



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**CARRERA DE INGENIERIA EN SISTEMAS E INFORMÁTICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN SISTEMAS E INFORMÁTICA**

**TEMA: SISTEMA DE SIMULACIÓN 3D UTILIZANDO MOTORES DE  
FÍSICA COMPUTACIONAL E INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA  
VISUALIZACIÓN DE LAHARES DEL VOLCÁN COTOPAXI**

**AUTORES: CRISANTO ÑACATA, WILMER SANTIAGO  
GAVILANES BUITRÓN, ANDRÉS RICARDO**

**DIRECTOR: ING. VILLACIS SILVA, CESAR JAVIER**

**SANGOLQUÍ**

**2018**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**CARRERA DE INGENIERIA EN SISTEMAS**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, "*SISTEMA DE SIMULACIÓN 3D UTILIZANDO MOTORES DE FÍSICA COMPUTACIONAL E INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA VISUALIZACIÓN DE LAHARES DEL VOLCÁN COTOPAXI*" fue realizado por los señores *Crisanto Ñacata, Wilmer Santiago y Gavilanes Buitrón, Andrés Ricardo* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 09 de Julio del 2018

Ing. César Javier Villacis Silva

C.C.: 1704892726



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERIA EN SISTEMAS E INFORMÁTICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, *Crisanto Ñacata, Wilmer Santiago y Gavilanes Buitrón, Andrés Ricardo*, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *Sistema de Simulación 3D utilizando motores de física computacional e inteligencia artificial para la visualización de lahares del volcán Cotopaxi* es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 09 de Julio del 2018

Wilmer Santiago Crisanto Ñacata  
C.C.: 1723613657

Andrés Ricardo Gavilanes Buitrón  
C.C.: 1725477267



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN  
CARRERA DE INGENIERIA EN SISTEMAS E INFORMÁTICA

AUTORIZACIÓN

*Nosotros, Crisanto Ñacata, Wilmer Santiago y Gavilanes Buitrón, Andrés Ricardo autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: Sistema de Simulación 3D utilizando motores de física computacional e inteligencia artificial para la visualización de lahares del volcán Cotopaxi en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.*

Sangolquí, 10 de Julio del 2018

Wilmer Santiago Crisanto Ñacata  
C.C.: 1723613657

Andrés Ricardo Gavilanes Buitrón  
C.C.: 1725477267

## DEDICATORIA

A mis Padres Gladys Ñacata y Misael Crisanto, por darme la vida, creer en mí y por brindarme apoyo siempre, todo esto se los debo a ustedes.

Mis hermanos, Christian y Miriam, por cuidarme y ayudarme a ser la persona que ahora soy, los quiero mucho.

Mi novia Aly por brindarme todo su cariño y apoyo en todo momento. A todos mis amigos por estar presentes en los buenos y malos momentos.

Wilmer Crisanto

A mi madre María Cecilia y mi padre Enrique, por siempre tener toda su fe depositada en mí, y brindarme su apoyo incondicional.

A mis hermanos Esteban, Rubén, Evelin y prima Karen Vanessa que siempre están presente para mí en todos los momentos de mi vida.

A mis amigos de la universidad, por haber puesto la alegría y el entusiasmo en mi para poder terminar este largo camino de preparación profesional, a Marcelo por estar presente en el desarrollo de este trabajo dándome ánimos para poder culminarlo.

A toda mi familia por apoyarme en las decisiones que he tomado, sin ustedes no estaría donde estoy ahora.

Andrés Gavilanes

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, me gustaría agradecerle a Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida, por brindarme la oportunidad de vivir experiencias incomparables, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por poner en mi camino a todas aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio. A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional. A mi director de tesis, Ing. César Villacis por su esfuerzo y dedicación, quien, con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito. Al Ing. Walter Fuertes que durante todo el proyecto ha aportado con un granito de arena a mi formación. Y por último a Andrés mi gran amigo y excelente compañero en este proyecto, gracias amigo por todo el apoyo y tu excelente trabajo. ¡Lo logramos!

Wilmer Crisanto

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por abrirme las puertas y permitirme estudiar la carrera que siempre quise, así como a todos los docentes que semestre tras semestre me brindaron sus conocimientos para ser el profesional que soy ahora. Agradezco a mi tutor de Tesis el Ingeniero César Villacis por su valioso tiempo, paciencia, conocimiento y darnos la oportunidad de hacer un proyecto a su nombre. De igual manera al Ingeniero Walter Fuertes por brindarnos su apoyo en la realización de la tesis. Para finalizar agradezco a todos mis compañeros y amigos, en especial a mi compañero de tesis Wilmer que me aguantó los atrasos, hemos pasado por mucho amigo, al fin nuevos profesionales de la patria.

Andrés Gavilanes

## INDICE

<b>CERTIFICADO DEL DIRECTOR.....</b>	<b>i</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORIZACIÓN.....</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>v</b>
<b>INDICE.....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xv</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Problemática.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
1.5 Alcance.....	5
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>7</b>
<b>ESTADO DE LA CUESTION.....</b>	<b>7</b>
2.1 Trabajos Relacionados.....	7
2.2 Entorno 3D.....	10
2.3 Plataformas de desarrollo de entornos 3D.....	11
2.3.1 Unity 3D.....	12
2.3.2 Motor de Física.....	13
2.3.2.1 Componentes del Motor de Física.....	14
A. Physics Material.....	14

B.	Rigidbodies.....	16
C.	Colliders .....	18
Box Collider 18		
	Sphere Collider.....	19
	Capsule Collider.....	20
2.3.2.2	Parámetros del Motor de Física .....	21
2.3.3	Inteligencia Artificial .....	24
2.3.4	Asset.....	26
2.3.4.1	Real World Terrain .....	27
2.3.4.2	Gaia .....	27
2.3.4.3	Obi Fluid .....	28
2.3.4.4	Easy Roads.....	30
2.3.4.5	Enviro.....	31
2.3.4.6	AQUAS Water System .....	32
2.4	Herramientas de modelado 3D.....	32
2.4.1	3ds MAX.....	33
2.5	Metodología de Desarrollo .....	33
2.5.1	Scrum .....	34
2.5.1.1	Desarrollo Scrum .....	34
2.5.1.2	Equipo de Scrum.....	36
2.5.1.3	Artefactos de Scrum.....	36
<b>CAPITULO III .....</b>		<b>38</b>
<b>FASE DE DISEÑO.....</b>		<b>38</b>
3.1	Equipo de Trabajo.....	38
3.2	Acrónimos .....	39
3.3	Requisitos Específicos .....	39
3.3.1	Requisitos Funcionales .....	40
3.3.2	Requisitos No Funcionales .....	41
A.	Rendimiento .....	41
B.	Seguridad.....	42

C.	Fiabilidad.....	42
D.	Disponibilidad.....	42
3.4	Diagrama de Caso de Uso.....	42
3.5	Diagrama de Secuencia.....	43
3.6	Diagrama de Componentes .....	44
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>46</b>
<b>FASE DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO.....</b>		<b>46</b>
4.1	Planificación .....	46
4.2	Desarrollo de la primera iteración.....	48
4.2.1	Sprint Backlog – Iteración 1 .....	48
4.2.2	Revisión y Seguimiento – Iteración 1 .....	49
4.2.3	Desarrollo del Sprint – Iteración 1 .....	52
4.2.3.1	Planos Arquitectónicos .....	52
4.2.3.2	Modelado 3D de edificios .....	52
4.2.3.3	Modelado arquitectónico .....	55
4.2.3.4	Modelado Fotorrealista .....	59
4.2.4	Resultados del Sprint – Iteración 1 .....	64
4.3	Desarrollo de la segunda iteración.....	65
4.3.1	Sprint Backlog – Iteración 2 .....	66
4.3.2	Revisión y Seguimiento – Iteración 2 .....	67
4.3.3	Desarrollo del Sprint – Iteración 2.....	69
4.3.4	Resultados del Sprint – Iteración 2 .....	74
4.4	Desarrollo de la tercera iteración .....	75
4.4.1	Sprint Backlog – Iteración 3 .....	76
4.4.2	Revisión y Seguimiento – Iteración 3 .....	77
4.4.3	Desarrollo del Sprint – Iteración 3 .....	79
4.4.4	Resultados del Sprint – Iteración 3 .....	88
<b>CAPITULO V.....</b>		<b>92</b>
<b>FASE DE RESULTADOS .....</b>		<b>92</b>
5.1	Prueba de Aceptación.....	92

5.2	Pruebas de Rendimiento .....	96
<b>CAPITULO VI .....</b>		<b>102</b>
<b>CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO.....</b>		<b>102</b>
6.1	Conclusiones .....	102
6.2	Líneas de trabajos Futuros .....	104
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>105</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Propiedades de Physics Materials</i> .....	15
<b>Tabla 2</b> <i>Propiedades de Rigidbodies</i> .....	16
<b>Tabla 3</b> <i>Propiedades de Box Collider</i> .....	19
<b>Tabla 4</b> <i>Propiedades de Sphere Collider</i> .....	20
<b>Tabla 5</b> <i>Propiedades de Capsule Collider</i> .....	21
<b>Tabla 6</b> <i>Propiedades del Motor de Física</i> .....	22
<b>Tabla 7</b> <i>Elementos del Sistema de Navegación</i> .....	25
<b>Tabla 8</b> <i>Actividades de cada Sprint</i> .....	35
<b>Tabla 9</b> <i>Roles de Scrum</i> .....	36
<b>Tabla 10</b> <i>Artefactos de Scrum</i> .....	37
<b>Tabla 11</b> <i>Equipo de trabajo</i> .....	38
<b>Tabla 12</b> <i>Requisitos Específicos</i> .....	39
<b>Tabla 13</b> <i>Requisitos Funcionales</i> .....	40
<b>Tabla 14</b> <i>Pila de Producto</i> .....	47
<b>Tabla 15</b> <i>Historia de usuario Sprint 1</i> .....	48
<b>Tabla 16</b> <i>Sprint Backlog 1</i> .....	49
<b>Tabla 17</b> <i>Tareas Completadas 1</i> .....	50
<b>Tabla 18</b> <i>Historias de usuario Sprint 2</i> .....	65
<b>Tabla 19</b> <i>Sprint Backlog 2</i> .....	66
<b>Tabla 20</b> <i>Tareas Completadas 2</i> .....	67
<b>Tabla 21</b> <i>Historias de usuario Sprint 3</i> .....	75
<b>Tabla 22</b> <i>Sprint Backlog 3</i> .....	76
<b>Tabla 23</b> <i>Tareas Completadas 3</i> .....	77
<b>Tabla 24</b> <i>Valores Volumétricos Lahar Cotopaxi</i> .....	82
<b>Tabla 25</b> <i>Características Equipos</i> .....	97
<b>Tabla 26</b> <i>Media porcentual de consumo de recursos Escenario Cotopaxi</i> .....	97
<b>Tabla 27</b> <i>Media porcentual de consumo de recursos Escenario Triángulo</i> .....	98
<b>Tabla 28</b> <i>Cantidad de FPS mínimos en las escenas</i> .....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Entorno 3D No Inmersivo .....	11
<b>Figura 2.</b> Entorno 3D Inmersivo .....	11
<b>Figura 3.</b> Logotipo Unity.....	12
<b>Figura 4.</b> Juego Angry Birds .....	13
<b>Figura 5.</b> Juego Life is Strange .....	13
<b>Figura 6.</b> Physics Materials .....	14
<b>Figura 7.</b> Propiedades Physics Materials .....	15
<b>Figura 8.</b> Componente RigidBody .....	16
<b>Figura 9.</b> Componente Box Collider .....	18
<b>Figura 10.</b> Componente Sphere Collider.....	19
<b>Figura 11.</b> Componente Capsule Collider.....	20
<b>Figura 12.</b> Parámetros Motor de Física .....	22
<b>Figura 13.</b> Algoritmo para calcular ruta entre dos puntos.....	24
<b>Figura 14.</b> Navegación y Pathfinding.....	25
<b>Figura 15.</b> Asset en Unity.....	26
<b>Figura 16.</b> Elevación Real World Terrain .....	27
<b>Figura 17.</b> Gaia Asset.....	28
<b>Figura 18.</b> Ecuación de Cálculo de fluido método SPH.....	29
<b>Figura 19.</b> Simulación de partículas con PBD .....	29
<b>Figura 20.</b> Ecuación de Cálculo de fluido método PBD .....	30
<b>Figura 21.</b> Obi Fluid Asset .....	30
<b>Figura 22.</b> Easy Roads Asset.....	31
<b>Figura 23.</b> Enviro Asset.....	31
<b>Figura 24.</b> AQUAS Water System Asset .....	32
<b>Figura 25.</b> Logotipo 3DS MAX .....	33
<b>Figura 26.</b> Ciclo de vida Scrum.....	34
<b>Figura 27.</b> Diagrama de Casos de Uso .....	43
<b>Figura 28.</b> Diagrama de Secuencia.....	44
<b>Figura 29.</b> Diagrama de Componentes.....	45
<b>Figura 30.</b> Esfuerzo Pendiente – Sprint 1.....	51
<b>Figura 31.</b> Tareas Cumplidas – Sprint 1.....	51
<b>Figura 32.</b> Esquema de un plano arquitectónico .....	52
<b>Figura 33.</b> Mapa de evacuación jardín planta baja.....	53
<b>Figura 34.</b> Mapa de evacuación jardín planta alta.....	53
<b>Figura 35.</b> Mapa de evacuación colegio planta baja .....	54
<b>Figura 36.</b> Mapa de evacuación colegio planta alta .....	54
<b>Figura 37.</b> Plano arquitectónico en 3D Max Studio.....	55

<b>Figura 38.</b> Parámetros de paredes .....	56
<b>Figura 39.</b> Parámetros de puertas .....	57
<b>Figura 40.</b> Parámetros de ventanas.....	57
<b>Figura 41.</b> Modelo paredes, puertas y ventanas .....	58
<b>Figura 42.</b> U.E “Giovanni A. Farina” Jardín- Edificio 1 .....	58
<b>Figura 43.</b> U.E “Giovanni A. Farina” Jardín - Edificio 2 .....	59
<b>Figura 44.</b> U.E “Giovanni A. Farina” Colegio.....	59
<b>Figura 45.</b> U.E “Giovanni A. Farina” vista aérea .....	60
<b>Figura 46.</b> U.E “Giovanni A. Farina” vista lateral.....	60
<b>Figura 47.</b> U.E “Giovanni A. Farina” imagen original .....	62
<b>Figura 48.</b> U.E “Giovanni A. Farina” imagen editada .....	62
<b>Figura 49.</b> Mapa de textura, pared y columna.....	63
<b>Figura 50.</b> U.E “Giovanni A. Farina” Jardín - Edificio 1 Completo.....	64
<b>Figura 51.</b> U.E “Giovanni A. Farina” Jardín - Edificio 2 Completo.....	64
<b>Figura 52.</b> U.E “Giovanni A. Farina” Colegio Completo .....	65
<b>Figura 53.</b> Esfuerzo Pendiente – Sprint 2.....	68
<b>Figura 54.</b> Tareas Completadas – Sprint 2 .....	69
<b>Figura 55.</b> Selección Sector Cotopaxi.....	70
<b>Figura 56.</b> Selección Sector Triángulo.....	70
<b>Figura 57.</b> Propiedades Real World Terrain .....	71
<b>Figura 58.</b> Escala de Grises Sector Cotopaxi .....	72
<b>Figura 59.</b> Malla 3D del terreno .....	73
<b>Figura 60.</b> Malla 3D del terreno .....	73
<b>Figura 61.</b> Escenario Cotopaxi.....	74
<b>Figura 62.</b> Escenario Triángulo.....	75
<b>Figura 63.</b> Esfuerzo Pendiente – Sprint 3.....	78
<b>Figura 64.</b> Tareas Completadas – Sprint 3 .....	79
<b>Figura 65.</b> Personaje Primera Persona Cotopaxi.....	79
<b>Figura 66.</b> Personaje Primera Persona Farina .....	80
<b>Figura 67.</b> Parámetros del Personaje FPS .....	80
<b>Figura 68.</b> Emisor Cotopaxi .....	81
<b>Figura 69.</b> Emisor Farina.....	81
<b>Figura 70.</b> Emisor 1 Sector Cotopaxi.....	83
<b>Figura 71.</b> Emisor 1 Sector Triángulo.....	83
<b>Figura 72.</b> Emisor 2 Sector Triángulo.....	84
<b>Figura 73.</b> Material de Emisión Sector Cotopaxi.....	85
<b>Figura 74.</b> Material de Emisión Sector Triángulo.....	86
<b>Figura 75.</b> Elementos Enviro en la escena .....	87
<b>Figura 76.</b> Parámetros Enviro .....	88

<b>Figura 77.</b> Escena Cotopaxi Clima Despejado.....	89
<b>Figura 78.</b> Escena Cotopaxi Clima Lluvioso .....	89
<b>Figura 79.</b> Escena Cotopaxi Lahar .....	90
<b>Figura 80.</b> Escena Triángulo Ciclo Noche .....	90
<b>Figura 81.</b> Escena Triángulo Cielo Despejado.....	91
<b>Figura 82.</b> Escena Triángulo Lahar .....	91
<b>Figura 83.</b> Resultados Pregunta 1.....	93
<b>Figura 84.</b> Resultados Pregunta 2.....	93
<b>Figura 85.</b> Resultados Pregunta 3.....	94
<b>Figura 86.</b> Resultados Pregunta 4.....	95
<b>Figura 87.</b> Resultados Pregunta 5.....	95
<b>Figura 88.</b> Resultados Pregunta 6.....	96
<b>Figura 89.</b> Comparación Rendimiento Escena Cotopaxi .....	99
<b>Figura 90.</b> Comparación Rendimiento Escena Triángulo .....	100
<b>Figura 91.</b> Comparación FPS mínimos .....	101

## RESUMEN

En la mayoría de ingenierías y áreas científicas, se realizan investigaciones donde su enfoque es ayudar a la sociedad, esta investigación es acerca de la visualización de lahares del volcán Cotopaxi localizado en el país Ecuador de Sudamérica y cuyo principal propósito es simular la generación de lahares por el deshielo del glaciar, así como visualizar el caudal de los lahares en un barrio del Sector del Valle de los Chillos, que circulan por los ríos Santa Clara y Pita cuyo volumen representan el 20% del total del lahar generado por la erupción del volcán. Para esta meta, se ha aplicado una metodología ágil para ser capaces de producir un sistema de simulación en 3D de los lahares del volcán Cotopaxi como parte de un sistema complejo. Con el propósito de la visualización del volcán se utilizó motores de Física de Fluidos y generadores de terrenos incorporados sobre el motor de juegos Unity 3D. La validación de la solución ha sido ejecutada en base a los datos y estudios previos realizados por Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IG-EPN) que es la entidad responsable del monitoreo diario del volcán Cotopaxi. Los resultados demostraron que este sistema permite recrear la experiencia de la formación de lahares altamente destructivos en el Sector del Valle de los Chillos en ambientes distribuidos.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **MODELADO 3D**
- **SIMULACION**
- **ENTORNOS VIRTUALES**
- **MECANICA DE FLUIDOS**
- **FISICA COMPUTACIONAL**
- **UNITY**

## **ABSTRACT**

In most of engineering and scientific areas, research is carried out where its focus is to help society, this research is about the visualization of lahars of the Cotopaxi volcano located in the country of South America Ecuador and whose main purpose is to simulate the generation of lahars by the melting of the glacier, as well as to visualize the flow of the lahars in a neighborhood of the Chillos Valley Sector, which circulate along the Santa Clara and Pita rivers, whose volume represents 20% of the total lahar generated by the eruption of the volcano. For this goal, an agile methodology has been applied to be able to produce a 3D lahars simulation system of the Cotopaxi volcano as part of a complex system. For the purpose of visualizing the volcano, it has been used Fluid Physics engines and terrain generators on the Unity 3D game engine. The validation of the solution has been executed based on the data and previous studies carried out by the Geophysical Institute of the National Polytechnic School (IG-EPN), which is the entity responsible for the daily monitoring of the Cotopaxi volcano. The results showed that this system allows to recreate the experience in the formation of highly destructive lahars in the Chillos Valley Sector in distributed environments.

### **KEYWORDS:**

- **3D MODELING**
- **SIMULATION**
- **VIRTUAL ENVIRONMENTS**
- **FLUID MECHANICS**
- **COMPUTATIONAL PHYSICS**
- **UNITY**

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Hoy en día, la prevención y mitigación de desastres naturales es de gran importancia tanto para la sociedad como para el medio ambiente, es por ello, que las aplicaciones informáticas se han convertido en herramientas fundamentales para satisfacer demandas de visualización e interacción que manejan grandes cantidades de información.

Según (Erleben, 2012) en su libro “Física para Videojuegos” el objetivo de las gráficas computacionales es aumentar el realismo y la credibilidad en animaciones generadas en computadora, es por ello que, los autores argumentan que para alcanzar este objetivo ha sido necesario utilizar la Física para modelar el comportamiento y el movimiento de fenómenos en computadora, actualmente denominado animación o modelado basado en la Física.

Los lahares que son uno de los desastres naturales de gran magnitud destructiva, pueden causar graves daños a las personas que habitan en riveras de ríos y quebradas que se encuentren cerca de zonas volcánicas. Varios lahares fueron reconocidos como catastróficos en años anteriores, como en el Monte St. Helens (EE.UU.) en 1980 (Carracedo, 2015), el Nevado del Ruiz (Colombia) en 1985 (D'Ercole, 1989) y el Volcán Cotopaxi en 1877 donde según (Mothes, 1992) en su trabajo “Lahars of Cotopaxi Volcano, Ecuador: hazard and risk evaluation” nombra al Volcán Cotopaxi como un estratovolcán que se encuentra en el centro norte de Ecuador cubierto de abundante nieve y el hielo, ha producido alrededor de 30 erupciones volcánicas desde

principios del siglo XVI y los lahares generados han atravesado los valles poblados devastando lo que encuentra a su paso.

En la actualidad el volcán Cotopaxi está bajo vigilancia continua ya que ha permanecido inactivo desde 1877 (Mothes, 1992), por lo cual científicos y defensa civil están dirigidos a preparar a la población para eventuales erupciones empleando nuevas tecnologías, tal es el caso de las simulaciones bidimensionales que en los últimos años ha despertado el interés de muchos investigadores. Como consecuencia de esto, se analizan todos los estudios realizados en diferentes lugares del mundo que permitan ser fuente de investigación para el presente trabajo.

## **1.2 Problemática**

En la actualidad no existen simuladores 3D de lahares de volcanes que además son nevados y pueden causar gran destrucción en los alrededores de las ciudades, sobre todo en las quebradas y orillas de los ríos que son cauces naturales por donde circulan los mismos y en donde se encuentran ubicadas construcciones, además de que no hay conocimiento y capacitación de los peligros que conllevan los lahares del volcán-nevado Cotopaxi en la población del Valle de los Chillos, sobre todo en varios sectores como la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Urbanización La Colina, Colegio Farina , la Academia de Guerra de la Fuerza Terrestre, entre otros, por la presencia de los ríos Pita y Santa Clara, ya que la población no tiene una visión clara del tamaño y cobertura de los lahares que van a afectar y destruir de manera total o parcial las construcciones que se encuentra a su paso y cerca de las orillas de los ríos, considerando 500 metros hacia el lado izquierdo y 500 metros hacia el lado derecho. Ante este problema, se plantea

realizar un sistema de simulación 3D utilizando motores de física computacional e inteligencia artificial para la visualización de lahares del volcán Cotopaxi.

### **1.3 Justificación**

Al no contar con un Sistema de Simulación en 3D de visualización de los lahares del volcán Cotopaxi utilizando motores de física computacional para fluidos, tanto el personal técnico, como autoridades civiles y políticas y público en general que son afectados directa o indirectamente por la destrucción de los lahares, no podrán tener una visión clara de la realidad y de los riesgos que esto implica, ya que el volcán Cotopaxi de acuerdo al Instituto Geofísico de la EPN es uno de los más destructivos y peligrosos de Latinoamérica y del mundo.

De acuerdo a los estudios de (Aguilera, 2005) se han realizado trabajos de modelado 3D de la cuenca norte del volcán Cotopaxi así también los modelos numéricos del desbordamiento de los ríos Pita y Santa Clara indicando el sector y la altura a la que probablemente llegarían los lahares del volcán Cotopaxi. No hay un sistema de simulación 3D que permita visualizar los flujos de los lahares que de acuerdo a los estudios de (Aguilera, 2005) y (Mothes, 1992), toman diferente tamaño de acuerdo a determinados sectores del Valle de los Chillos, es por eso que se ve necesario crear un modelo de simulación 3D de la Física de los fluidos de estos lahares. Basados en estos problemas y considerando que se lleva todo un proceso de monitoreo constante del volcán Cotopaxi por parte del IG-EPN, no se está utilizando ningún sistema de simulación en 3D para visualización de lahares, por lo tanto, se determina que:

- Se puede desarrollar e implementar un sistema de simulación en 3D de visualización de los lahares del volcán Cotopaxi utilizando motores de Física Computacional para fluidos con Inteligencia Artificial.
- El uso del simulador en 3D podrá servir en la capacitación de la población del Valle de los Chillos y concientizar a las personas de los riesgos de destrucción que sufrirían los sectores cercanos a los ríos Santa Clara y Pita, ahorrando muchísimo dinero a los Municipios de Quito y Sangolquí, por el costo que implican las campañas de publicidad y la contratación de empresas cuyos costos son altos.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Creación de un sistema de simulación 3D de lahares del volcán Cotopaxi de los sectores Triángulo y Parque Nacional Cotopaxi, utilizando motores de Física computacional de fluidos e Inteligencia Artificial (IA), que permita visualizar el desplazamiento de dichos fluidos en los sectores especificados.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Realizar una revisión bibliográfica sobre los conceptos de modelado 3D, motores de física computacional, inteligencia artificial y lahares.

- Diseñar los componentes necesarios para el simulador 3D como los edificios de la unidad educativa Antonio Geovanni Farina y mapas 3D en escala para el sistema de simulación.
- Realizar el diseño y desarrollo del sistema de simulación en 3D aplicando una metodología ágil.
- Realizar pruebas de aceptación y de rendimiento del sistema de simulación 3D de visualización de lahares.

## **1.5 Alcance**

Desarrollar un sistema de simulación en 3D con contenido específico para la visualización de lahares del volcán Cotopaxi utilizando motores de física computacional para fluidos con inteligencia artificial que permitirá observar en un entorno 3D el desplazamiento del lahar hacia el sector del Triángulo situada en el Valle de los Chillos y también en el sector del Parque Nacional Cotopaxi.

Para el desarrollo de los mundos virtuales que serán parte del sistema de simulación 3D se generará los terrenos 3D de los sectores críticos previamente mencionados, con la utilización del asset Real World Terrain.

Con el propósito de mejorar visualmente los terrenos 3D se usarán los assets Gaia, Easy Roads 3D y Enviro Sky and Water, los cuales permitirán añadir detalles como: texturas, vegetación, carreteras, objetos 3D e implementar ciclos día-noche y estaciones climáticas respectivamente, otorgando mayor realismo al mundo virtual.

Se usará el asset AQUAS Water System, el cual permitirá crear ríos con aspecto notablemente realistas que se integrarán en los terrenos 3D. Además, se usará sistemas de partículas para la simulación de los lahares con la ayuda del asset Obi Fluid.

## **CAPITULO II**

### **ESTADO DE LA CUESTION**

En este capítulo se despliegan los temas tratados en la elaboración del presente proyecto. Se presenta la definición de motores de física computacional y herramientas de modelado 3D, se investiga plataformas de desarrollo de entornos 3D y la inteligencia artificial que esta usa. Además, se detalla el estudio de la metodología ágil utilizada y cómo se acopla a las necesidades del proyecto. En el Anexo A se presenta una tabla de significados de términos técnicos que se van a utilizar en las presentes explicaciones.

#### **2.1 Trabajos Relacionados**

La animación basada en la Física es un campo altamente multidisciplinario que se basa en teorías de la Física y Matemática. Uno de los trabajos destacados y enfocado al uso de motores de física computacional es el denominado “Animación De Tornados En Tiempo Real Mediante Motores Físicos” de (Lazo, Garcia, & Clause, 2009) en el cual se presenta un modelo de motor físico para animación de tornados basado en un campo de fuerzas sobre partículas arrastradas por un vórtice vertical, donde el motor físico alimenta un motor gráfico para animación de entornos 3D. La solución propuesta permite obtener tasas de renderizado aceptables utilizando un gran número de partículas u objetos interactuando con el tornado, logrando animaciones realistas a partir de efectos físicos. El modelo permite el control de la intensidad y la forma del tornado a través de parámetros constantes definidos en las expresiones del sistema de fuerzas.

Por otra parte, un lahar es un fluido de agua y sedimentos que se movilizan por las laderas de un volcán nevado y estos han sido durante los últimos tiempos los causantes de grandes pérdidas

humanas y materiales más que el propio proceso volcánico. Es por esto, que una de las principales investigaciones como la de (Abadie, 2009) realiza una simulación 3D numérica en la que usan el modelo Navier-Stokes VOF (Ecuaciones de Navier-Stokes) para analizar los posibles deslizamientos que genere el volcán Cumbre Vieja en la isla de La Palma, España. Los resultados obtenidos en este estudio muestran que el volumen potencial estará cerca de 100Km<sup>3</sup>, en lugar de los 500km<sup>3</sup> previstos en anteriores estudios, además de que los lahares generados dependerán mucho del mecanismo de movimiento.

Existe un estudio de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), en el que se desarrolla y se aplica parcialmente un modelo 3D mezclado con 2D (2.5D), utilizando Cellular Automata (CA) para un evento real donde la simulación del lahar secundario del Valle de Vascún fue satisfactoria en comparación a una anterior hecha en 2D utilizando el software Titan2D (Machado, 2014).

Según (Sheridan, 2005), Titan2D es un código para un Coulomb continuo incompresible, es decir, que la densidad del fluido permanece constante a lo largo de todo el flujo; Se trata de un modelo de flujo granular de "agua superficial" con profundidad media. En esta investigación se evalúa Titan2D comparando sus resultados de simulación con los obtenidos de otro modelo de flujo, FLOW3D con datos de una avalancha de Peak Tahoma de 1963 en Mount Rainier, Washington, EEUU. Los resultados obtenidos no varían, dando la credibilidad para el uso de este método en futuros trabajos.

Un Lahar no solamente se puede generar por un volcán, como lo menciona el estudio "A fluid dynamics approach to modelling the 18th March 2007 lahar at Mt. Ruapehu" donde

analizan por medio de un modelo 3D los tiempos de recorrido del fluido, la altura y desplazamiento del mismo ocurrido por la ruptura de una presa (Carrivick, 2009). Se aplica un modelo de dinámica de fluidos llamado Delft3D, en el que aseguran que podría aplicarse en otros sitios similares donde se dispone de un posible hidrograma fuente y datos topográficos de alta resolución, debido a que las discrepancias con los eventos reales no tienen mucha diferencia.

La mayoría de investigaciones se enfocan en simulaciones 2D, como es el caso de “Updating channel morphology in digital elevation models: lahar assessment for Tenenepanco-Huiloac Gorge, Popocatepetl volcano, México” en el que presenta y valida una nueva metodología para actualizar la representación de la morfología del canal en los Modelos Digitales de Elevación (EDM) (Muñoz-Salinas, 2008), que permitió un flujo de fluido más realista y una simulación del lahar con el modelo TITAN2D basado en procesos.

Según (Husni, 2009) el flujo de material volcánico también aporta con información relevante para los métodos de la mecánica de fluidos, la simulación del flujo de lava es un fenómeno muy complejo ya que se involucran varios parámetros. El método de Lagrange es uno de los empleados para simular el flujo de lava, el cual lo ve como un fluido compuesto por un sistema de partículas. La Hidrodinámica de Partículas (SPH) se implementó para la interacción entre las partículas y los parámetros físicos obtenidos por el fluido a base de partículas son: la densidad de masa, viscosidad, presión, tensión superficial, temperatura y fuerza externa.

Un nuevo estudio realizado por (Hu, 2017), propuso que la humectabilidad es un factor importante que controla el desplazamiento de fluidos inmiscibles en medios porosos y por lo tanto afecta el flujo. Utilizaron un sistema de micro modelo de alta presión, realizaron

experimentos y simulaciones numéricas de los poros a escala para inferir detalles en 3D de procesos de desplazamiento del líquido.

Una vez analizadas todas las publicaciones científicas, se observa que existen muchos métodos para la mecánica de fluidos, así como el aporte de conocimiento de parámetros que influyen en el descenso de este material destructivo para tomarlos a consideración en la creación del sistema 3D a desarrollar en Unity utilizando motores de fluidos y de generación de terrenos.

## **2.2 Entorno 3D**

Los ambientes o entornos interactivos 3D son comúnmente referidos hacia la realidad virtual o interactividad 3D, con el objetivo de representar nuestro mundo (Barab, 2001). Este tipo de entornos 3D permite la interacción con otros seres, así como la manipulación de objetos que existan en él (Beck, 2009).

Existen dos tipos de entornos 3D:

- Realidad Virtual de Escritorio (Desktop Virtual Reality): También llamada Realidad Virtual No Inmersivas, son programas donde se simula un mundo real o imaginario en un formato que es mostrado en pantalla



**Figura 1.** Entorno 3D No Inmersivo

Fuente: (VR-BOX, 2017)

- Realidad Virtual Inmersiva (Immersive Virtual Reality): Una realidad virtual donde se usa lentes estereoscópicas que proveen las imágenes 3D y algún dispositivo de rastreo de movimiento de cabeza y cuerpo como se muestra en la Figura 2.



**Figura 2.** Entorno 3D Inmersivo

Fuente: (Initiative, 2016)

### 2.3 Plataformas de desarrollo de entornos 3D

El entorno virtual es el lugar 3D donde se desarrollará la simulación y los elementos con los que va a interactuar el usuario, es decir, terreno, construcciones, vegetación, etc.

### 2.3.1 Unity 3D

Unity es un motor de videojuegos desarrollado por Unity Technologies, principalmente usado para la creación de videojuegos 2D, 3D y simulaciones para computadoras, consolas y dispositivos móviles (Ver Figura 3).



*Figura 3.* Logotipo Unity

Fuente: (Unity, 2017)

Este motor de videojuegos utiliza los lenguajes de programación C# y Javascript donde actualmente este último está siendo desactivado desde agosto del 2017 con el lanzamiento de Unity 2017.1 (Fine, 2017).

Unity 3D usa los API de gráficos Direct3D en Windows y Xbox One, además de OpenGL para Linux, Android e iOS. Varios de los juegos que tuvieron éxito en el mercado fueron desarrollados en Unity, unos ejemplos de estos son: Angry Birds (Figura 4) para dispositivos móviles y Life is Strange (Figura 5) para computadoras y consolas.



**Figura 4.** Juego Angry Birds

Fuente: (Rovio, 2017)



**Figura 5.** Juego Life is Strange

Fuente: (Dontnod Entertainment, 2015)

### 2.3.2 Motor de Física

Unity tiene su propio motor de física integrado, es decir aplicará las leyes físicas al mundo virtual, por ejemplo, un objeto caerá si no se encuentra apoyado sobre una superficie fija o un objeto chocará con otro; lo moverá o no, dependiendo de la velocidad y la masa de ambos. El motor de física se vuelve altamente útil cuando se desea otorgar realismo a un entorno, donde la interacción entre objetos es similar al que observamos en el mundo real. Para lograr esto Unity controla la física desde scripts de programación, dando a un objeto 3D características de un

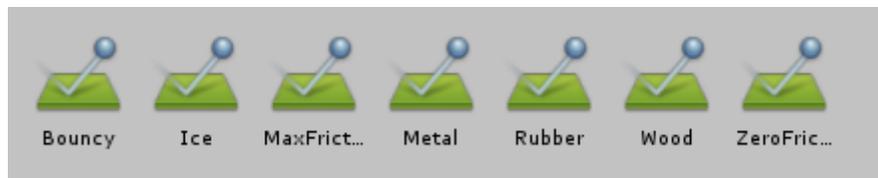
vehículo, una máquina o inclusive un pedazo de tela. Es importante recalcar que Unity posee dos motores de física separados, uno para entornos 2D y otro para entornos 3D, donde sus conceptos son idénticos pero los componentes para implementarlos son diferentes.

### 2.3.2.1 Componentes del Motor de Física

Los elementos que componen la física principal disponibles en Unity son tres, los cuales se detallan a continuación.

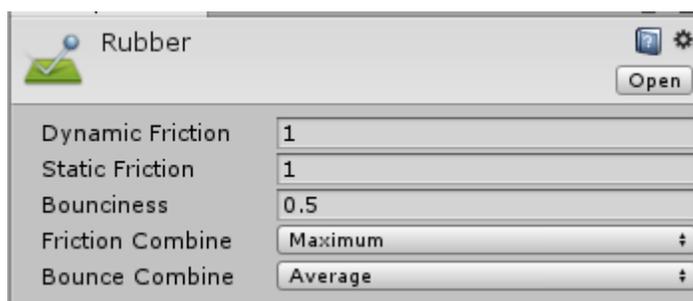
#### A. Physics Material

Los materiales de física son utilizados para ajustar la fricción y los efectos de rebote de los objetos que colisionan entre sí o con una superficie, estos se utilizan junto a los Rigidbodies y Colliders. Unity posee siete tipos de materiales los cuales se presentan en la Figura 6.



**Figura 6.** Physics Materials

El desarrollador puede crear a conveniencia sus propios materiales modificando los valores que muestra la Figura 7.



**Figura 7.** Propiedades Physics Materials

La definición de cada uno de estos valores se describe a continuación (Ver Tabla 1).

**Tabla 1**

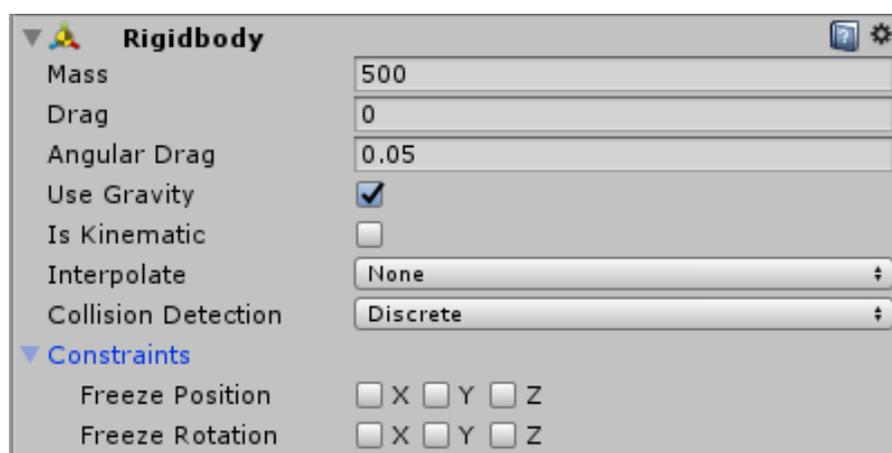
*Propiedades de Physics Materials.*

<b>Propiedad</b>	<b>Función</b>
<b>Dynamic Friction</b>	Representa la fricción utilizada cuando el objeto este en movimiento. El valor de 0 representa una propiedad similar al hielo y el valor de 1 frena rápidamente un objeto a menos de que otro lo empuje.
<b>Static Friction</b>	Es la fricción utilizada en un objeto que se encuentra estático en la superficie. Cuando el valor sea 1 será difícil que el objeto se mueva.
<b>Bounciness</b>	Representa el rebote de la superficie. El valor de 0 no permitirá que el objeto rebote y el valor de 1 logrará que rebote sin perder energía.
<b>Friction Combine</b>	Son funciones matemáticas para combinar la fricción entre dos objetos en colisión.
<b>Bounce Combine</b>	Son las mismas funciones matemáticas del Friction Combine, pero estas utilizan los valores de Bounciness de los objetos.

Fuente: (Unity 3D, 2016)

## B. Rigidbodies

Es el componente principal para dar un comportamiento físico a un objeto. Al agregar este componente a un GameObject, actuará bajo el motor de física e inmediatamente responderá a la gravedad. Además, el objeto 3D tendrá colisiones y responderá al movimiento ejercido por colisiones entrantes o fuerzas (Ver Figura 8).



*Figura 8.* Componente Rigidbody

El componente Rigidbody posee varias propiedades y sus valores pueden ser configurados a necesidad del programador, estos aspectos se los definen a continuación (Ver Tabla 2).

**Tabla 2**

*Propiedades de Rigidbodies*

Propiedad	Función
<b>Mass</b>	Representa la masa del objeto en kilogramos.
<b>Drag</b>	Representa resistencia al aire que afecta al objeto cuando se mueve por fuerzas externas a este. El valor de 0 significa que no hay resistencia al aire, e infinito hace que el objeto deje de moverse inmediatamente.

**Angular Drag** Representa la resistencia al aire que afecta al objeto al girar desde un torque. El valor de 0 significa que no hay resistencia al aire. Hay que tener en cuenta que no se puede hacer que un objeto deje de girar simplemente configurando su arrastre angular hasta el infinito.

**Use Gravity** Si esta propiedad se encuentra habilitada, el objeto será afectado por la gravedad.

**Is Kinematic** Si esta propiedad se encuentra habilitada, el objeto no será manejado por el motor de física y solo podrá ser manipulado por su Transform (parámetro de cambio de posiciones y rotaciones).

**Collision Detection** Se usa para evitar que los objetos en movimiento rápido pasen por otros objetos sin detectar colisiones.

**Constraints** Esta propiedad especifica restricciones en el movimiento de los Rigidbody.

Fuente: (Unity 3D, 2016)

Una vez que el movimiento de un rigidbody sea menor que una cierta cantidad mínima lineal, o velocidad de rotación, el motor de física asumirá que ha parado. Cuando esto suceda, el objeto no se moverá más hasta que reciba una colisión o fuerza y, por lo tanto, se configurará al modo “sleeping”. En esta optimización ningún tiempo de procesamiento será utilizado, actualizando el rigidbody hasta la próxima vez que se mueva. Para la mayoría de propósitos, el adormecimiento y el despertar de los rigidbodies suceden transparentemente.

### C. Colliders

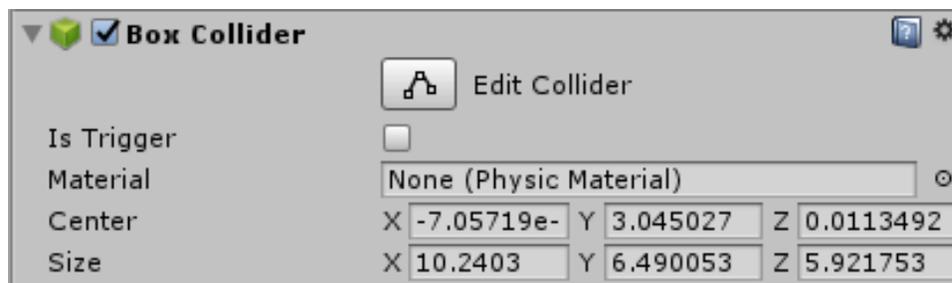
Este componente debe ser agregado conjuntamente con el anterior, para permitir que ocurran colisiones. Si dos Rigidbodies chocan, el motor de física no calculará la colisión a menos de que ambos objetos también posean un Collider. Los Rigidbodies sin collider pasaran a través de cada uno.

Cuando los colliders interactúan, las superficies de estos necesitan simular propiedades de algún material al cual representan. Por ejemplo, un trozo de hielo será resbaladizo o el caucho presentará una fricción considerable, para esto se modifica las propiedades de cada uno configurando y utilizando Physics Materials.

Los Collider más simples y que no usan mucho procesamiento son llamados primitive detallados a continuación:

#### Box Collider

Ofrece una forma de colisión cubica que es útil cuando el objeto 3D tiene forma de cubo como una caja o un cofre (Ver Figura 9).



*Figura 9.* Componente Box Collider

Las propiedades que presenta este tipo de Collider se listan a continuación (Ver Tabla 3).

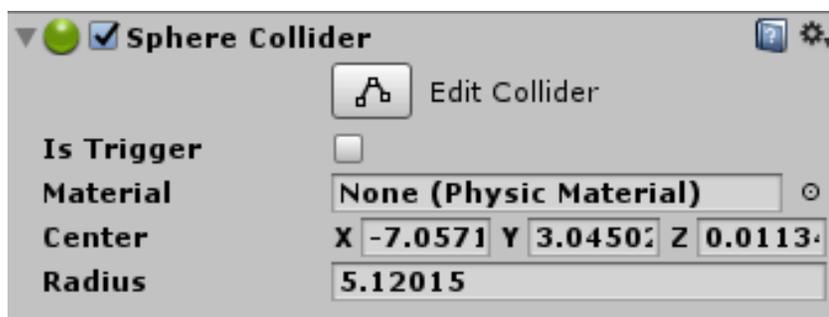
**Tabla 3***Propiedades de Box Collider.*

<b>Propiedad</b>	<b>Función</b>
<b>Is Trigger</b>	Cuando esta opción se encuentra habilitada, el collider será usado en eventos de triggering y será ignorado por el motor de física.
<b>Material</b>	Se determina el material que el objeto representa utilizando un Physics Material.
<b>Center</b>	Representa la posición del Collider en el espacio del objeto.
<b>Size</b>	Representa el tamaño del Collider en las direcciones X, Y, Z.

Fuente: (Unity 3D, 2016)

**Sphere Collider**

Ofrece una forma de colisión esférica, se usa en objetos circulares u objetos que deben rodar y caer (Ver Figura 10).

**Figura 10.** Componente Sphere Collider

Las propiedades que presenta este tipo de Collider se listan a continuación (Ver Tabla 4).

**Tabla 4***Propiedades de Sphere Collider.*

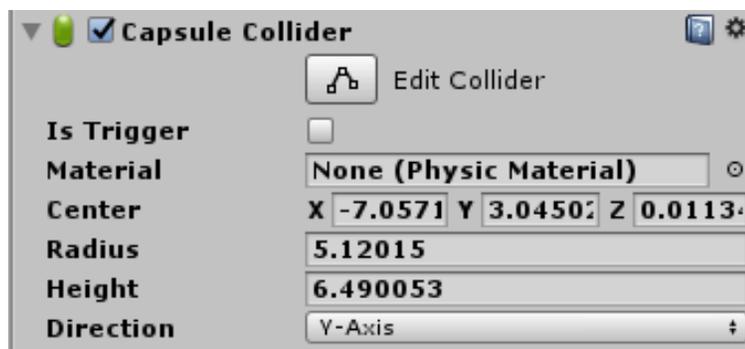
Propiedad	Función
<b>Is Trigger</b>	Cuando esta opción se encuentra habilitada, el collider será usado en eventos de triggering y será ignorado por el motor de física.
<b>Material</b>	Se determina el material que el objeto representa utilizando un Physics Material.
<b>Center</b>	Representa la posición del Collider en el espacio del objeto.
<b>Radius</b>	El tamaño del Collider.

Fuente: (Unity 3D, 2016)

Este collider puede ser redimensionado por la propiedad Radius, pero no se lo puede escalar independientemente a los tres ejes. Funciona bien para objetos esféricos como piedras o pelotas.

### Capsule Collider

Ofrece una forma de colisión compuesta por dos semiesferas unidas por un cilindro, comúnmente usada en personajes que existen en el entorno virtual (Ver Figura 11).

**Figura 11.** Componente Capsule Collider

Las propiedades que presenta este tipo de Collider se listan a continuación (Ver Tabla 5).

**Tabla 5**

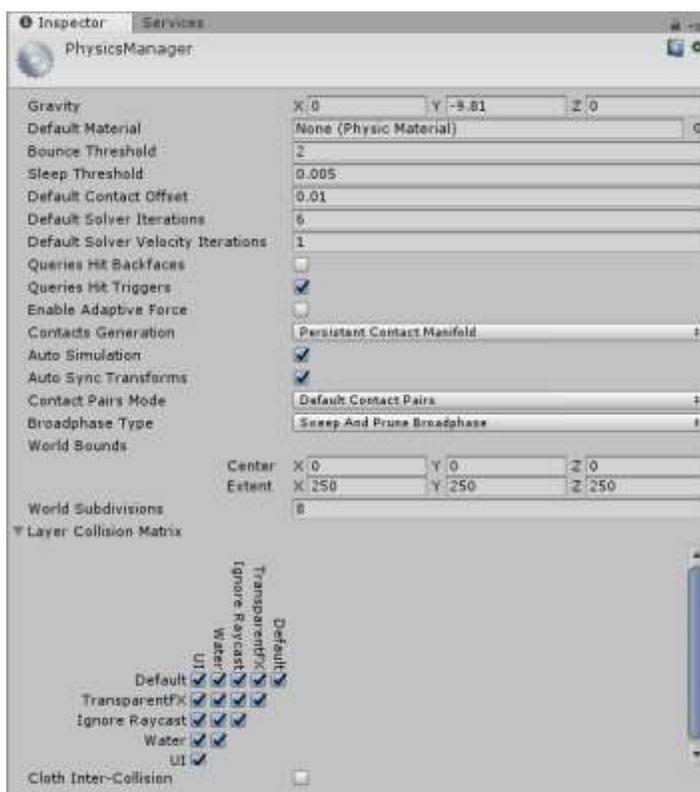
*Propiedades de Capsule Collider.*

<b>Propiedad</b>	<b>Función</b>
<b>Is Trigger</b>	Cuando esta opción se encuentra habilitada, el collider será usado en eventos de triggering y será ignorado por el motor de física.
<b>Material</b>	Se determina el material que el objeto representa utilizando un Physics Material.
<b>Center</b>	Representa la posición del Collider en el espacio del objeto.
<b>Radius</b>	Indica el radio del ancho del Collider
<b>Height</b>	Define la altura total del collider
<b>Direction</b>	Representa el eje de orientación longitudinal de la capsula en el espacio del objeto.

Fuente: (Unity 3D, 2016)

### **2.3.2.2 Parámetros del Motor de Física**

Los parámetros importantes que Unity presenta como parte de su motor de física se muestran en la Figura 12 y a continuación se los detalla (Ver Tabla 6).



**Figura 12.** Parámetros Motor de Física

**Tabla 6**

*Propiedades del Motor de Física*

Propiedad	Función
<b>Gravity</b>	Representa la cantidad de gravedad que se aplica a todos los objetos 3d Rigidbodies. Normalmente la gravedad solo se ejerce en el eje Y.
<b>Default Material</b>	Es el Physics Material por defecto que va a ser usado si ninguno ha sido asignado a un collider individual.
<b>Bounce Threshold</b>	Dos objetos que estén en colisión con una velocidad relativa por debajo de este valor no rebotarán.

---

**Sleep Threshold** Define un umbral de energía cinética de masa al cual un Rigidbody puede ir a dormir, es decir, los Rigidbodies cuya energía cinética dividida por su masa sea menor a este umbral serán candidatos para dejarlos en modo “sleeping”

**Default Contact Offset** Especifica la distancia a la que el sistema de colisiones genera contactos. El valor debe ser positivo y si es cercano a cero puede provocar fluctuaciones.

**Solver Iteration Count** Determina la precisión con la que se resuelven los contactos y articulaciones. El valor que se muestra por defecto funciona bien para todas las situaciones.

**Enable Adaptive Force** Esta propiedad afecta la manera en que las fuerzas se transmiten a través de varios objetos con el propósito de mostrar un comportamiento real.

**Layer Collision Matrix** Define como se va a comportar el sistema de detección de colisiones.

---

Fuente: (Unity 3D, 2016)

Los ajustes que se realicen sobre estas propiedades definirán los límites en la precisión de la simulación de las leyes físicas. Una simulación robusta demandará mayor sobrecarga de procesamiento, por lo que estos ajustes ofrecen una manera de intercambiar precisión contra rendimiento.

### 2.3.3 Inteligencia Artificial

El motor de desarrollo Unity es una herramienta robusta, ya que posee sus propios algoritmos inteligentes para sistemas de navegación y búsqueda de caminos “pathfinding”, un ejemplo de estos es el algoritmo para calcular la ruta entre dos puntos en tiempo real (Ver Figura 13).

---

**Algoritmo 1:** Cálculo de ruta entre dos puntos.

---

```

1: using UnityEngine;
2: using UnityEngine.AI;
3:
4: public class ShowGoldenPath : MonoBehaviour
5: {
6:     public Transform target;
7:     private NavMeshPath path;
8:     private float elapsed = 0.0f;
9:     void Start()
10:    {
11:        path = new NavMeshPath();
12:        elapsed = 0.0f;
13:    }
14:
15:    void Update()
16:    {
17:        // Actualizar el camino a la meta cada segundo.
18:        elapsed += Time.deltaTime;
19:        if (elapsed > 1.0f)
20:        {
21:            elapsed -= 1.0f;
22:            NavMesh.CalculatePath(transform.position, target.position, NavMesh.AllAreas, path);
23:        }
24:        for (int i = 0; i < path.corners.Length - 1; i++)
25:            Debug.DrawLine(path.corners[i], path.corners[i + 1], Color.red);
26:    }
27: }

```

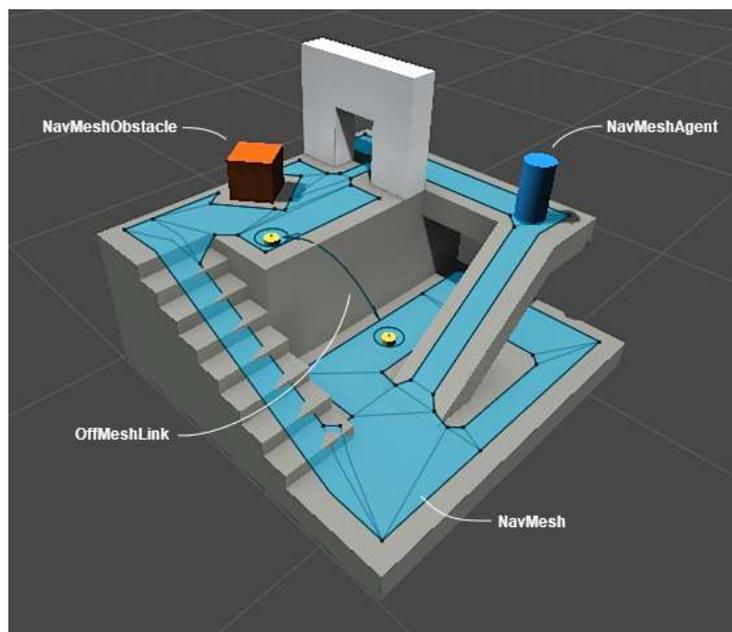
---

**Figura 13.** Algoritmo para calcular ruta entre dos puntos

Fuente: (Unity 3D, 2016)

El sistema de navegación permite crear personajes u objetos que pueden moverse de forma inteligente por el entorno del juego, usando mallas de navegación que se crean automáticamente, dependiendo de la geometría del terreno. Los obstáculos dinámicos le permiten modificar la navegación de los objetos en el tiempo de ejecución, mientras que los enlaces sin malla le

permiten desarrollar acciones específicas, como abrir puertas o saltar desde una cornisa (Unity 3D, 2016) (Ver Figura 14).



**Figura 14.** Navegación y Pathfinding

Fuente: (Unity 3D, 2016)

Este componente de Unity llamado NavMesh utiliza las siguientes piezas que se detallan a continuación para lograr la inteligencia artificial (Ver Tabla 7).

**Tabla 7**

*Elementos del Sistema de Navegación*

Nombre	Definición
<b>NavMesh</b>	Es una estructura de datos que describe las superficies transitables del mundo en el juego y permite encontrar la ruta desde una ubicación hacia otra.
<b>NavMesh Agent</b>	Ayuda a crear objetos que se evaden mientras se mueven hacia su objetivo. Los agentes razonan sobre el mundo del juego utilizando el NavMesh y

CONTINÚA 

---

saben cómo evitarse unos a otros además de, obstáculos en movimiento.

**Off-Mesh Link** Permite incorporar atajos de navegación que no se pueden representar utilizando una superficie accesible. Por ejemplo, saltar por encima de un obstáculo o abrir una puerta antes de atravesarla.

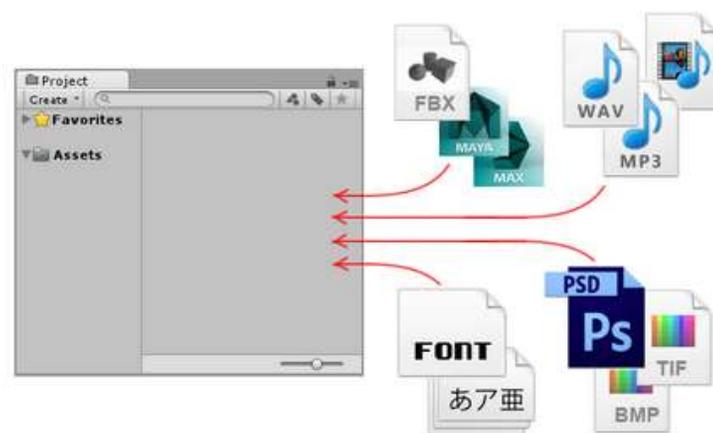
**NavMesh Obstacle** Permite describir los obstáculos en movimiento que los agentes deben evitar mientras navegan por el mundo.

---

Fuente: (Unity 3D, 2016)

### 2.3.4 Asset

Un Asset representa a un ítem o grupo de objetos que se pueden utilizar en un proyecto. Pueden ser creados en programas que no sean propios del motor de desarrollo, así como un objeto 3D realizado en 3Ds Max, un archivo de audio, una imagen o cualquier otro que Unity pueda soportar (Unity3D, 2016) cómo se puede ver en la Figura 15.



**Figura 15.** Asset en Unity

Fuente: (Unity3D, 2016)

### 2.3.4.1 Real World Terrain

Este Asset está diseñado para generar terrenos, mallas y archivos RAW, basados en datos reales de elevación de la tierra (Ver Figura 16). Además, cuenta con la opción de marcar el sector deseado a través de Google Maps, permite texturizar terreno directamente desde satélites que brindan el servicio de fotos satelitales como ArcGIS, DigitalGlobe, Map Quest, Mapbox, Mapy.CZ, Nokia Maps, Virtual Earth “Bing Maps”, Open Street Map (Infinity Code, 2018).



**Figura 16.** Elevación Real World Terrain

Fuente: (Infinity Code, 2018)

### 2.3.4.2 Gaia

Gaia es un sistema que permite generar escenarios y paisajes para Unity 3D (Ver Figura 17), donde el desarrollador puede elegir ya sea el modo manual o el modo totalmente automático para crear escenas, esculpir, texturizar, plantar, poblar, colocar agua, efectos de post procesamiento e incluso configurar el personaje (Procedural Worlds, 2018).

Posee un conjunto completo de elementos 3D como árboles, rocas, casas, granjas y accesorios. Además, permite la integración con otros assets para mejorar gráficamente los entornos 3D.



*Figura 17.* Gaia Asset

Fuente: (Procedural Worlds, 2018)

### 2.3.4.3 Obi Fluid

Este asset permite representar fluidos dinámicos, en particular los líquidos como el agua, que son responsables de fenómenos visualmente enriquecedores, su simulación es un área de gran interés y desafío en los gráficos por computadora. Existen varias técnicas disponibles, pero este trabajo de simulación se enfoca en los métodos de partículas ya que son populares por su simplicidad y flexibilidad.

La hidrodinámica de Partículas Alisadas (SPH), es un método basado en partículas para la simulación de fluidos (Monaghan, 1992), aplicada en varios campos de investigación como la astrofísica, vulcanología y oceanografía, la cual utiliza el multiplicador de Lagrange para su resolución dividiendo el fluido en un conjunto de elementos denominados partículas. Una de las

ecuaciones que utiliza como la que muestra la Figura 18 calcula la cantidad de fluido en un punto determinado.

$$A(\mathbf{r}) = \sum_j m_j \frac{A_j}{\rho_j} W(|\mathbf{r} - \mathbf{r}_j|, h),$$

**Figura 18.** Ecuación de Cálculo de fluido método SPH

Fuente: (Monaghan, 1992)

Sin embargo, SPH es sensible a fluctuaciones de densidad donde a menudo se vuelve inestable debido a que las partículas no cuentan con otras suficientes a su alrededor para obtener estimaciones de densidad precisas.

El método utilizado en la presente simulación es la dinámica basada en posición (PBD) (Ver Figura 19), debido a que es popular entre los desarrolladores de juegos (Macklin, 2013) y aborda la deficiencia que tiene SPH al manejar errores de densidad mejorando así el rendimiento.



**Figura 19.** Simulación de partículas con PBD

Fuente: (Macklin, 2013)

Este método resuelve un sistema de restricciones no lineales utilizando la iteración de Gauss-Seidel, al actualizar las posiciones de las partículas proporciona un método para simular las dinámicas en juegos basados en la integración de Verlet (Ver Figura 20), el cual es un

procedimiento para la integración numérica de ecuaciones diferenciales ordinarias de segundo orden con valores iniciales conocidos.

$$\nabla_{\mathbf{p}_k} C_i = \frac{1}{\rho_0} \begin{cases} \sum_j \nabla_{\mathbf{p}_k} W(\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j, h) & \text{if } k = i \\ -\nabla_{\mathbf{p}_k} W(\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j, h) & \text{if } k = j \end{cases}$$

**Figura 20.** Ecuación de Cálculo de fluido método PBD

Fuente: (Macklin, 2013)

Obi Fluid es un motor de fluidos 2D y 3D en tiempo real, que utiliza la técnica PBD para el procesamiento gráfico (Ver Figura 21). Se encarga de simular y renderizar líquidos logrando adherirlos a superficies, formar gotas, dividirse e incluso fusionarse, permitiendo definir parámetros en base a materiales como agua, aceite, miel o tinta (Virtual Methods, 2017).



**Figura 21.** Obi Fluid Asset

Fuente: (Virtual Methods, 2017)

#### 2.3.4.4 Easy Roads

Este asset permite la creación de redes viales que incluye cruces basados en sus propios modelos de objetos 3D, así como objetos laterales para las carreteras como puentes, barandillas, vallas, muros, líneas eléctricas, árboles o cualquier otro tipo de objeto 3D que el desarrollador

requiera (Unity Terrain Tools, 2009) como se observa en la Figura 22. Todas las carreteras creadas por Easy Roads se adaptan a la forma que tenga el terreno.



**Figura 22.** Easy Roads Asset

Fuente: (Unity Terrain Tools, 2009)

#### 2.3.4.5 Enviro

Enviro permite una rápida integración de soluciones dinámicas de clima a un proyecto (ENVIRO, 2017) (Ver Figura 23), agregando scripts de programación a la cámara principal logrando efectos de ciclo día-noche con posiciones correctas del sol, incluye un shader skybox atmosférico, mejoras en la iluminación en función de la altitud del sol, cambio de estaciones climáticas, sistema de nubes y efectos sonoros para una mayor interacción en el escenario.



**Figura 23.** Enviro Asset

Fuente: (ENVIRO, 2017)

### 2.3.4.6 AQUAS Water System

AQUAS nació con la necesidad de tener un shader de agua que no sea alto en rendimiento y que su visualización sea adecuada a nivel gráfico en su ejecución (Dogmatic Games, 2017). Es un sistema que contiene 9 shaders diferentes para todo tipo de entornos y requisitos, ya sea aguas tranquilas o con animaciones como se muestra en la Figura 24, que se han optimizado para funcionar en dispositivos móviles, así como en juegos de escritorio.



*Figura 24.* AQUAS Water System Asset

Fuente: (Dogmatic Games, 2017)

## 2.4 Herramientas de modelado 3D

En la actualidad existe una amplia variedad de programas de modelado 3D denominados también modeladores, que permiten generar objetos tridimensionales e imágenes fotorrealistas, sin embargo, pocos reúnen tres características claves que interesan a los desarrolladores; utilizar poco espacio en el disco al instalarse, bajo consumo de recursos del computador y que sea compatible con la plataforma de desarrollo de entornos Unity 3D.

### 2.4.1 3ds MAX

Software de modelado, animación y renderización 3D que permite crear gigantescos mundos en juegos, sorprendentes escenas para visualización del diseño y atractivas experiencias de realidad virtual (VR) (Autodesk, 2018) (Ver Figura 25).

Originalmente llamado 3D Studio, 3ds Max ofrece funcionalidad orientada a la facilidad de uso y una reproducción rápida de imágenes y animaciones. Además, que la arquitectura de 3ds Max se basa en plugins haciendo de esta una aplicación robusta y versátil.



*Figura 25.* Logotipo 3DS MAX  
Fuente: (Hatchway CAD Academy, 2018)

## 2.5 Metodología de Desarrollo

Este proyecto entra en el ámbito de desarrollo de videojuegos al ser un sistema de simulación elaborado en un motor de videojuegos, las metodologías que se utilizan en el desarrollo de videojuegos siguen principios ágiles debido a que son iterativas e incrementales, además de que existe interacción frecuente con el cliente y no presenta problemas ante requisitos cambiantes (Acerenza, 2009).

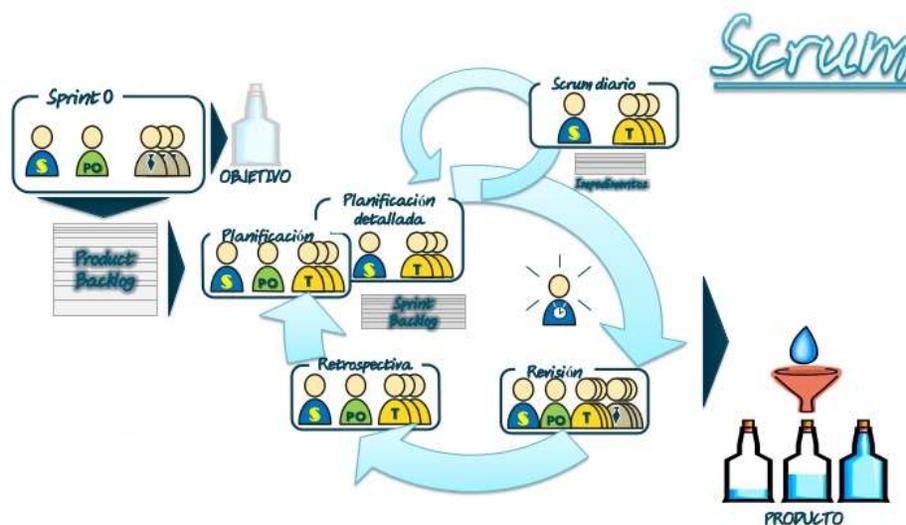
La metodología ágil que se utiliza en el proceso de creación del simulador es Scrum, donde su objetivo es entregar un proyecto de calidad en tiempo y costo, así como el incremento de la eficacia y eficiencia.

## 2.5.1 Scrum

Según (Scrum Alliance, 2017), Scrum es un marco de procesos que se ha utilizado para gestionar el trabajo en productos complejos desde principios de los años noventa, elaborado por Jeff Sutherland y su equipo de desarrollo. Scrum no es un proceso, técnica o método definitivo. Más bien, es un marco dentro del cual puede emplear varios procesos y técnicas. Scrum deja en claro la eficacia relativa de su gestión de productos y técnicas de trabajo para que pueda mejorar continuamente el producto, el equipo y el entorno de trabajo.

### 2.5.1.1 Desarrollo Scrum

La metodología Scrum propone dos etapas al momento de la organización del trabajo. La primera etapa denominada Sprint 0 y la segunda etapa de iteraciones sucesivas también denominadas Sprints (Alonso Álvarez García, 2012). En la Figura 26 se ilustra el ciclo de vida de Scrum.



**Figura 26.** Ciclo de vida Scrum

Fuente: (Alonso Álvarez García, 2012)

El Sprint 0, es la etapa inicial en la que se intenta determinar la viabilidad del proyecto, mediante el estudio de las políticas y recursos necesarios. En esta etapa se presenta la primera versión de la lista de requerimientos generales del sistema, la cual se convertirá en el Product Backlog, mismo que será rectificado en la etapa de iteraciones sucesivas o Sprints.

**Tabla 8**

*Actividades de cada Sprint*

<b>Actividades</b>	<b>Descripción</b>
<b>Planificación</b>	En esta actividad se elabora o se establece el plan del trabajo a desarrollar en el Sprint. Este plan es creado por la gestión colaborativa de todo el equipo Scrum. En este trabajo se realiza el proceso de valoración de cada requerimiento especificado en el Product Backlog, donde se estima el esfuerzo necesario junto con el criterio de aceptación. Como resultado de este proceso se obtiene un conjunto de tareas denominado Sprint Backlog. Una vez que el equipo de desarrollo haya elegido la cantidad de requerimientos se procede a derivar cada uno en un listado de tareas más accesibles.
<b>Scrum diario</b>	Es un evento de 15 min donde cada miembro del equipo de desarrollo presenta las tareas que se han realizado, las que realizarán a futuro y a que dificultades se han enfrentado durante el desarrollo del trabajo. Esto permite inspeccionar el progreso hacia la meta de Sprint y analizar cómo avanza para completar el trabajo en la acumulación de Sprint, optimizando la probabilidad de que el equipo de desarrollo cumpla con la meta de Sprint. Como resultado de esta actividad se consigue una lista de problemas o impedimentos que deberán ser atendidos para evitar retrasos en el trabajo.
<b>Revisión</b>	Esta actividad se la realiza al finalizar cada Sprint con el objetivo de evaluar el incremento del producto y adaptar el retraso del mismo si es necesario. El equipo de desarrollo deberá presentar un avance donde, el cliente pueda evaluar los criterios de aceptación, definidos en la primera actividad.

---

**Retrospectiva** El objetivo de esta última actividad permite que el equipo de desarrollo se evalúe a sí mismo, generando un plan para implementar mejoras durante el próximo Sprint.

---

Fuente: Modificado de (Scrum Alliance, 2017)

### 2.5.1.2 Equipo de Scrum

Son todos los individuos que actúan de forma directa con el proyecto, formando un grupo auto organizado, con el objetivo de elegir la mejor manera de realizar el trabajo, optimizando la creatividad y la productividad, entregando versiones de los productos en forma iterativa e incremental, garantizando su funcionamiento (Ver Tabla 9).

**Tabla 9**

*Roles de Scrum*

<b>Rol</b>	<b>Descripción</b>
<b>Product Owner</b>	Es la persona responsable de administrar el Product Backlog, asegurando que la lista de requerimientos del producto sea transparente y clara para todo el equipo Scrum. Además, es el responsable de optimizar el valor del producto realizado por el equipo de desarrollo.
<b>Scrum Master</b>	Esta persona debe dominar la teoría, las prácticas, las reglas y los valores de Scrum, para ayudar a todas las personas involucradas a comprender Scrum.
<b>Equipo de Desarrollo</b>	Está conformado por profesionales que realizan el trabajo de entregar un incremento, es decir una versión funcional del producto en cada Sprint. El equipo de desarrollo está autorizado por la organización para organizar y gestionar su propio trabajo.

Fuente: Modificado de (Scrum Alliance, 2017)

### 2.5.1.3 Artefactos de Scrum

Scrum, en su metodología define una lista de artefactos o herramientas que cumplen con el objetivo de maximizar la transparencia de la información, mantener el control de la información

significativa e inspección del trabajo para que todos los integrantes del equipo Scrum cuenten con la misma comprensión del mismo (Ver Tabla 10).

**Tabla 10**

*Artefactos de Scrum*

<b>Artefacto</b>	<b>Descripción</b>
<b>Product Backlog</b>	Es una lista ordenada de todo lo que se sabe que es necesario para el producto, es decir de los requisitos del usuario. Es la única fuente de requisitos para cualquier cambio que se realice en el producto. El Product Owner es el responsable de este artefacto incluyendo su contenido, disponibilidad y ordenamiento.
<b>Sprint Backlog</b>	Es el conjunto de tareas refinadas del Product Backlog, que el equipo de desarrollo debe realizar durante un Sprint, generando un pronóstico sobre que funcionalidad estará en el siguiente incremento y el trabajo necesario para entregarla, garantizando la mejora continua.
<b>Product Increment</b>	Es la suma de todas las tareas completadas durante un Sprint, al final de cada Sprint el nuevo incremento debe estar en condiciones utilizables y cumplir con los requerimientos establecidos.

Fuente: Modificado de (Scrum Alliance, 2017)

## CAPITULO III

### FASE DE DISEÑO

Este capítulo se centra en la definición de aspectos de diseño del proyecto como la especificación de requisitos y diagramas UML, que ayudan en el proceso de desarrollo del simulador.

#### 3.1 Equipo de Trabajo

Para el desarrollo del proyecto se contó con un equipo de personas que tienen el discernimiento necesario dentro del área de conocimiento. Además, se dispuso de un profesional en el campo de la programación y animación 3D que valide la información junto con los objetos que presentará el simulador (Ver Tabla 11).

**Tabla 11**

*Equipo de trabajo*

Nombre	Campo Profesional	Función	Información de Contacto
Ingeniero César Villacis	Ingeniero en Sistemas	Director del Proyecto	<a href="mailto:cjvillacis@espe.edu.ec">cjvillacis@espe.edu.ec</a>
Wilmer Crisanto	Egresado de la Carrera de Ingeniería en Sistemas	Desarrollador Tester Documentador	<a href="mailto:wscrisanto@espe.edu.ec">wscrisanto@espe.edu.ec</a>
Andrés Gavilanes	Egresado de la Carrera de Ingeniería en Sistemas	Desarrollador Documentador	<a href="mailto:argavilanes1@espe.edu.ec">argavilanes1@espe.edu.ec</a>

### 3.2 Acrónimos

**IR:** Identificación de requerimiento

**RE:** Requerimiento específico

**NR:** Nombre del requerimiento.

**RF:** Requisito funcional.

### 3.3 Requisitos Específicos

Son los requisitos que permitirán planificar, diseñar y desarrollar el simulador de lahares (Ver Tabla 12).

**Tabla 12**  
*Requisitos Específicos*

<b>RE</b>	<b>NR</b>	<b>Descripción</b>
<b>RE01</b>	Modelamiento 3D	El sistema deberá contar con los modelos 3D de la Unidad Educativa Giovanni Antonio Farina.
<b>RE02</b>	Modelamiento 3D	El modelo 3D de cada edificio o construcción deberá poseer foto realismo.
<b>RE03</b>	Levantamiento Topográfico 3D	El sistema deberá contar con el levantamiento de topográfico 3D del volcán Cotopaxi basado en datos satelitales.
<b>RE04</b>	Levantamiento Topográfico 3D	El sistema deberá contar con el levantamiento de topográfico 3D del sector Triángulo basado en datos satelitales.
<b>RE05</b>	Crear Mundo Virtual	El sistema deberá integrar los modelos y los terrenos 3D para crear el mundo virtual.
<b>RE06</b>	Crear Mundo Virtual	El mundo virtual deberá contar con aspectos realistas

**CONTINÚA** 

		como texturas, vegetación y objetos (carreteras, puentes, barandillas, vallas, muros, líneas eléctricas, etc.)
<b>RE07</b>	Interacción del Usuario	El usuario deberá poder desplazarse en el mundo virtual con la ayuda de un mouse y un teclado.
<b>RE08</b>	Interacción del Usuario	El usuario deberá poder correr, saltar y colisionar con los objetos del mundo virtual.
<b>RE09</b>	Física de Fluidos	El sistema deberá contar con física de fluidos para la simulación de lahares.
<b>RE10</b>	Efectos Medioambientales	El sistema deberá contar con efectos medioambientales que le otorgaran realismo al simulador.

### 3.3.1 Requisitos Funcionales

Se detallan los requisitos funcionales que tendrá el simulador de lahares (Ver Tabla 13), para lo cual se ha tomado en cuenta los requerimientos específicos mostrados anteriormente (Ver Tabla 12).

**Tabla 13**

*Requisitos Funcionales*

<b>RE</b>	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
<b>RE01</b>	Modelamiento 3D	El sistema permitirá la visualización fotorrealista de los modelos 3D de la Unidad Educativa Giovanni Antonio Farina y de sus alrededores.
<b>RE02</b>	Levantamiento Topográfico 3D	El sistema presentara los mapas topográfico 3D tanto del volcán Cotopaxi como del sector Triángulo generados en base a datos capturados satelitalmente.
<b>RE03</b>	Crear Mundo Virtual	El sistema integrará los modelos y los mapas 3D para crear el mundo virtual. El mundo virtual deberá

**CONTINÚA** 

	contar con aspectos realistas como texturas, vegetación y objetos (carreteras, puentes, barandillas, vallas, muros, líneas eléctricas, etc.) para su posterior visualización.
<b>RE04</b> Interacción del Usuario	El sistema permitirá al usuario desplazarse por todo el mundo virtual, así como correr, saltar, girar y colisionar con los objetos presentados en el mismo.
<b>RE05</b> Física de Fluidos	El sistema presentara la simulación de los lahares del volcán Cotopaxi utilizando de física de fluidos para lograr este objetivo.
<b>RE06</b> Efectos Medioambientales	El sistema permitirá visualizar efectos medioambientales que le otorgarán realismo al simulador.

### 3.3.2 Requisitos No Funcionales

Se habla de los atributos no funcionales que debe cumplir el simulador de lahares. Estos factores garantizaran el rendimiento, seguridad, fiabilidad y disponibilidad del mismo al finalizar el desarrollo.

#### A. Rendimiento

La simulación necesita de un computador robusto para que funcione con fluidez, la capacidad de memoria gráfica debe ser mayor a 4Gb, una memoria RAM de más de 16Gb y que la velocidad del procesador sea mayor a 2.80GHz debido a la cantidad de procesamiento que necesita al renderizar los objetos 3D existentes en el simulador.

## **B. Seguridad**

Al ser una aplicación que no involucra el ingreso de datos ni conexiones a internet, garantiza seguridad al momento de utilizarlo.

## **C. Fiabilidad**

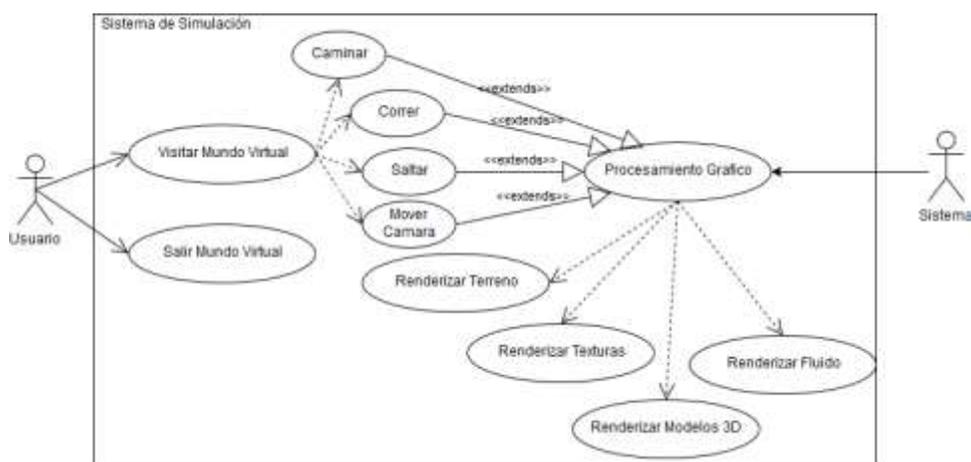
Todas las funciones que se identificaron en el desarrollo del proyecto deberán marchar de manera fiable, además al ser una simulación se asegura una alta probabilidad de buen funcionamiento siempre y cuando se cumplan el resto de requisitos descritos.

## **D. Disponibilidad**

La simulación se desarrolla como un proyecto de gran impacto que siempre se encontrará disponible para cualquier usuario. Esta condición depende del equipo donde se ejecutará debido a la capacidad de rendimiento que ofrezca.

### **3.4 Diagrama de Caso de Uso**

Un diagrama de Casos de Uso describe la manera en la que se utilizará un sistema (Kimmel, 2006). La Figura 27 muestra los casos de uso del simulador de lahar, así como los procesos que realiza el sistema al momento de ejecutarse.

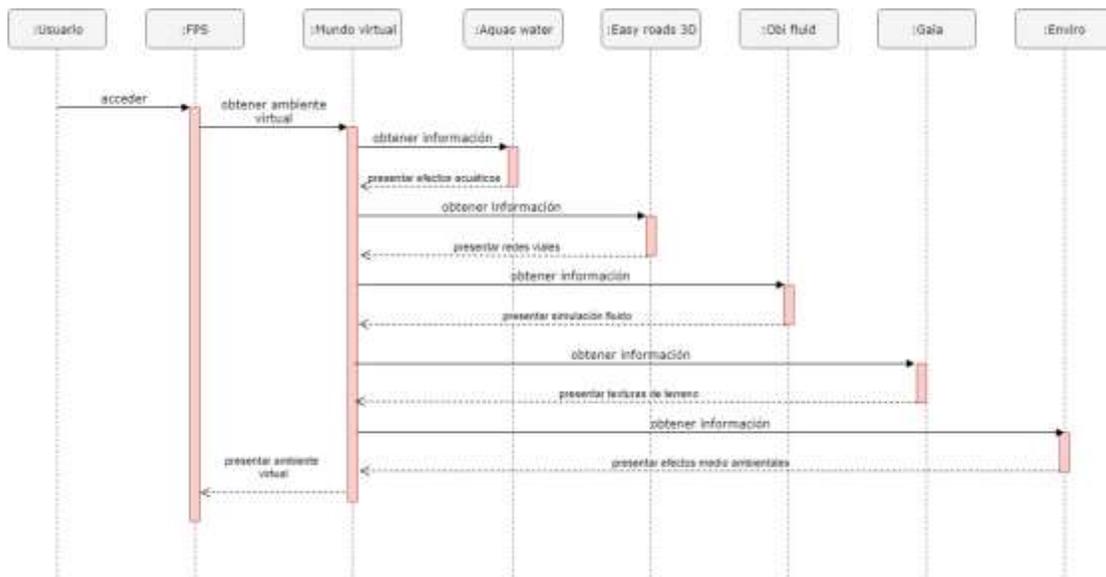


**Figura 27.** Diagrama de Casos de Uso

En el diseño del sistema de simulación de visualización de lahares del volcán Cotopaxi se identificaron dos actores quienes interactúan con el sistema de simulación. El primer actor es el usuario quien controla sus movimientos en el mundo virtual a través de un FPS. El segundo actor es el sistema de simulación de lahares el cual controla el procesamiento gráfico en los mundos virtuales como el renderizado de los terrenos, manejo de texturas, modelos 3D y sistema de fluidos, entre otros. En base a los requerimientos especificados, se identificó la necesidad de permitir al usuario interactuar con los objetos 3D, para permitirle una inmersión en el mundo virtual ofreciéndole las funcionalidades de “Caminar”, “Correr”, “Saltar” y “Mover Cámara”, se considera además que cada vez que el usuario realice alguna de estas actividades el sistema se encarga de renderizar todos los gráficos que se expondrán en pantalla, como se puede ver en la Figura 27.

### 3.5 Diagrama de Secuencia

Este es otro de los diagramas importantes de UML, muestra como los objetos interactúan entre sí y como están organizados en el tiempo (Kimmel, 2006).

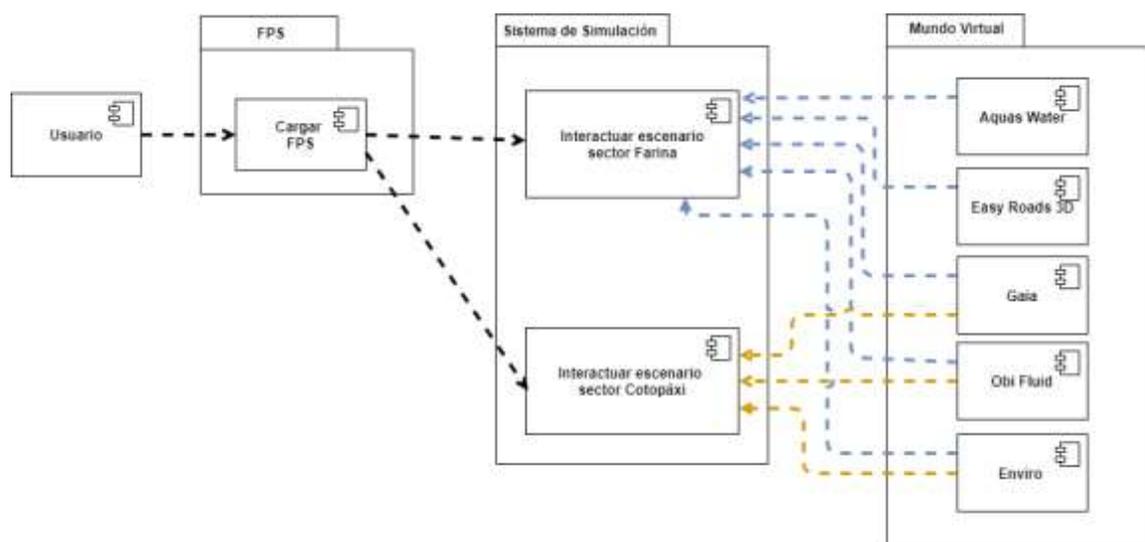


**Figura 28.** Diagrama de Secuencia

El diagrama identifica a cada Asset como un objeto que interactúa en el sistema debido a que individualmente se encargan de diferentes aspectos en la simulación. Se define FPS al objeto que permite la interacción en el mundo virtual y la interacción del usuario con el resto de objetos. En la Figura 28 se ilustra la secuencia de mensajes cuando el usuario ingrese a alguno de los escenarios del simulador.

### 3.6 Diagrama de Componentes

El diagrama de componentes presenta cómo un sistema de software es dividido en componentes e indica las dependencias que existe entre estos (Kimmel, 2006).



**Figura 29.** Diagrama de Componentes

La Figura 29 presenta el diagrama de componentes del sistema de simulación el cual indica las dependencias que existen entre todos los componentes que lo conforman y muestra cómo se divide el sistema. En el mundo virtual se encuentran todos los assets que se usarán en Unity 3D que aportan con la física del entorno y la interacción del usuario. Además, se observa que la simulación se encuentra dividida en dos escenarios correspondientes al Sector del Triángulo y al sector del Parque Nacional del volcán Cotopaxi; finalmente en el bloque FPS se encuentra el personaje que el usuario controla dentro del mundo virtual.

## CAPITULO IV

### FASE DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO

Para la fase de planificación y desarrollo se empleó la metodología Scrum la cual abordó la manera en la que se constituyó el presente trabajo dividiéndolo en 3 etapas con entregables funcional.

#### 4.1 Planificación

Para empezar, la metodología Scrum propone crear la pila del producto o Product Backlog, que se realizó en base a los requerimientos presentados en el capítulo anterior.

Es importante especificar el formato de presentación del documento, que contendrá la realización de la pila del producto, para su mayor comprensión. Los campos que acogerá el formato son:

- **ID:** Identificador exclusivo de cada ítem.
- **Historia de usuario:** Detalle general del requerimiento.
- **Estimación:** Escala tiempo estimado 1-4 semanas.
- **Prioridad:** Importancia que tendrá cada ítem con relación al resto mediante una escala de 1 a 5 siendo 1 la menos importante.
- **Criterio de aceptación:** Funcionalidad mínima que deberá tener el demo del producto.

Se presenta todos los requerimientos o historias de usuario en el formato de presentación previamente mencionado (Ver Tabla 14).

**Tabla 14***Pila de Producto*

<b>ID</b>	<b>Historia de Usuario</b>	<b>Estimación (Semanas)</b>	<b>Prioridad</b>	<b>Criterio de Aceptación</b>
1	Modelamiento 3D	4	4	Visualizar los modelos 3D de la Unidad Educativa Giovanni Antonio Farina con texturas fotorrealistas de paredes, puertas y ventanas.
2	Levantamiento Topográfico 3D	1	5	Visualizar los mapas topográficos 3D del volcán Cotopaxi y del sector Triángulo generados en base a datos capturados satelitalmente.
3	Crear Mundo Virtual	3	5	Integración de los modelos fotorrealistas 3D de la Unidad Educativa y los mapas topográficos 3D, visualizar el mundo virtual con aspectos realistas como texturas, vegetación y objetos (carreteras, puentes, barandillas, vallas, muros, líneas eléctricas, etc.)
4	Interacción del Usuario	1	4	Ingresar al prototipo del mundo virtual, comprobar la interacción del usuario con el mundo virtual, visualizar fenómenos físicos como gravedad y colisiones con objetos del mismo.
5	Física de Fluidos	2	5	Ingresar al sistema, visualizar la simulación de los lahares del volcán Cotopaxi, comprobar el uso de física de fluidos.
6	Efectos	1	2	Ingresar al sistema, visualizar los

**CONTINÚA** 

Medioambientales	efectos medioambientales ciclo día-noche, iluminación, clima, etc.
------------------	--

## 4.2 Desarrollo de la primera iteración

Para esta iteración se ha seleccionado la primera historia de usuario que tendrá una duración de 4 semanas. Dicha historia de usuario especifica la creación del modelo 3D de la Unidad Educativa Giovanni Antonio Farina y la colocación de texturas fotorrealistas en la misma (Ver Tabla 15).

**Tabla 15**

*Historia de usuario Sprint 1*

ID	Historia de Usuario	Estimación (Semanas)	Prioridad	Criterio de Aceptación
1	Modelamiento 3D	4	4	Visualizar los modelos 3D de la Unidad Educativa Giovanni Antonio Farina con texturas fotorrealistas de paredes, puertas y ventanas.

### 4.2.1 Sprint Backlog – Iteración 1

En este punto se definen las tareas necesarias para cumplir con el criterio de aceptación de la historia de usuario seleccionada. Se describe la lista de tareas, su responsable, product backlog al que pertenece y las fechas de entrega (Ver Tabla 16).

**Tabla 16**  
*Sprint Backlog 1*

<b>Sprint</b>	<b>Inicio</b>		<b>Duración (semanas)</b>	<b>5 Mar – 9 Mar</b>	<b>12 Mar - 6 Abr</b>
<b>1</b>	<b>05/03/2018</b>		<b>4</b>		
<b>ID</b>	<b>Tarea</b>	<b>Responsable</b>	<b>Product Backlog</b>		
<b>1</b>	Adquisición de Planos Arquitectónicos de la unidad Educativa Geovanni Antonio Farina	Wilmer Crisanto	1	x	
<b>2</b>	Recolección de Texturas mediante fotos	Wilmer Crisanto	1	x	
<b>3</b>	Transformación de planos arquitectónicos a formato DWG	Wilmer Crisanto	1	x	
<b>4</b>	Modelado 3D del edificio de primaria	Wilmer Crisanto	1		x
<b>5</b>	Modelado 3D del edificio de secundaria	Andrés Gavilanes	1		x
<b>6</b>	Modelado 3D de edificios administrativos	Andrés Gavilanes	1		x
<b>7</b>	Aplicación de Texturas a los modelos 3D	Wilmer Crisanto	1		x
<b>8</b>	Conversión a elementos compatibles en el motor de videojuegos	Andrés Gavilanes	1		x

#### 4.2.2 Revisión y Seguimiento – Iteración 1

Para medir el avance del Sprint se listan las tareas completadas y pendientes encargadas a los desarrolladores. Se muestra que tareas se completaron en este Sprint y la cantidad de horas necesarias para lograrlo (Ver Tabla 17).

**Tabla 17***Tareas Completadas 1*

<b>Tareas asignadas a: Wilmer Crisanto y Andrés Gavilanes</b>		<b>Número de Tareas: 8</b>			
<b>ID</b>	<b>Tarea</b>	<b>Iteración</b>	<b>Estado</b>	<b>Fecha</b>	<b>Horas</b>
1	Adquisición de Planos Arquitectónicos de la unidad Educativa Geovanni Antonio Farina	1	Completada	06/03/2018	8
2	Recolección de Texturas mediante fotos	1	Completada	08/03/2018	8
3	Transformación de planos arquitectónicos a formato DWG	1	Completada	09/03/2018	6
4	Modelado 3D del edificio de primaria	1	Completada	19/03/2018	48
5	Modelado 3D del edificio de secundaria	1	Completada	19/03/2018	48
6	Modelado 3D de edificios administrativos	1	Completada	26/03/2018	40
7	Aplicación de Texturas a los modelos 3D	1	Completada	05/04/2018	48
8	Conversión a elementos compatibles en el motor de videojuegos	1	Completada	06/04/2018	8

La Figura 30-31 mide el avance del proyecto en el Sprint así como el número de tareas en relación al tiempo planificado para la entrega respectivamente.



**Figura 30.** Esfuerzo Pendiente – Sprint 1



**Figura 31.** Tareas Cumplidas – Sprint 1

### 4.2.3 Desarrollo del Sprint – Iteración 1

#### 4.2.3.1 Planos Arquitectónicos

El plano arquitectónico es la representación geométrica de las diferentes secciones de una casa, departamento o edificio como se ilustra en la Figura 32. Los dibujos principales son de pisos, elevaciones o de alzado lateral y de igual manera los detalles para dar mayor claridad.



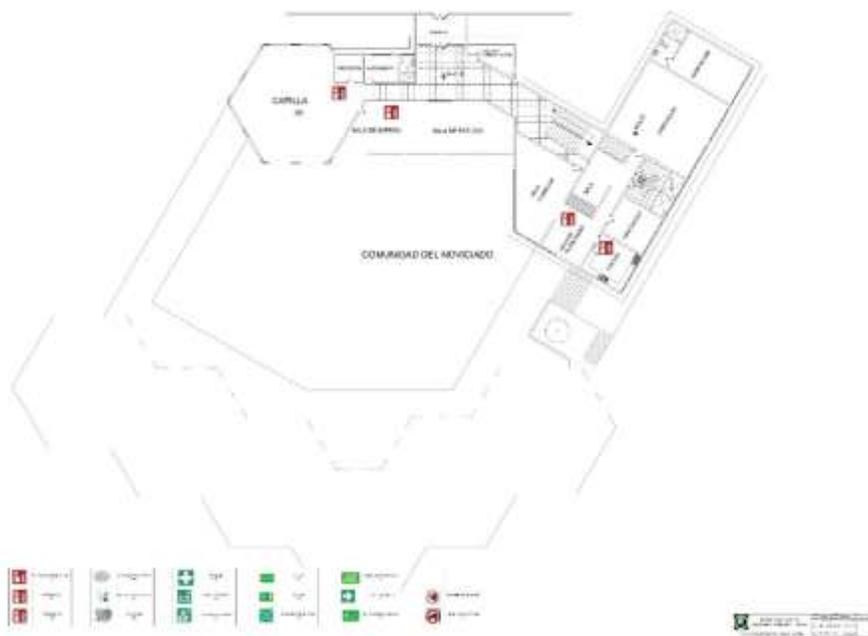
*Figura 32.* Esquema de un plano arquitectónico

#### 4.2.3.2 Modelado 3D de edificios

Para el presente trabajo se contó con los mapas de evacuación de la Unidad Educativa Giovanni Antonio Farina como se ilustra en las Figuras 33-36, los mismos que contenían parcialmente la información de los planos arquitectónicos de la institución, estos especificaban la colocación de objetos tales como puertas y ventanas, así como su ubicación. Sin embargo, carecían de información acerca de las dimensiones de cada una de las paredes y a su vez de la altura adecuada del techo.



**Figura 33.** Mapa de evacuación jardín planta baja  
Fuente: (Unidad Educativa Giovanni Antonio Farina, 2016)



**Figura 34.** Mapa de evacuación jardín planta alta  
Fuente: (Unidad Educativa Giovanni Antonio Farina, 2016)

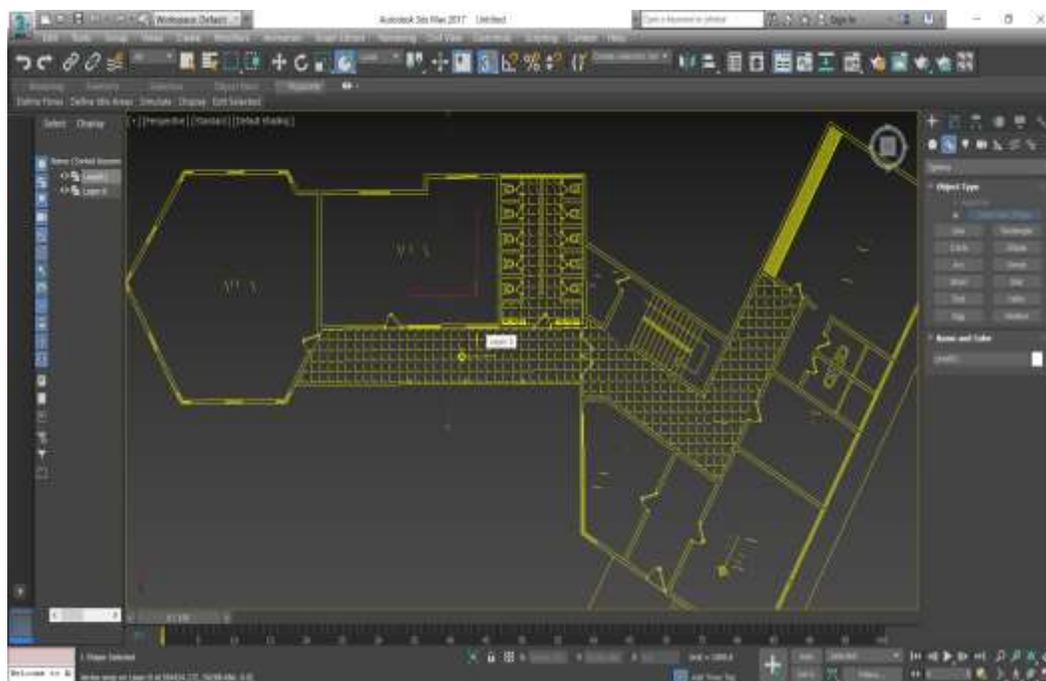


**Figura 35.** Mapa de evacuación colegio planta baja  
Fuente: (Unidad Educativa Giovanni Antonio Farina, 2016)



**Figura 36.** Mapa de evacuación colegio planta alta  
Fuente: (Unidad Educativa Giovanni Antonio Farina, 2016)

Antes de la extrusión del modelo, el usuario tiene la opción de cargar a 3ds MAX Studio un plano arquitectónico, el cual debe estar en formato DWG (drawing) por su compatibilidad con la herramienta de modelado (Ver Figura 37).



*Figura 37.* Plano arquitectónico en 3D Max Studio

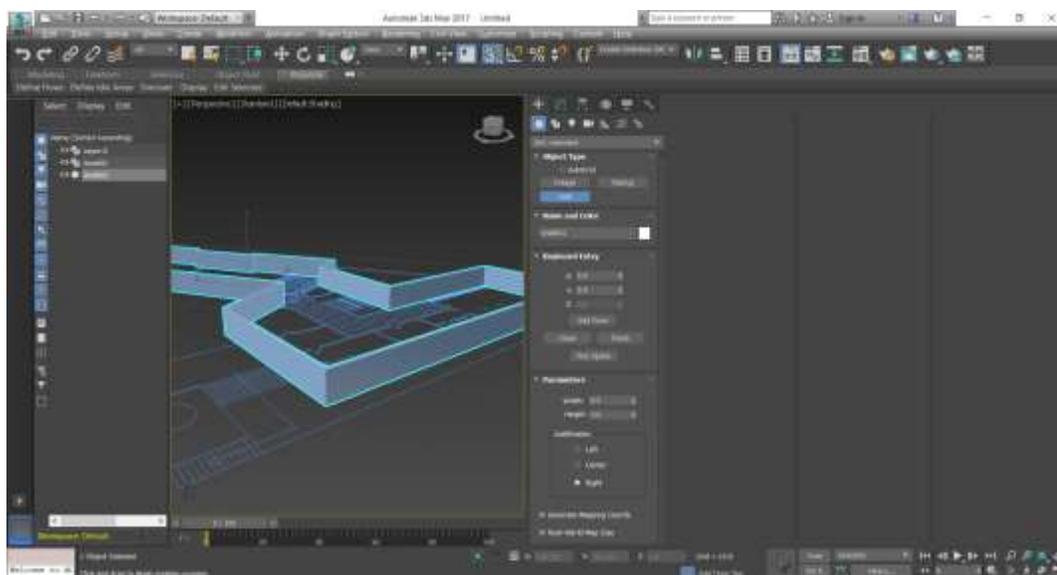
#### **4.2.3.3 Modelado arquitectónico**

Un modelo de construcción 3D completo tiene tres ensamblajes principales: paredes, componentes arquitectónicos, pisos y techos. La extrusión debe manejar cada parte de manera diferente según sus características únicas y las necesidades específicas de la misma.

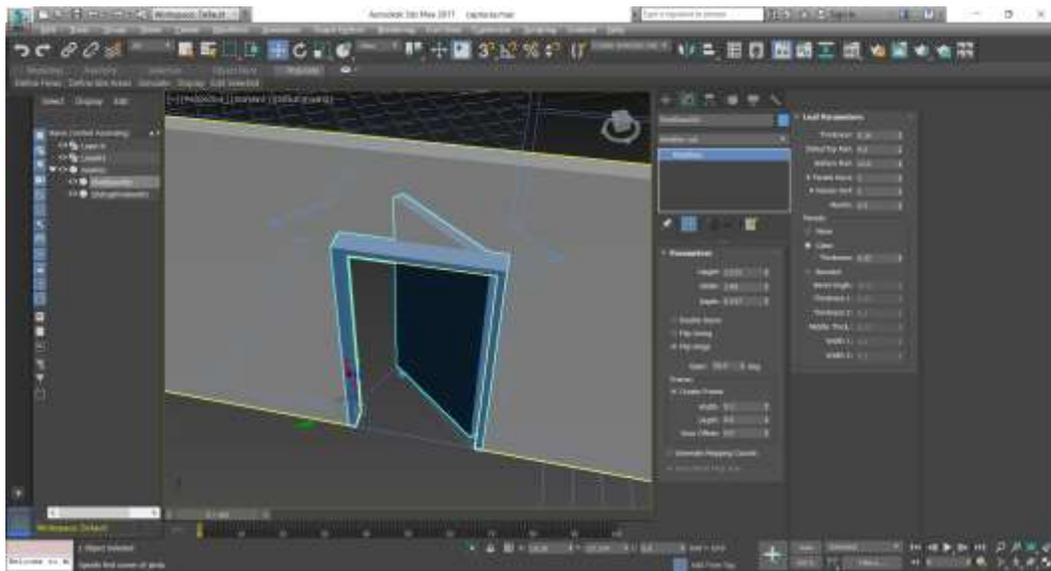
Generar una sección de muro 3D desde su proyección 2D es sencillo. Sin embargo, crear una sección de muro 3D de acuerdo a un plano es complejo. Existen varias formas de abordar esta complejidad, una de ellas y la que se usó en este trabajo, es la búsqueda de contorno, que consiste en un recorrido guiado por vértices de pared con entradas cerradas. La búsqueda de contorno no

solo puede ayudar a identificar las facetas normales y el perímetro del edificio, sino también proporcionar una representación del edificio orientado a objetos en términos de habitaciones y espacios abiertos.

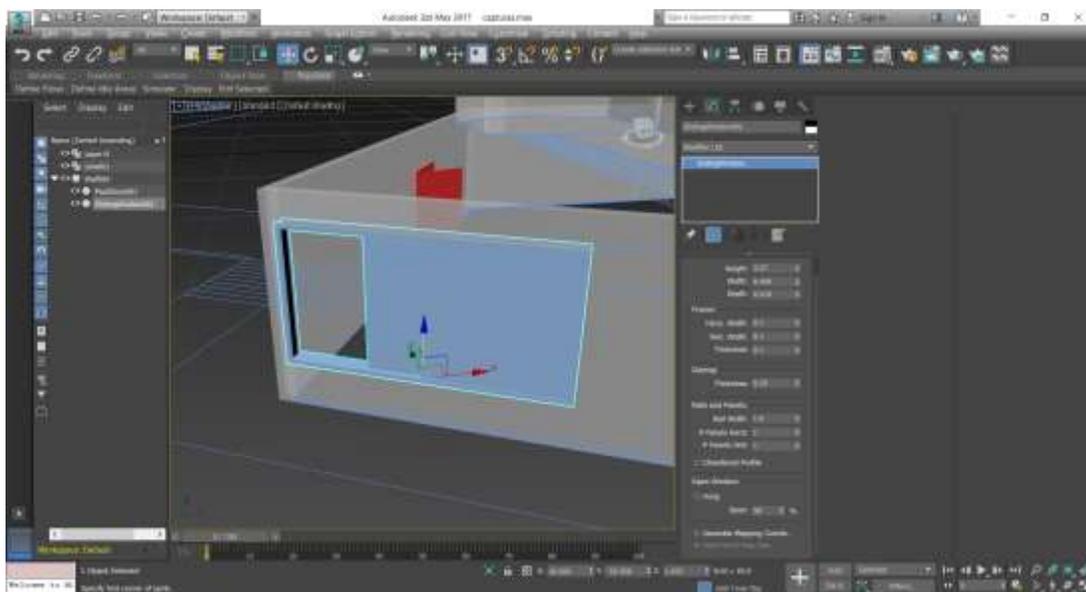
La construcción de un modelo 3D sólido de un edificio, es posible una vez que se haya analizado el plano arquitectónico del mismo. 3ds MAX Studio debe recibir valores para las propiedades del modelo 3D resultante, que no están directamente especificadas por el plano arquitectónico 2D. La más esencial de estas propiedades, es la información de la altura, la cual no se encontraba incluida en los mapas de evacuación y por lo tanto, se especificó adecuadamente la altura para cada una de las paredes, así como para las aberturas de puertas y ventanas, como se muestra en la Figura 38-41 respectivamente. Existen algunos parámetros no geométricos que el usuario también puede modificar, como colores y texturas de los cuales hablaremos más adelante.



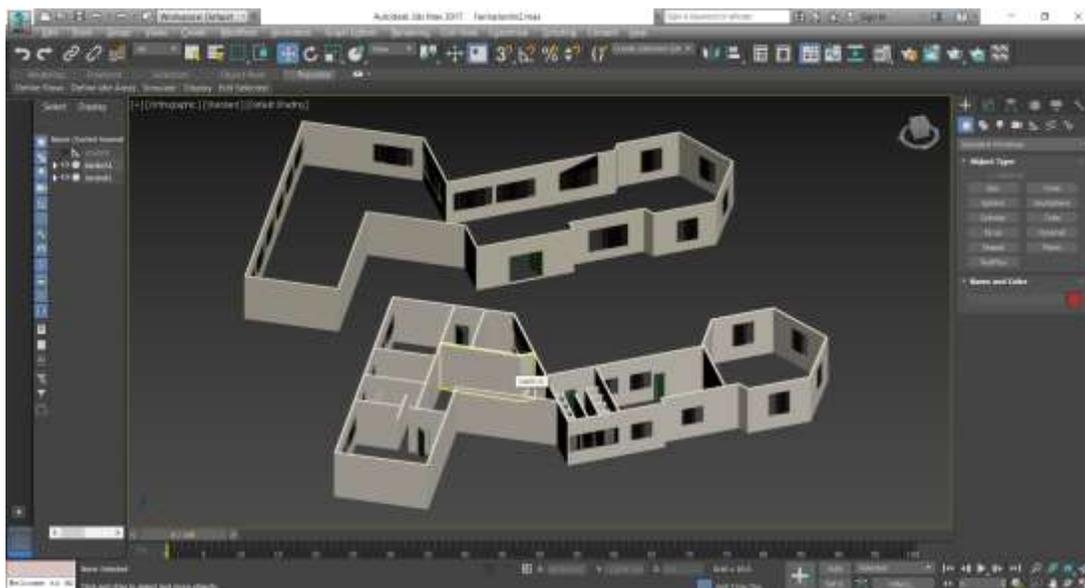
**Figura 38.** Parámetros de paredes



*Figura 39.* Parámetros de puertas

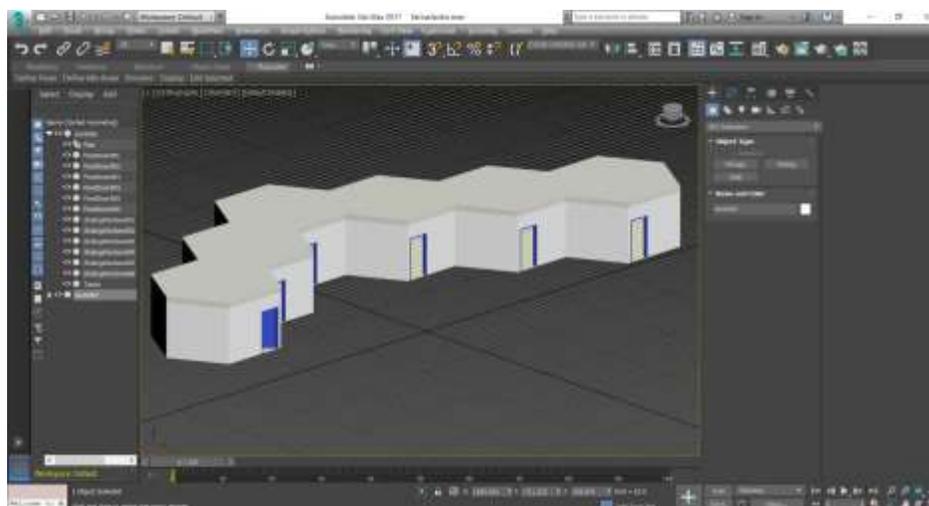


*Figura 40.* Parámetros de ventanas



**Figura 41.** Modelo paredes, puertas y ventanas

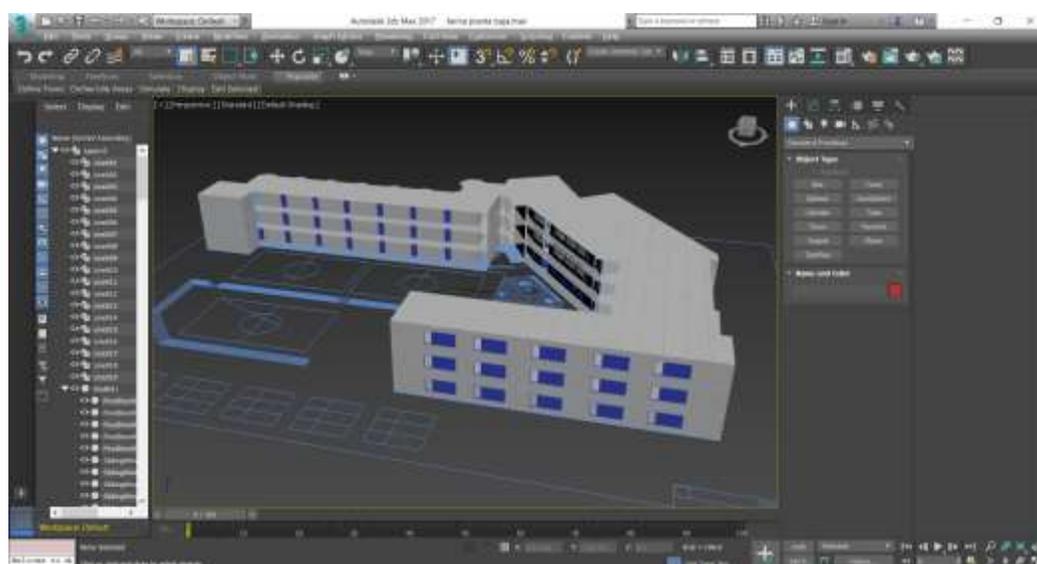
Luego de modelar cada piso individualmente, los pisos se apilan para formar el modelo de construcción 3D completo, como se ilustra en la Figura 42-44. Los agujeros pueden existir por encima o por debajo de los pisos cuyos contornos exteriores no coinciden con los pisos adyacentes superiores o inferiores. Con el fin de sellar estas aberturas, 3ds MAX Studio cuenta con una ventana grafica de zoom infinita que permite ensamblar los pisos con precisión.



**Figura 42.** U.E “Giovanni A. Farina” Jardín- Edificio 1



*Figura 43.* U.E “Giovanni A. Farina” Jardín - Edificio 2

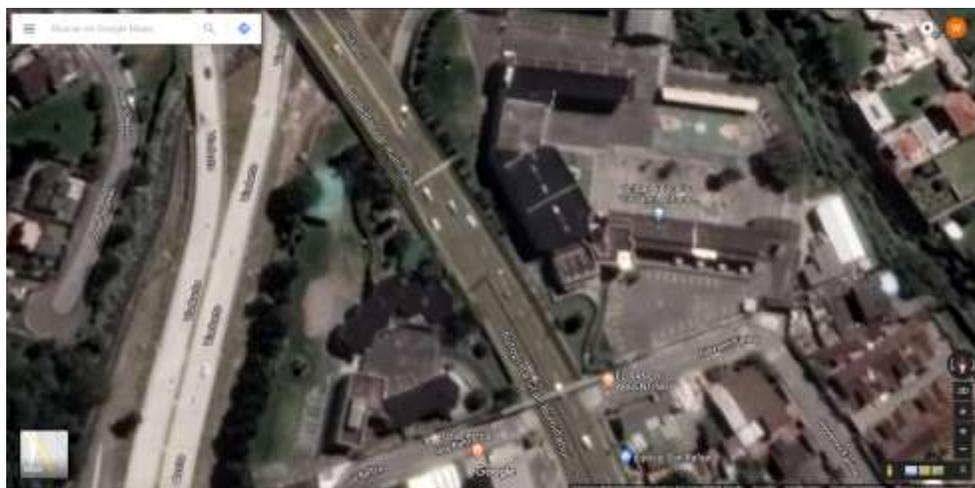


*Figura 44.* U.E “Giovanni A. Farina” Colegio

#### 4.2.3.4 Modelado Fotorrealista

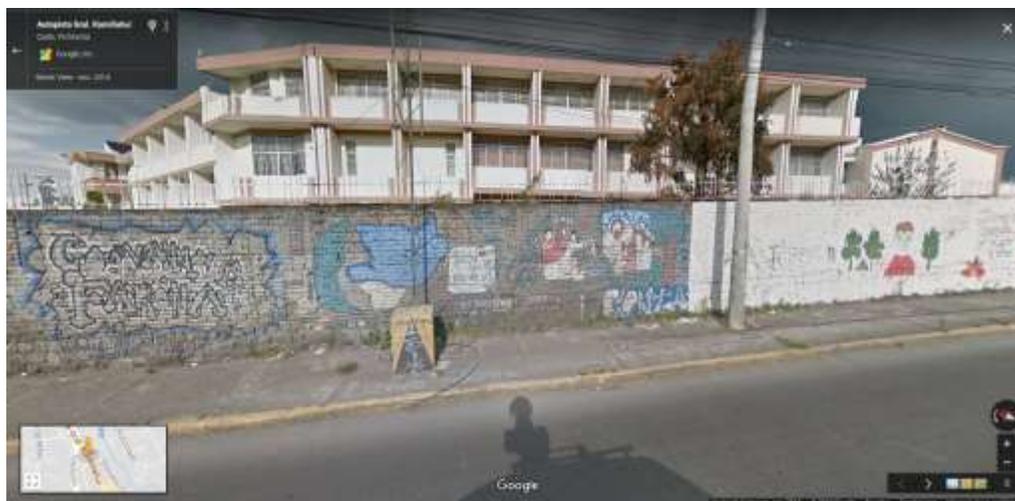
Para el modelado de edificios fotorrealistas, cada fachada del edificio requiere una asociación a una textura realista, que posiblemente esté compuesta por una imagen con forma; para adquirir y asociar las imágenes a objetos de construcción, para techos y paredes. Como se mencionó

anteriormente, un edificio está separado del techo y las paredes por un modelo geométrico y texturizado. Tanto para la textura del techo como para la textura de pared, se utilizó imágenes recogidas por el satélite de Google Maps, como se muestra en la Figura 45-46 respectivamente.



**Figura 45.** U.E “Giovanni A. Farina” vista aérea

Fuente: (Google, 2014).



**Figura 46.** U.E “Giovanni A. Farina” vista lateral

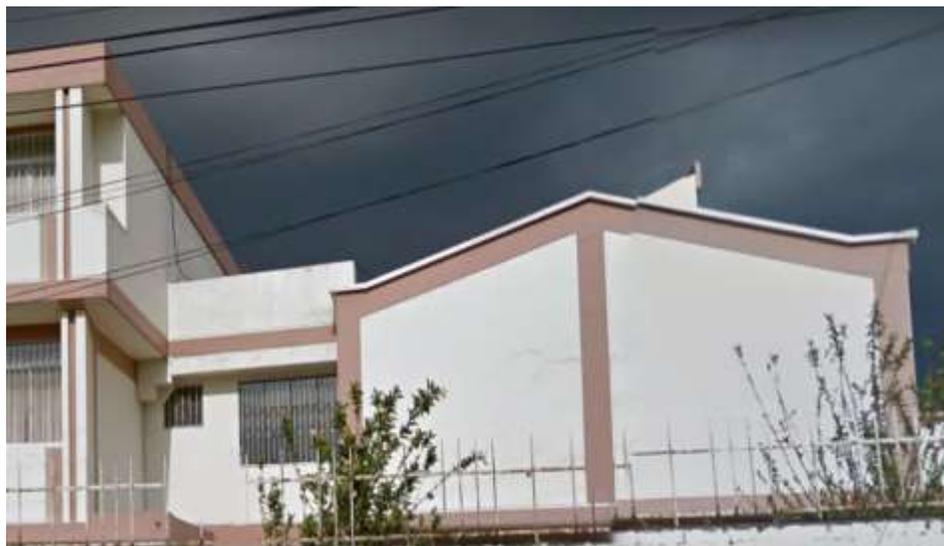
Fuente: (Google, 2014).

Después de completar el diseño monocromático 3D de la Unidad Educativa Giovanni Antonio Farina con todos los bloques, el siguiente paso del proyecto fue obtener imágenes de la

institución y texturizar las caras exteriores de los edificios que son visibles para cualquier persona que vea por fuera de toda la institución a través de Google Maps.

Como había muchos obstáculos frente a los edificios (árboles, farolas, automóviles) mientras se capturaban las imágenes, la pre-edición de las mismas antes de usarlas en el modelo era crucial. Capturar la vista más amplia posible de las superficies de construcción ayudó a crear las representaciones más realistas para las imágenes que se aplicarán al modelo. Para las caras con casi ningún obstáculo (árboles, farolas, automóviles, etc.) las fotos más grandes de la vista fueron suficientes y eficientes para representar la textura realista del modelo. Otra característica fundamental de las imágenes para la superficie de los edificios fue el ángulo de visión de cada imagen. Por esta razón, al capturar las imágenes de las superficies, la línea de visión de la cámara se posicionó perpendicularmente a las superficies del edificio. Una vez que se capturaron suficientes imágenes, el siguiente paso fue la edición previa de las imágenes con Adobe Photoshop antes de aplicarlas al modelo.

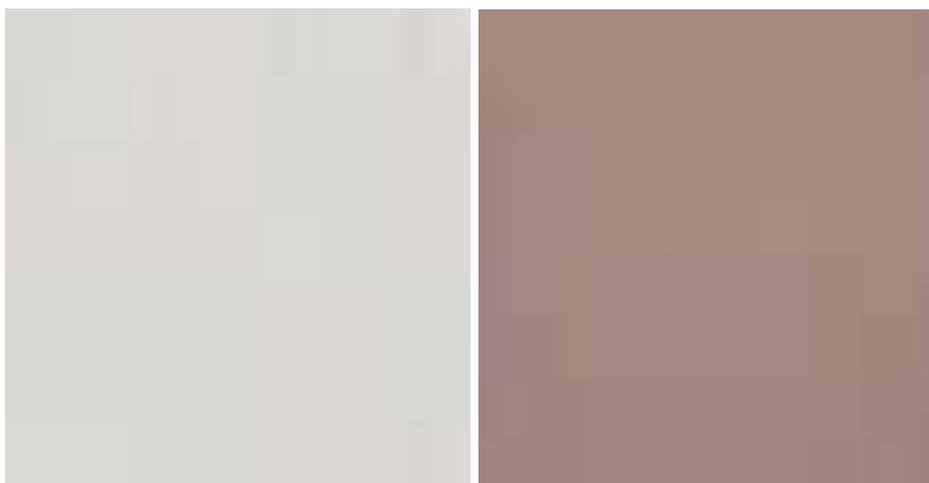
En esta parte la edición fue sobre el ángulo de visión de las imágenes. Dado que algunas imágenes tenían que ser tomadas en vista angular con respecto a la línea de visión, debido a los obstáculos que se encontraban frente a ellas, su perspectiva tenía que ser corregida para aplicarlas en las superficies de forma realista. Además, se ajustó la resolución de las imágenes que se usaron en el modelo. La herramienta de recorte de Photoshop se usó al hacer una corrección de perspectiva y resolución de las imágenes para obtener un mapa de textura. La Figura 47-49 son ejemplos de imágenes (originales y editadas), donde se aplica transformación de perspectiva, recorte, clonación, copiado, pegado y otras técnicas para obtener el mapa de textura.



*Figura 47.* U.E “Giovanni A. Farina” imagen original



*Figura 48.* U.E “Giovanni A. Farina” imagen editada



**Figura 49.** Mapa de textura, pared y columna

Posteriormente realizada la edición de las imágenes para el modelo, el siguiente paso fue colocar con precisión las imágenes en las superficies de los edificios. La función edición de materiales se usó para importar cualquier imagen editada, como el mapa de texturas en cada cara (superficie del edificio) en el modelo combinándolas con las texturas propias de 3D Max Studio. Si la imagen no se estira para llenar toda la superficie, se duplica automáticamente para rellenar los espacios restantes de la superficie. Es importante aplicar las imágenes como texturas, ya que Unity solo visualiza las imágenes que se aplican como texturas.

Para finalizar el modelo aplicamos materiales a cada una de las puertas y ventanas, para crear mayor realismo en el modelo. Los materiales que se utilizaron fueron propios de 3D Max, ya que esta herramienta permite crear nuevos materiales a partir de la combinación de otros. Finalmente, se presentan los modelos con texturas y materiales aplicados.

#### 4.2.4 Resultados del Sprint – Iteración 1

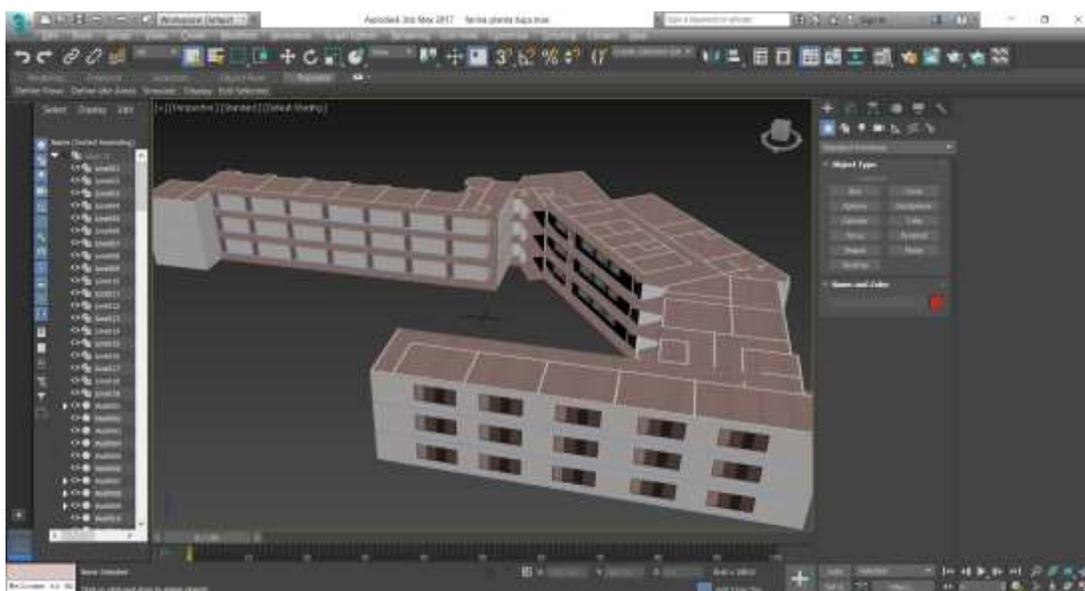
Los resultados de la primera iteración presentan, los modelos fotorrealistas 3D de los edificios de la Unidad Educativa Giovanni Antonio Farina. La Figura 50-52 muestra los detalles de los resultados.



*Figura 50.* U.E “Giovanni A. Farina” Jardín - Edificio 1 Completo



*Figura 51.* U.E “Giovanni A. Farina” Jardín - Edificio 2 Completo



**Figura 52.** U.E “Giovanni A. Farina” Colegio Completo

### 4.3 Desarrollo de la segunda iteración

Para esta iteración se ha seleccionado la segunda y tercera historia de usuario que tendrá una duración de 4 semanas. Se muestra dichas historias de usuario las cuales especifican la generación de los modelos topográficos 3D y la creación del mundo virtual de los sectores Cotopaxi y Triángulo con la colocación de objetos 3D para un mayor realismo (Ver Tabla 18).

**Tabla 18**

*Historias de usuario Sprint 2*

ID	Historia de Usuario	Estimación (Semanas)	Prioridad	Criterio de Aceptación
2	Levantamiento Topográfico 3D	1	5	Visualizar los mapas topográficos 3D del volcán Cotopaxi y del sector Triángulo generados en base a datos capturados satelitalmente.
3	Crear Mundo Virtual	3	5	Integración de los modelos fotorrealistas 3D de la Unidad

**CONTINÚA** 

Educativa y los mapas topográficos 3D, visualizar el mundo virtual con aspectos realistas como texturas, vegetación y objetos (carreteras, puentes, barandillas, vallas, muros, líneas eléctricas, etc.)

### 4.3.1 Sprint Backlog – Iteración 2

Al igual que la primera iteración, se definen las tareas necesarias para cumplir con el criterio de aceptación de las historias de usuario seleccionadas. A continuación se describe la lista de tareas, su responsable, el product backlog al que pertenece y las fechas de entrega (Ver Tabla 19).

**Tabla 19**  
*Sprint Backlog 2*

<b>Sprint</b>	<b>Inicio</b>	<b>Duración</b>	<b>09 Abr -</b>	<b>16 Abr -</b>
<b>2</b>	09/04/2018	<b>(semanas)</b>	<b>13 Abr</b>	<b>04 May</b>
		4		
<b>ID</b>	<b>Tarea</b>	<b>Responsable</b>	<b>Product Backlog</b>	
1	Levantamiento Topográfico 3D sector volcán Cotopaxi	Andrés Gavilanes	2	x
2	Levantamiento Topográfico 3D sector Triángulo	Wilmer Crisanto	2	x
3	Preparación y colocación de texturas en el mapa 3D sector Cotopaxi	Andrés Gavilanes	3	x
4	Preparación y colocación de texturas en el mapa 3D sector Triángulo	Wilmer Crisanto	3	x
5	Búsqueda y colocación de vegetación en el mapa 3D sector Cotopaxi	Andrés Gavilanes	3	x
6	Búsqueda y colocación de vegetación en el mapa 3D sector Triángulo	Wilmer Crisanto	3	x

7	Colocación de los modelos 3D de la Unidad Educativa sobre el mapa 3D sector Triángulo	Wilmer Crisanto	3	x
8	Preparación y colocación de objetos 3D (edificios, carreteras, rocas, muros, etc)	Andrés Gavilanes	3	x

#### 4.3.2 Revisión y Seguimiento – Iteración 2

Se mide el avance del Sprint listando las tareas completadas y pendientes encargadas a los desarrolladores. Se presenta que tareas se completaron en este Sprint y la cantidad de horas necesarias para lograrlo (Ver Tabla 20).

**Tabla 20**

*Tareas Completadas 2*

Tareas asignadas a: Wilmer Crisanto y Andrés Gavilanes		Número de Tareas: 8			
ID	Tarea	Iteración	Estado	Fecha	Horas
1	Levantamiento Topográfico 3D sector volcán Cotopaxi	2	Completada	13/04/2018	40
2	Levantamiento Topográfico 3D sector Triángulo	2	Completada	13/04/2018	40
3	Preparación y colocación de texturas en el mapa 3D sector Cotopaxi	2	Completada	20/04/2018	40
4	Preparación y colocación de texturas en el mapa 3D sector Triángulo	2	Completada	20/04/2018	40
5	Búsqueda y colocación de vegetación en el mapa 3D sector Cotopaxi	2	Completada	27/04/2018	40
6	Búsqueda y colocación de vegetación en el	2	Completada	27/04/2018	40

CONTINÚA 

mapa 3D sector Triángulo					
7	Colocación de los modelos 3D de la Unidad Educativa sobre el mapa 3D sector Triángulo	2	Completada	04/05/2018	30
8	Preparación y colocación de objetos 3D (edificios, carreteras, rocas, muros, etc)	2	Completada	04/05/2018	30

La Figura 53-54 mide el avance del proyecto en el Sprint así como el número de tareas en relación al tiempo planificado para la entrega respectivamente.



**Figura 53.** Esfuerzo Pendiente – Sprint 2



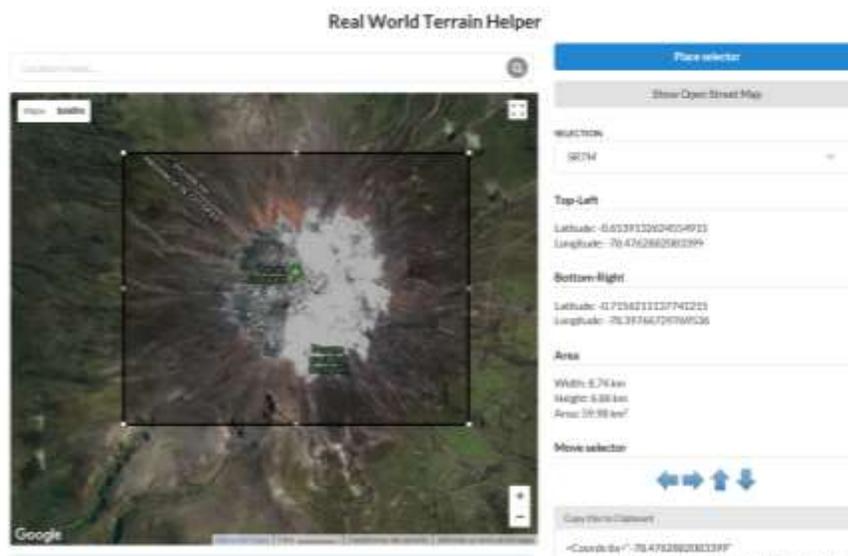
*Figura 54.* Tareas Completadas – Sprint 2

### 4.3.3 Desarrollo del Sprint – Iteración 2

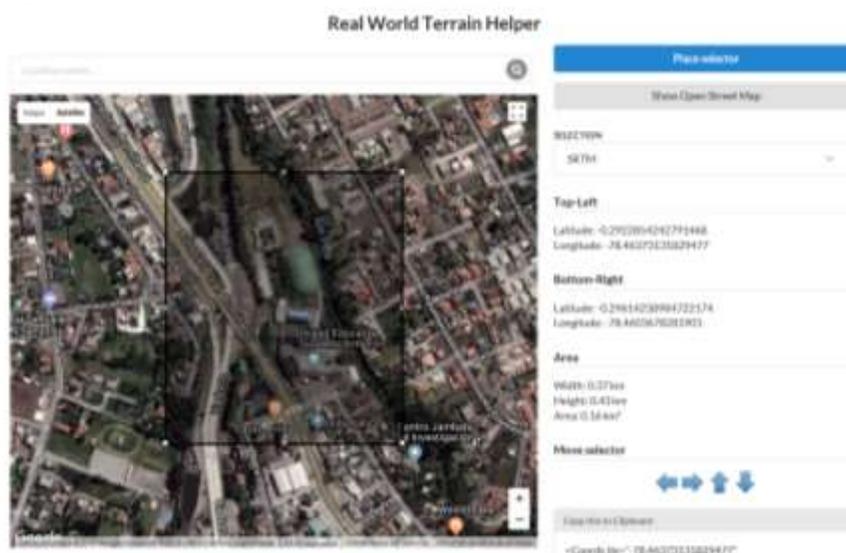
Los terrenos son una característica clave para visualizar entornos exteriores virtuales realistas. La creación de modelos de terreno implica lidiar con datos dinámicamente cambiantes que aumentan exponencialmente en función de la resolución del terreno.

El primer paso para el desarrollo del mundo virtual fue la generación de un modelo de terreno de dos sectores, el primero donde se encuentra ubicado el volcán Cotopaxi y el segundo donde se encuentra la Unidad Educativa "Giovanni Antonio Farina" y sus alrededores.

Para la generación de los modelos de terreno se utilizó el Asset Real World Terrain como se visualiza en el Figura 55-56 donde se muestra la selección de los sectores previamente mencionados y la presentación de varias características como: coordenadas (longitud, latitud) y la dimensión del área en kilómetros.

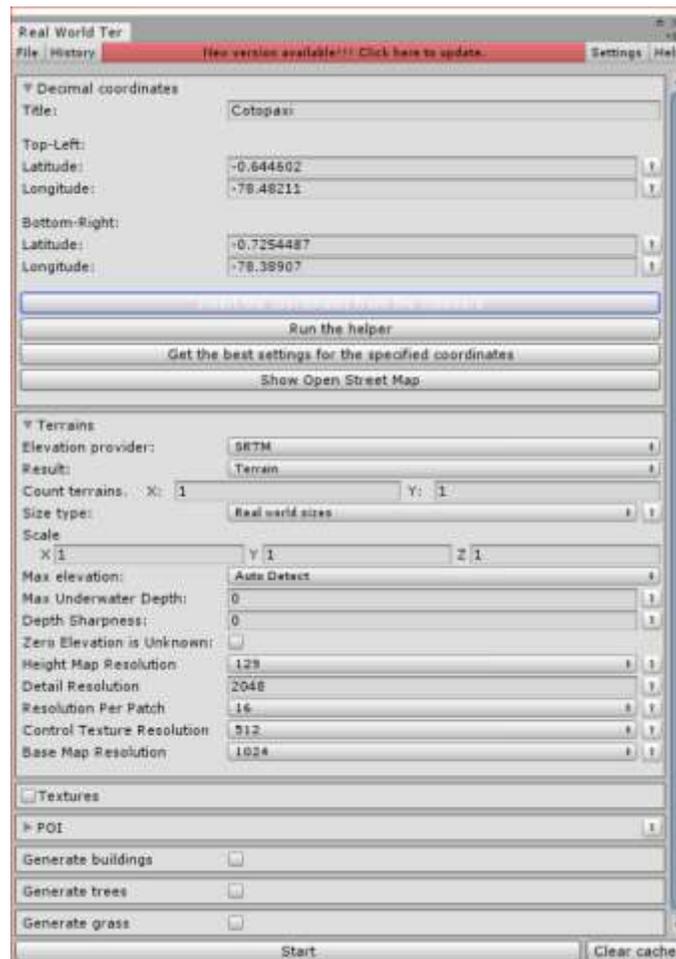


**Figura 55.** Selección Sector Cotopaxi



**Figura 56.** Selección Sector Triángulo

Una vez seleccionados los sectores requeridos, Real World Terrain despliega un conjunto de campos que deben ser configurados para el procesamiento posterior de terrenos, texturas y colocar objetos en el mapa, como se presenta en la Figura 57.

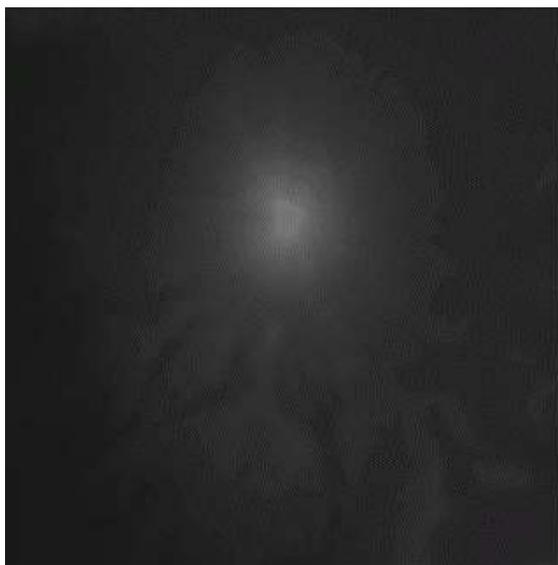


**Figura 57.** Propiedades Real World Terrain

Posteriormente, Real World Terrain descargara automáticamente los datos de elevación necesarios, texturas, datos de Open Street Maps. Este asset crea nuevos GameObjects o archivos que contienen el área especificada y los agrega a la escena, del mismo modo para cada Terreno, creo un bloque de información que contiene las coordenadas, texturas y la oportunidad de volver a crearlo con una nueva configuración.

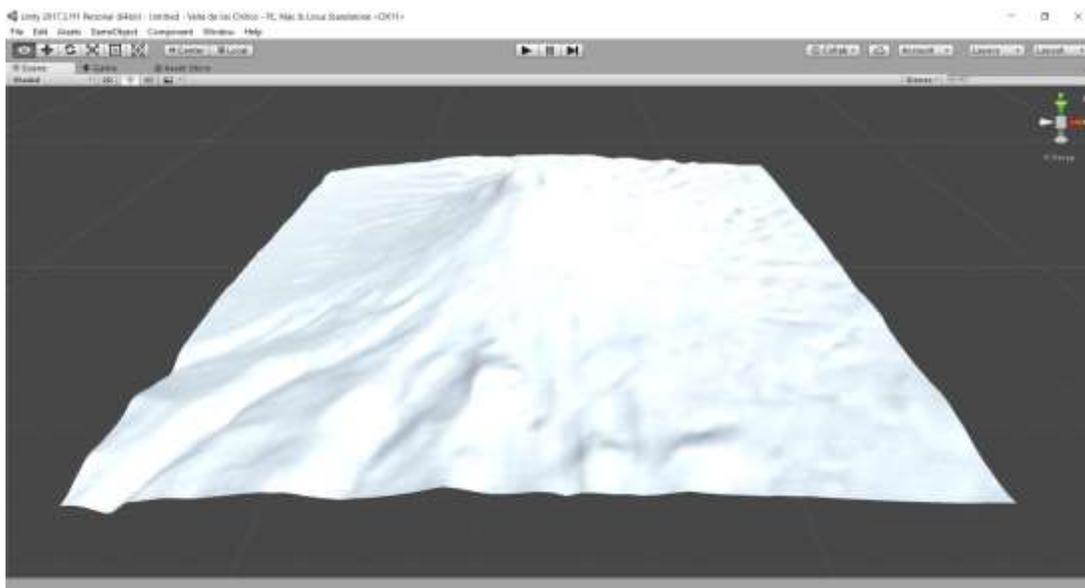
Real World Terrain funciona con una gran cantidad de datos, y puede, dependiendo de la configuración, usar una cuantiosa cantidad de memoria la cual se utiliza para la generación de

una imagen a escala de grises que representan las elevaciones existentes en los sectores anteriormente mencionados como se observa en la Figura 58.



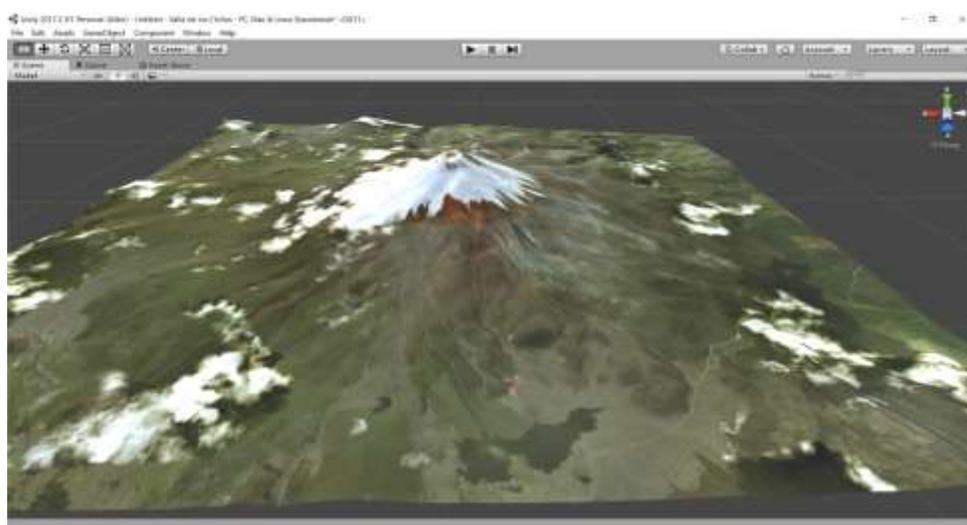
**Figura 58.** Escala de Grises Sector Cotopaxi

Este tipo de imágenes son denominados heightmap que son usados para almacenar valores como datos de elevación de superficies para posteriormente mostrarlos en gráficos 3D. En este caso será convertido en una malla 3D para definir el terreno y posteriormente texturizarlo (Ver Figura 59).



**Figura 59.** Malla 3D del terreno

Finalmente se obtuvieron los modelos de terreno de cada uno de los sectores previamente mencionados, como se presenta en la Figura 60 los cuales no cuentan con texturas de alta definición a razón de que los datos topográficos que componen los modelos son extraídos de Google Maps.

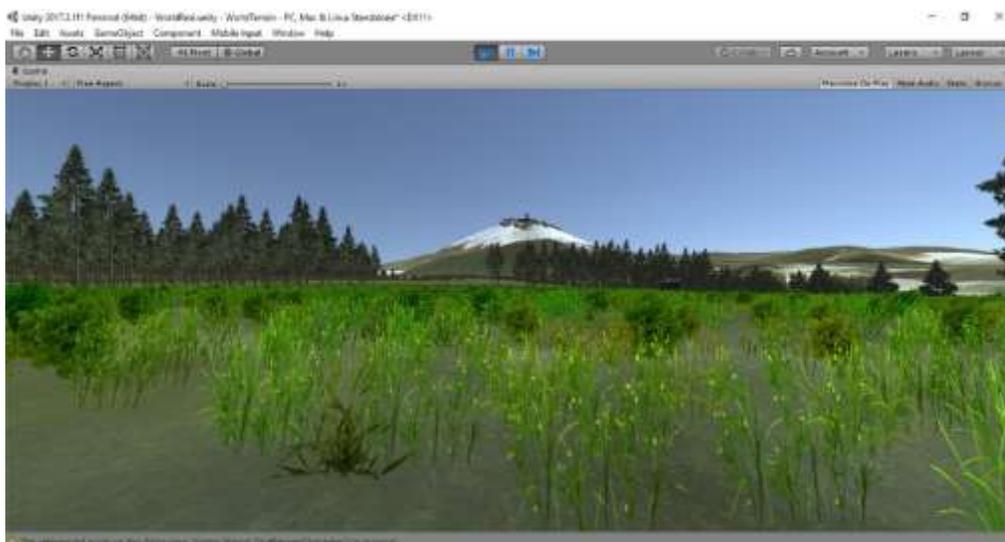


**Figura 60.** Malla 3D del terreno

Una vez finalizada la generación de los modelos topográficos 3D de los sectores anteriormente mencionados, el siguiente punto fue la integración de los modelos de terreno con los modelos 3D de la Unidad Educativa Farina, con el objetivo de empezar la creación del Mundo Virtual, de la misma manera se procedió a colocar objetos que le otorgaron mayor realismo al Mundo Virtual como: texturas vegetación, edificios, carreteras, muros, puentes, etc.

#### 4.3.4 Resultados del Sprint – Iteración 2

Los resultados de la segunda iteración presentan los terrenos de los sectores seleccionados para el desarrollo del simulador en un ambiente 3D, donde se observa un mayor realismo con los objetos colocados en el mundo virtual como muestra la Figura 61-62.



*Figura 61.* Escenario Cotopaxi



**Figura 62.** Escenario Triángulo

#### 4.4 Desarrollo de la tercera iteración

Para esta iteración se seleccionaron las tres últimas historias de usuario que tendrá una duración de 4 semanas. Se presenta dichas historias de usuario las cuales especifican las actividades para que el usuario interactúe con el simulador, la física de fluido a utilizar y la implementación de efectos medioambientales (Ver Tabla 21).

**Tabla 21**

*Historias de usuario Sprint 3*

<b>ID</b>	<b>Historia de Usuario</b>	<b>Estimación (Semanas)</b>	<b>Prioridad</b>	<b>Criterio de Aceptación</b>
4	Interacción del Usuario	1	4	Ingresa al prototipo del mundo virtual, comprobar la interacción del usuario con el mundo virtual, visualizar fenómenos físicos como gravedad y colisiones con objetos del mismo.
5	Física de Fluidos	2	5	Ingresa al sistema, visualizar la simulación de los lahares del volcán

**CONTINÚA** 

				Cotopaxi, comprobar el uso de física de fluidos.
<b>6</b>	Efectos Medioambientales	1	2	Ingresar al sistema, visualizar los efectos medioambientales ciclo día-noche, iluminación, clima, etc.

#### 4.4.1 Sprint Backlog – Iteración 3

En esta tercera iteración, se definen las últimas tareas necesarias para cumplir con el criterio de aceptación de las historias de usuario seleccionadas. Se describe la lista de tareas, su responsable, el product backlog al que pertenece y las fechas de entrega (Ver Tabla 22).

**Tabla 22**

*Sprint Backlog 3*

<b>Sprint</b>	<b>Inicio</b>	<b>Duración (semanas)</b>	<b>07 May - 09 May</b>	<b>10 May - 01 Jun</b>
<b>3</b>	07/05/2018	4		
<b>ID</b>	<b>Tarea</b>	<b>Responsable</b>	<b>Product Backlog</b>	
<b>1</b>	Colocar un personaje tipo FPS para la interacción en primera persona con el mundo virtual.	Andrés Gavilanes	4	x
<b>2</b>	Configuración del FPS para la percepción de correr, saltar.	Wilmer Crisanto	4	x
<b>3</b>	Configuración del motor de física integrado de Unity	Andrés Gavilanes	4	x
<b>4</b>	Análisis del Sistema de física de fluidos.	Wilmer Crisanto	5	x
<b>5</b>	Poner en funcionamiento el Sistema de fluido en el mundo virtual sector Cotopaxi.	Wilmer Crisanto	5	x
<b>6</b>	Poner en funcionamiento el Sistema de fluido en el mundo virtual sector	Andrés Gavilanes	5	x

CONTINÚA 

Triángulo.				
7	Implementación de efectos medioambientales en el mundo virtual sector Cotopaxi.	Wilmer Crisanto	6	x
8	Implementación de efectos medioambientales en el mundo virtual sector Triángulo.	Andrés Gavilanes	6	x

#### 4.4.2 Revisión y Seguimiento – Iteración 3

Se mide el avance del Sprint listando las tareas completadas y pendientes encargadas a los desarrolladores. La tabla 23 muestra que tareas se completaron en este Sprint y la cantidad de horas necesarias para lograrlo.

**Tabla 23**

*Tareas Completadas 3*

Tareas asignadas a: Wilmer Crisanto y Andrés Gavilanes		Número de Tareas: 8			
ID	Tarea	Iteración	Estado	Fecha	Horas
1	Colocar un personaje tipo FPS para la interacción en primera persona con el mundo virtual.	3	Completada	08/05/2018	16
2	Configuración del FPS para la percepción de correr, saltar.	3	Completada	08/05/2018	16
3	Configuración del motor de física integrado de Unity	3	Completada	09/05/2018	8
4	Análisis del Sistema de física de fluidos.	3	Completada	11/05/2018	16
5	Poner en funcionamiento el Sistema de fluido en el mundo virtual sector Cotopaxi.	3	Completada	22/05/2018	56
6	Poner en funcionamiento el Sistema de	3	Completada	22/05/2018	56

CONTINÚA 

fluido en el mundo virtual sector Triángulo.					
7	Implementación de efectos medioambientales en el mundo virtual sector Cotopaxi.	3	Completada	01/06/2018	64
8	Implementación de efectos medioambientales en el mundo virtual sector Triángulo.	3	Completada	01/06/2018	64

La Figura 63-64 mide el avance del proyecto en el Sprint así como el número de tareas en relación al tiempo planificado para la entrega respectivamente.



**Figura 63.** Esfuerzo Pendiente – Sprint 3



**Figura 64.** Tareas Completadas – Sprint 3

#### 4.4.3 Desarrollo del Sprint – Iteración 3

Para que existiera interacción entre el usuario y el mundo virtual creado, se modificó la cámara principal a un formato de primera persona para observar la simulación desde la perspectiva de una persona ya que transmite realismo y permite al usuario sentirse dentro del sistema. Este formato de cámara es muy común en videojuegos de disparo o también llamados FPS, como se ilustra en la Figura 65-66.

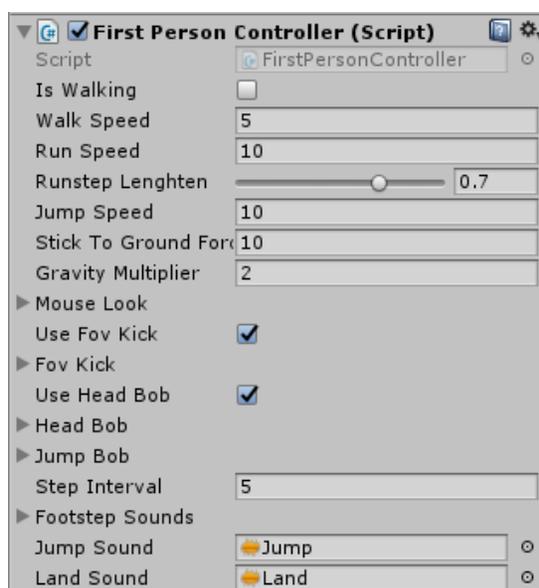


**Figura 65.** Personaje Primera Persona Cotopaxi



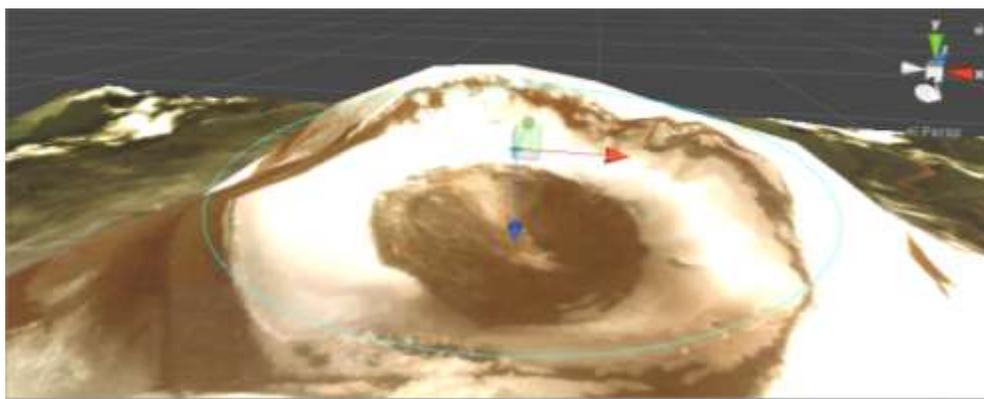
**Figura 66.** Personaje Primera Persona Farina

El personaje encargado de realizar la interacción posee varios parámetros que el desarrollador puede manipular como la velocidad al caminar, al correr, o al saltar (Ver Figura 67). Los sonidos de pasos vienen incluidos por defecto, así como las colisiones que el personaje dará con el resto de objetos 3D del entorno.



**Figura 67.** Parámetros del Personaje FPS

Concluida con la inserción del personaje que permite la interacción del usuario se procede a colocar los emisores de fluidos en los entornos virtuales que son los encargados de simular los lahares. En el sector Cotopaxi el emisor tiene forma circular como lo muestra la Figura 68, mientras que en el sector Triángulo el emisor tiene forma de línea recta (Ver Figura 69).



*Figura 68.* Emisor Cotopaxi



*Figura 69.* Emisor Farina

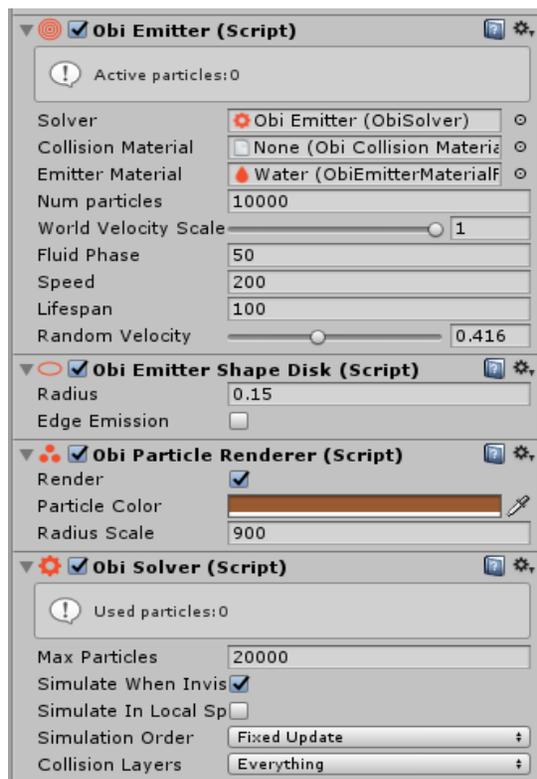
Es necesario definir parámetros para el fluido que cada emisor mostrará en el entorno virtual, para eso se ha modificado los valores de viscosidad, densidad, presión atmosférica, entre otros, que se han obtenido de estudios realizados al volcán Cotopaxi (Ordóñez, 2013) sobre posibles escenarios eruptivos y zonas inundadas. Se presenta a continuación los valores estimados de la cantidad de glaciar derretido hacia el norte, sur y oriente (Ver Tabla 24).

**Tabla 24***Valores Volumétricos Lahar Cotopaxi*

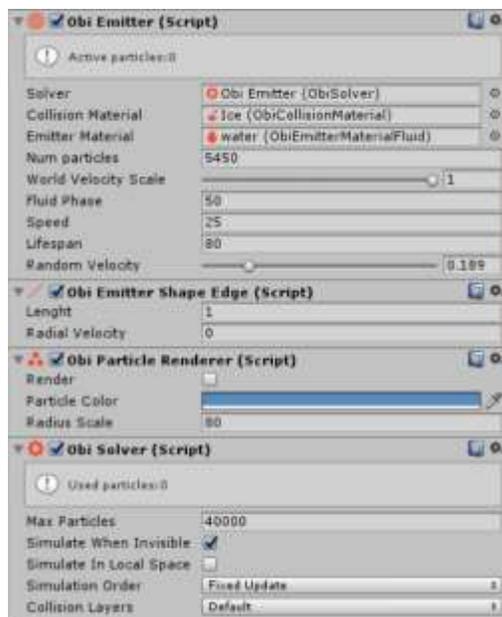
<b>Drenaje</b>	<b>Área en 2011 (mil. m<sup>2</sup>)</b>	<b>Espesor mínimo (m)</b>	<b>Espesor máximo (m)</b>	<b>Volumen mínimo (mill. m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen máximo (mill. m<sup>3</sup>)</b>
<b>Norte</b>	3.6	20	40	73	145
<b>Oriental</b>	2.2	30	60	66	132
<b>Sur</b>	4.6	17	35	78	160
<b>Total</b>	10.4	30	50	260	520

Fuente: (Ordóñez, 2013)

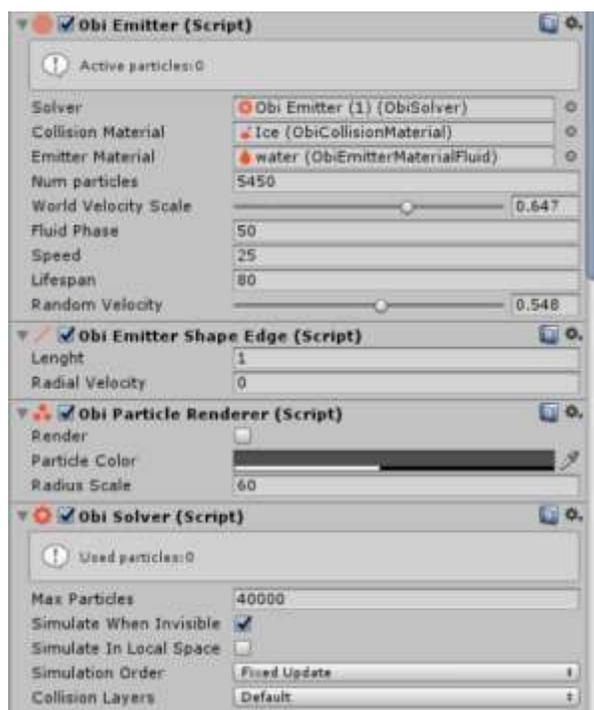
En la Figura 70 - 72 se muestra los valores de los parámetros para la simulación del fluido basada en los datos de la tabla 24 donde se pretende emitir el espesor designado para el sector correspondiente del escenario, cabe resaltar que se ha usado un emisor de fluido para el volcán Cotopaxi y dos para el sector Triángulo, así también se muestran los parámetros que posee el material de emisión.



*Figura 70.* Emisor 1 Sector Cotopaxi



*Figura 71.* Emisor 1 Sector Triángulo



**Figura 72.** Emisor 2 Sector Triángulo

Para lograr determinar el peso de cada partícula y la cantidad que cada emisor expulsará se realizaron cálculos matemáticos. Primero fue necesario obtener un valor promedio del volumen del lahar total y del drenaje Norte que llega al Valle de los Chillos; estos valores calculados son los que se proceden a simular en el sistema.

$$\text{Promedio Lahar total} = \frac{260 \text{ mill m}^3 + 520 \text{ mill m}^3}{2}$$

$$\text{Promedio Lahar total} = 390 \text{ mill m}^3$$

$$\text{Promedio Lahar Norte} = \frac{73 \text{ mill m}^3 + 145 \text{ mill m}^3}{2}$$

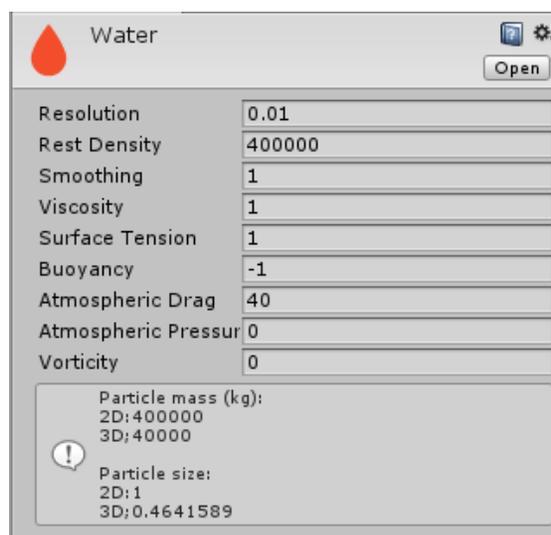
$$\text{Promedio Lahar Norte} = 109 \text{ mill m}^3$$

El parámetro de resolución que muestra el material de emisión indica la cantidad de partículas necesarias para representar una unidad de volumen, si el valor es 1 se necesitarán 1000 partículas. Como se observa en la Figura 73-74, la resolución tiene un valor de 0,01 logrando un menor número de partículas, debido a que el rendimiento del simulador se encuentra ligado a la cantidad de partículas mostradas en la escena.

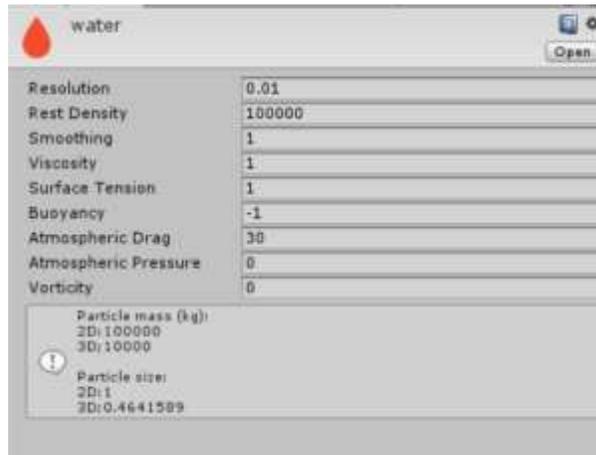
$$\text{Cantidad partículas por unidad de volumen} = \frac{0.01 * 1000 \text{ partículas}}{1}$$

$$\text{Cantidad partículas por unidad de volumen} = 10 \text{ partículas}$$

El valor que tienen los materiales en su parámetro Rest Density representa la unidad de volumen que la cantidad de partículas debe cubrir. De acuerdo a los cálculos anteriores, cada partícula en el Sector Cotopaxi tiene un peso de 40000 Kg mientras que, para el sector Triángulo cada partícula tiene un peso de 10000 Kg (Ver Figura 73-74).



**Figura 73.** Material de Emisión Sector Cotopaxi



**Figura 74.** Material de Emisión Sector Triángulo

Con todos los valores calculados se determina el volumen que cada emisor expulso en la simulación considerando que  $1Kg$  equivale a  $1 m^3$ , cabe resaltar que existen dos emisores para el sector Triángulo.

Volumen de emisión Cotopaxi = Cantidad de partículas \* Peso de cada partícula

Volumen de emisión Cotopaxi =  $10000 * 40000$

Volumen de emisión Cotopaxi =  $400 \text{ mill } m^3$

Volumen por emisor Triángulo = Cantidad de partículas \* Peso de cada partícula

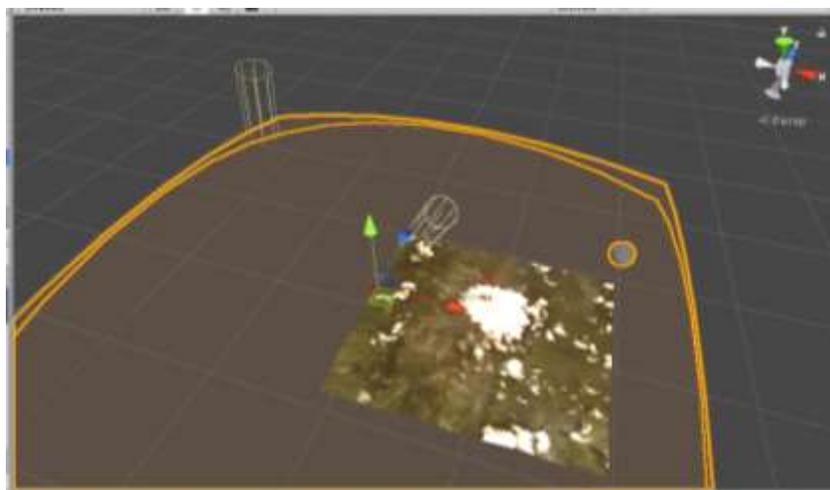
Volumen por emisor Triángulo =  $5450 * 10000$

Volumen por emisor Triángulo =  $54.5 \text{ mill } m^3$

Volumen emisión total Triángulo =  $54.5 \text{ mill } m^3 * 2$

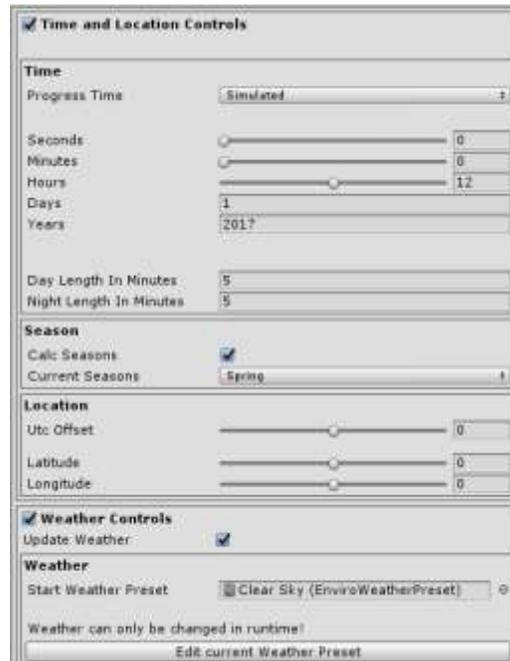
Volumen emisión total Triángulo =  $109 \text{ mill } m^3$

La última actividad que se realizó en este Sprint fue la implementación de efectos medio ambientales. Enviro usa scripts propios que se adjuntan a la cámara del personaje además de elementos 3D que se añaden automáticamente (Ver Figura 75).



**Figura 75.** Elementos Enviro en la escena

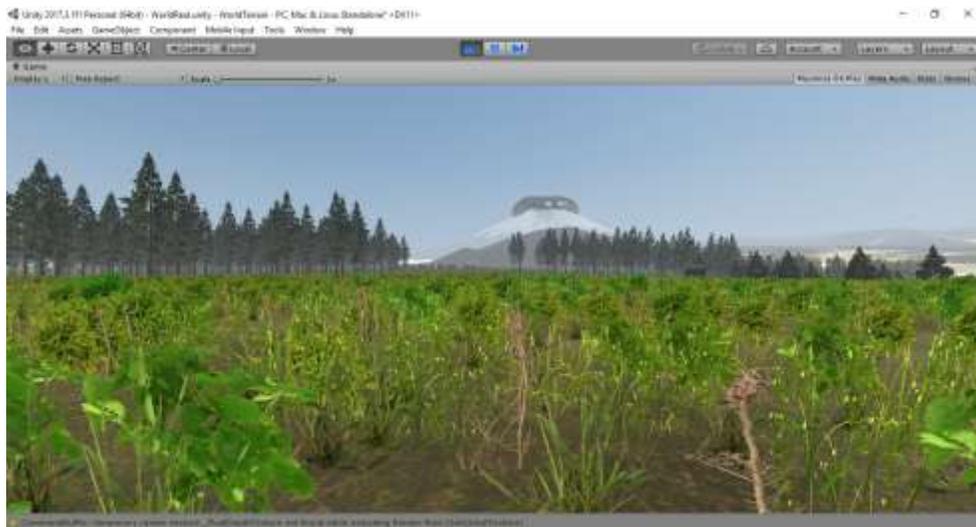
Enviro además permitió crear ciclos día/noche y realizar cambios climatológicos al momento de ejecución. Los parámetros que lista este Asset permiten definir cuanto demora el transcurso del tiempo, el clima que tendrá el entorno 3D y la estación climática (Ver Figura 76).



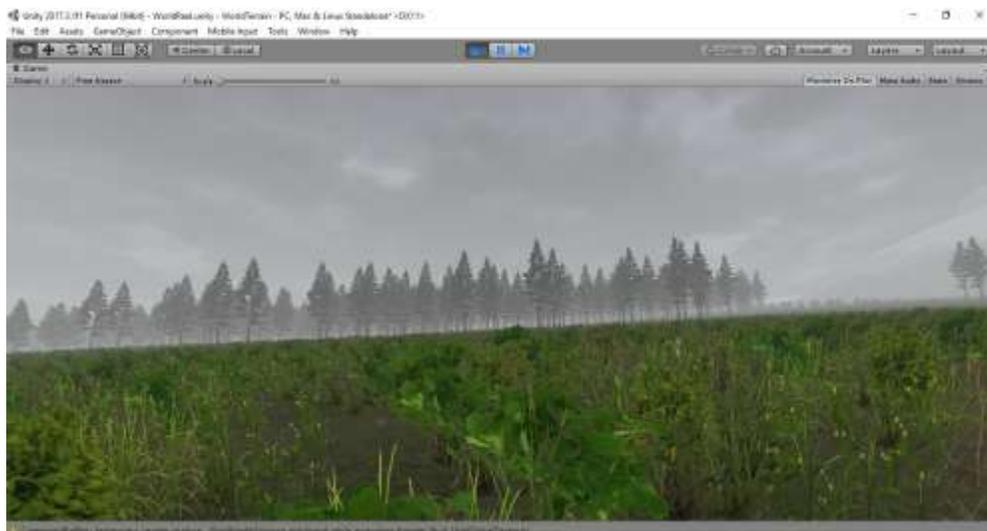
**Figura 76.** Parámetros Enviro

#### 4.4.4 Resultados del Sprint – Iteración 3

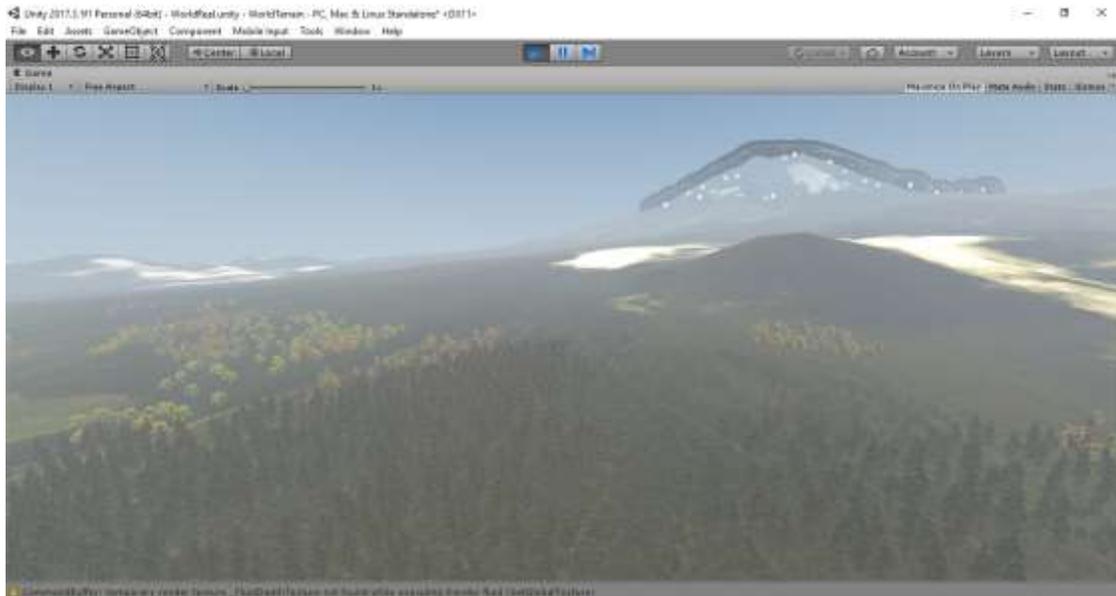
El resultado de la última iteración presenta el escenario completo con el motor de fluidos funcionando, los elementos 3D colocados en su lugar correspondiente y el personaje en el mundo virtual para permitir la interacción con el usuario. Los efectos medio ambientales permitieron un mayor realismo en el simulador como se observa en la Figura 77-82.



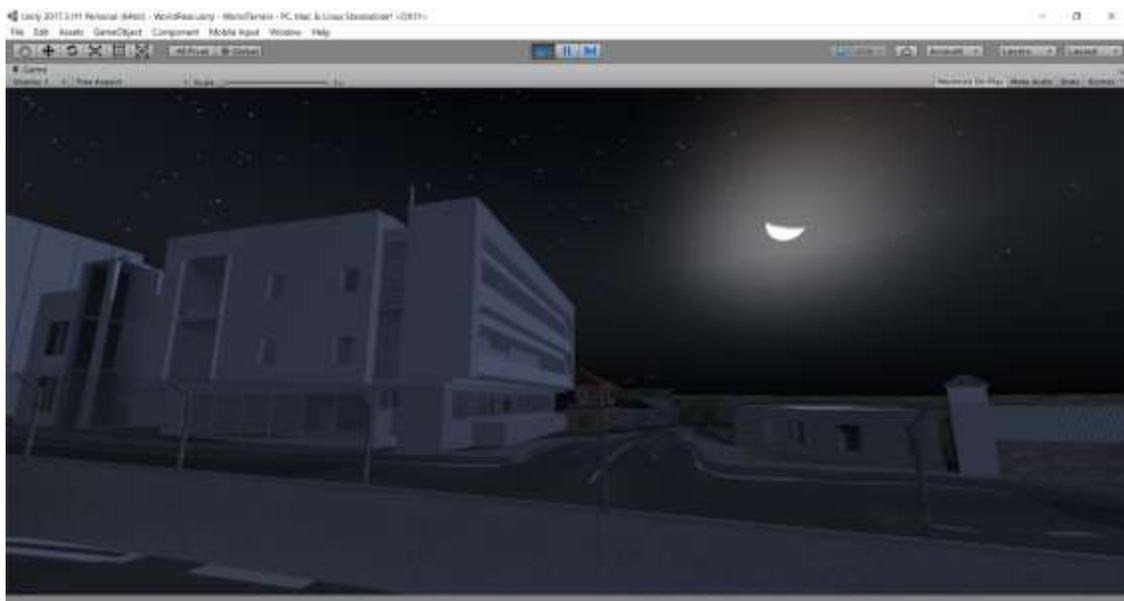
*Figura 77.* Escena Cotopaxi Clima Despejado



*Figura 78.* Escena Cotopaxi Clima Lluvioso



*Figura 79.* Escena Cotopaxi Lahar



*Figura 80.* Escena Triángulo Ciclo Noche



*Figura 81.* Escena Triángulo Cielo Despejado



*Figura 82.* Escena Triángulo Lahar

## **CAPITULO V**

### **FASE DE RESULTADOS**

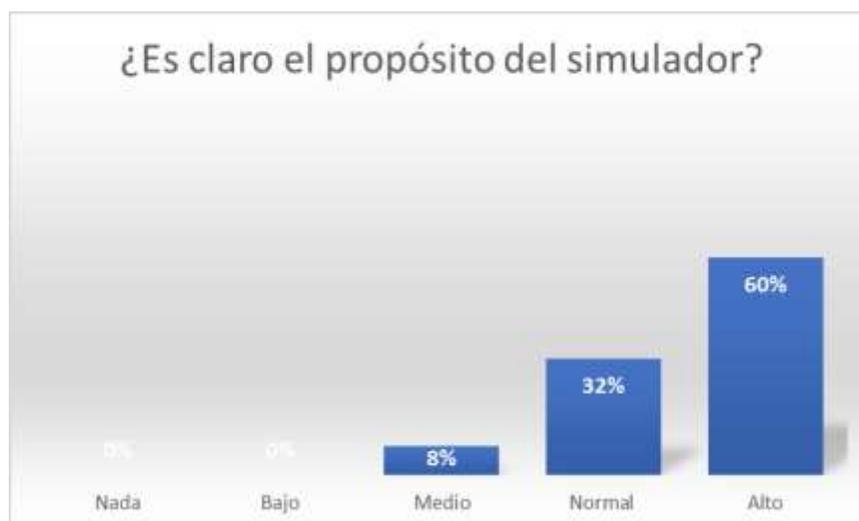
En este capítulo se presentará el análisis de los resultados obtenidos mediante pruebas de aceptación y pruebas de rendimiento del sistema de simulación 3D.

Para las pruebas de aceptación se realizará una encuesta de satisfacción del usuario mientras que para las pruebas de rendimiento se medirá el consumo de recursos al ejecutar el sistema de simulación 3D en 3 equipos de diferentes características técnicas.

#### **5.1 Prueba de Aceptación**

La encuesta de satisfacción de usuario ayudará a conocer las prioridades de los usuarios en relación con la visualización y en las mejoras que el simulador deberá tener. Dicha encuesta (Ver Anexo B) está compuesta por seis preguntas que serán evaluadas de acuerdo a una ponderación de 1 a 5 que representan: nada, poco, medio, normal y alto respectivamente.

La encuesta se la aplico a 50 estudiantes de Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE considerando que este lugar esta designado como refugio en caso de una posible erupción del volcán Cotopaxi, obteniendo los siguientes resultados:



**Figura 83.** Resultados Pregunta 1

El objetivo de la primera pregunta fue conocer si el propósito del Sistema de simulación 3D fue claro para los usuarios. Según las respuestas, para el 60% de los usuarios fue alta la comprensión, seguido del 32% con normal y para el 8% fue de media (Ver Figura 83).



**Figura 84.** Resultados Pregunta 2

La segunda pregunta evalúa el atractivo visual comparando el Sistema de Simulación 3D con uno 2D. El 62% de los encuestados respondieron que el atractivo visual fue alto, seguido del 34% con un atractivo visual normal y únicamente el 4% lo consideró como medio (Ver Figura 84).



**Figura 85.** Resultados Pregunta 3

Con los estudios realizados sobre las cantidades de flujo que se genera en una posible erupción (Ordóñez, 2013), se evalúa si los escenarios presentados simulan una situación de la vida real. El 50% de los encuestados define a la situación de las escenas como normal, seguida de un 44% que la considero como alta y únicamente el 4% como media (Ver Figura 85).



**Figura 86.** Resultados Pregunta 4

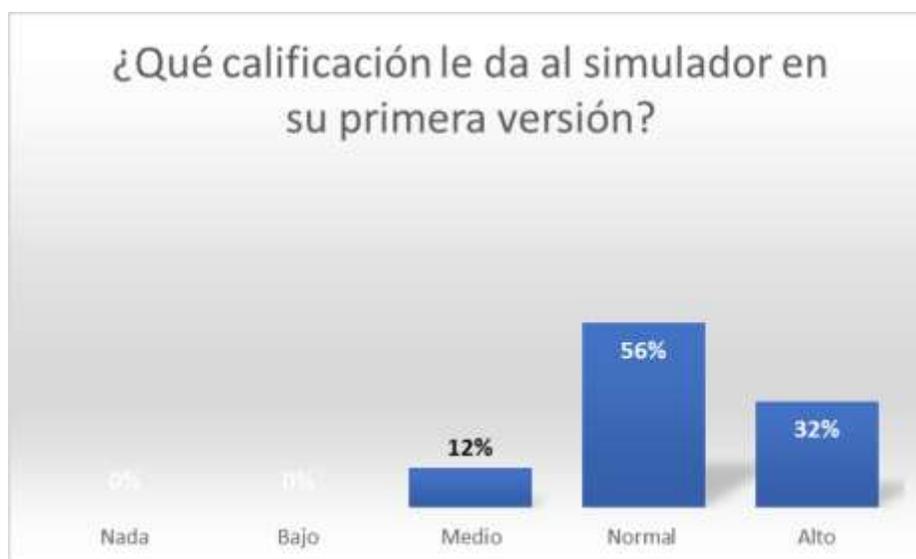
El realismo de cada escenario fue una de las características más importantes para los encuestados, ya que el 46% lo consideró como normal, seguido del 44% como alto y solo el 10% respondió que los entornos presentaron nivel de realismo medio (Ver Figura 86).



**Figura 87.** Resultados Pregunta 5

Se sabe que los lahares son catástrofes que tienen alto impacto destructivo, pero muchas personas desconocen de esto. De acuerdo con los resultados obtenidos el 60% de los encuestados

define que el Sistema de simulación 3D tendrá alto impacto en la sociedad, mientras que el 36% respondió que el impacto será normal y únicamente el 4% considero que el impacto será medio (Ver Figura 87).



**Figura 88.** Resultados Pregunta 6

El 32% de los encuestados respondieron con una calificación de 5 a la primera versión del Sistema de Simulación 3D, el 56% con una calificación de 4 y el restante 12% con 3 (Ver Figura 88). Lo que representa que el Sistema fue favorable para los encuestados debido a los altos valores obtenidos.

## 5.2 Pruebas de Rendimiento

La Tabla 25 presenta las características de los equipos que se utilizaron para la ejecución del sistema de simulación 3D de lahares, los cuales son dos laptops de diferentes especificaciones y un clúster otorgado por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

**Tabla 25**  
*Características Equipos*

	<b>Laptop 1</b>	<b>Laptop 2</b>	<b>Clúster</b>
<b>Modelo</b>	Toshiba Satellite S55-A5169	Asus VivoBook Pro M580V	
<b>Procesador</b>	Intel Core i7-4700MQ CPU 2.40GHz	Intel Core i7 – 7700HQ CPU 2.80GHz	Intel Xeon E5-2695 2.40GHz
<b>Memoria RAM</b>	12 GB	16GB	64 GB
<b>Video</b>	Geforce GT 740M 2048 MB DDR3	GeForce GTX 1050 4GB	NVIDIA Quadro K3100M 4GB
<b>Almacenamiento</b>	1 TB	1 TB + 250 GB SSD	1TB

La Tabla 26-27 muestra la media porcentual de consumo de recursos que cada equipo realiza al momento de ejecutar cada escenario propuesto en el simulador respectivamente, mismos que fueron configurados a una calidad gráfica media. La media porcentual de consumo de recursos fue calculada a partir de 10 valores en función del tiempo a causa de la constante fluctuación que presentan.

**Tabla 26**  
*Media porcentual de consumo de recursos Escenario Cotopaxi*

<b>CPU</b>		<b>RAM</b>		<b>GPU</b>	
Sin Ejecutar	Ejecución	Sin Ejecutar	Ejecución	Sin Ejecutar	Ejecución

**CONTINÚA** 

<b>Laptop 1</b>	1%	33,20%	30%	30%	0%	82,80%
<b>Laptop 2</b>	1%	44,10%	20%	26%	0%	57,10%
<b>Clúster</b>	3%	40%	3%	6%	0%	21,50%

**Tabla 27**

*Media porcentual de consumo de recursos Escenario Triángulo*

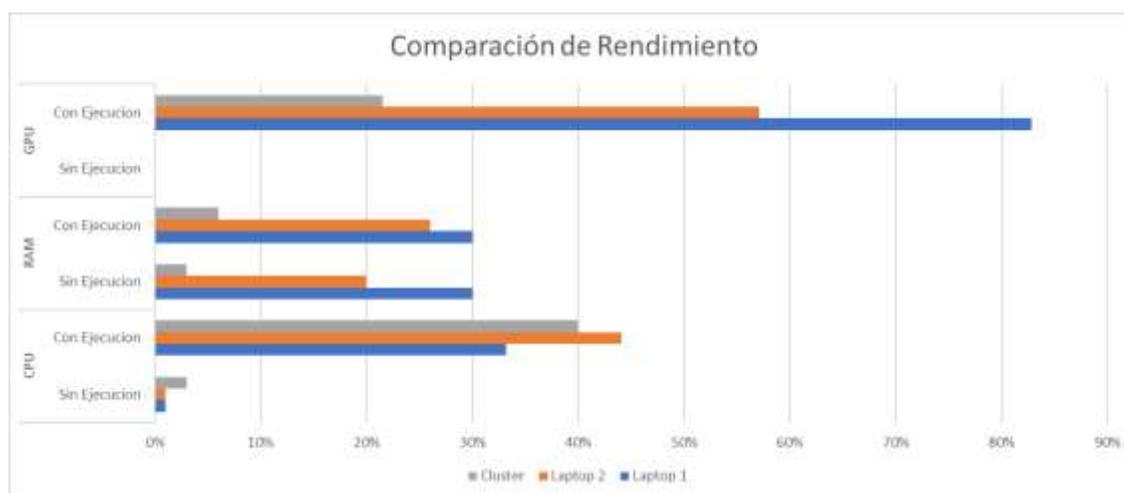
	CPU		RAM		GPU	
	Sin Ejecutar	Ejecución	Sin Ejecutar	Ejecución	Sin Ejecutar	Ejecución
<b>Laptop 1</b>	1%	40,60%	30%	39%	0%	62,20%
<b>Laptop 2</b>	1%	75,50%	20%	31%	0%	47,20%
<b>Clúster</b>	3%	65%	3%	7%	0%	29,50%

La Figura 89-90 muestran que el Clúster es el equipo que consume menos GPU al ejecutar los escenarios, con un 21.50% para el escenario Cotopaxi y 29.50% para el escenario Triángulo seguido de Laptop 2 con un 57.10% y 47.20% respectivamente. Laptop 1 es el equipo que más consume GPU, con un 82.80% para el escenario Cotopaxi y 62.20% para el escenario Triángulo, esto debido a que posee una tarjeta gráfica de 2GB.

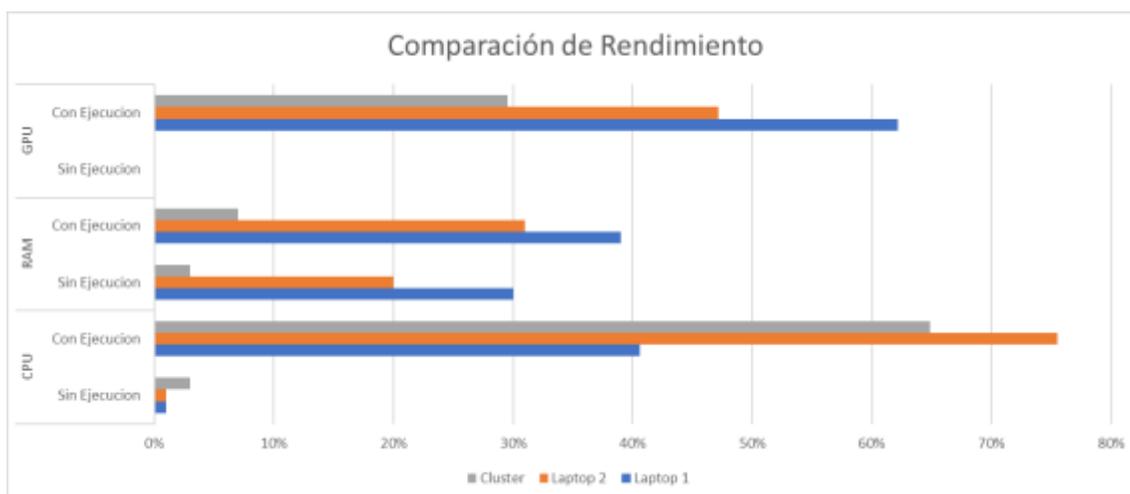
Del mismo modo se muestra que el Clúster es el equipo que consume menos memoria RAM al ejecutar los escenarios, con un 6% para el escenario Cotopaxi y 7% para el escenario

Triángulo, debido a que como se presentó en la Tabla 25 el clúster cuenta con 64 GB de memoria RAM. Laptop 1 y Laptop 2 son los equipos que más memoria RAM consumen debido a que la capacidad de estas no supera las 12 y 16 GB respectivamente.

Posteriormente se muestra que Laptop 1 es el equipo que menos CPU consume con un 33.20% para el escenario Cotopaxi y 40.20% para el escenario Triángulo, seguido del Clúster con un 40% y 65% respectivamente para cada escenario. Laptop 2 es el equipo que más consume CPU, con un 44.10% para el escenario Cotopaxi y 75.50% para el escenario Triángulo, esto debido a que posee una velocidad de procesamiento de 2.80GHz.



**Figura 89.** Comparación Rendimiento Escena Cotopaxi



**Figura 90.** Comparación Rendimiento Escena Triángulo

Finalmente, se muestra la cantidad de FPS (Frames Per Second) o cuadros por segundos (Ver Tabla 28) que cada equipo logra procesar al ejecutar cada escenario.

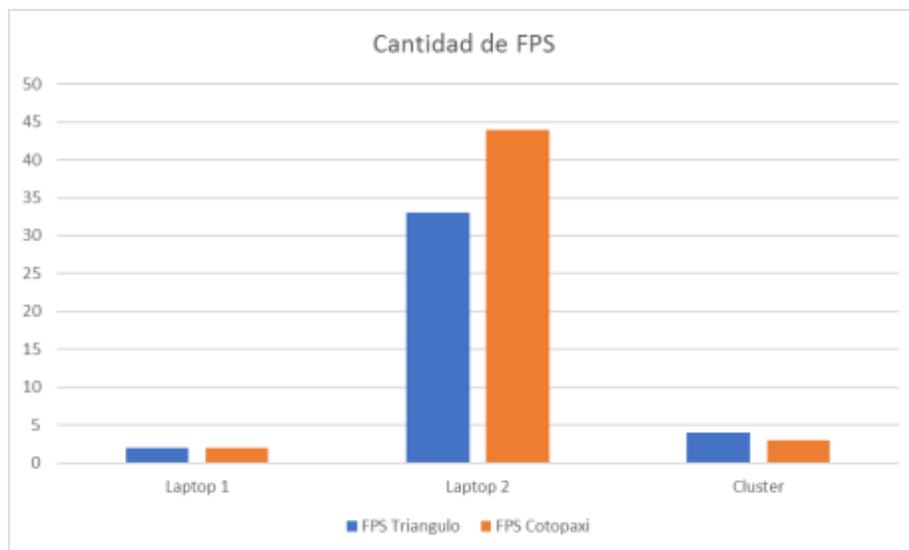
**Tabla 28**

*Cantidad de FPS mínimos en las escenas*

	FPS Triángulo	FPS Cotopaxi
<b>Laptop 1</b>	2	2
<b>Laptop 2</b>	33	44
<b>Clúster</b>	4	3

Como se observa en la Figura 91, Laptop 2 es el equipo que posee mejor rendimiento en cuadros por segundo debido a que la capacidad de la tarjeta gráfica (4GB) y la velocidad de

procesamiento del CPU (2.80 GHz) es mayor en comparación a los otros dos equipos, ya que estas características trabajan en conjunto para brindar mayor fluidez visual.



**Figura 91.** Comparación FPS mínimos

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

#### 6.1 Conclusiones

La metodología SCRUM beneficia en todo momento el desarrollo del proyecto debido a las herramientas que ofrece para mantener una entrega constante de resultados y lograr cumplir con el objetivo en un periodo de tiempo determinado.

Unity 3D como herramienta de desarrollo facilita la creación de entornos virtuales debido a la gran cantidad de herramientas compatibles que la comunidad desarrolla para su uso, además de la incorporación de su propio motor de física.

De acuerdo con el Sistema de simulación 3D de lahares, se estima que el 27.9% del lahar total generado por el motor de fluidos afecta directamente al Valle de los Chillos que concuerda con los datos proporcionados por el IG-EPN, ya que las partículas se adaptan al terreno mediante la parametrización y el uso de algoritmos inteligentes de navegación y búsqueda de caminos propios del motor de fluidos y del motor de juegos.

El motor de fluidos Obi Fluid maneja la dinámica basada en partículas PBD que permitió simular la dinámica de partículas y la densidad de las mismas en el mundo virtual.

El Asset generador de los terrenos Real World Terrain permitió obtener los datos topográficos reales recuperados de un satélite en escala 1:5000 para obtener mundos virtuales con un alto nivel de realismo e interacción con el usuario.

Los resultados obtenidos mediante la prueba de aceptación demuestran que el Sistema de Simulación 3D cuenta con un aceptable nivel de satisfacción por parte de los usuarios, con respecto al realismo que presenta cada escenario en comparación con un simulador 2D generando entre los encuestados un alto impacto visual.

El mayor porcentaje de los entrevistados (60%) indican que el simulador tendrá un alto impacto en la sociedad, esto revela que el modelo 3D en comparación al 2D, muestra con un enfoque realista las posibles escenas que sucederían al momento de la erupción del volcán Cotopaxi ante la presencia de lahares, generando en la gente interés en conocer rutas de evacuación e inclusive lugares conocidos como refugios seguros.

Los resultados de la pregunta 1 y pregunta 3 que evalúan el propósito, en conjunto con el contenido del Sistema de Simulación 3D fueron favorables, gracias a una pequeña introducción que se brindó a los encuestados para mejorar la experiencia con el mismo.

Según los resultados obtenidos de las pruebas de rendimiento, el escenario Triángulo requiere mayor procesamiento en CPU debido a que en la escena existen dos emisores de fluidos y más objetos 3D en comparación al escenario Cotopaxi que solamente tiene uno. Además, es notable que al momento de ejecutar el simulador existe un consumo de GPU de hasta 82.8% y 75.5% de CPU en todos los equipos probados.

## 6.2 Líneas de trabajos Futuros

Como resultado de la investigación realizada se plantean las siguientes líneas de trabajo futuro divididas en tres etapas:

Corto plazo:

- Implementación de nuevos sectores en el simulador de acuerdo con la necesidad de investigación de los lugares considerados como alto riesgo en caso de erupción del volcán Cotopaxi.

Mediano plazo:

- Mejora del rendimiento del simulador con la utilización de hardware más robusto en memoria gráfica y procesamiento para el aumento de la calidad del fluido en el entorno virtual creado.

Largo plazo:

- Adaptación del simulador a una versión completa donde se incluya todos los escenarios en uno solo y se visualice la caída del lahar desde el volcán Cotopaxi hasta los sectores considerados como peligrosos en el valle de los chillos.
- Agregar NPCs (Non Playable Characters) al simulador para agregar mayor realismo al proyecto, implementando inteligencia artificial con algoritmos de evacuación en la búsqueda de caminos hacia lugares seguros o refugios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abadie, S. G. (2009, 04 04). 3D numerical simulations of waves generated by subaerial mass failures: Application to La Palma case. *Coastal Engineering 2008*, 1384-1395. Obtenido de <https://computernewage.com/2013/04/04/primeros-pasos-con-la-terminal-de-linux/>
- Acerenza, N. C. (2009). Una Metodología para Desarrollo de Videojuegos. Obtenido de <http://www.vc.ehu.es/jiwotvim/ISOFT2010-2011/Teoria/BloqueIV/HTML.pdf>
- Aguilera, E. (2005). Proyecto de Prevención de los Riesgos Asociados con la Erupción del Volcán Cotopaxi-PREVOLCO. *Coordinación General y Administración: Fundación FOES*. Obtenido de <https://getcomposer.org/doc/00-intro.md>
- Alonso Álvarez García, C. L. (2012). *Métodos Ágiles y Scrum*. Anaya Multimedia. Obtenido de [http://mobaxterm.mobatek.net/documentation.html#1\\_1](http://mobaxterm.mobatek.net/documentation.html#1_1)
- Autodesk. (2018). *3ds Max. Software de Modelado, animación y renderización 3D*. Autodesk. Obtenido de 3ds Max. Software de Modelado, animación y renderización 3D. Autodesk: <https://latinoamerica.autodesk.com/products/3ds-max/overview>
- Barab, S. A. (2001, 04 15). Constructing Virtual Worlds: Tracing the Historical Development of Learner Practices, Cognition And Instruction. 47-94. Obtenido de <http://www.cecalc.ula.ve/BIOINFO/servicios/herr2/MrBayes/index.php>
- Beck, H. a. (2009). Educational applications of virtual world environments. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting*, 36-44. Obtenido de <http://mrbayes.sourceforge.net/>
- Carracedo, J. C. (2015). Peligros asociados a megadeslizamientos y lahares. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 66.
- Carrivick, J. L. (2009, 12 05). A fluid dynamics approach to modelling the 18th March 2007 lahar at Mt. Ruapehu, New Zealand. *Bulletin of Volcanology*, 153-169. Obtenido de <http://www.alegsa.com.ar/Dic/framebuffer.php>
- D'Ercole, R. (1989). La catástrofe del Nevado del Ruiz, ¿Una enseñanza para el Ecuador? El caso del Cotopaxi. *Estudios de Geografía*, 5-32.
- Dogmatic Games. (2017). *AQUAS Water Shader Set*. Obtenido de <https://dogmaticgames.wordpress.com/products/aquas-water-shader-set/>

- Dontnod Entertainment. (2015, Enero 30). *Life is Strange*. Obtenido de <https://www.lifeisstrange.com/es/games/before-the-storm>
- ENVIRO. (2017). *Enviro - Sky and Weather*. Obtenido de <https://forum.unity.com/threads/released-enviro-sky-and-weather-dynamic-sky-and-weather-system.317986/>
- Erleben, K. S. (2012). *Fisica para Videojuegos* (Vol. II). Cengage Learning. Obtenido de <https://platzi.com/blog/laravel-framework-php/>
- Fine, R. (2017, Agosto 11). *UnityScript's long ride off into the sunset*. Obtenido de UnityScript's long ride off into the sunset: <https://blogs.unity3d.com/2017/08/11/unityscripts-long-ride-off-into-the-sunset/>
- Google. (2014, Noviembre). *Google Maps*. Obtenido de [https://www.google.com/maps/@-0.295073,-78.4622259,3a,75y,67.27h,84.99t/data=!3m6!1e1!3m4!1sEQ\\_HZQmS6YBIWW9DzJZIgQ!2e0!7i13312!8i6656?authuser=0](https://www.google.com/maps/@-0.295073,-78.4622259,3a,75y,67.27h,84.99t/data=!3m6!1e1!3m4!1sEQ_HZQmS6YBIWW9DzJZIgQ!2e0!7i13312!8i6656?authuser=0)
- Hatchway CAD Academy. (2018). *Hatchway CAD Academy 3D Modeling Softwares in Kochi*. Obtenido de Hatchway CAD Academy 3D Modeling Softwares in Kochi: <http://www.hatchwaycadacademy.com/software/3ds-max-for-engineers/>
- Hu, R. W. (2017, 07 06). Wettability effects on supercritical CO<sub>2</sub>-brine immiscible displacement during drainage: Pore-scale observation and 3D simulation. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 129-139. Obtenido de [http://www.molecularevolution.org/molevolfiles/beast/BEAST14\\_MANUAL-7-6-07.pdf](http://www.molecularevolution.org/molevolfiles/beast/BEAST14_MANUAL-7-6-07.pdf)
- Husni, E. M. (2009, 05 24). Particle system implementation using smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) for lava flow simulation. *Electrical Engineering and Informatics*, 216-221. Obtenido de <http://linux-training.be/linuxfun.pdf>
- Infinity Code. (2018). *Real World Terrain / Infinity Code*. Obtenido de <http://infinity-code.com/en/products/real-world-terrain>
- Initiative, I. E. (2016). *Virtual Reality (VR)*. Obtenido de <http://immersivededucation.org/vr>
- Kimmel, P. (2006). *Manual de UML*. Mexico: McGraw-Hill. Obtenido de <https://www.webucator.com/tutorial/learnphp/php-basics/how-php-works-reading.cfm>
- Lazo, M., Garcia, C., & Clause, A. (2009). Animacion de Tornados en Tiempo Real mediante Motores Físicos. *Mecánica Computacional*, 1247-1258.

- Machado, G. L. (2014). . A preliminary cellular model for secondary lahars and simulation of 2005 case of Vascún Valley, Ecuador. *International Conference on Cellular Automata*, 208-217. Obtenido de [http://www.hep.phy.cam.ac.uk/vnc\\_docs/howitworks.html](http://www.hep.phy.cam.ac.uk/vnc_docs/howitworks.html)
- Macklin, M. &. (2013, 06 14). Position based fluids. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 104. Obtenido de <http://www.yiiframework.com/doc-2.0/guide-intro-yii.html>
- Monaghan, J. J. (1992). Smoothed particle hydrodynamics. *Annual review of astronomy and astrophysics*, 543-574. Obtenido de <https://si.ua.es/es/documentacion/asp-net-mvc-3/1-dia/modelo-vista-controlador-mvc.html>
- Mothes, P. A. (1992, 05 15). Lahars of Cotopaxi Volcano, Ecuador: hazard and risk evaluation. . *Geohazards*, 53-63. Obtenido de <https://domain.me/all-you-need-to-know-about-cpanel/>
- Muñoz-Salinas, E. R. (2008, 04 10). Updating channel morphology in digital elevation models: lahar assessment for Tenenepanco-Huiloac Gorge, Popocatepetl volcano, Mexico. *Natural Hazards*, 309-320. Obtenido de <https://www.linux.com/learn/mosh-pit-mobile-shell-replacement-ssh>
- Ordóñez, J. S. (2013). Las potenciales zonas de inundación por lahares en el volcán Cotopaxi. *Publicación Instituto Geofísico-Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de <https://winscp.net/eng/docs/lang:es>
- Pressman, R. S. (2010, 10 01). Ingeniería de software un enfoque práctico. En R. S. Pressman, *Ingeniería de software un enfoque práctico*. McGraw-Hill. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3243739/>
- Procedural Worlds. (2018). *GAIA / Procedural Worlds*. Obtenido de <http://www.procedural-worlds.com/gaia/>
- Robert, J. D. (2009). Complejidad, incertidumbre y vulnerabilidad: el riesgo asociado al volcán Cotopaxi en el Valle de los Chillos. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 709-733.
- Rovio. (2017). *Angry Birds*. Obtenido de Angry Birds: <https://www.angrybirds.com/>
- Scrum Alliance. (2017). *Scrum Alliance - The Scrum Guide*. Obtenido de <https://www.scrumalliance.org/learn-about-scrum/the-scrum-guide>
- Sheridan, M. F. (2005, 07 25). Evaluating Titan2D mass-flow model using the 1963 Little Tahoma Peak avalanches, Mount Rainier, Washington. *Journal of volcanology and geothermal research*, 89-102. Obtenido de

[http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo322/1s14/projects/reports/G20/Redes%20Privadas%20Virtuales%20\(VPN\).pdf](http://profesores.elo.utfsm.cl/~agv/elo322/1s14/projects/reports/G20/Redes%20Privadas%20Virtuales%20(VPN).pdf)

SketchUp. (2017). *SketchUp Developer Center*. Obtenido de <http://www.sketchup.com/intl/en/developer/docs/releases>

Unidad Educativa Giovanni Antonio Farina. (2016). *Planos Arquitectonicos de la Unidad Educativa*. Obtenido de <http://www.colegiofarina.edu.ec/administrativo/seguridad-y-salud/volcan-cotopaxi>

Unity. (2017). *Aprender*. Obtenido de Unity - Learn: <https://unity3d.com/es/learn>

Unity 3D. (2016). *Unity - Manual: Manual de Unity*. Obtenido de <https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/UnityManual.html>

Unity 3D. (2016). *Unity - Manual: Navigation and Pathfinding*. Obtenido de Unity - Manual: Navigation and Pathfinding: <https://docs.unity3d.com/Manual/Navigation.html>

Unity Terrain Tools. (2009). *Easy Roads - Unity Terrain Tools*. Obtenido de <http://www.unityterraintools.com/tools.php>

Unity3D. (2016). *Unity - Manual: Flujo de trabajo de los Assets*. Obtenido de <https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/AssetWorkflow.html>

Virtual Methods. (2017). *Obi - Unified Particle Physics for Unity 3D*. Obtenido de <http://obi.virtualmethodstudio.com/>

VR-BOX. (2017). *¿Qué es la realidad no inmersiva?* Obtenido de *¿Qué es la realidad no inmersiva?:* <https://vr-box.games/que-es-la-realidad-no-inmersiva/>