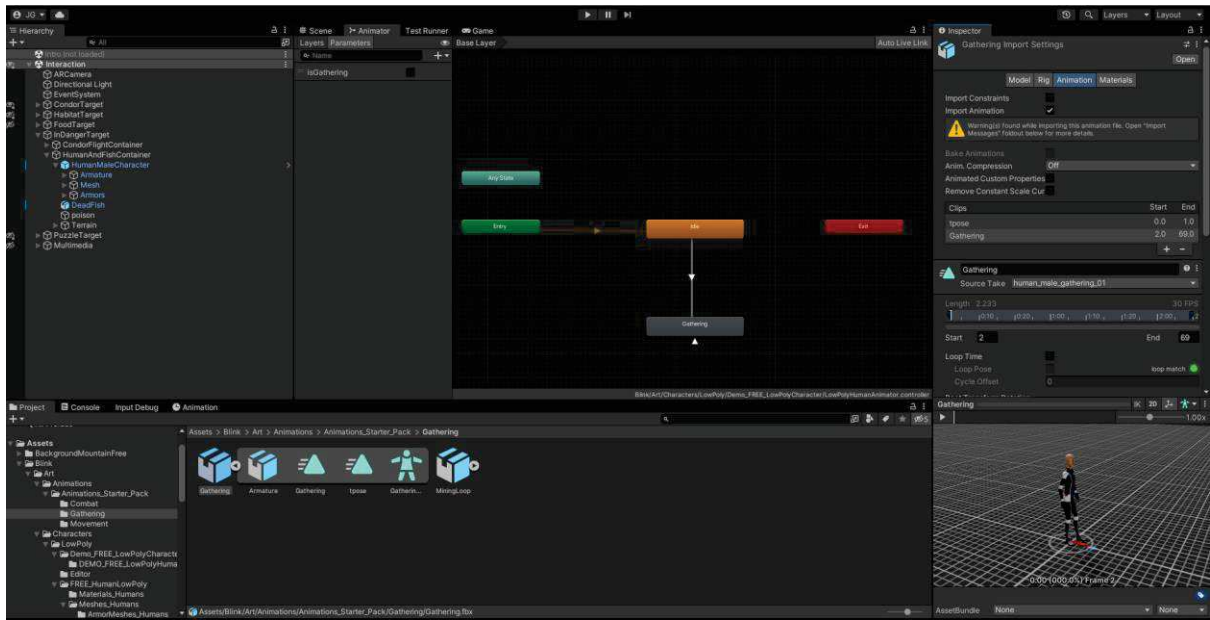


Ilustración 66. Máquina de estado del humano vertiendo.

La composición final se presenta en la Ilustración 67.

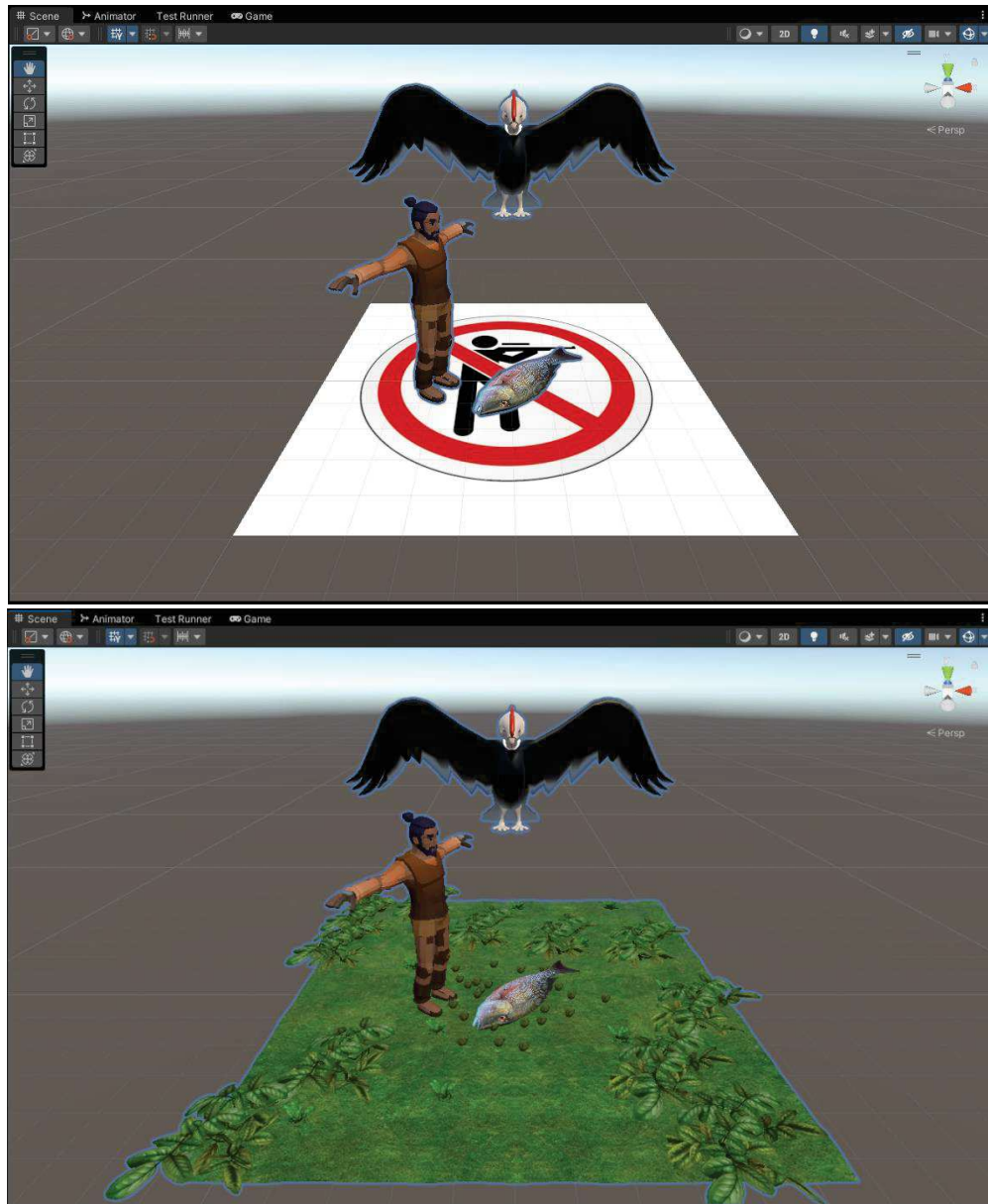


Ilustración 67. Escena 4: Situación de peligro del Cóndor Andino.

7.1.5. Escena 5: mini juego (puzzle)

Finalmente, para la escena del minijuego se utilizaron Cubos (Cube) de Unity y Colisionadores (Collider) para detectar la colisión entre los cubos y mediante un script se controla la lógica del mismo. Los cubos blancos representan la posición final del rompecabezas, cuando el usuario arrastra uno de los fragmentos del rompecabezas hacia la posición objetivo, el script marcará el objetivo en verde si es la posición correcta o en amarillo si es la posición incorrecta, para ayudar al usuario a resolverlo. Cuando el usuario suelta la ficha y solo se visualiza un cubo de color verde, la ficha quedará anclada en dicha posición, pero si la suelta cuando se visualiza algún cubo de color amarillo entonces regresará a su posición inicial. Una vez ancladas todas

correctamente, se presenta al usuario una animación de Confeti (ver Anexos), y el mensaje “Lo hiciste muy bien”.

La Ilustración 68 presenta la composición final de la escena.

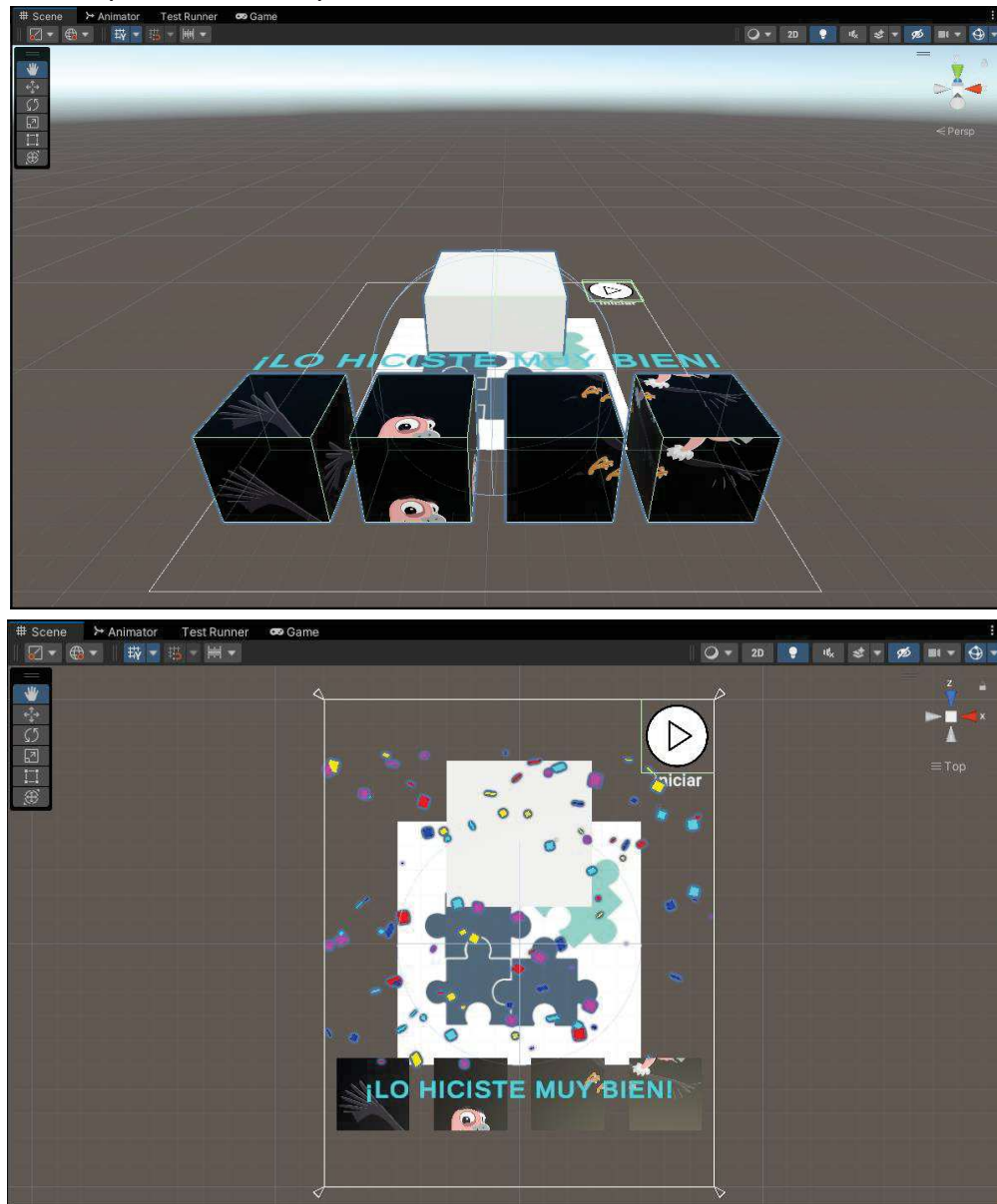


Ilustración 68. Escena 5: mini juego (puzzle).

7.1.6. Refactorización

La primera versión de la implementación se realizó sin conocimientos en la creación de componentes y scripts para Unity 3D, por lo que la estructura era desordenada, repetitiva y los scripts prácticamente duplicados (ver Ilustración 69). El Canvas y su contenido, que se usa para

presentar el texto en pantalla y reproducir el audio asociado al texto, se repetía por cada marcador.

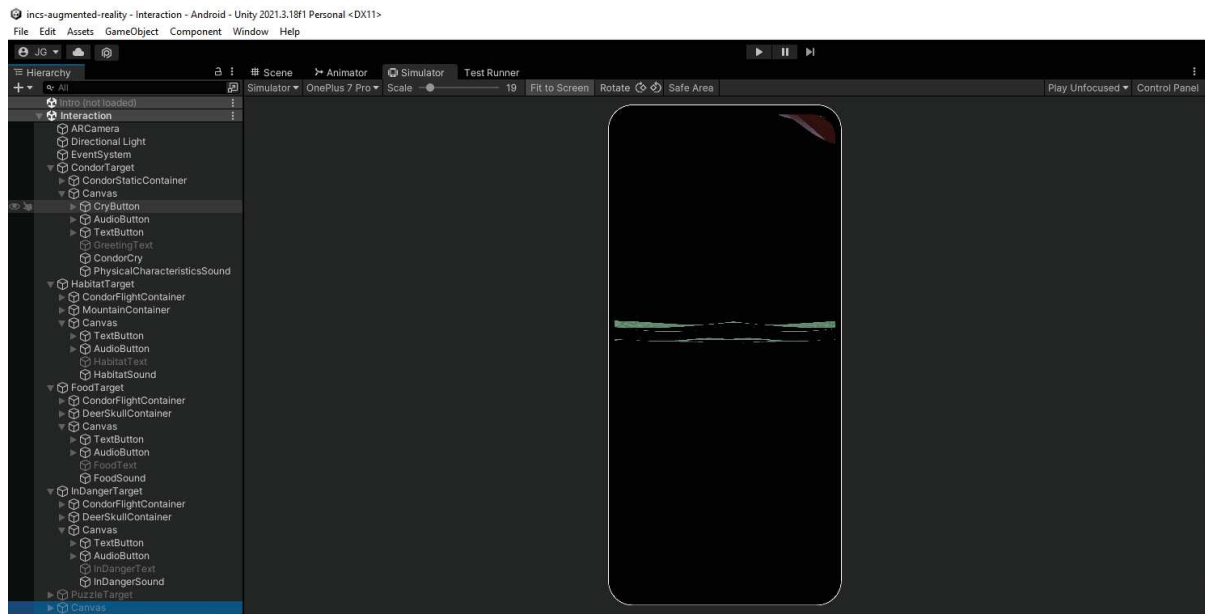


Ilustración 69. Estructura del proyecto.

Posteriormente, con un mejor entendimiento de Unity 3D, la identificación de algunos patrones y algunos minicursos virtuales, se crearon componentes y scripts más genéricos y extensibles que permitieran disminuir código, lo que a su vez disminuye el tamaño de la aplicación, y ayuda a tener una estructura más limpia. La estructura final del proyecto se visualiza en la Ilustración 70.

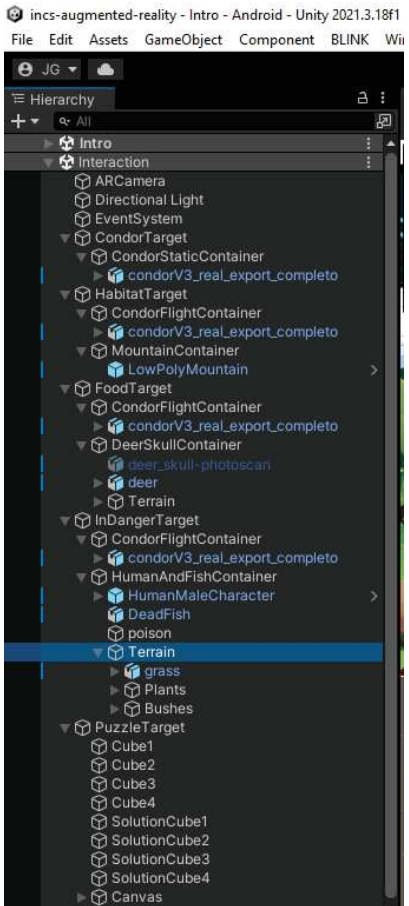


Ilustración 70. Estructura final proyecto en RA.

7.2. Realidad Virtual

El prototipo en realidad virtual fue creado junto Oculus Integration SDK v53.1, aunque al inicio del proyecto se utilizó la v49.0. Este SDK ofrece algunas funcionalidades previamente construidas y listas para su uso, las cuales son útiles para el proyecto y para la experiencia que se desea crear.

El primer paso fue crear un proyecto utilizando la plantilla 3D Core tal como se muestra en la Ilustración 71.

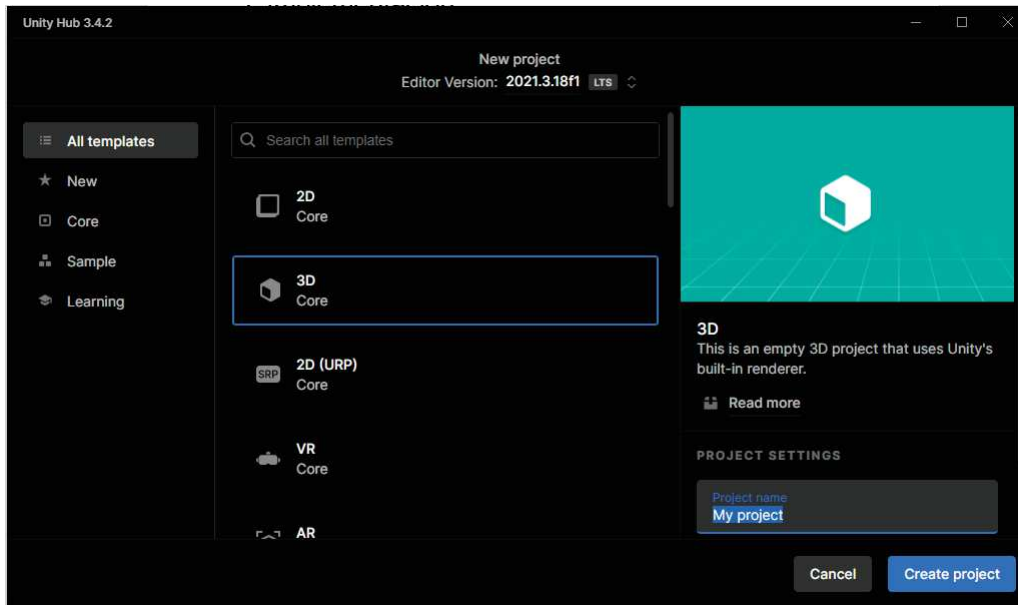


Ilustración 71. Creación proyecto para RV en Unity 3D.

Una vez hecho esto se procede a importar el SDK ya sea a través del Asset Store⁴⁹ o descargándolo directamente desde la página web de Meta/Oculus⁵⁰, como se ve en la Ilustración 72.

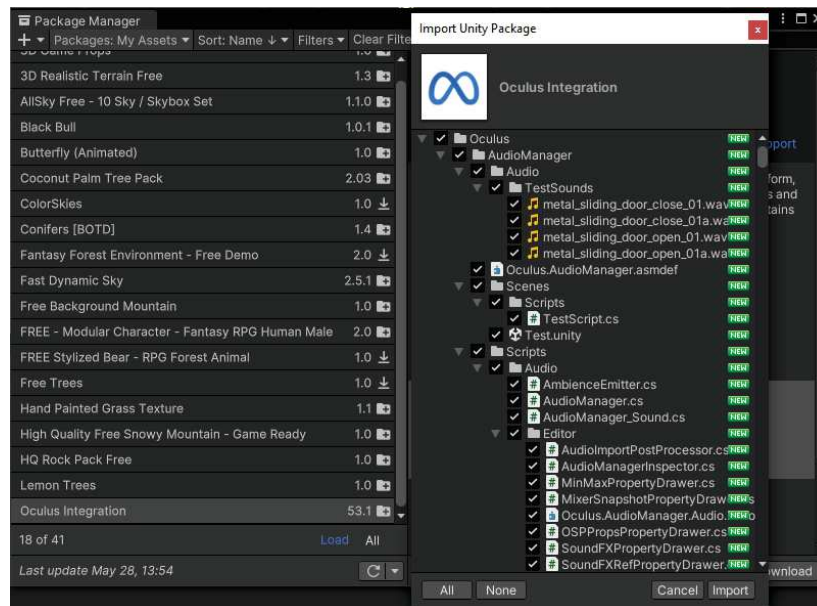


Ilustración 72. Importación de Oculus Integration SDK.

Con los conocimientos adquiridos durante la implementación del prototipo en realidad aumentada, se creó una jerarquía de objetos (ver Ilustración 73), pero en esta ocasión no influye

⁴⁹ <https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/oculus-integration-82022>

⁵⁰ <https://developer.oculus.com/downloads/package/unity-integration>

en la forma en que se presenta la información al usuario, solo se hizo para tener el proyecto estructurado.

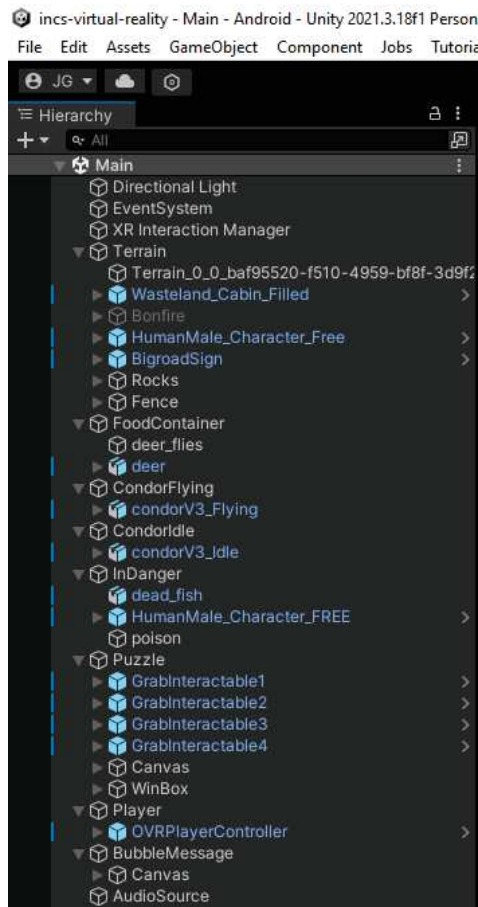


Ilustración 73. Jerarquía de objetos en Unity 3D para RV.

Para habilitar la interacción con los objetos (señalar o apuntar e interactuar al “seleccionarlo”) fue necesario agregar un Collider a cada objeto, dependiendo del tipo de objeto y su composición, este podía ser *Capsule Collider* (para humanos), *Box Collider* (Ciervo y Señal) o *Mesh Collider* (Condor y Pez Muerto); junto a algunos scripts disponibles en el SDK de Oculus: *Collider Surface*, *Pointable Element*, *Ray Interactable* y *Pointable Unity Event Wrapper*. Adicionalmente, para presentar el texto en pantalla sobre cada objeto y orientarlo hacia la vista del usuario se creó un script personalizado llamado *Message Handler*. En la Ilustración 74 se puede ver un ejemplo de los componentes anclados a los objetos.

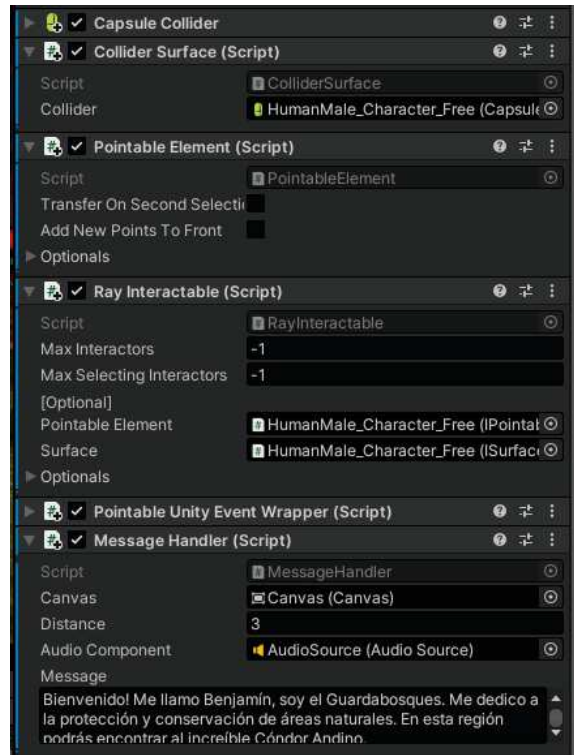


Ilustración 74. Componentes básicos para apuntar/seleccionar objeto (interactivo).

En el Mini Juego, para habilitar la opción de agarrar y soltar los objetos fue necesario agregar un componente *RigidBody* junto a algunos scripts disponibles en el SDK de Oculus: *Grab Interactable* y *Grabbable*, tal como se muestra en la Ilustración 75.



Ilustración 75. Componentes básicos para agarrar/soltar objeto.

Algo importante a tener en cuenta es las opciones: **User Gravity** no marcada y **Is Kinematic** marcada. Esta configuración, permite agarrar y soltar el objeto ignorando el motor de físicas de Unity 3D, para evitar movimientos extraños ocasionado por el choque de los cuerpos interactuando entre sí.

El resultado final fue una pequeña escena en donde se ubicaron los diferentes objetos para interactuar con ellos, ver Ilustración 76.

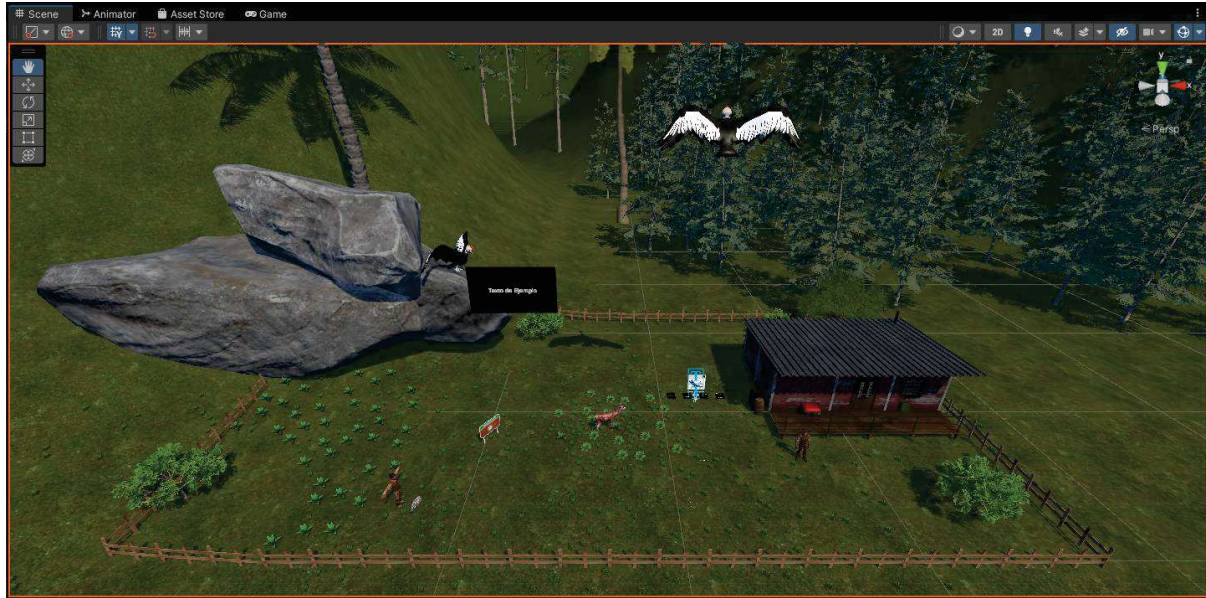


Ilustración 76. Escena en Realidad Virtual.

Como parte de la escena fue incluido un Condor en estado de vuelo. Este objeto no es interactivo, solo se ubicó allí para hacer más llamativa la experiencia. En la imagen anterior se puede observar en la parte superior de la imagen en estado de reposo (antes de ejecutar el juego) y, en la Ilustración 77, en estado de vuelo, detrás del Condor localizado en las rocas.

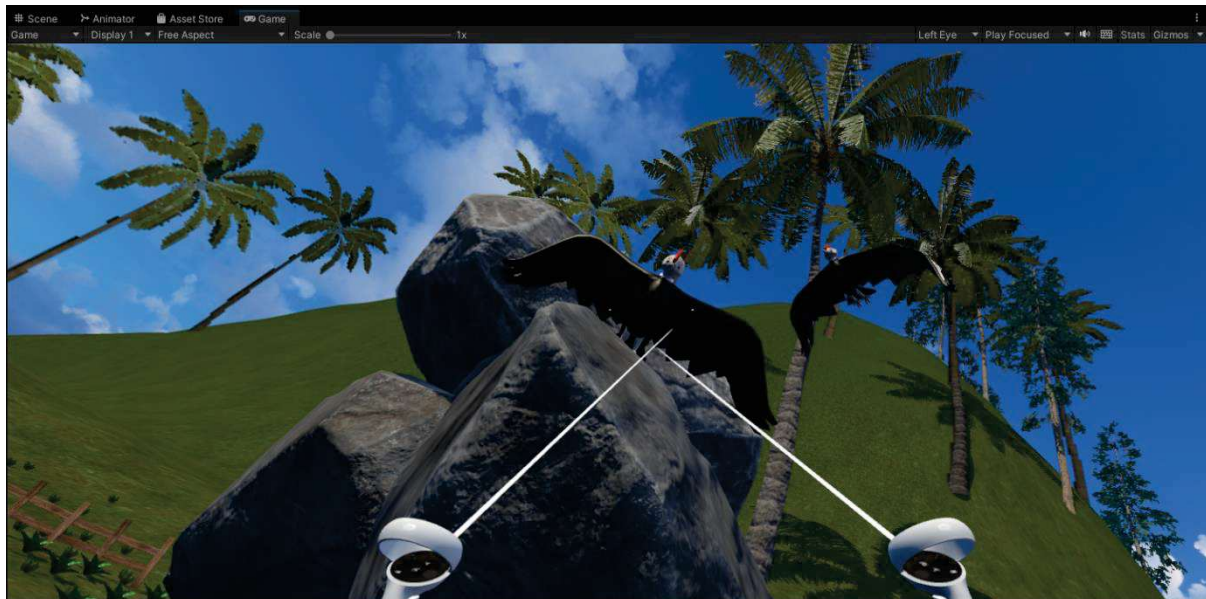


Ilustración 77. Condor en estado de vuelo en Realidad Virtual.

Una vez ejecutada la aplicación en el Oculus Quest, el usuario debe recorrer la escena y apuntar con el mando hacia los objetos para identificar si es interactivo o no. Si al apuntar aparece un punto al extremo del rayo, el objeto es interactivo, de lo contrario no, tal como se muestra en la Ilustración 78.



Ilustración 78. Objetos interactivos en Realidad Virtual.

Finalmente, una vez identificado el objeto interactivo, se debe presionar el “gatillo” principal del mando para reproducir el audio asociado y presentar el texto en pantalla.

7.2.1. Objeto interactivo 1: Guardabosques

La Ilustración 79 y la Ilustración 80 muestran la visualización del guardabosques en la escena y la interacción del usuario con el objeto.



Ilustración 79. Objeto interactivo 1: Guardabosques.

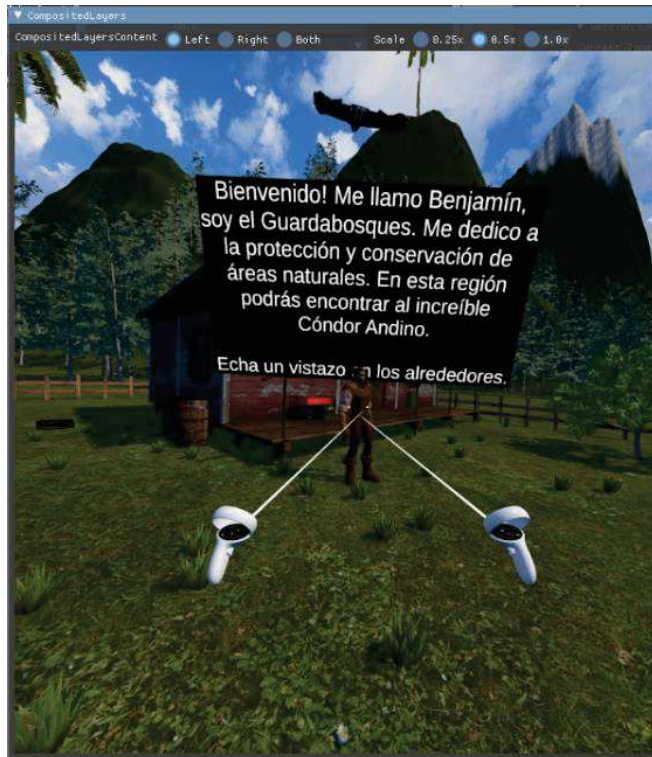


Ilustración 80. Interacción Guardabosques.

7.2.2. Objeto interactivo 2: Carroña

En la Ilustración 81 e Ilustración 82 se muestra la visualización en pantalla del objeto que representa la carroña y la interacción del usuario con dicho objeto.



Ilustración 81. Objeto interactivo 2: Carroña.

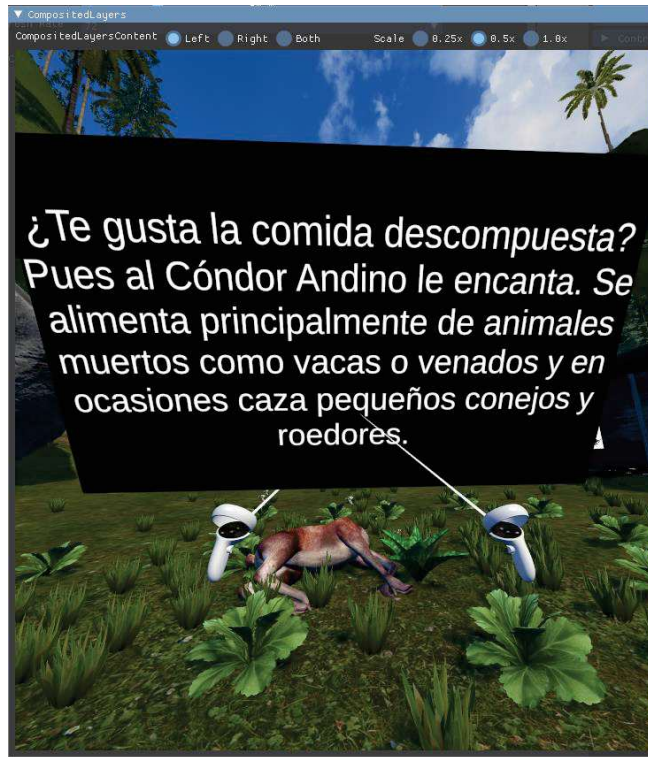


Ilustración 82. Interacción Carroña.

7.2.3. Objeto interactivo 3: Señal

La Ilustración 84 y la Ilustración 85 muestra el objeto utilizado para presentar la información del hábitat y la interacción del usuario con el objeto.



Ilustración 83. Objeto interactivo 3: Señal.



Ilustración 84. Interacción Señal.

7.2.4. Objeto interactivo 4: Situación de peligro

Los objetos utilizados para presentar la información del estado de peligro del Condor Andino se pueden ver en la Ilustración 85 y en la Ilustración 86 se puede ver la interacción del usuario con los objetos.



Ilustración 85. Objeto interactivo 4: Situación de peligro.

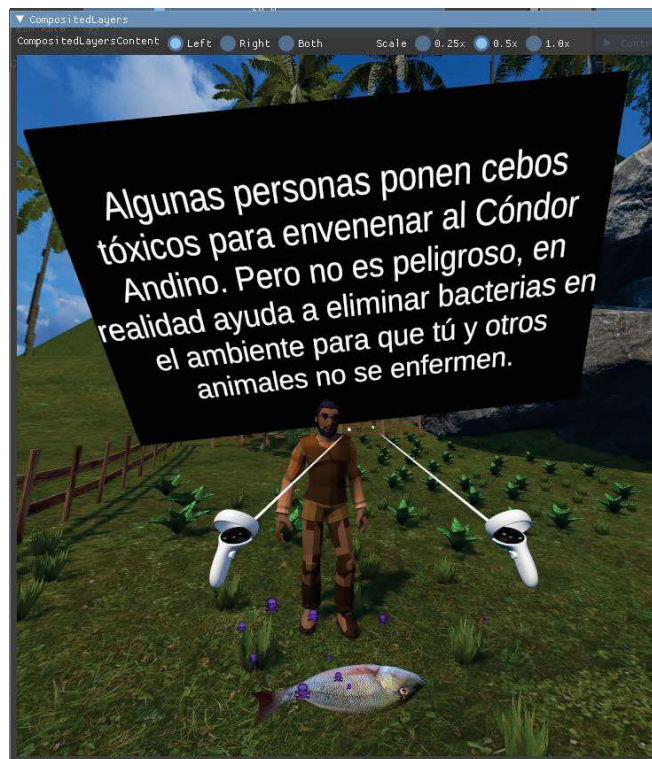


Ilustración 86. Interacción Situación de Peligro.

7.2.5. Objeto interactivo 5: Condor Andino

Nuestro personaje principal, el Condor Andino, es presentado en dos partes en la escena, una en estado de reposo sobre una roca, tal como se ve en la Ilustración 87 y otra en estado animado volando en el cielo.

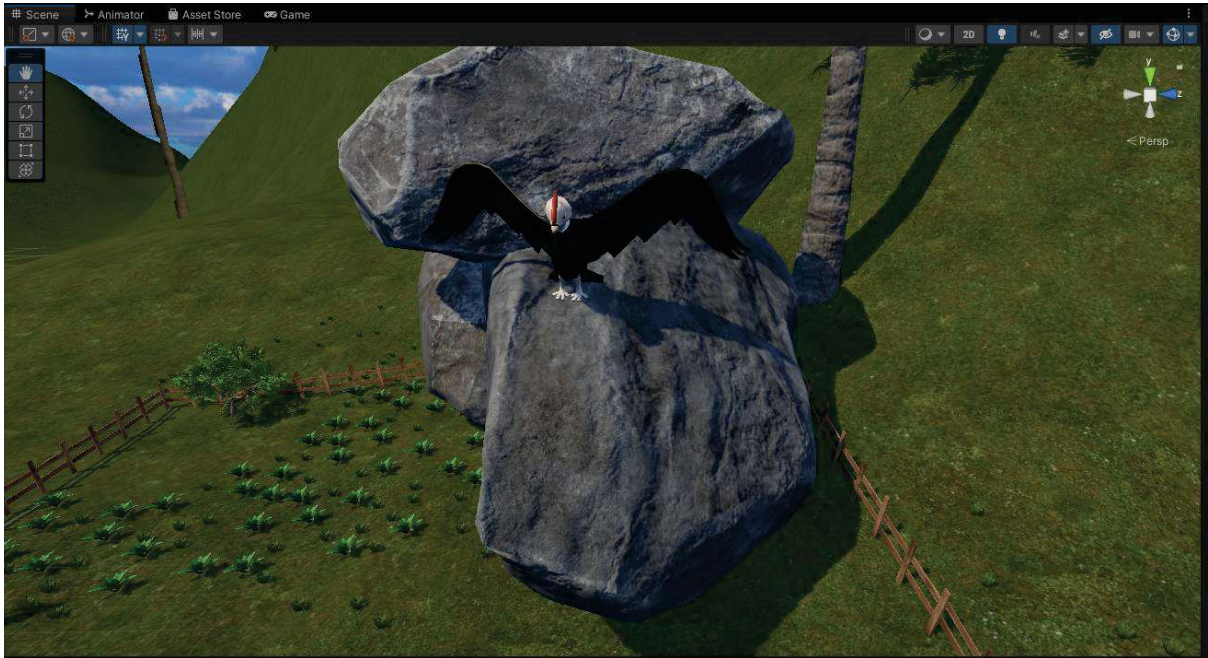


Ilustración 87. Objeto interactivo 5: Condor Andino

La interacción con el Condor en la roca presenta la información de las características físicas del animal como se puede observar en la Ilustración 88.



Ilustración 88. Interacción Condor Andino.

7.2.6. Objeto Interactivo 6: Minijuego (puzle)

Para el caso del minijuego se utilizó una estrategia diferente a la utilizada en el prototipo en realidad aumentada. Las fichas continúan siendo cubos (Cube). En esta ocasión no se tiene un objetivo en la escena, el rompecabezas puede ser armado en cualquier posición. Los mini cubos que se observan en la Ilustración 89 dentro de cada ficha se utiliza para saber con cual ficha está generando contacto y determinar si está en la posición correcta.



Ilustración 89. Objeto Interactivo 6: Minijuego (puzle).

Las instrucciones se presentan cuando el usuario interactúa con el símbolo de interrogación en la imagen de muestra del minijuego resuelto como se ve en la Ilustración 90.



Ilustración 90. Interacción Minijuego Parte 1.

La interacción con cada ficha está determinada por la opción de agarrado, cuando se está lo suficientemente cerca como para agarrar la ficha, esta se torna de una tonalidad azul. Al presionar el gatillo y mantenerlo sostenido la figura se torna de una tonalidad verde indicando que la ficha esta agarrada y disponible para mover. Estas opciones se pueden observar en la Ilustración 91.

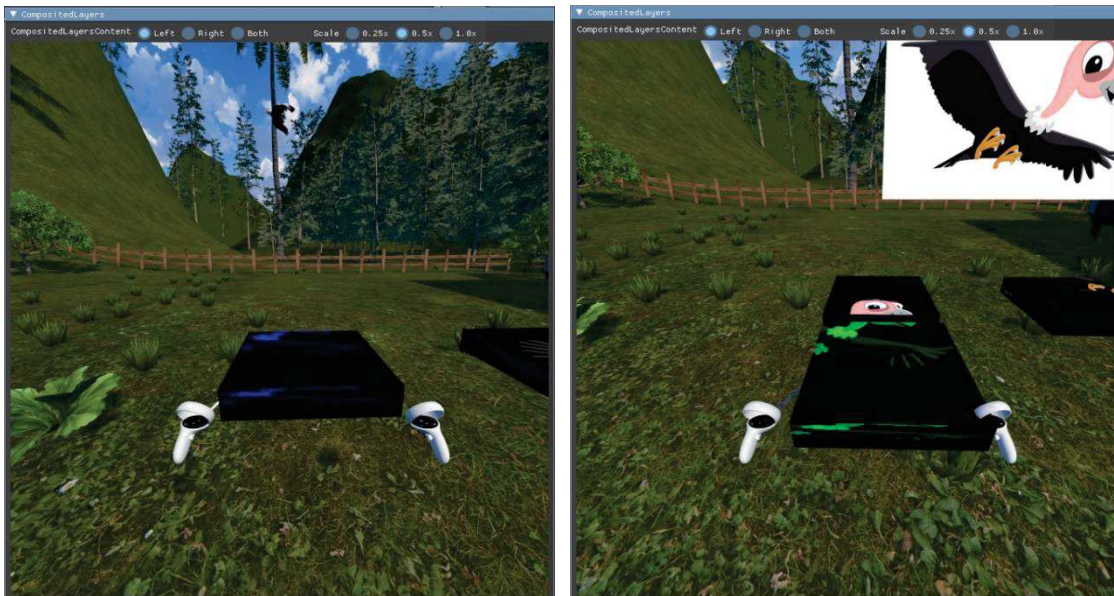


Ilustración 91. Interacción Minijuego Parte 2.

Una vez completado el minijuego, al igual que en el prototipo en realidad aumentada, se muestra una animación de confeti junto con el mensaje “¡Felicidades, lo hiciste muy bien!” tal como se ve en la Ilustración 92.

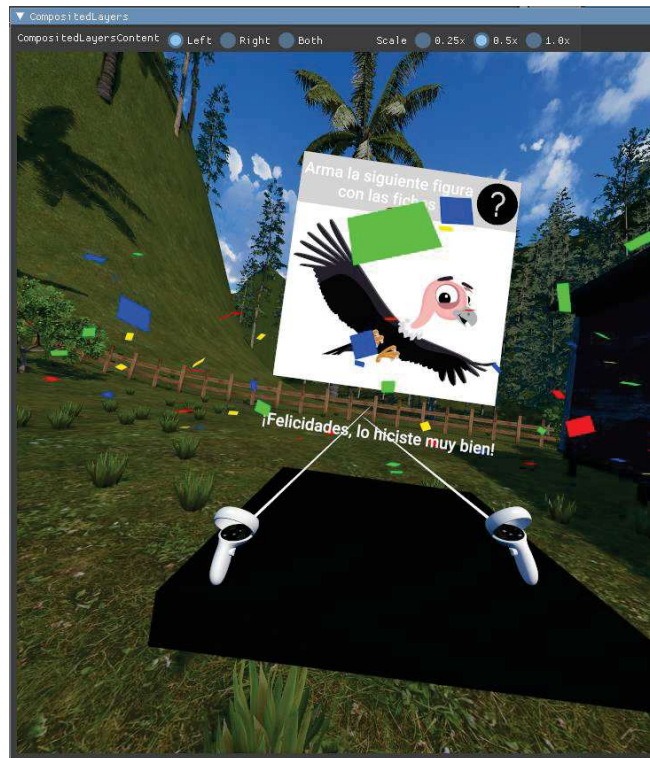


Ilustración 92. Interacción Minijuego Parte 3.

7.2.7. Inconvenientes

Uno de los inconvenientes presentados durante la implementación estuvo asociado con las texturas. En la guía de uso del SDK de Oculus, se especifica el uso del algoritmo ASTC (Adaptive scalable texture compression o Compresión de Textura Escalable Adaptativa), pero al usarlo el terreno adquiere un brillo excesivo luciendo “gelatinoso”, ver Ilustración 93.

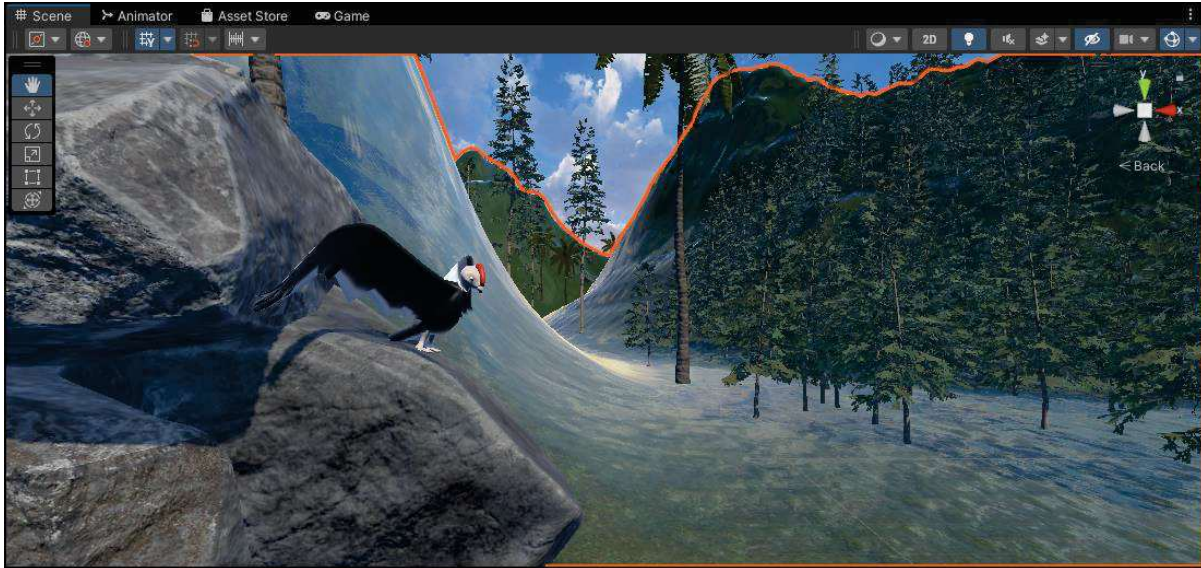


Ilustración 93. Error con compresión ASTC.

Después de buscar durante algunos días y probar diferentes soluciones planteadas en los foros, sin éxito, se logró corregir con la configuración de la iluminación (menú Window -> Rendering -> Lighting, pestaña Environment) pasando el parámetro `m_ReflectionIntensity` (Intensity Multiplier) a 0.1, ver Ilustración 94.

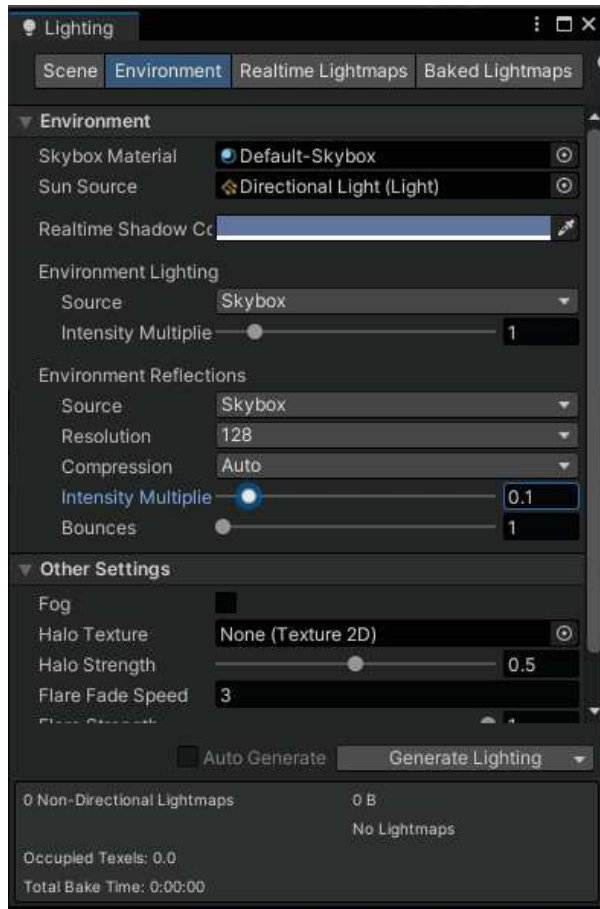


Ilustración 94. Configuración de iluminación para corregir texturas.

El resultado obtenido es presentado en la Ilustración 95.

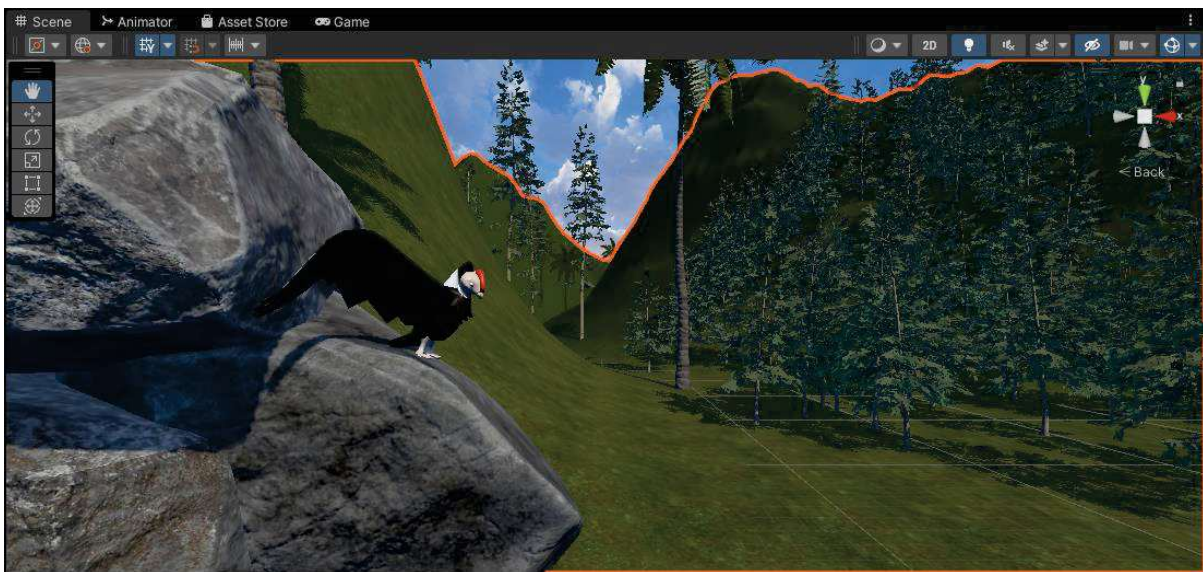
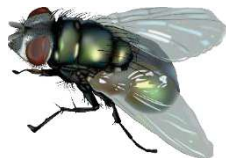


Ilustración 95. Corrección de textura "gelatinosa".

7.3. Particularidades

Para crear las moscas y el veneno alrededor de la carroña se utilizó el Sistema de Partículas de Unity. El detalle de la configuración usada está disponible en los Anexos en la sección Configuración Sistema de Partículas, el resultado del mismo se puede observar en la Ilustración 96 y la Ilustración 97:



*Ilustración 96. Sistema de Partículas para simulación de moscas.*⁵¹



*Ilustración 97. Sistema de Partículas para simulación de veneno.*⁵²

⁵¹ Imagen obtenida de <https://pngimg.com/image/3971>.

⁵² Imagen obtenida de <https://www.freepng.es/png-hld7jx/>.

8. Resultados y pruebas

8.1. Configuración de las pruebas

Para evaluar el efecto del uso de la realidad virtual y de la realidad aumentada en niños con discapacidad visual y auditiva, se realizaron pruebas de los prototipos junto a algunos niños y niñas del Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca. Se configuraron dos sesiones: la primera, el 14 de agosto de 2023, en la cual se evaluó la experiencia en realidad virtual; y la segunda, el 28 de agosto de 2023, en donde se evaluó la experiencia en realidad aumentada.

Al finalizar cada sesión se realizó un cuestionario a los especialistas que acompañaron la sesión para conocer su opinión respecto al uso de la tecnología, y otro a los niños y niñas que probaron los prototipos, para conocer la experiencia de uso y medir la retención de información.

Así mismo, se realizó una sesión con dos niñas sin discapacidad el día 02 de septiembre de 2023, una probó el prototipo en realidad aumentada y la otra el prototipo en realidad virtual.

8.1.1. Cuestionario Especialista

El cuestionario realizado a los especialistas constaba de las siguientes preguntas:

Sección 1: Datos Esenciales

1. Nombre completo
2. Profesión

Sección 2a: Experiencia en Realidad Aumentada

3. ¿Qué tan claras fueron las instrucciones para Realidad Aumentada? (1 - muy confusas, 5 - muy claras)
4. ¿Qué tan difícil le pareció la experiencia en Realidad Aumentada? (1 - muy fácil, 5 - muy difícil)
5. ¿La utilizaría con los niños? ¿Por qué sí o por qué no? (Motivación)
6. ¿Qué le cambiaría?

Sección 2b: Experiencia en Realidad Virtual

3. ¿Qué tan claras fueron las instrucciones para Realidad Virtual? (1 - muy confusas, 5 - muy claras)
4. ¿Qué tan difícil le pareció la experiencia en Realidad Virtual? (1 - muy fácil, 5 - muy difícil)
5. ¿La utilizaría con los niños? ¿Por qué sí o por qué no? (Motivación)
6. ¿Qué le cambiaría?

8.1.2. Cuestionario Niños y Niñas

El cuestionario realizado a los niños y niñas constaba de las siguientes preguntas:

Sección 1: Datos esenciales

1. Nombre completo
2. Sexo
 - a. Masculino
 - b. Femenino
3. Edad
4. Tipo de discapacidad
 - a. Visual
 - b. Auditiva
5. Detalle de la discapacidad
6. Experiencia probada
 - a. Realidad Aumentada
 - b. Realidad Virtual

Sección 2: Experiencia de uso

7. ¿Te gustó jugar este juego?
 - a. Mucho
 - b. Mas o menos
 - c. Muy poco
8. ¿Entendiste lo que había que hacer en el juego?
 - a. Si
 - b. No
 - c. Algunas cosas

Sección 3: ¿Qué tanto aprendiste?

9. El Cóndor Andino es:
 - a. Un reptil
 - b. Un ave
 - c. Un mamífero
 - d. Un roedor
 - e. No recuerdo
10. ¿De qué color es el plumaje del Cóndor Andino?
 - a. Plumaje azul con blanco
 - b. Alas negras con un collar blanco
 - c. Plumaje café
 - d. No tiene plumas
 - e. No recuerdo
11. ¿Dónde habita el Cóndor Andino?
 - a. Europa
 - b. África
 - c. Asia
 - d. Suramérica
 - e. No recuerdo
12. ¿De qué se alimenta el Cóndor Andino?
 - a. Animales muertos y a veces caza roedores
 - b. Pizza
 - c. Frutas

- d. Vegetales
 - e. No recuerdo
13. ¿Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino?
- a. Porque es grande
 - b. Porque es muy bonito
 - c. No debemos cuidarlo
 - d. Porque no es peligroso y nos ayuda a eliminar bacterias

8.2. Resultados

Cada sesión duró alrededor de 4 horas. Inicialmente se le explico a cada niño y niña en qué consistía la prueba y se les mencionó el cuestionario que se haría al final esto con el fin de que prestaran mayor atención a la narrativa. A continuación, se presentan los resultados de cada una de ellas.

8.2.1. Realidad Virtual

El prototipo fue probado con un total de 5 niños de entre 5-10 años de edad, 2 con discapacidad visual, dos con discapacidad auditiva y uno sin discapacidades. Esta primera versión del prototipo no contaba con desplazamiento físico por lo que, durante las pruebas, el niño debía estar sentado. (ver Ilustración 98).



A continuación, se presenta la información recolectada por cada niño y niña:

Niño 1:

- Sexo: masculino
- Edad: 7 años
- Tipo de discapacidad: visual
- Detalle de la discapacidad: retinosquiasis bilateral
- Respuestas:
 - ¿Te gustó jugar este juego?
 - Mucho
 - ¿Entendiste lo que había que hacer en el juego?
 - Si
 - El Cóndor Andino es:
 - Un ave
 - ¿De qué color es el plumaje del Cóndor Andino?
 - Alas negras con un collar blanco
 - ¿Dónde habita el Cóndor Andino?
 - África
 - ¿De qué se alimenta el Cóndor Andino?
 - Animales muertos y a veces caza roedores
 - ¿Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino?
 - Porque no es peligroso y nos ayuda a eliminar bacterias

Niño 2:

- Sexo: femenino
- Edad: 8 años
- Tipo de discapacidad: visual
- Detalle de la discapacidad: catarata ojo derecho, toxoplasmosis, hidrocefalia congénita
- Respuestas:
 - ¿Te gustó jugar este juego?
 - Mucho
 - ¿Entendiste lo que había que hacer en el juego?
 - Si
 - El Cóndor Andino es:
 - Un ave
 - ¿De qué color es el plumaje del Cóndor Andino?
 - Alas negras con un collar blanco
 - ¿Dónde habita el Cóndor Andino?
 - Europa
 - ¿De qué se alimenta el Cóndor Andino?
 - Animales muertos y a veces caza roedores

- ¿Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino?
 - Porque no es peligroso y nos ayuda a eliminar bacterias

Niño 3:

- Sexo: femenino
- Edad: 9 años
- Tipo de discapacidad: auditiva
- Detalle de la discapacidad: pérdida auditiva moderada
- Respuestas:
 - ¿Te gustó jugar este juego?
 - Mucho
 - ¿Entendiste lo que había que hacer en el juego?
 - Si
 - El Cóndor Andino es:
 - Un ave
 - ¿De qué color es el plumaje del Cóndor Andino?
 - Plumaje café
 - ¿Dónde habita el Cóndor Andino?
 - No recuerdo
 - ¿De qué se alimenta el Cóndor Andino?
 - Animales muertos y a veces caza roedores
 - ¿Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino?
 - Porque no es peligroso y nos ayuda a eliminar bacterias

Niño 4:

- Sexo: femenino
- Edad: 10 años
- Tipo de discapacidad: auditiva
- Detalle de la discapacidad: pérdida auditiva moderada
- Respuestas:
 - ¿Te gustó jugar este juego?
 - Mucho
 - ¿Entendiste lo que había que hacer en el juego?
 - Si
 - El Cóndor Andino es:
 - Un ave
 - ¿De qué color es el plumaje del Cóndor Andino?
 - Plumaje café
 - ¿Dónde habita el Cóndor Andino?
 - No recuerdo
 - ¿De qué se alimenta el Cóndor Andino?
 - No recuerdo
 - ¿Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino?
 - No recuerdo

Niño 5:

- Sexo: femenino
- Edad: 7 años
- Tipo de discapacidad: Ninguna
- Detalle de la discapacidad: N/A
- Respuestas:
 - ¿Te gustó jugar este juego?
 - Mucho
 - ¿Entendiste lo que había que hacer en el juego?
 - Si
 - El Cóndor Andino es:
 - Un ave
 - ¿De qué color es el plumaje del Cóndor Andino?
 - Alas negras con un collar blanco
 - ¿Dónde habita el Cóndor Andino?
 - Suramérica
 - ¿De qué se alimenta el Cóndor Andino?
 - Animales muertos y a veces caza roedores
 - ¿Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino?
 - No recuerdo

En la Tabla 3 se resumen los resultados obtenidos. En general, se observa un buen desempeño de los niños, buena retención de información como clasificación de animales, colores y otra terminología sencilla, y con una dificultad marcada para responder la pregunta **Dónde habita el Cóndor Andino**, esto, quizá, debido a que no están familiarizados con la terminología usada, por ejemplo, los continentes.

Tabla 3. Resultados Realidad Virtual.

Etiquetas de fila	El Cóndor Andino es	De qué color es el plumaje del Cóndor Andino	Dónde habita el Cóndor Andino	De qué se alimenta el Cóndor Andino	Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino
Niño 1 (visual)	100%	100%	0%	100%	100%
Niño 2 (visual)	100%	100%	0%	100%	100%
Niño 3 (auditiva)	100%	0%	0%	100%	100%
Niño 4 (auditiva)	100%	100%	0%	0%	0%
Niño 9	100%	100%	100%	100%	0%
Total general	100%	80%	20%	80%	60%

Durante las sesiones, mediante observación directa, se evidencio que para los niños con discapacidad auditiva era más difícil seguir los audios e interpretar los textos desplegados en las gafas. Si observamos los resultados sin incluirlos, se obtienen mejores resultados en todas las preguntas, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados Realidad Virtual (discapacidad visual/sin discapacidad).

Etiquetas de fila	El Cóndor Andino es	De qué color es el plumaje del Cóndor Andino	Dónde habita el Cóndor Andino	De qué se alimenta el Cóndor Andino	Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino
Niño 1 (visual)	100%	100%	0%	100%	100%
Niño 2 (visual)	100%	100%	0%	100%	100%
Niño 9	100%	100%	100%	100%	0%
Total general	100%	100%	33%	100%	67%

Así mismo, se pudo observar que, aunque la realidad virtual ofrece la posibilidad de mostrar mucha información en pantalla, esto puede jugar en contra ya que los niños tienden a distraerse fácilmente con tantos colores, formas y sonidos, un claro ejemplo de esto era su intención recurrente en querer descubrir todo el mapa que veía a su alrededor.

Sin embargo, teniendo en cuenta que el objetivo del estudio era evaluar su efecto en niños con discapacidad visual y auditiva. La Tabla 5 muestra los resultados para los niños con alguna condición y se observan muy buenos resultados.

Tabla 5. Resultados Realidad Virtual (con discapacidad).

Etiquetas de fila	El Cóndor Andino es	De qué color es el plumaje del Cóndor Andino	Dónde habita el Cóndor Andino	De qué se alimenta el Cóndor Andino	Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino
Niño 1 (visual)	100%	100%	0%	100%	100%
Niño 2 (visual)	100%	100%	0%	100%	100%
Niño 3 (auditiva)	100%	0%	0%	100%	100%
Niño 4 (auditiva)	100%	100%	0%	0%	0%
Total general	100%	75%	0%	75%	75%

Finalmente, la opinión de los especialistas que acompañaron la sesión fue la siguiente:

Profesión: Terapeuta Ocupacional

- ¿Qué tan claras fueron las instrucciones para Realidad Virtual? (1 - muy confusas, 5 - muy claras)
 - 4
- ¿Qué tan difícil le pareció la experiencia en Realidad Virtual? (1 - muy fácil, 5 - muy difícil)
 - 4
- ¿La utilizaría con los niños? ¿Por qué sí o por qué no? (Motivación)
 - Si la utilizaría porque les llama mucho la atención y les gusta.
- ¿Qué le cambiaría?
 - Los audios sean un poco más corto y pausados. Mejorar la interacción con el rompecabezas, algunos niños se le dificulta poner las fichas.

Profesión: Ingeniero Eléctrico (encargado laboratorio de investigación)

- ¿Qué tan claras fueron las instrucciones para Realidad Virtual? (1 - muy confusas, 5 - muy claras)
 - 3
- ¿Qué tan difícil le pareció la experiencia en Realidad Virtual? (1 - muy fácil, 5 - muy difícil)
 - 4
- ¿La utilizaría con los niños? ¿Por qué sí o por qué no? (Motivación)
 - Si lo utilizaría, pero simplificaría los textos orales y escritos para niños con pérdida auditiva (son extensos y con estructuras sintácticas complejas).
- ¿Qué le cambiaría?
 - Considero necesario ajustar las formas de interacción con objetos en los rompecabezas, tanto en el prototipo de las gafas como en la tableta. Los niveles de precisión exigidos para encajar son complejos.

Como se puede notar, la recomendación más importante es simplificar los textos tanto en longitud como en complejidad de la estructura y también simplificar el minijuego para facilitar la interacción de los niños.

8.2.2. Realidad Aumentada

Este prototipo también fue probado con un total de 5 niños de entre 5-10 años de edad, 2 con discapacidad visual, dos con discapacidad auditiva y uno sin discapacidades. Desafortunadamente, uno de ellos ya había interactuado con el prototipo de realidad virtual. En la Ilustración 99 se muestran algunas imágenes tomadas durante la sesión.



Ilustración 99. Pruebas con el prototipo en Realidad Aumentada.

A continuación, se presenta la información recolectada por cada niño y niña:

Niño 1:

- Sexo: femenino
- Edad: 10 años
- Tipo de discapacidad: visual
- Detalle de la discapacidad: opacidad corneal congénita
- Respuestas:
 - ¿Te gustó jugar este juego?
 - Mucho
 - ¿Entendiste lo que había que hacer en el juego?
 - Si
 - El Cóndor Andino es:
 - Un ave
 - ¿De qué color es el plumaje del Cóndor Andino?
 - Alas negras con un collar blanco
 - ¿Dónde habita el Cóndor Andino?
 - Suramérica
 - ¿De qué se alimenta el Cóndor Andino?
 - Animales muertos y a veces caza roedores
 - ¿Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino?
 - Porque no es peligroso y nos ayuda a eliminar bacterias

Niño 2:

- Sexo: femenino
- Edad: 8 años
- Tipo de discapacidad: visual
- Detalle de la discapacidad: sin visión por el ojo derecho, percibes luces por el ojo izquierdo, pero ve muy poco.
- Respuestas:
 - ¿Te gustó jugar este juego?
 - Mucho
 - ¿Entendiste lo que había que hacer en el juego?
 - Si
 - El Cóndor Andino es:
 - Un ave
 - ¿De qué color es el plumaje del Cóndor Andino?
 - Alas negras con un collar blanco
 - ¿Dónde habita el Cóndor Andino?
 - Suramérica
 - ¿De qué se alimenta el Cóndor Andino?
 - Animales muertos y a veces caza roedores

- ¿Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino?
 - Porque no es peligroso y nos ayuda a eliminar bacterias

Niño 3:

- Sexo: masculino
- Edad: 9 años
- Tipo de discapacidad: masculino
- Detalle de la discapacidad: pérdida auditiva elevada, apoyo auditivo
- Respuestas:
 - ¿Te gustó jugar este juego?
 - Mucho
 - ¿Entendiste lo que había que hacer en el juego?
 - Si
 - El Cóndor Andino es:
 - No recuerdo
 - ¿De qué color es el plumaje del Cóndor Andino?
 - Alas negras con un collar blanco
 - ¿Dónde habita el Cóndor Andino?
 - Suramérica
 - ¿De qué se alimenta el Cóndor Andino?
 - Animales muertos y a veces caza roedores
 - ¿Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino?
 - Porque no es peligroso y nos ayuda a eliminar bacterias

Niño 4 (interactuó en la sesión inicial con la realidad virtual):

- Sexo: femenino
- Edad: 9 años
- Tipo de discapacidad: auditiva
- Detalle de la discapacidad: pérdida auditiva moderada
- Respuestas:
 - ¿Te gustó jugar este juego?
 - Mucho
 - ¿Entendiste lo que había que hacer en el juego?
 - Si
 - El Cóndor Andino es:
 - No recuerdo
 - ¿De qué color es el plumaje del Cóndor Andino?
 - Alas negras con un collar blanco
 - ¿Dónde habita el Cóndor Andino?
 - No recuerdo
 - ¿De qué se alimenta el Cóndor Andino?
 - Animales muertos y a veces caza roedores
 - ¿Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino?
 - No recuerdo

Niño 5:

- Sexo: femenino
- Edad: 6 años
- Tipo de discapacidad: Ninguna
- Detalle de la discapacidad: N/A
- Respuestas:
 - ¿Te gustó jugar este juego?
 - Mucho
 - ¿Entendiste lo que había que hacer en el juego?
 - Si
 - El Cóndor Andino es:
 - Un ave
 - ¿De qué color es el plumaje del Cóndor Andino?
 - Alas negras con un collar blanco
 - ¿Dónde habita el Cóndor Andino?
 - Suramérica
 - ¿De qué se alimenta el Cóndor Andino?
 - Animales muertos y a veces caza roedores
 - ¿Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino?
 - Porque no es peligroso y nos ayuda a eliminar bacterias

La Tabla 6 resume los resultados obtenidos. Se observa un mejor desempeño en comparación con los resultados obtenidos con el prototipo en realidad virtual. Durante la sesión se pudo evidenciar que este tipo de contenido presenta una menor cantidad de información al mismo tiempo por lo que los niños prestan mayor atención a la narrativa ya sea en texto o audio lo que les permite una mejor comprensión.

Tabla 6. Resultados Realidad Aumentada.

Etiquetas de fila	El Cóndor Andino es	De qué color es el plumaje del Cóndor Andino	Dónde habita el Cóndor Andino	De qué se alimenta el Cóndor Andino	Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino
Niño 5	100%	100%	100%	100%	100%
Niño 6	100%	100%	100%	100%	100%
Niño 7	0%	100%	100%	100%	100%
Niño 8	0%	100%	0%	100%	0%
Niño 10	100%	100%	100%	100%	100%
Total general	60%	100%	80%	100%	80%

Si eliminamos los resultados de los niños con discapacidad auditiva, quienes tienen dificultad con la narrativa planteada dada la longitud de los audios y textos, se obtiene un resultado perfecto (ver Tabla 7).

Tabla 7. Resultados Realidad Aumentada (discapacidad visual/sin discapacidad)

Etiquetas de fila	El Cóndor Andino es	De qué color es el plumaje del Cóndor Andino	Dónde habita el Cóndor Andino	De qué se alimenta el Cóndor Andino	Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino
Niño 5	100%	100%	100%	100%	100%
Niño 6	100%	100%	100%	100%	100%
Niño 10	100%	100%	100%	100%	100%
Total general	100%	100%	100%	100%	100%

Pero, nuevamente, teniendo en cuenta que el objetivo del estudio era evaluar su efecto en niños con discapacidad visual y auditiva. La Tabla 8 muestra los resultados para los niños con alguna condición y se observan muy buenos resultados.

Tabla 8. Resultados Realidad Aumentada (con discapacidad).

Etiquetas de fila	El Cóndor Andino es	De qué color es el plumaje del Cóndor Andino	Dónde habita el Cóndor Andino	De qué se alimenta el Cóndor Andino	Por qué debemos cuidar al Cóndor Andino
Niño 5	100%	100%	100%	100%	100%
Niño 6	100%	100%	100%	100%	100%
Niño 7	0%	100%	100%	100%	100%
Niño 8	0%	100%	0%	100%	0%
Total general	50%	100%	75%	100%	75%

En esta oportunidad, solo pudo acompañarnos uno de los especialistas de quien obtuvimos los siguientes comentarios:

Profesión: Terapeuta Ocupacional

- ¿Qué tan claras fueron las instrucciones para Realidad Aumentada? (1 - muy confusas, 5 - muy claras)
 - 4
- ¿Qué tan difícil le pareció la experiencia en Realidad Aumentada? (1 - muy fácil, 5 - muy difícil)
 - 4
- ¿La utilizaría con los niños? ¿Por qué sí o por qué no? (Motivación)
 - Si la utilizaría porque a todos los niños les gustó. Es importante tener en cuenta las indicaciones de acuerdo al diagnóstico del niño ya que con discapacidad auditiva deben ser consignas cortas y de fácil comprensión.
- ¿Qué le cambiaría?
 - Se puede mejorar la calidad del audio para que sea más pausado.

Como se observa, la recomendación continúa siendo la misma respecto a la narrativa: simplificar los textos tanto en longitud como en complejidad de la estructura.

8.2.3. Discusión

Los resultados obtenidos con ambos prototipos son positivos. Aunque la realidad virtual ofrece mayores posibilidades al presentarnos un mundo abierto con gran cantidad de colores, formas y sonidos al mismo tiempo, tanta información termina afectando el desempeño de los niños pues esto les genera una mayor distracción y es difícil que se enfoquen en una información determinada. Por el contrario, la información presentada en la realidad aumentada al ser más limitada, permite a los niños enfocar todos sus sentidos en lo que están observando o escuchando lo que les permite absorber un mayor nivel de información.

En los minijuegos, las ayudas implementadas en realidad aumentada fueron de gran importancia para el desempeño de los niños, los indicadores con color les permiten tomar decisiones rápidamente e interactuar con el contenido sin ningún inconveniente, desafortunadamente se presentaron algunos errores durante las pruebas, como movimientos involuntarios de la tablet que cambiaba el rumbo de las fichas en la información aumentada, o la falta de claridad para ubicar la ficha cuando se ve claramente el indicador verde pero no se logra ver el indicador amarillo, que, de cierta manera, frustraban a los niños porque en realidad lo estaban haciendo correctamente. Aunque se implementaron también algunas ayudas en realidad virtual, no fue posible realizar la prueba del minijuego, porque la altura de los niños y de los asientos tan altos dificultaba el agarre de la ficha, ante tal dificultad decidimos interrumpir la prueba una vez el niño alcanzaba este último objeto interactivo.

A pesar que durante la primera sesión se obtuvo información que hubiese permitido mejorar el prototipo en realidad aumentada, se decidió continuar con los mismos “errores” con el fin de mantener los prototipos comparables y obtener los resultados deseados al compararlos.

9. Conclusiones

A partir de las pruebas realizadas con los prototipos en el Instituto para Niños Ciegos y Sordos del Valle del Cauca, podemos concluir que ambas tecnologías ofrecen alternativas viables en el proceso de aprendizaje para niños con discapacidad visual y/o con discapacidad auditiva, sin embargo, la realidad aumentada ofrece un mayor nivel de acceso pues no requiere de dispositivos especiales, basta con tener un smartphone o una tablet con cámara trasera para sacarle provecho.

Para sacar mayor provecho a la realidad virtual es necesario limitar la información presentada al niño cada vez, de esta manera se logra obtener una mayor atención y facilita la comprensión de la información.

Las pruebas con los niños y el concepto de los especialistas permitieron determinar puntos positivos y negativos, y posibilidades de mejora, las cuales se detallan a continuación:

- Tanto la realidad virtual como la realidad aumentada resultan llamativas para los niños lo que genera interés inmediato en su utilización.
- En niños con discapacidad visual, a pesar de ser un casco fijo para la realidad virtual, el movimiento de la cámara al interior permite ajustar la visual al rango de visión del usuario facilitando la visualización de objetos.
- En niños con discapacidad auditiva moderada o severa se evidencia mayor dificultad para seguir los audios y comprender los textos, por lo que se hace necesario encontrar otras alternativas para transmitir la información mediante el uso de estas tecnologías.
- Como aspectos de mejorar para la narrativa se evidencio:
 - Necesidad de reducir la longitud de los diálogos.
 - Necesidad de reducir la velocidad de los audios para facilitar su interpretación, principalmente en niños con discapacidad auditiva.
- Los minijuegos representaron un gran reto tanto en la implementación como en las pruebas. Esta interacción era la que más llamaba la atención sobre los niños, pero se debe agregar más ayudas que permitan al niño desenvolverse con mayor facilidad.

En general el efecto de uso tanto de la realidad virtual como de la realidad aumentada es positivo, se logra transmitir la información efectivamente siempre y cuando dicha información sea planteada en términos que sean acordes a la etapa que están atravesando los niños.

Lo más importante al final fue que a los niños les gusto mucho interactuar con los prototipos construidos y se divirtieron aprendiendo.

10. Trabajo futuro

Los prototipos continuarán en proceso de desarrollo como parte del proyecto macro “*Proyecto colaborativo Colombia-Quebec Narrativa, realidad virtual y deficiencias sensoriales*”. Algunas de las mejoras identificables y aplicables en las próximas iteraciones son:

- Hacer uso del desplazamiento en realidad virtual para que sea más natural el uso y los niños tengan que enfocarse en menos comandos para mover la cámara o al personaje.
- Condensar la narrativa y disminuir la complejidad sintáctica para facilitar su comprensión principalmente en niños y niñas con discapacidad auditiva.
- Agregar una opción para acelerar y ralentizar el audio con el fin de ajustarlo de acuerdo con la capacidad del usuario.
- Integrar el modelo de datos planteado en el numeral 6.1 con el fin de ofrecer una interacción con pasos guiados, así como también para tener información estadística sobre la interacción de los usuarios con los objetos.
- Cambiar la forma de armar el rompecabezas en realidad virtual para que sea de manera vertical y el movimiento se lleve a cabo a través del rayo que genera cada mando con el fin de facilitar su interacción y tener menos limitantes como se muestra en la Ilustración 100.



Ilustración 100. Puzle deslizante.

11. Referencias

- [1] Infobae, «Con 63.303 especies silvestres registradas en 2021, Colombia aumenta su biodiversidad,» 1 August 2021. [En línea]. Available: <https://www.infobae.com/america/colombia/2021/08/01/con-63303-especies-silvestres-registradas-en-2021-colombia-aumenta-su-biodiversidad/>. [Último acceso: 22 May 2022].
- [2] World Wildlife Fund, «Estas son las 12 especies más amenazadas en Colombia,» 4 October 2021. [En línea]. Available: <https://www.wwf.org.co/?300414/122Despecies2Dmas2Damenazadas2DColombia>. [Último acceso: 21 May 2022].
- [3] A. J. Paz, «El 76 % de los parques nacionales en Colombia tiene ecosistemas con algún grado de amenaza | INFORME,» 1 September 2021. [En línea]. Available: <https://es.mongabay.com/2021/09/parques-nacionales-colombia-amenazas-informe/>. [Último acceso: 20 June 2022].
- [4] Banco Mundial, «Discapacidad,» 19 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/topic/disability>. [Último acceso: 11 August 2022].
- [5] Ministerio de Salud y Protección Social, «Boletines Poblacionales: Personas con Discapacidad -PCD Oficina de Promoción Social I-2020,» Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PS/boletines-poblacionales-personas-discapacidadI-2020.pdf>. [Último acceso: 11 August 2022].
- [6] Wikipedia, «Realidad virtual,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad_virtual. [Último acceso: 4 August 2022].
- [7] Wikipedia, «Realidad aumentada,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad_aumentada. [Último acceso: 4 August 2022].
- [8] Y.-L. Chang y C.-L. Tien, *Development of mobile augmented reality and virtual reality simulated training systems for marine ecology education*, 2019.
- [9] A. Vargas, P. Díaz y T. Zarraonandia, *Using Virtual Reality and Music in Cognitive Disability Therapy*, 2022.
- [10] Association for Computing Machinery, «ACM Computing Classification System,» 19 April 2021. [En línea]. Available: <https://dl.acm.org/ccs>. [Último acceso: 4 August 2022].
- [11] J. Mestre, «Narrativas interactivas: ¿cuál usar y por qué?,» 20 February 2018. [En línea]. Available: <https://fluorlifestyle.com/narrativas-interactivas-usar/>. [Último acceso: 27 August 2022].
- [12] Softtek, «¿Cuáles son los diferentes tipos de Realidad Aumentada?,» 1 September 2021. [En línea]. Available: <https://softtek.eu/tech-magazine/user-experience/cuales-son-los-diferentes-tipos-de-realidad-aumentada/>. [Último acceso: 22 February 2023].
- [13] Wikipedia, «Pokémon Go,» [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Pok%C3%A9mon_Go. [Último acceso: 24 February 2023].

- [14] P. Milgram, H. Takemura, A. Utsumi y F. Kishino, *Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum*, 1994.
- [15] Organización de las Naciones Unidas, 2006. [En línea]. Available: <https://www.un.org/esa/socdev/enable/documents/tccconvs.pdf>. [Último acceso: 4 August 2022].
- [16] Ministerio de Salud y Protección Social, «Resolución 113 de 2020,» 31 January 2020. [En línea]. Available: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-113-de-2020.pdf>. [Último acceso: 4 August 2022].
- [17] Organización Mundial de la Salud, «Ceguera y discapacidad visual,» 13 October 2022. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>. [Último acceso: 25 February 2023].
- [18] Organización Mundial de la Salud, «Tracoma,» 05 October 2022. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/trachoma>. [Último acceso: 25 February 2023].
- [19] Miranza, «Pérdida de visión central,» [En línea]. Available: <https://miranza.es/sintomas/perdida-de-vision-central/>. [Último acceso: 25 February 2023].
- [20] Miranza, «Pérdida de visión periférica,» [En línea]. Available: <https://miranza.es/sintomas/perdida-de-vision-periferica/>. [Último acceso: 25 February 2023].
- [21] Wikipedia, «Hemianopsia,» [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Hemianopsia>. [Último acceso: 25 February 2023].
- [22] Miranza, «Visión borrosa,» [En línea]. Available: <https://miranza.es/sintomas/vision-borrosa-de-cerca-lejos/>. [Último acceso: 25 February 2023].
- [23] J. Han, «3D Graphics for Game Programming,» Seoul, CRC Press, 2011, pp. 31, 260-267.
- [24] Wikipedia, «Inteporlación,» [En línea]. [Último acceso: 15 April 2023].
- [25] J. Voight, *Quaternion algebras*, Hanover: Springer, 2023.
- [26] Wikipedia, «Notación axial-angular,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Notaci%C3%B3n_axial-angular. [Último acceso: 20 April 2023].
- [27] Wikipedia, [En línea]. [Último acceso: 20 May 2023].
- [28] J. Hopcroft, R. Motwani y J. Ullman, *Introduction to automata theory, languages, and computation*, 3rd Edition, Boston: Pearson Education, Inc., 2007.
- [29] Profesional Review, «Máquinas de estado finito ¿Qué son? ¿Para qué sirven?,» 26 November 2022. [En línea]. Available: <https://www.profesionalreview.com/2022/11/26/maquinas-de-estado-finito-que-son-para-que-sirven/>. [Último acceso: 12 Jun 2023].
- [30] A. A. Navarro Newball, G. Wyvill y B. McCane, «Object Interaction Using Tabulated Spheres Subsets,» *EG UK Theory and Practice of Computer Graphics*, 2009.

- [31] Z. Yu y X. Lin, *The impact of Environmental Education with Immersive Environment on Learning Performance and Environmental Identity*, 2019.
- [32] B. Sharma, N. P. Singh, A. Mantri, S. Gargrish, N. Tuli y S. Sharma, *Save the Earth: Teaching Environment Studies using Augmented Reality*, 2021.
- [33] Y.-W. Liao, M.-C. Hsieh y C.-W. Wei, *Effectiveness of Integrating AR and IoT technologies into Environmental Education for Elementary School*, 2021.
- [34] C. J. Brenner, J. Ochoa Hendrix y M. Holford, *Work-in-Progress—Building WaterWays: Investigating AR for Environmental Education*, 2021.
- [35] Asana, Inc., «Scrumban,» 31 Oct 2022. [En línea]. Available: <https://asana.com/es/resources/scrumban>. [Último acceso: 15 Jan 2023].
- [36] K. Ramirez Salazar y J. J. Betancourt Osorio, «Superposición de máscaras de realidad aumentada del mono tití para niños con baja capacidad visual,» Cali, 2022.
- [37] A. A. Navarro Newball, M. V. A. Sierra G., J. C. Martinez, J. J. Betancourt, K. Ramirez, A. Velasquez, V. Quinto, J. M. Cardona, A. E. Calderon, G. Restrepo, A. D. Castillo, E. Asprilla, A. Portilla, L. L. Serrano, F. A. Rodriguez y E. Peñaloza, «Expanded Realities For Smart Inclusive Education,» de *V Ibero-American Congress of Smart Cities*, Cuenca, Ecuador, 2022.
- [38] Unity Technologies, «Vuforia SDK,» 04 2018. [En línea]. Available: <https://docs.unity3d.com/es/2018.4/Manual/vuforia-sdk-overview.html>. [Último acceso: 10 12 2022].
- [39] Apple Inc., «ARKit,» [En línea]. Available: <https://developer.apple.com/augmented-reality/arkit/>. [Último acceso: 26 April 2023].
- [40] Google, «ARCore,» [En línea]. Available: <https://developers.google.com/ar>. [Último acceso: 26 April 2024].
- [41] Unity Technologies, «AR Foundation,» [En línea]. Available: <https://unity.com/es/unity/features/arfoundation>. [Último acceso: 20 April 2023].
- [42] Epic Games, «Augmented Reality Overview,» [En línea]. Available: <https://docs.unrealengine.com/5.1/en-US/augmented-reality-overview-in-unreal-engine/>.
- [43] Wikipedia, «Unity 3d,» [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Unity_\(motor_de_videojuego\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Unity_(motor_de_videojuego)). [Último acceso: 19 April 2023].
- [44] Wikipedia, «Unreal Engine,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Unreal_Engine. [Último acceso: 19 April 2023].
- [45] National Geographic, «Cóndor andino,» [En línea]. Available: <https://www.nationalgeographic.es/animales/condor-andino>. [Último acceso: 15 Abr 2023].
- [46] «The IUCN Red List of Threatened Species,» 10 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.iucnredlist.org/species/22697641/181325230>. [Último acceso: 23 Octubre 2022].
- [47] Unity Technologies, «Scripting,» [En línea]. Available: <https://docs.unity3d.com/es/2021.1/Manual/ScriptingSection.html>. [Último acceso: 23 Jan 2023].

[48] H. S. Qorbani, A. Arya, N. Nowlan y M. Abdinejad, *ScienceVR: A Virtual Reality Framework for STEM*, 2021.

Anexos

Configuración entorno de desarrollo

La configuración del entorno de desarrollo es una parte vital dentro del proceso de desarrollo de los prototipos. Para este proyecto fue necesario configurar el entorno en Windows y Mac.

1. Instalar .NET SDK 4.7.1⁵³
2. Instalar Unity Hub⁵⁴
 - a. Instalar Unity 2021.3.18f1⁵⁵
3. Instalar VS Code⁵⁶
 - a. Instalar extensión C#⁵⁷
 - b. En Archivo → Preferencias → Configuración, desmarcar useModernNet.

Windows

4. Instalar MS Build Tools⁵⁸
 - a. Seleccionar la opción Herramientas de compilación para escritorio de .NET (.NET desktop build tools) en los parámetros de configuración del instalador.

Mac

4. Instalar Mono⁵⁹

Realidad Virtual

5. Crear un proyecto con la plantilla 3D Core disponible en Unity.
6. Configurar el proyecto con la guía para Oculus Quest⁶⁰.
7. Particularidades Oculus Quest 2
 - a. Para habilitar el modo desarrollador se debe acceder desde la aplicación móvil con la primera cuenta de usuario configurada en el dispositivo.

Realidad Aumentada

5. Crear un proyecto con la plantilla AR disponible en Unity.
6. Instalar Vuforia Engine⁶¹ a través del paquete disponible para Unity.

⁵³ <https://dotnet.microsoft.com/download/dotnet-framework/net471>

⁵⁴ <https://unity.com/es/download>

⁵⁵ <https://unity.com/releases/editor/archive>

⁵⁶ <https://code.visualstudio.com/download>

⁵⁷ <https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=ms-dotnettools.csharp>
<https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=ms-dotnettools.csharp>

⁵⁸ <https://visualstudio.microsoft.com/downloads/#build-tools-for-visual-studio-2022>

⁵⁹ <https://download.mono-project.com/archive/6.12.0/macos-10-universal/MonoFramework-MDK-6.12.0.182.macos10.xamarin.universal.pkgun>

⁶⁰ <https://developer.oculus.com/documentation/unity/>

⁶¹ https://developer.vuforia.com/user/login?url=/downloads/sdk%3F_%3D1677016299

Evolución de la narrativa

Contexto

Versión 1.0

Para Realidad virtual:

El niño, representando a un observador de aves, se sumerge en una zona cercana a una Sierra Nevada con el fin de observar al Cóndor de los Andes. Durante la breve caminata hacia el punto de observación se le explican las características del animal. El observador llega a una zona donde se alerta de la presencia del animal. Se observa un poco de carroña en el suelo, el observador se acerca y la verifica, posteriormente se ubica en una zona cercana para observar el comportamiento sin asustarlo. Una vez ubicado allí, el animal comienza a sobrevolar la zona. Luego se posa sobre un árbol alto que esté cerca de la carroña para observar. Posteriormente, desciende del árbol y come un poco de carroña. Finalmente, se lleva la carroña restante para alimentar una cría. El observador ahora se pondrá unos binoculares para observar como el cóndor llega al lejano nido.

Realidad aumentada

En este caso el animal se ubicará en un punto alto de la pantalla. Se irán explicando las características del animal. El niño tendrá que ubicar alimento (carroña) en algún lugar de la pantalla. El animal sobrevolará sobre el punto marcado y desciende para alimentarse.

Limitantes

Aunque las narrativas funcionarían bien para ambas experiencias, movimientos como: pasar de estado de vuelo a posarse en alguna parte; requieren de habilidades adicionales en animación con las cuales desafortunadamente no contamos.

Versión 2.0

El niño o la niña, representando a un(a) observador(a) de aves, se sumerge en una zona cercana a una Sierra Nevada con el fin de observar al Cóndor Andino. Durante la breve caminata hacia el punto de observación se le explican las características de su hábitat. En la zona donde se encuentra el animal se observa un poco de carroña en el suelo, el observador se acerca y la verifica, en este punto le explica acerca de su alimentación. Cerca de la carroña se observa al cóndor sobrevolando junto a otro cóndor posado en alguna parte. Este será el momento oportuno para explicar las características físicas, hábitat, alimentación y su situación de peligro.

Textos

Realidad Aumentada

Versión 1.0

Características del Condor

Bienvenido! Me llamo Eric, soy un cóndor andino. Una de las aves voladoras más grandes del planeta. Desafortunadamente me encuentro en peligro de extinción.
Tócame para ver como muevo las alas.

Hábitat

Éste es mi hogar, Sudamérica. Me gustan las zonas montañosas. Lugares con corrientes de viento abundantes, para así planear sobre ellas y no cansarme.

Alimentación

¿Te gusta la comida descompuesta? Pues esa es mi preferida. Me alimento de animales muertos como vacas o venados y en ocasiones cazo pequeños conejos y roedores.

Puzle

¡Ahora vamos a jugar un rato! Presiona el botón iniciar y arma la figura nuevamente.

Felicitaciones

¡Lo hiciste muy bien!

Limitantes

Se tenía contemplado un Puzle como marcador final, pero construirlo en Realidad Virtual suponía un esfuerzo demasiado elevado, por lo que se decidió eliminarlo.

Versión 2.0

Características del Condor

Bienvenido! Me llamo Eric, soy un cóndor andino. Una de las aves voladoras más grandes del planeta. Mis alas son negras y tengo un collar de plumas blanco en el cuello. Nosotros los machos tenemos el cuello rosado y una gran cresta.

Hábitat

Éste es mi hogar, Sudamérica. Me gustan las zonas montañosas. Estos lugares tienen corrientes de viento abundantes, para así planear sobre ellas y no cansarme.

Alimentación

¿Te gusta la comida descompuesta? Pues esa es mi preferida. Me alimento de animales muertos como vacas o venados y en ocasiones cazo pequeños conejos y roedores.

Situación de peligro

Desafortunadamente me encuentro en peligro de extinción. Algunas personas ponen cebos tóxicos para envenenarme, pero no soy peligroso y ayudo a eliminar bacterias en el ambiente para que tú y otros animales no se enfermen.

Puzle

¡Ahora vamos a jugar un rato! Presiona el botón iniciar y arma la figura nuevamente.

Felicitaciones

¡Lo hiciste muy bien!

Realidad Virtual

Versión 1

Características físicas

¡¡¡Hola!!! Me llamo Eric, soy un cóndor andino. Una de las aves voladoras más grandes del planeta. Desafortunadamente me encuentro en peligro de extinción.

Hábitat

Bienvenido a Sudamérica! En esta región podrás encontrar al Cóndor Andino. Este es su hogar. Prefiere zonas montañosas con corrientes de viento abundantes, para así planear sobre ellas y no cansarse.

Alimentación

¿Te gusta la comida descompuesta? Pues al Cóndor Andino le encanta. Se alimenta principalmente de animales muertos como vacas o venados y en ocasiones caza pequeños conejos y roedores.

Alimentación (en vuelo)

Estaré varios días vigilando mi alimento para descartar la presencia de enemigos. Por eso estoy volando en círculos alrededor de este.

Versión 2.0

Guardabosques

Bienvenido! Me llamo Benjamín, soy el Guardabosques. Me dedico a la protección y conservación de áreas naturales. En esta región podrás encontrar al increíble Cóndor Andino. Echa un vistazo en los alrededores.

Características físicas

¡Hola! Me llamo Eric, soy un cóndor andino. Una de las aves voladoras más grandes del planeta. Mis alas son negras y tengo un collar de plumas blanco en el cuello. Nosotros los machos tenemos el cuello rosado y una gran cresta.

Hábitat

¡Esto es Sudamérica! El hogar del Cóndor Andino. Prefiere zonas montañosas con corrientes de viento abundantes, para así planear sobre ellas y no cansarse.

Alimentación

¿Te gusta la comida descompuesta? Pues al Cóndor Andino le encanta. Se alimenta principalmente de animales muertos como vacas o venados y en ocasiones caza pequeños conejos y roedores.

Alimentación (Cóndor en vuelo)

Estaré varios días vigilando mi alimento para descartar la presencia de enemigos. Por eso estoy volando en círculos alrededor de este.

Situación de peligro

Algunas personas creen que el Cóndor Andino es peligroso y ponen cebos tóxicos para envenenarlo. Por esta razón actualmente se encuentra en peligro de extinción.

Ayuda Puzle

Acércate a la ficha y mantén presionado el botón Grip para agarrarla y moverla. Una vez escogida la posición final, suelta el botón para soltarla.

Para poner las fichas en su posición inicial, señala y selecciona la imagen de ejemplo.

Evolución de los requisitos

Comunes

Estos requerimientos no varían respecto a la experiencia que se esté desarrollando.

Versión 1.0

ID	RFC-001
Nombre	Pantalla de bienvenida
Precondición	Acceder a la aplicación a través del icono en la caja de aplicaciones.
Descripción	El sistema debe presentar una pantalla de introducción cuando el usuario abra la aplicación. Esta pantalla debe tener: <ul style="list-style-type: none">• Fondo de pantalla• Título de la aplicación• Logo de la Universidad• Botón para continuar con la experiencia.
Salidas	Pantalla de bienvenida con botón para continuar.
Fuente	Autor
Prioridad	Alta
Dificultad	1 - Fácil

Versión 2.0

ID	RFC-001
Nombre	Pantalla de bienvenida
Precondición	Acceder a la aplicación a través del icono en la caja de aplicaciones.
Descripción	El sistema debe presentar el logo de la Universidad mientras la aplicación carga en la denominada Splash Screen.
Salidas	Logo de la Universidad durante unos segundos mientras carga la aplicación.
Fuente	Autor
Prioridad	Alta
Dificultad	1 - Fácil

ID	RFC-002
Nombre	Pantalla introductoria
Precondición	Acceder a la aplicación a través del icono en la caja de aplicaciones.
Descripción	El sistema debe presentar una pantalla de introducción cuando el usuario abra la aplicación. Esta pantalla debe tener: <ul style="list-style-type: none">• Fondo de pantalla• Título de la aplicación• Botón de ayuda en donde se explica la dinámica.• Botón para continuar.
Salidas	Pantalla de bienvenida con botón de ayuda y botón para continuar.
Fuente	Autor
Prioridad	Alta
Dificultad	1 - Fácil

Realidad Aumentada

Versión 1.0

ID	RFRA-001
Nombre	Escenas
Precondición	Haber presionado el botón de continuar en la pantalla de bienvenida
Descripción	El sistema debe tener 4 escenas: <ul style="list-style-type: none">• Características físicas• Hábitat• Alimentación• Mini juego
Salidas	4 marcadores identificables
Fuente	Narrativa simplificada, Autor
Prioridad	Alta
Dificultad	1 - Fácil

ID	RFRA-002
Nombre	Texto y audio narrativa simplificada.
Precondición	Tracking de alguno de los marcadores para las escenas.
Descripción	<p>El sistema debe presentar un texto fijo para la narrativa simplificada.</p> <p>El sistema debe reproducir el audio de la narrativa simplificada automáticamente una vez identificado el marcador.</p> <p>El sistema debe presentar un botón para reproducir el audio en cualquier momento.</p>
Salidas	<p>Texto fijo con la narrativa simplificada.</p> <p>Audio automático al identificar el marcador.</p> <p>Botón para reproducir el audio.</p>
Fuente	Narrativa simplificada, Autor
Prioridad	Alta
Dificultad	3 - Moderada

ID	RFRA-003
Nombre	Escena 1: Presentación del Cóndor Andino
Precondición	Tracking del marcador utilizado para identificar la escena.
Descripción	<p>El sistema debe presentar el modelo 3D del cóndor andino en estado de reposo, es decir, la animación de vuelo debe estar desactivada.</p> <p>El modelo 3D debe estar resaltado para indicar al usuario una posible interacción con él.</p> <p>Cuando el usuario toque el modelo 3D se debe iniciar la animación de vuelo.</p>
Salidas	<p>Modelo 3D del cóndor andino en pantalla con opción de interacción.</p> <p>Cóndor andino volando cuando el usuario toca el objeto.</p>
Fuente	Narrativa simplificada, Autor
Prioridad	Alta
Dificultad	5 - Alta

ID	RFRA-004
Nombre	Escena 2: Hábitat del Cóndor Andino
Precondición	Tracking del marcador utilizado para identificar la escena.
Descripción	<p>El sistema debe presentar un modelo 3D de una región montañosa.</p> <p>El sistema debe presentar al cóndor andino volando en movimiento circular encima de esta.</p> <p>El movimiento circular debería ser igual sin importar la orientación del dispositivo.</p>
Salidas	<p>Modelo 3D de la región montañosa.</p> <p>Modelo 3D del cóndor andino volando alrededor.</p>

Fuente	Narrativa simplificada, Autor
Prioridad	Alta
Dificultad	5 - Alta

ID	RFRA-005
Nombre	Escena 3: Alimentación del Cóndor Andino
Precondición	Tracking del marcador utilizado para identificar la escena.
Descripción	<p>El sistema debe presentar un modelo 3D de carroña o algún animal muerto.</p> <p>El sistema debe presentar al cóndor andino volando en movimiento circular encima de esta.</p> <p>El movimiento circular debería ser igual sin importar la orientación del dispositivo.</p>
Salidas	<p>Modelo 3D de la carroña.</p> <p>Modelo 3D del cóndor andino volando alrededor.</p>
Fuente	Narrativa simplificada, Autor
Prioridad	Alta
Dificultad	5 - Alta

ID	RFRA-006
Nombre	Escena 4: mini juego (puzle)
Precondición	Tracking del marcador utilizado para identificar la escena.
Descripción	<p>El sistema debe presentar el puzle armado al identificar el marcador.</p> <p>El sistema debe presentar un botón para iniciar el juego.</p> <p>Al iniciar el juego el sistema debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Presentar en desorden las fichas del puzle en la parte inferior de la pantalla 2. Presentar una guía de su ubicación final. 3. Permitir arrastrar las fichas de la parte inferior hacia la ubicación final. 4. Si la ficha está ubicada en una posición correcta y el usuario la suelta, la ficha debe quedarse ubicada en dicha posición. 5. Si la ficha está ubicada en una posición errada y el usuario la suelta, la ficha debe volver a su posición inicial en la parte inferior de la pantalla. <p>Al completar el puzle correctamente el sistema debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Presentar una animación de confeti, mostrar un mensaje en pantalla y reproducir un audio para indicar al usuario que lo resolvió correctamente.
Salidas	Mini juego
Fuente	Narrativa
Prioridad	Alta

Dificultad	Muy Alta
------------	----------

Versión 2.0

ID	RFRA-001
Nombre	Escenas
Precondición	Haber presionado el botón de continuar en la pantalla de bienvenida
Descripción	El sistema debe tener 4 escenas: <ul style="list-style-type: none"> • Características físicas • Hábitat • Alimentación • Situación de peligro
Salidas	4 marcadores identificables
Fuente	Narrativa simplificada, Autor
Prioridad	Alta
Dificultad	1 - Fácil

ID	RFRA-002
Nombre	Texto y audio narrativa simplificada.
Precondición	Tracking de alguno de los marcadores para las escenas.
Descripción	El sistema debe presentar un texto fijo para la narrativa simplificada. El sistema debe reproducir el audio de la narrativa simplificada automáticamente una vez identificado el marcador. El sistema debe presentar un botón para reproducir el audio en cualquier momento.
Salidas	Texto fijo con la narrativa simplificada. Audio automático al identificar el marcador. Botón para reproducir el audio.
Fuente	Narrativa simplificada, Autor
Prioridad	Alta
Dificultad	3 - Moderada

ID	RFRA-003
Nombre	Escena 1: Características físicas del Cóndor Andino
Precondición	Tracking del marcador utilizado para identificar la escena.
Descripción	El sistema debe presentar el modelo 3D del cóndor andino en estado de reposo, es decir, la animación de vuelo debe estar desactivada. El modelo 3D debe estar resaltado para indicar al usuario una posible interacción con él. Cuando el usuario toque el modelo 3D se debe iniciar la animación de vuelo.
Salidas	Modelo 3D del cóndor andino en pantalla con opción de interacción.

	Cóndor andino volando cuando el usuario toca el objeto.
Fuente	Narrativa simplificada, Autor
Prioridad	Alta
Dificultad	5 - Alta

ID	RFRA-004
Nombre	Escena 2: Hábitat del Cóndor Andino
Precondición	Tracking del marcador utilizado para identificar la escena.
Descripción	El sistema debe presentar un modelo 3D de una región montañosa. El sistema debe presentar al cóndor andino volando en movimiento circular encima de esta. El movimiento circular debería ser igual sin importar la orientación del dispositivo.
Salidas	Modelo 3D de la región montañosa. Modelo 3D del cóndor andino volando alrededor.
Fuente	Narrativa simplificada, Autor
Prioridad	Alta
Dificultad	5 - Alta

ID	RFRA-005
Nombre	Escena 3: Alimentación del Cóndor Andino
Precondición	Tracking del marcador utilizado para identificar la escena.
Descripción	El sistema debe presentar un modelo 3D de carroña o algún animal muerto. El sistema debe presentar al cóndor andino volando en movimiento circular encima de esta. El movimiento circular debería ser igual sin importar la orientación del dispositivo.
Salidas	Modelo 3D de la carroña. Modelo 3D del cóndor andino volando alrededor.
Fuente	Narrativa simplificada, Autor
Prioridad	Alta
Dificultad	5 - Alta

ID	RFRA-006
Nombre	Escena 4: Situación de peligro del Cóndor Andino
Precondición	Tracking del marcador utilizado para identificar la escena.
Descripción	El sistema debe presentar un modelo 3D de carroña o algún animal muerto con símbolos de veneno alrededor y un cazador cerca. El sistema debe presentar al cóndor andino volando en movimiento circular encima de esta.

	2. El movimiento circular debería ser igual sin importar la orientación del dispositivo.
Salidas	Modelo 3D de la carroña "envenenada". Modelo 3D del cazador cerca. Modelo 3D del cóndor andino volando alrededor.
Fuente	Narrativa
Prioridad	Alta
Dificultad	5 - Alta

ID	RFRA-007
Nombre	Escena 5: mini juego (puzle)
Precondición	Tracking del marcador utilizado para identificar la escena.
Descripción	<p>El sistema debe presentar el puzle armado al identificar el marcador.</p> <p>El sistema debe presentar un botón para iniciar el juego.</p> <p>El sistema debe permitir mover las fichas a través del táctil del smartphone.</p> <p>Al iniciar el juego el sistema debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Presentar en desorden las fichas del puzle en la parte inferior de la pantalla 2. Presentar una guía de su ubicación final. 3. Permitir arrastrar las fichas de la parte inferior hacia la ubicación final. 4. Si la ficha está ubicada en una posición correcta y el usuario la suelta, la ficha debe quedarse ubicada en dicha posición. 5. Si la ficha está ubicada en una posición errada y el usuario la suelta, la ficha debe volver a su posición inicial en la parte inferior de la pantalla. <p>Al completar el puzle correctamente el sistema debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Presentar una animación de confeti, mostrar un mensaje en pantalla y reproducir un audio para indicar al usuario que lo resolvió correctamente.
Salidas	Mini juego
Fuente	Narrativa
Prioridad	Alta
Dificultad	Muy Alta

Realidad Virtual

Versión 1.0

ID	RFRV-001
Nombre	Creación del mundo virtual

Precondición	Haber presionado el botón de continuar en la pantalla de bienvenida
Descripción	Diseñar el mundo virtual con características similares a las del hábitat real del cóndor andino. Aspectos a tener en cuenta: <ul style="list-style-type: none"> • Montañas • Árboles • Vegetación en general • Cielo
Salidas	Mundo virtual.
Fuente	Narrativa
Prioridad	Alta

ID	RFRV-002
Nombre	Cámara en primera persona
Precondición	Mundo virtual creado
Descripción	La interacción en el mundo virtual debe ocurrir en primera persona.
Salidas	Movimiento de cámara relativa al movimiento del dispositivo. (gafas Oculus Quest 2)
Fuente	Narrativa
Prioridad	Alta

ID	RFRV-003
Nombre	Visualización de la carroña
Precondición	Mundo virtual
Descripción	Se debe ubicar la carroña en algún punto del mundo virtual.
Salidas	Carroña en el mundo virtual
Fuente	Narrativa
Prioridad	Alta

ID	RFRV-004
Nombre	Visualización del cóndor en estado de vuelo
Precondición	Mundo virtual, posición de la carroña
Descripción	El cóndor andino debe visualizarse en el cielo del mundo virtual alrededor de la ubicación de la carroña en estado de vuelo.
Salidas	Cóndor andino en estado de vuelo
Fuente	Narrativa
Prioridad	Alta

ID	RFRV-005
Nombre	Texto y audio narrativa simplificada.
Precondición	
Descripción	El sistema debe presentar en textos la narrativa simplificada.

	<p>Adicionalmente, habilitar una opción para mostrarlos u ocultarlos según sea el caso.</p> <p>El sistema debe reproducir el audio de la narrativa simplificada automáticamente una vez identificados los objetos en el mundo virtual de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carroña: reproducir audio de la dieta. • Cóndor: reproducir audio del hábitat. • <p>El sistema debe habilitar un botón para reproducir el audio en cualquier momento.</p>
Salidas	<p>Texto con la narrativa simplificada.</p> <p>Audio automático al identificar el objeto.</p> <p>Botón para reproducir el audio.</p> <p>Botón para mostrar/ocultar el texto.</p>
Fuente	Narrativa
Prioridad	Alta

Versión 2.0

Se dividen algunos requisitos debido a las dificultades encontradas en etapa de implementación. Esto implica la generación de una nueva numeración.

ID	RFRV-001
Nombre	Creación del terreno del mundo virtual
Precondición	N/A
Descripción	<p>Diseñar y crear el terreno para el mundo virtual.</p> <p>El terreno debe tener montañas.</p> <p>El terreno debe tener al menos un nevado.</p> <p>La textura principal del terreno debe ser césped.</p> <p>Restricciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El tamaño debe ser 512 x 512 para limitar un poco las dimensiones
Salidas	Mundo virtual con el terreno principal.
Fuente	Narrativa Simplificada, experiencia de uso Unity 3D
Prioridad	Alta
Dificultad	3 - moderada.

ID	RFRV-002
Nombre	Creación de detalles del ambiente
Precondición	Mundo virtual (RFRV-001)
Descripción	<p>Diseñar y crear los detalles del terreno.</p> <p>El terreno debe tener árboles.</p>

	<p>El cielo debe tener colores vistosos. Agregar objetos adicionales para ambientar.</p> <p>Restricciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los objetos descargados deben ser de libre distribución.
Salidas	Mundo virtual decorado.
Fuente	Narrativa
Prioridad	Alta
Dificultad	1 - Fácil

ID	RFRV-003
Nombre	Cámara en primera persona
Precondición	Mundo virtual (RFRV-001)
Descripción	<p>La interacción en el mundo virtual debe ocurrir en primera persona.</p> <p>Restricción: El desplazamiento debe ser a través de los mandos.</p>
Salidas	Movimiento de cámara relativa al movimiento de los mandos.
Fuente	Narrativa Simplificada, experiencia de uso Unity 3D
Prioridad	Alta
Dificultad	1 - Fácil

ID	RFRV-004
Nombre	Creación de componente para el despliegue de información
Precondición	N/A
Descripción	<p>Se debe crear un componente para desplegar el texto en el mundo virtual.</p> <p>El componente debe ser genérico, reutilizable. El componente debe mostrarse hacia el usuario para facilitar su visualización.</p>
Salidas	Componente genérico y script para presentar el texto
Fuente	Narrativa Simplificada, experiencia de uso Unity 3D
Prioridad	Alta
Dificultad	3 - Moderada

ID	RFRV-005
Nombre	Creación de componente de audio
Precondición	N/A
Descripción	<p>Se debe crear un componente de audio para reproducir la información.</p> <p>El componente debe ser genérico, reutilizable.</p>
Salidas	Componente genérico y script para reproducir el audio.
Fuente	Narrativa Simplificada, experiencia de uso Unity 3D
Prioridad	Alta
Dificultad	3 - Moderada

ID	RFRV-006
Nombre	Visualización e interacción con la carroña (Alimentación)
Precondición	Mundo virtual (RFRV-001)
Descripción	<p>Crear el objeto 3D en el mundo virtual y texturizar.</p> <p>Agregar opciones interactivas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificación como objeto interactivo. • Posibilidad de seleccionar el objeto. • Reproducción de audio al seleccionar. • Presentación de audio en texto al seleccionar. <p>Restricción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ubicarlo en el mundo virtual cerca a los demás objetos.
Salidas	Carroña en el mundo virtual
Fuente	Narrativa Simplificada
Prioridad	Alta
Dificultad	3 - Moderada

ID	RFRV-007
Nombre	Visualización e interacción con el Cóndor Andino (características físicas)
Precondición	Mundo virtual y posición de la carroña (RFRV-001, RFRV-006)
Descripción	<p>Crear el objeto 3D en el mundo virtual y texturizar.</p> <p>El objeto debe estar posado sobre piedras o un árbol cerca de la carroña.</p> <p>La animación de vuelo debe estar desactivada.</p> <p>Agregar opciones interactivas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificación como objeto interactivo. • Posibilidad de seleccionar el objeto. • Reproducción de audio al seleccionar. • Presentación de audio en texto al seleccionar.
Salidas	Cóndor andino en el mundo virtual
Fuente	Narrativa Simplificada
Prioridad	Alta
Dificultad	3 - Moderada

ID	RFRV-008
Nombre	Visualización del cóndor en estado de vuelo
Precondición	Mundo virtual y posición de la carroña (RFRV-001, RFRV-006)
Descripción	<p>Crear el objeto 3D en el mundo virtual y texturizar.</p> <p>La animación de vuelo debe estar activa por defecto.</p> <p>El vuelo debe ser circular alrededor de la ubicación de la carroña.</p> <p>Restricción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El objeto no debe ser interactivo.
Salidas	Cóndor andino en estado de vuelo alrededor de la carroña
Fuente	Narrativa Simplificada
Prioridad	Alta

Dificultad	3 - Moderada
------------	--------------

ID	RFRV-009
Nombre	Visualización e interacción con objeto (hábitat)
Precondición	Mundo virtual
Descripción	<p>Crear el objeto 3D en el mundo virtual y texturizar.</p> <p>Agregar opciones interactivas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificación como objeto interactivo. • Posibilidad de seleccionar el objeto. • Reproducción de audio al seleccionar. • Presentación de audio en texto al seleccionar. <p>Restricción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ubicarlo en el mundo virtual cerca a los demás objetos.
Salidas	Carroña en el mundo virtual
Fuente	Narrativa Simplificada
Prioridad	Alta
Dificultad	3 - Moderada

ID	RFRV-010
Nombre	Visualización e interacción con objeto (situación actual)
Precondición	Mundo virtual
Descripción	<p>Crear el objeto 3D en el mundo virtual y texturizar.</p> <p>Agregar opciones interactivas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificación como objeto interactivo. • Posibilidad de seleccionar el objeto. • Reproducción de audio al seleccionar. • Presentación de audio en texto al seleccionar. <p>Restricción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ubicarlo en el mundo virtual cerca a los demás objetos.
Salidas	Carroña en el mundo virtual
Fuente	Narrativa Simplificada
Prioridad	Alta
Dificultad	3 - Moderada

ID	RFRV-011
Nombre	Visualización e interacción con objeto (Mini juego)
Descripción	<p>El sistema debe presentar un ejemplo del puzle armado.</p> <p>El sistema debe presentar un botón para iniciar el juego.</p> <p>El sistema debe presentar un botón de ayuda para escuchar/leer las instrucciones.</p> <p>Al iniciar el juego el sistema debe:</p>

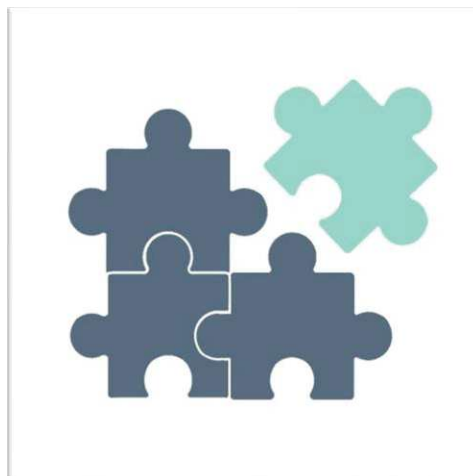
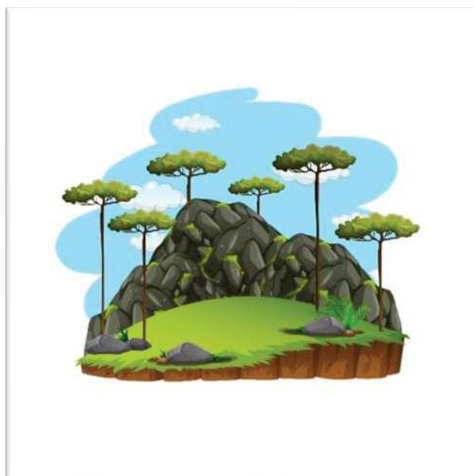
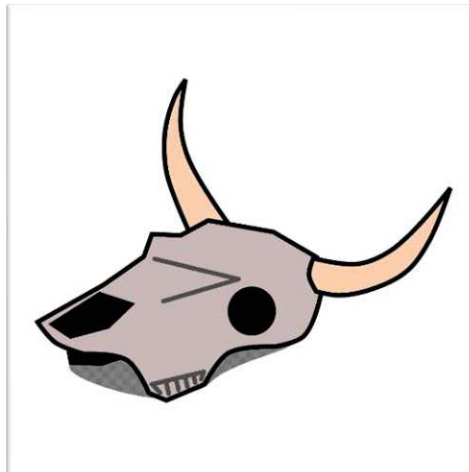
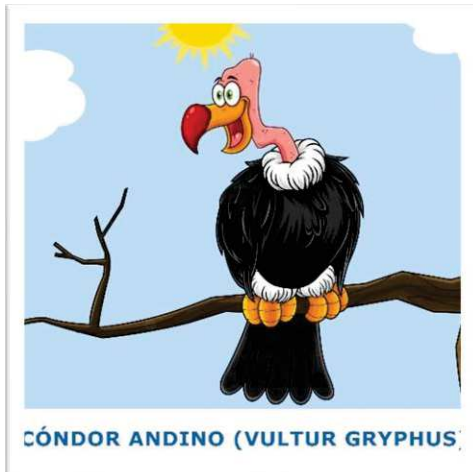
3. Presentar en desorden las fichas del puzle.
4. Permitir que el usuario mueva las fichas mediante la función de agarrar / soltar.

Al completar el puzle correctamente el sistema debe:

2. Presentar una animación de confeti, mostrar un mensaje en pantalla y reproducir un audio para indicar al usuario que lo resolvió correctamente.

Marcadores Realidad Aumentada

Versión 1.0



Versión 2.0



Configuración Sistema de Partículas

Moscas

The image shows the Unity Particle System editor for a system named "flies". The interface is divided into several sections, each with a list of parameters and their values.

files

- Duration: 5
- Looping:
- Prewarm:
- Start Delay: 0
- Start Lifetime: 3
- Start Speed: 0
- 3D Start Size: [Slider]
- Start Size: 0.01 [Slider] 0.5 [Slider]
- 3D Start Rotation: [Slider]
- Start Rotation: 0
- Flip Rotation: 0
- Start Color: [Color Picker]
- Gravity Modifier: 0
- Simulation Space: Local
- Simulation Speed: 1
- Delta Time: Scaled
- Scaling Mode: Local
- Play On Awake:
- Emitter Velocity Mode: Rigidbody
- Max Particles: 1000
- Auto Random Seed:
- Stop Action: None
- Culling Mode: Automatic
- Ring Buffer Mode: Disabled

Emission

- Rate over Time: 7
- Rate over Distance: 0
- Bursts: List is Empty

Shape

- Shape: Box
- Emit from: Volume
- Texture: None (Texture 2D)
- Position: X 0, Y 0, Z 0
- Rotation: X 0, Y 0, Z 0
- Scale: X 1, Y 1, Z 2
- Align To Direction:
- Randomize Direction: 0
- Spherize Direction: 0
- Randomize Position: 0

Velocity over Lifetime

- Linear X: 0, Y: -2, Z: 2
- Space: Local
- Orbital X: 0, Y: 0, Z: 0
- Offset X: 0, Y: 0, Z: 0
- Radial: 0
- Speed Modifier: 1

Noise

- Separate Axes:
- Strength: 5
- Frequency: 1
- Scroll Speed: 0
- Damping:
- Octaves: 1
- Octave Multiplier: 0.5
- Octave Scale: 2
- Quality: High (3D)
- Remap: [Curve]
- Position Amount: 1
- Rotation Amount: 0
- Size Amount: 0

A preview window on the right shows a black and white noise pattern.

Renderer

Render Mode	Billboard
Normal Direction	1
Material	FlyV2
Sort Mode	None
Sorting Fudge	0
Min Particle Size	0
Max Particle Size	0.5
Render Alignment	View
Flip	X 0 Y 0 Z 0
Allow Roll	<input checked="" type="checkbox"/>
Pivot	X 0 Y 0 Z 0
Visualize Pivot	<input type="checkbox"/>
Masking	No Masking
Apply Active Color Space	<input checked="" type="checkbox"/>
Custom Vertex Streams	<input type="checkbox"/>
Cast Shadows	Off
Receive Shadows	<input type="checkbox"/>
Shadow Bias	0
Motion Vectors	Per Object Motion
Sorting Layer ID	Default
Order in Layer	0
Light Probes	Off
Reflection Probes	Off

Inspector Lighting Services

Fly V2 (Material) Edit...

Shader Standard Edit...

Rendering Mode Fade

Main Maps

- Albedo
- Metallic 0
- Smoothness 0.5
- Source Metallic Alpha
- Normal Map
- Height Map
- Occlusion
- Detail Mask

Emission

Tiling X 1 Y 1

Offset X 0 Y 0

Secondary Maps

- Detail Albedo x2
- Normal Map 1

Tiling X 1 Y 1

Offset X 0 Y 0

UV Set UV0

Forward Rendering Options

- Specular Highlights
- Reflections


Advanced Options

Render Queue Transparent 3000

Enable GPU Instancing

Double Sided Global Illumina

FlyV2



Veneno

The image shows the Unity Particle System editor for a system named "poison". The interface is divided into several sections:

- General Settings:** Duration: 3, Looping: checked, Prewarm: unchecked, Start Delay: 0, Start Lifetime: 3, Start Speed: 5, 3D Start Size: (empty), Start Size: 10 (min) to 50 (max), 3D Start Rotation: (empty), Start Rotation: 0, Flip Rotation: 0, Start Color: (white), Gravity Modifier: 0, Simulation Space: Local, Simulation Speed: 1, Delta Time: Scaled, Scaling Mode: Local, Play On Awake: checked, Emitter Velocity Mode: Rigidbody, Max Particles: 1000, Auto Random Seed: checked, Stop Action: None, Culling Mode: Automatic, Ring Buffer Mode: Disabled.
- Emission:** Rate over Time: 2, Rate over Distance: 0. A table for Bursts is empty with the text "List is Empty".
- Shape:** Shape: Box, Emit from: Volume, Texture: None (Texture 2D). Position: X: 0, Y: 0, Z: 0; Rotation: X: 0, Y: 0, Z: 0; Scale: X: 1, Y: 1, Z: 1. Other options: Align To Direction: unchecked, Randomize Direction: 0, Spherize Direction: 0, Randomize Position: 0.
- Velocity over Lifetime:** Linear: X: 100, Y: 100, Z: 100; -100, 0, -100. Space: Local. Orbital: X: 0, Y: 0, Z: 0. Offset: X: 0, Y: 0, Z: 0. Radial: 0. Speed Modifier: 1.

Noise

Separate Axes	<input type="checkbox"/>	
Strength	10	▼
Frequency	1	▼
Scroll Speed	0	▼
Damping	<input checked="" type="checkbox"/>	
Octaves	1	▼
Octave Multiplier	0.5	▼
Octave Scale	2	▼
Quality	High (3D)	▼
Remap	<input type="checkbox"/>	
Remap Curve		▼
Position Amount	1	▼
Rotation Amount	0	▼
Size Amount	0	▼




Preview

Renderer

Render Mode	Billboard	▼
Normal Direction	1	▼
Material	PolsonRed	⊙
Sort Mode	None	▼
Sorting Fudge	0	▼
Min Particle Size	0	▼
Max Particle Size	0.5	▼
Render Alignment	View	▼
Flip	X 0 Y 0 Z 0	
Allow Roll	<input checked="" type="checkbox"/>	
Pivot	X 0 Y 0 Z 0	
Visualize Pivot	<input type="checkbox"/>	
Masking	No Masking	▼
Apply Active Color Space	<input checked="" type="checkbox"/>	
Custom Vertex Streams	<input type="checkbox"/>	
Cast Shadows	Off	▼
Receive Shadows	<input type="checkbox"/>	
Shadow Bias	0	▼
Motion Vectors	Per Object Motion	▼
Sorting Layer ID	Default	▼
Order in Layer	0	▼
Light Probes	Off	▼
Reflection Probes	Off	▼

Inspector ☰ ⋮

 **Poison Red (Material)** 🔍 ⋮

Shader **Standard** ▼ Edit...

Rendering Mode **Fade** ▼

Main Maps

Albedo 🗑️

Metallic 0

Smoothness 0.5

Source **Metallic Alpha** ▼

Normal Map

Height Map

Occlusion

Detail Mask

Emission ■

Tiling X **1** Y **1**

Offset X **0** Y **0**

Secondary Maps

Detail Albedo x2

Normal Map 1

Tiling X **1** Y **1**

Offset X **0** Y **0**

UV Set **UV0** ▼

Forward Rendering Options

Specular Highlights

Reflections


Advanced Options

Render Queue **Transparent** ▼ **3000**

Enable GPU Instancing

Double Sided Global Illumination

PoisonRed ▶ 🌐 🔍 🌐 ⋮



Confetti

The image shows the Unity Inspector window for a Particle System named "Confetti". The window is divided into several sections: Inspector, Transform, and Particle System. The Particle System section is expanded, showing various settings for the Confetti particle system.

Inspector

- ✓ Confetti (Static)
- Tag: Untagged
- Layer: Default

Transform

Position	X	1	Y	0	Z	0
Rotation	X	-90	Y	0	Z	0
Scale	X	1	Y	1	Z	1

Particle System

Open Editor...

Confetti

Duration	5
Looping	✓
Prewarm	☐
Start Delay	0
Start Lifetime	2
Start Speed	0.4 0.8
3D Start Size	
Start Size	0.005 0.008
3D Start Rotation	
Start Rotation	0
Flip Rotation	0
Start Color	Yellow Blue Green Red
Gravity Modifier	0
Simulation Space	Local
Simulation Speed	1
Delta Time	Scaled
Scaling Mode	Local
Play On Awake*	☐
Emitter Velocity Mode	Rigidbody
Max Particles	1000
Auto Random Seed	✓
Stop Action	None
Culling Mode	Automatic
Ring Buffer Mode	Disabled

Options

- ✓ Emission
- ✓ Shape
- ☐ Velocity over Lifetime
- ☐ Limit Velocity over Lifetime
- ☐ Inherit Velocity
- ☐ Lifetime by Emitter Speed
- ☐ Force over Lifetime
- ☐ Color over Lifetime
- ☐ Color by Speed

Inspector Lighting Services

Ring Buffer Mode Disabled

Emission

Rate over Time 50

Rate over Distance 0

Bursts

Time	Count	Cycles	Interval	Probability
List is Empty				

+ -

Shape

Shape Box

Emit from: Volume

Texture None (Texture 2D)

Position X 0 Y 0 Z 0

Rotation X 0 Y 0 Z 0

Scale X 5 Y 3 Z 0.1

Align To Direction

Randomize Direction 0

Spherize Direction 0

Randomize Position 0

Velocity over Lifetime

Limit Velocity over Lifetime

Inherit Velocity

Lifetime by Emitter Speed

Force over Lifetime

Color over Lifetime

Color by Speed

Size over Lifetime

Size by Speed

Rotation over Lifetime

Rotation by Speed

External Forces

Noise

Collision

Triggers

Sub Emitters

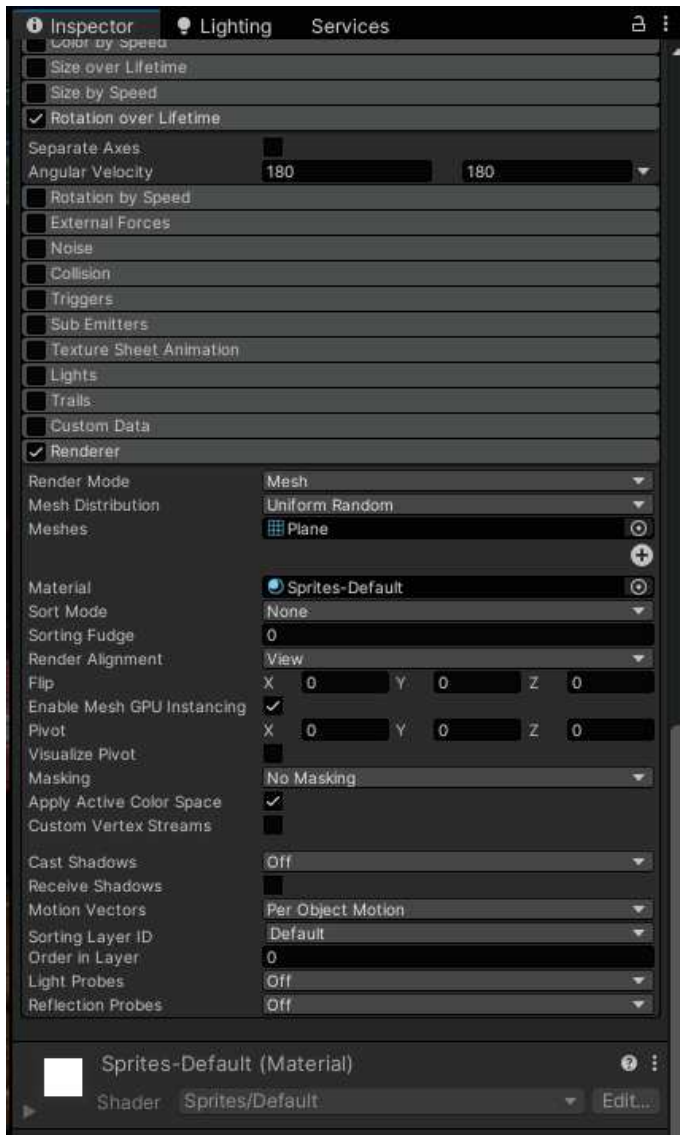
Texture Sheet Animation

Lights

Trails

Custom Data

Renderer



Tutorial de animación del vuelo de Condor

<https://youtu.be/0dsb-HCR73E>

Demo realidad aumentada

<https://youtu.be/Ytfxehv4VeY>

Demo realidad virtual

<https://youtu.be/z1Zkl25Af0U>