UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
VALPARAÍSO- CHILE

"SIVIT: SIMULADOR VIRTUAL DE TERREMOTOS – VERSIÓN 2.0 "

BELÉN IGNACIA GONZÁLEZ BARADIT

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN INFORMÁTICA

Profesor Guía: CECILIA VIRGINIA REYES COVARRUBIAS
Profesor Correferente: SVEN VON BRAND LAREDO

Marzo - 2019

A mi abuela por su sabiduría.

A mi madre por su fortaleza.

A mi hermano por su cariño.

A mis tíos por la inspiración.

A mis primos por su paciencia.

A mis amigos por sus palabras de aliento.

A mis profesores por sus consejos.

Y a mi pololo por acompañarme durante esta larga trayectoria.

Sin ellos no estaría dónde me encuentro ahora.

RESUMEN

La presente memoria tiene por objetivo enfrentar la problemática de los terremotos en Chile a través de un simulador de realidad virtual, que sitúa al usuario en una locación virtual con actividad sísmica, con el fin de educar su accionar, de tal forma de mejorar la reacción de las personas ante los sismos.

La primera versión de este simulador denominado SIVIT, nace el año 2016 como parte de las asignaturas que llevan a la Feria de Software que organiza anualmente el Departamento de Informática de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Palabras Clave—Sismos; Realidad virtual; Unity 3D.

ABSTRACT

This undergraduate thesis have the objective to deal with the problems of earthquake in Chile through a virtual reality simulator, which places the user in a virtual location with seismic activity, in order to educate their actions, so as to improve the reaction of people to earthquakes.
The first version of this simulator, called SIVIT, was born in 2016 as part of the subjects that lead to the Software Fair organized annually by the Department of Informatics of the Universidad Técnica Federico Santa María.

Translated with www.DeepL.com/Translator
Keywords— Earthquakes; Virtual Reality; Unity 3D.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN **3**

ABSTRACT **3**

ÍNDICE DE CONTENIDOS **3**

ÍNDICE DE FIGURAS **7**

ÍNDICE DE TABLAS **9**

INTRODUCCIÓN **10**

CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA **11**

1.1. LOS SISMOS Y SUS CONSECUENCIAS 11

1.1.1. CONTEXTO 11

1.1.2. ¿QUÉ ES UN SISMO? 11

1.1.3. ¿QUÉ SON LAS PLACAS TECTÓNICAS? 12

1.1.4. ¿CÓMO SE MIDE LA MAGNITUD DE UN SISMO? 12

1.2. SISMOS EN CHILE 14

1.3. SISMOS EN EL RESTO DEL MUNDO 15

1.3.1. TERREMOTO EN HAITÍ 16

1.3.2. TERREMOTO EN JAPÓN 16

1.3.3. TERREMOTO EN ITALIA 17

1.3.4. TERREMOTO EN MÉXICO 17

1.4. ACCIONES PARA ENFRENTAR LOS SISMOS 18

1.4.1. EN CHILE 18

1.4.2. EN EL MUNDO 21

1.5. OBJETIVO DE LA MEMORIA 22

1.5.1. OBJETIVO GENERAL 22

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 22

1.5.3. ALCANCE DE LA SOLUCIÓN 23

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE DE LA REALIDAD VIRTUAL 24

2.1. EVOLUCIÓN 24

2.2. DEFINICIONES 30

2.3. PLATAFORMAS TECNOLÓGICAS 31

2.3.1. UNITY 3D 31

2.3.2. UNREAL ENGINE 32

2.3.3. SELECCIÓN 32

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SIMULADOR 34

3.1. DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR 34

3.2. HERRAMIENTAS Y ENTORNO DE DESARROLLO 34

3.3. REQUERIMIENTOS DE LA APLICACIÓN 35

3.4. COMPONENTES DE LA SIMULACIÓN 35

3.4.1. MODELOS EN 3D 35

3.4.2. DISEÑO DEL ESCENARIO 36

3.4.3. MATERIALES PBR 40

3.4.4. GAMEPLAY Y MECÁNICAS 43

3.4.5. INTERFAZ 45

3.4.6. MÚSICA Y EFECTOS DE SONIDO 48

CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN 49

4.1. PRUEBAS 49

4.1.1. ENCUESTA 50

4.2. RESULTADOS 51

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES 53

5.1. CONCLUSIONES GENERALES 53

5.2. APRECIACIONES PERSONALES 54

5.3. VERSIONES FUTURAS 56

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **58**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Recomendaciones ante terremotos. Fuente: Onemi 20

Figura 2. Batalla de Borodino. Fuente: Virtual Reality Society 24

Figura 3: Estereoscopio. Fuente: The heritage Portal 24

Figura 4: Sensorama de Morton Heilig. Fuente: Virtual Reality Society 25

Figura 5: Telesphere Mask de Morton Heilig. Fuente: Virtual Reality Society 26

Figura 6: The Headsight. Fuente: Wikipedia 26

Figura 7: EyePhone y DataGlove de VPL. Fuente: Virtual Reality Society 27

Figura 8: Virtual Boy de Nintendo. Fuente: Nintendo 28

Figura 9: Oculus Rift, HTC Vive y Playstation VR. Fuente: Tecnobits 29

Figura 10: Google Cardboard y Gear VR. Fuente: Android Central 29

Figura 11: SiViT versión inicial estructura. Fuente:Elaboración propia. 37

Figura 12: SiViT versión 2.0 estructura. Fuente:Elaboración propia. 37

Figura 13: SiViT versión inicial inmueble. Fuente:Elaboración propia. 38

Figura 14: SiViT versión 2.0. desayunador. Fuente:Elaboración propia. 39

Figura 15: SiViT versión 2.0. comedor. Fuente:Elaboración propia. 39

Figura 16: SiViT versión 2.0. cocina. Fuente:Elaboración propia. 40

Figura 17: SiViT versión 2.0. pieza. Fuente:Elaboración propia. 40

Figura 18: Reflejo. Fuente: Tutoriales unity. 41

Figura 19: (a) Absorción de luz. (b) Luz difusa. (c) Reflección de la luz difusa. Fuente: Tutoriales unity. 41

Figura 20: Albedo. Fuente: Materiales PBR. 42

Figura 21:Metallic. Fuente: Materiales PBR. 42

Figura 22: Normal. Fuente: Materiales PBR. 42

Figura 23: Height. Fuente: Materiales PBR. 43

Figura 24: Flujo de pantallas del simulador. Fuente: Elaboración propia. 45

Figura 25: Menú Principal. Fuente: Elaboración propia. 46

Figura 26: Menú configuración. Fuente: Elaboración propia. 46

Figura 27: Selección de escenario. Fuente: Elaboración propia. 47

Figura 28: Selección de grado. Fuente: Elaboración propia. 47

Figura 29: Activar o desactivar ayuda. Fuente: Elaboración propia. 48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Grados en la escala de Mercalli. Fuente: USGS 13

Tabla 2: 10 terremotos más fuertes en Chile. Fuente: T13 15

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de memoria tiene como principal objetivo mejorar la versión inicial del proyecto SiViT comenzado en las asignaturas de Ingeniería de Software y Taller de Titulación para la XXIV Feria de Software, el cual busca mejorar el actuar de las personas ante los sismos de mediana y gran intensidad a través de la realidad virtual.

La población residente en Chile posee una cultura sísmica arraigada que producto de los constantes movimientos telúricos originados en dicho lugar hace que los residentes aminoren su temor ante los sismos de baja y mediana intensidad. Tanto así, que algunos sismos que son considerados terremotos en otras partes del mundo, allí se toman como un simple temblor. El problema yace ante terremotos mayores a los 6 grados Richter, donde la falta de conocimiento y práctica ante estas situaciones se hace notar, puesto que al pasar por alto constantemente los consejos de seguridad y el miedo generado en el momento, nublan el actuar de las personas, provocando riesgos que pudiesen ser evitados.

Si bien es cierto, en Chile los simulacros de evacuación son obligatorios, éstos son solo a nivel de enseñanza básica y media, en otro tipo de instituciones esta práctica es casi nula. Otro punto importante a considerar es que las condiciones en las que se desarrollan los simulacros son las más favorables, sin ruido ni movimiento telúrico y sin caída de objetos, esto hace que el subconsciente no sea capaz de asimilar esta práctica debido a que las condiciones en las que se produce el simulacro no son las mismas.

A partir de ello que nace SiViT, el simulador virtual de terremotos, el cual recrea un sismo de mediana o alta intensidad para educar al usuario bajo condiciones similares a las de un terremoto en un entorno seguro y controlado a través de la realidad virtual.

Esta memoria abarca los siguientes temas a tratar:

En el capítulo 1 se revisa el contexto sísmico tanto nacional como internacional, además de las maneras preventivas existentes tanto en Chile como en el resto del mundo.

En el capítulo 2 se revisa la evolución de la tecnología a utilizar para la solución propuesta y las herramientas necesarias para comenzar el desarrollo y su posibles alternativas.

En el capítulo 3 se detalla el alcance de la solución planteada en el capítulo 1 mediante la presentación de un documento que especifica su diseño e implementación.

Luego, en el capítulo 4, se describe el procedimiento y contenido de las pruebas realizadas en usuarios para verificar la validez de la solución.

Finalmente en el capítulo 5, se presentan las conclusiones obtenidas a lo largo del desarrollo de la aplicación y esta memoria, además de una reflexión personal del autor.

CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. LOS SISMOS Y SUS CONSECUENCIAS

1.1.1. CONTEXTO

La historia de la tierra y la humanidad ha estado marcada por grandes acontecimientos asociados a fenómenos naturales, desde poderosas erupciones volcánicas como la del volcán Krakatoa en 1883, hasta huracanes atípicos como los experimentados en Estados Unidos durante el año 2017, pero de entre todos los potenciales desastres, ninguno nos afecta más que los sismos o terremotos.

En la nueva edición del Atlas del Planeta Humano del European Commission Joint Research Center[1], se revela que el número de personas que viven en zonas sísmicas en el mundo no ha hecho más que aumentar, hasta el punto que se calcula que hay 2.700 millones de personas expuestas sólo a los terremotos, teniendo en estas cuatro últimas décadas un aumento de un 93%, pasando desde 1,4 billones en 1975 a los 2,7 billones en el 2015.

Si bien se sabe a partir de lo anterior que este fenómeno afecta a más de un 36% de la población mundial actual (7.6 billones de personas), algunos países sufren sus efectos más que otros debido a su posición geográfica. Países como Japón, México, Estados Unidos e Indonesia son claros ejemplos de esta realidad al registrar grandes terremotos y sufrir sus consecuencias de manera reiterada, pero de entre todos, Chile es quien ha tenido que lidiar más frecuentemente con este fenómeno, al punto de registrar el terremoto más fuerte en la historia de la humanidad.

1.1.2. ¿QUÉ ES UN SISMO?

Un sismo o terremoto es un fenómeno de sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producida por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas. Los más comunes se producen por la actividad de fallas geológicas, pero también pueden ocurrir por otras causas como, por ejemplo, fricción en el borde de placas tectónicas, procesos volcánicos, impactos de asteroides o cometas, o incluso pueden ser producidos por el hombre al realizar pruebas de detonaciones nucleares subterráneas[2].

Es claro entonces que al hablar de sismos es imposible no mencionar a Chile, dado que éste es uno de los países más proclives en el mundo a sufrir este tipo de fenómenos naturales dada su ubicación geográfica sobre el cinturón de fuego del Pacífico, justo al límite de la zona de contacto entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana.

[1] https://ec.europa.eu/jrc/en/news/atlas-human-planet-2017-how-exposed-are-we-natural-hazards
[2] https://www.abc.es/ciencia/20150223/abci-causa-terremotos-201502232012.html

1.1.3. ¿QUÉ SON LAS PLACAS TECTÓNICAS?

La definición de placas tectónicas proviene de la teoría de la tectónica de placas, la cual establece que la litosfera de la Tierra se encuentra fragmentada en una serie de placas de diversos tamaños que se desplazan por sobre la astenosfera (manto superior de la Tierra) y en cuyos bordes, debido a sus movimientos, direcciones e interacciones, se concentra gran actividad sísmica y volcánica, dando paso a la creación de cuencas y cadenas. Estos fragmentos de litosfera reciben el nombre de placas tectónicas [1].

Dentro de las 58 placas tectónicas existentes, 2 anteriormente mencionadas son de gran importancia para Chile debido a su ubicación e impacto. La placa de Nazca y la placa Sudamericana.

La placa de Nazca y la placa Sudamericana son dos grandes bloques principales de superficie terrestre que se mueven de manera relativamente rígida sobre el manto superior de la Tierra. Estas placas intentan avanzar la una sobre la otra a razón de entre 7 y 8 centímetros por año. La placa de Nazca (que limita en su lado izquierdo con la placa Pacífica) está siendo empujada por debajo de la placa Sudamericana, ambas "están pegadas por el roce de contacto en un área que va desde el sur de Perú hasta el norte de Chile"[3].

Las fuerzas de fricción generadas por estas placas al interior de la corteza terrestre causan una poderosa presión, y cuando esta presión se libera ocurre un terremoto. Esta fricción constante entre ambos bloques hace que la región sea una de las más sísmicas del mundo.

1.1.4. ¿CÓMO SE MIDE LA MAGNITUD DE UN SISMO?

Existen distintas maneras de medir un terremoto, ya sea por su energía liberada, su nivel destructivo, comparándolo con otros sismos, etc. Dentro de las formas más conocidas y utilizadas se encuentran la escala de Richter, la escala de Mercalli y la escala sismológica de magnitud de momento.

La escala sismológica de Richter (M_L), es una escala logarítmica arbitraria que asigna un número para cuantificar la energía que libera un terremoto, denominada así en honor de su creador el sismólogo estadounidense Charles Francis Richter en la década de 1930[4].

La sismología mundial usa esta escala para determinar las fuerzas de sismos de una magnitud entre 2.0 y 6.9 M_L y de 0 a 400 kilómetros de profundidad. Aunque los medios de comunicación suelen confundir las escalas para referirse a eventos telúricos actuales, se considera incorrecto decir que un sismo de magnitud superior a 7.0 corresponde en la escala de Richter, pues los sismos con magnitud superior a 6.9 se miden desde 1979 con la escala sismológica de magnitud de momento, por tratarse esta última de una escala que discrimina mejor en los valores extremos.

[3] https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/09/150917_terremoto_chile_porque_lp
[4] https://www.cbc.ca/news/world/richter-magnitude-scale-explained-1.1130841

La escala sismológica de Mercalli modificada es una escala de doce grados desarrollada para evaluar la intensidad de los terremotos a través de los efectos y daños causados a distintas estructuras. Así, la intensidad de un terremoto no está totalmente determinada por su magnitud, sino que se basa en sus consecuencias, empíricamente observadas. Debe su nombre al físico y sacerdote italiano Giuseppe Mercalli y fue desarrollada en 1931 por los sismólogos Harry Wood y Frank Neumann[5].

Tabla 1. Grados en la escala de Mercalli. Fuente: USGS

Grado	Descripción
I Muy débil	Microsismos, inapreciables para el ser humano.
II Débil	Perceptible, pueden oscilar lámparas.
III Leve	Tiemblan los edificios altos.
IV Moderado	Oscilan visiblemente los objetos colgantes.
V Poco fuerte	Rotura de cristales, pueden desprenderse fragmentos de fachada.
VI Fuerte	Sacudida sentida por todo el país o zona. Algunos muebles pesados cambian de sitio y provoca daños leves, en especial en viviendas de material ligero.
VII Muy fuerte	Desplazamiento o vuelco de muebles, movimiento de los árboles.
VIII Destructivo	Daños importantes en estructuras ordinarias.
IX Ruinoso	Daños considerables en estructuras especializadas.
X Desastroso	Se desploman construcciones no diseñadas para resistir sismos.
XI Muy desastroso	Pocas estructuras permanecen en pie. Puentes destruidos. Vías ferroviarias curvadas.
XII Catastrófico	Destrucción total. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados. Imposibilidad de mantenerse en pie.

Finalmente, la escala sismológica de magnitud de momento (M_W) es una escala logarítmica usada para medir y comparar terremotos. Está basada en la medición de la energía total

[5] https://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php

que se libera en un sismo. Fue introducida en 1979 por Thomas C. Hanks y Hiroo Kanamori como la sucesora de la escala sismológica de Richter [2].

Una ventaja de la escala de magnitud de momento es que no se satura cerca de valores altos. Es decir, a diferencia de otras escalas, ésta no tiene un valor por encima del cual todos los terremotos más grandes reflejan magnitudes muy similares. Otra ventaja que posee esta escala es que coincide y continúa con los parámetros de la escala sismológica de Richter.

Por estas razones, la escala de magnitud de momento es la más usada por sismólogos para medir y comparar terremotos de grandes proporciones. El Centro Nacional de Información Sísmica (National Earthquake Information Center), dependiente del Servicio Geológico de los Estados Unidos, usa esta escala para la medición de terremotos de una magnitud superior a 6.9[6].

A pesar de lo anterior, la escala sismológica de Richter es la que goza de más popularidad en la prensa. Luego, es común que la prensa comunique la magnitud de un terremoto en escala de Richter cuando éste ha sido medido en realidad con la escala de magnitud de momento. En algunos casos esto no constituye un error, dada la coincidencia de parámetros de ambas escalas, aunque se recomienda indicar simplemente magnitud y evitar la coletilla grados en la escala de Richter para evitar errores.

1.2. SISMOS EN CHILE

Desde que existen instrumentos para realizar mediciones, en Chile se han registrado más de 15 terremotos con una magnitud superior a los 7 grados, 9 de los cuales incluso sobrepasaron los 8 grados en las escalas utilizadas para la época.

A nivel mundial, dentro de los 10 terremotos más fuertes, 2 de ellos pertenecen a Chile: el terremoto de Valdivia en 1960 y el terremoto de Constitución en 2010, con magnitudes de 9.5 y 8.8 respectivamente.

El terremoto de Valdivia afectó las regiones del Biobío, Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y fue percibido en distintos puntos del planeta. La energía liberada fue tal que produjo tanto un maremoto que afectó a diversas localidades a lo largo del océano Pacífico, como Hawái y Japón, así como la erupción del volcán Puyehue, que cubrió de cenizas el lago Puyehue. Se estima que esta catástrofe natural costó la vida de entre 1655 y 2000 personas, y dejó damnificados a más de 2 millones[7].

El terremoto de Constitución afectó las regiones de Valparaíso, Metropolitana de Santiago, O'Higgins, Maule, Biobío y La Araucanía, que acumulan más de 13 millones de habitantes, cerca del 80 % de la población del país. En las regiones del Maule y del Biobío, el terremoto alcanzó una intensidad de 9 en la escala de Mercalli, arrasando con gran parte

[6]https://www.usgs.gov/faqs/moment-magnitude-richter-scale-what-are-different-magnitude-scales-and-why-are-there-so-many?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products

[7]https://www.notimerica.com/sociedad/noticia-terremoto-valdivia-mayor-sismo-historia-20180522104522.html

de las ciudades como Constitución, Concepción, Cobquecura y el puerto de Talcahuano. Gran parte del centro de las ciudades de Curicó y Talca colapsó y su casco histórico quedó destruido en su totalidad. En las regiones de La Araucanía, O'Higgins y Metropolitana, el sismo alcanzó una intensidad de 8 provocando destrucción en la capital, Santiago, en Rancagua y en las localidades rurales. Las víctimas fatales llegaron a un total de 525 fallecidos. Cerca de 500 mil viviendas sufrieron graves daños y se estiman un total de 2 millones de damnificados, en la peor tragedia natural vivida en Chile desde 1960[8].

La siguiente tabla muestra los 10 principales terremotos ocurridos en Chile según su magnitud en la escala de Richter y la escala sismológica de magnitud de momento:

Tabla 2: 10 terremotos más fuertes en Chile. Fuente: T13

Lugar	Año	Magnitud
Valdivia	1960	9.5
Arica (Perú)	1868	9.0
Constitución	2010	8.8
Valparaíso	1730	8.7
Vallenar	1922	8.5
Tarapacá	1877	8.3
Concepción	1835	8.2
Valparaíso	1906	8.2
Illapel	1943	8.2
Arica e Iquique	2014	8.2

1.3. SISMOS EN EL RESTO DEL MUNDO

Además de Chile, una gran cantidad de países en el mundo han debido presenciar el poder destructivo de los terremotos y sus consecuencias, si bien Chile registra el terremoto más fuerte en la historia de la humanidad hasta ahora, el mundo no ha sido ajeno a movimientos cercanos a los 9.5 grados Richter, por ejemplo, el 26 de diciembre de 2004, Indonesia sufrió un terremoto de magnitud 9.2 Richter provocando un devastador tsunami que causó más de 229.866 muertos en Sri Lanka, islas Maldivas, India, Tailandia, Malasia, Bangladesh y Myammar (antigua Birmania). Uno de los cinco peores terremotos conocidos desde 1900. Otro caso ocurrió el 28 de marzo de 1964, en Anchorage, Alaska, donde tuvo

[8] https://aquevedo.wordpress.com/2010/03/08/chile-terremoto-del-27-de-febrero-de-2010/

lugar un terremoto de magnitud 9.2 Richter que produjo un levantamiento del suelo de hasta 11,5 metros en 520.000 kilómetros cuadrados en el continente, siendo aún mayor en las islas Aleutianas, alcanzando los 15 metros en la isla Montague, y que dejó 128 muertos.

Desde el 2010 a la fecha, han tenido lugar una serie de importantes terremotos, que si bien no han superado los 9.2 grados de los casos presentados anteriormente, sí han estado marcados por sus efectos y la necesidad de tener o preparar medidas adecuadas para hacer frente a estos desastres. Los siguientes 4 casos son los más emblemáticos tanto por su cercanía de fecha al momento de escribir esta memoria, como el nivel de destrucción causado.

1.3.1. TERREMOTO EN HAITÍ

El terremoto de Haití registrado el martes 12 de enero del 2010 a las 4:53 PM con epicentro a 15 km de Puerto Príncipe, la capital de Haití, es uno de los sismos más fuertes registrados hasta la fecha en ese país y el mundo. Según el Servicio Geológico de Estados Unidos, el sismo tuvo una magnitud de 7.3 M_W y se generó a una profundidad de 12 kilómetros. También se registraron una serie de réplicas, siendo las más intensas de magnitud 5.9M_W, 5.5M_W y 5.1M_W[9]. Este terremoto ha sido el más fuerte registrado en la zona desde hace unos cuantos siglos. El sismo fue perceptible en países cercanos como Cuba, Jamaica y República Dominicana, donde provocó temor y evacuaciones preventivas. Los efectos causados sobre este país, el más pobre de América en ese momento, fueron devastadores. Los cuerpos recuperados al 25 de enero superaban los 150.000, calculando que el número de muertos excedería los 200.000. Los datos definitivos de los afectados fueron dados a conocer por el primer ministro Jean-Max Bellerive en el primer aniversario del sismo, el 12 de enero de 2011, conociéndose que en el sismo fallecieron 316.000 personas, 350.000 más quedaron heridas, y más de 1,5 millones de personas damnificadas, con lo cual, es una de las catástrofes humanas más graves de la historia[10].

1.3.2. TERREMOTO EN JAPÓN

El terremoto y tsunami de Japón registrado el viernes 11 de Marzo del 2011 ocurrió a las 2:46 PM con epicentro en el mar, frente a la costa de Honshu, a una profundidad de 32 kilómetros, fue un terremoto de magnitud 9.0 M_W que creó olas de maremoto de hasta 40,5 metros. El terremoto duró aproximadamente 6 minutos según los sismólogos. El USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos) explicó que el terremoto ocurrió a causa de un desplazamiento en proximidades de la zona de la interfase entre placas de subducción entre la placa del Pacífico y la placa Norteamericana[11]. Es el terremoto más potente sufrido en Japón hasta la fecha, así como el cuarto más potente del mundo de todos los

[9]https://web.archive.org/web/20100115110546/http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/recenteqsww/Quakes/us2010rja6.php

[10]https://web.archive.org/web/20110115014954/http://www.telesurtv.net/secciones/noticias/87186-NN/nuevo-balance-eleva-a-316-mil-los-muertos-por-terremoto-de-haiti/

[11] https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/official20110311054624120_30/executive#executive

terremotos medidos hasta la fecha, registrando un total de 21.586 muertos y 2.605 desaparecidos[12].

1.3.3. TERREMOTO EN ITALIA

El terremoto de Italia central fue una serie de eventos sísmicos iniciados el 24 de agosto de 2016 a las 3:36 AM hora local afectando las provincias de Rieti, Ascoli Piceno y Perugia[13]. Italia se encuentra situada entre dos fallas y esto la convierte en una de las zonas más activas sísmicamente de Europa.En particular, el terremoto de Italia se ha producido por el desplazamiento entre dos placas tectónicas: la placa adriática (o placa apuliana) se sumerge por debajo de la placa euroasiática. El movimiento se conoce como proceso de subducción y ha tenido como consecuencia que la placa euroasiática haya chocado a su vez con la placa africana. El sismo principal tuvo una magnitud de 6.2M_W; con epicentro situado cerca del valle del Tronto entre los municipios de Accumoli, Amatrice (Rieti) y Arquata del Tronto (Ascoli Piceno) a pocos kilómetros de profundidad. Minutos después le siguieron varias réplicas, la más potente de intensidad 5.5M_W. Este sismo de gran intensidad ha dejado 296 muertos y a 388 heridos[14].

1.3.4. TERREMOTO EN MÉXICO

El terremoto de Chiapas, fue un movimiento de placas ocasionado por una fractura telúrica ocurrida a las 11:49 PM del jueves 7 de septiembre del 2017. Tuvo una magnitud de 8.2 M_W, según el USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos)[3]. El epicentro se ubicó en el golfo de Tehuantepec, y a 69.7 km de profundidad. Este sismo pudo percibirse en en guatemala, en El Salvador, en Honduras y en Belice. Es el terremoto más fuerte registrado en México desde hacía décadas, dejando a 98 muertos[15].

El terremoto de Puebla de 2017, se produjo a las 1:14 PM del martes 19 de septiembre. Tuvo una magnitud de 7.1 M_W. Su epicentro se localizó 12 kilómetros al sureste de Axochiapan (Morelos), según el informe especial preliminar del Servicio Sismológico Nacional de México [4]. El Servicio Geológico de los Estados Unidos ubicó el epicentro a un kilómetro de San Felipe Ayutla (Puebla) y dejó un saldo de 369 muertos[16].

[12]https://www.europapress.es/internacional/noticia-balance-terremoto-tsunami-2011-japon-eleva-21586-muertos-20140811151712.html
[13]https://www.eitb.eus/es/noticias/internacional/detalle/4330160/terremoto-italia-2016-cientos-muertos-amatrice/
[14]https://www.corriere.it/cronache/16_agosto_26/terremoto-terra-trema-ancora-nuova-bilancio-vittime-6d999598-6b4a-11e6-8bdd-2a860cc068c8.shtml
[15]https://www.economiahoy.mx/sociedad-eAm/noticias/8603690/09/17/Mexico-Aumentan-a-98-los-muertos-a-causa-del-terremoto-de-magnitud-82-que-sacudio-el-sur-de-Mexico.html
[16] https://www.excelsior.com.mx/nacional/2017/10/04/1192536

1.4. ACCIONES PARA ENFRENTAR LOS SISMOS

1.4.1. EN CHILE

Muchas personas se preguntan por qué los terremotos en Chile no generan un nivel de destrucción mayor como los ocurridos en otros países, tales como Italia y Haití, pese a que los sismos son del mismo grado o superior.

La respuesta a esta interrogante se encuentra en la normativa de construcción chilena, la cual exige uso de materiales y estudios del suelo que encarecen mucho la construcción, pero al tratarse de un país sísmico que ha sufrido terremotos tan devastadores, genera un impacto en la conciencia colectiva que ayuda a cumplir las normas.

Las acciones más relevantes que se pueden sintetizar según los expertos[17] son:

- Uso de materiales de construcción específicos

  Los expertos coinciden en que una clave está en la estructura de hormigón armado y acero, suficientemente flexible y resistente para dejar que el edificio se mueva, se balancee y no se caiga.

  Además las construcciones modernas, tienden a incorporar elementos como los aisladores y los disipadores sísmicos que permiten que el movimiento de la tierra no se transmita al edificio y, si se transmite, esta energía debe ser absorbida. En el fondo, el terremoto es una cantidad enorme de energía que se traspasa a las construcciones. Si no tiene modo de ser disipada, termina destruyendo todas las estructuras.

- Estudios de suelo

  Un elemento crucial es el estudio del suelo para que los cimientos sean los adecuados. A cada tipo de suelo corresponde un cálculo específico para el tamaño, forma, profundidad y resistencia de las fundaciones, es decir, se hace un análisis muy especializado que garantiza la estabilidad del edificio. Las normas chilenas prevén 3 tipos de terremotos en función de su intensidad:

  - ➔ Moderados: las construcciones deben estar preparadas para moverse y volver a la posición original sin daños.
  - ➔ Fuertes: se aceptan pequeñas fisuras y deformaciones, a lo sumo.
  - ➔ Severo: puede haber daños considerables, pero no daños que causen un colapso en la estructura.

[17] https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/04/140402_chile_terremoto_edificios_az

- Aprender de cada terremoto

  Por último un aspecto muy importante que se da, es que la normativa sísmica es revisada constantemente, en especial después de un gran evento. El terremoto de 1985 llevó a publicar una estricta regulación que fue puesta al día y profundizada en 1996, 2009 y también en 2010, es decir, tras cada terremoto se estudia lo que no ha funcionado y lo que requiere mejoras, "si un edificio se dañó de consideración y al de al lado no le pasó nada, es porque algo falló, puede que ambos edificios cumplan con la normativa en el sentido de no haberse caído, pero un perito debe determinar por qué se dañó, si es que estaba mal calculado"[18].

  Por ejemplo, tras lo sucedido en el terremoto del 2010, toda edificación que mostró algún tipo de falla, fue estudiada mediante juntas de ingenieros, mecánicos del suelo y personas relacionadas con diversas áreas de la construcción. Eso deja a Chile como un país construido a prueba de terremotos y hace preguntarse por qué en todo el mundo no es igual.

- Simulacros

  La Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI)[19] es el organismo técnico del Estado de Chile encargado de la coordinación del Sistema Nacional de Protección Civil. Su misión es planificar, impulsar, articular y ejecutar acciones de prevención, respuesta y rehabilitación frente a situaciones de riesgo colectivo, emergencias, desastres y catástrofes de origen natural o provocados por la acción humana.

  La gestión de la actual administración de ONEMI ha estado centrada en el reforzamiento del Sistema de Emergencia y Alerta Temprana y en el fortalecimiento del Sistema de Protección Civil, sumado a la atención y apoyo en las situaciones derivadas de las emergencias, por las diversas variables de riesgos a lo largo del país (sistemas frontales, nevazones en la zona sur, afectación por inestabilidad post frontal, evacuación del borde costero por alertas de tsunami, etc).

  ONEMI ha constatado que la prevención es clave a la hora de salvar vidas y ha impulsado la tarea permanente de educar a la población en materias de autocuidado a través del programa de Chile Preparado[20] (ver figura 1). Además, ha desarrollado campañas junto a diversas instituciones públicas, como CONAF y SERNATUR, en la misma línea de fortalecer las conductas preventivas.

[18] https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/04/140402_chile_terremoto_edificios_az
[19] http://www.onemi.cl/presentacion/
[20] http://www.onemi.cl/terremoto/

Figura 1: Recomendaciones ante terremotos. Fuente: Onemi

- <u>La casa sísmica</u>

  El Museo Interactivo Mirador, mejor conocido como MIM recrea el sismo ocurrido el 27 de Febrero del 2010 en la atracción conocida como "casa sísmica"[21], esta experiencia de dos minutos en que se vivencia un registro histórico: el sismo de magnitud 8 que se sintió en el centro de Santiago el 27/F. Dentro de la cabina de simulación, amoblada como una casa, y mientras ésta se mueve horizontal y verticalmente con gran fuerza, en una ventana-pantalla se muestra lo que ocurrió realmente en las calles durante ese día, como el derrumbe de la iglesia de la Divina Providencia, el corte de luz y la explosión de los generadores. Los efectos recrean también el ruido subterráneo, la quebrazón de vidrios, y el primer despacho radial emitido ese día. Toda la ingeniería y la puesta en escena tuvieron un costo total de 400 millones de pesos para lograr recrear vívidamente lo ocurrido con el fin de familiarizar a los niños con los eventos naturales propios de un país sísmico. La idea de este proyecto es conocer y aprender sobre el origen de los movimientos telúricos, para entenderlos y reaccionar adecuadamente. Por eso, antes de entrar al simulador, recorren módulos interactivos sobre el origen de la Tierra, el

[21] https://www.mim.cl/index.php/162-filtrado-de-modulos/sala-tierra/2485-69-sala-tierra-casa-sismica

movimiento de la placas, la formación de tsunamis y la construcción de casas antisísmicas.

Siendo la finalidad del simulador contribuir a fortalecer la cultura sísmica en Chile, que aun falta por mejorar. Además este proceso no está exento de ayuda psicológica. Psicólogos capacitan a los guías y evalúan las reacciones de los niños y adultos, quienes comparten sus experiencias en sismos en una cabina especial. Es importante recalcar que el uso del simulador no es recomendable para quienes han sufrido traumas graves, pero sí es una oportunidad para quienes no lo han vivido nunca o aquellos que deseen experimentar el suceso otra vez, pues la idea es entender que los sismos son normales y que ocurrirán siempre. Un aspecto importante a señalar es que el simulador está contraindicado para embarazadas, menores de 6 años, enfermos cardíacos o con marcapasos.

1.4.2. EN EL MUNDO

Dado que el fin último ante un sismo es preservar la vida humana, muchos países que poseen el riesgo de sufrir un terremoto, han modificado sus normas de construcción a fin de que éstas puedan resistir movimientos telúricos y evitar derrumbes, además de acompañar estas medidas con simulacros periódicos y creación de equipos especiales capaces de responder ante emergencias de este tipo. Ejemplos claros de estas medidas son realizadas por Japón y México, las cuales se describen a continuación:

- Día de prevención de desastres en Japón

  Cada año en el aniversario del terremoto de magnitud 7,9 que devastó a la región de Kanto el 1 de septiembre de 1923 matando a más de 105.000 personas, se realizan acciones para concienciar a la sociedad japonesa de la importancia de prepararse ante los desastres naturales. Otro factor importante para escoger esta fecha es debido a que la temporada alta de ciclones se da en septiembre y octubre.

  Este evento consiste en realizar simulacros de diferente índole en todo el país. En el último año (2017), Japón incluyó simulacros antimisiles que se sumaron a los antiguos simulacros de catástrofes naturales como fuertes terremotos, tsunamis y lluvias torrenciales.

  Uno de los simulacros más importantes fue la simulación de terremotos en la ciudad de Tokio, representando un terremoto de magnitud 7.3, tras el cual el primer ministro convocó a una reunión de emergencia con todo su gabinete y brindó una conferencia de prensa. Todo este escenario se hace para minimizar el daño y maximizar el compromiso de ayuda en todo el país japonés.

- Medidas de prevención en México

  México tras el terremoto sufrido en 1985 de magnitud 8.1 implementó medidas que hasta ese tiempo no tenía, entre ellas se destacan reglas más estrictas para la construcción de edificios, se establecieron campañas de información y prevención, se creó una alarma sísmica y se han hecho constantes simulacros.

  La medida más importante es la creación del Sistema de Alerta Sísmica (SAS) en 1991, que consiste en 12 estaciones sísmicas ubicadas en la costa del Pacífico, que al detectar un sismo de magnitud mayor a 5 grados en la escala de Richter, envían una alerta a Ciudad de México para que emita la alarma. El SAS puede transmitir una alerta que da hasta 60 segundos de aviso antes de las manifestaciones del sismo.

  Además se creó la Brigada de Rescate Tlatelolco Azteca, más conocidos como “Los topos”, especializados en escabullirse entre los edificios colapsados y en excavaciones en busca de sobrevivientes. Esta organización civil ha tomado fama mundial desde entonces y ha participado en, al menos, 50 rescates alrededor del mundo, incluido el realizado tras el ataque a las Torres Gemelas en 2001.

1.5. OBJETIVO DE LA MEMORIA

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de la memoria es continuar con el desarrollo del proyecto “SiViT” creado en la XXIV Feria de Software, llevándose a cabo en esta memoria la versión 2.0. En esta nueva versión se busca mejorar los escenarios para que el simulador sea más completo y realista, siendo aún más beneficioso y efectivo para los usuarios.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar acerca del modelado tridimensional con el fin de incorporar una variedad de modelos a la escena.
- Recrear un escenario que intente ser lo más fidedigno posible a la realidad a fin de proveer una simulación de calidad.
- Mejora de interfaz de distintos menús presentes en el simulador, de tal manera de ampliar las facilidades de uso para el usuario.
- Probar la versión generada, de tal manera de asegurar la calidad del producto de software final.

1.5.3. ALCANCE DE LA SOLUCIÓN

El software a desarrollar será una versión mejorada del simulador virtual de terremotos SiViT, creado en la XXIV Feria de Software que nace de sus integrantes Mario Perez, Alfonso Carrasco, Frank Quiroz, Rodrigo Cisternas y Belén González, cuyo principal objetivo era el poder recrear un sismo en un ambiente virtual. Éste se logró con bastante éxito, sin embargo, no estuvo exento de limitaciones. La falta de experiencia en cuanto a conocimientos de interfaces y modelamiento 3D acotó algunas formas creativas de poder llevar a cabo el proyecto. A su vez el utilizar equipos obsoletos como el DK1 y en consecuencia la versión de Unity 5.2.2f1 limitó el realismo de la inmersión. Finalmente el último y más grande problema, era el costo del software, dónde era necesario poseer un equipo con hardware capaz de reproducir contenido en realidad virtual y un Oculus Rift para su utilización, lo que hacía que el software fuera inaccesible para muchas personas.

Es por esta razón que, en conjunto con el memorista de Ingeniería Ejecución informática Mario Pérez, se procede a construir una nueva versión del proyecto, a través de dos temas de memorias complementarios. En su caso, plantea el desarrollo de un simulador en realidad virtual para dispositivos móviles con sistema operativo Android, mediante el uso del motor de videojuegos Unity3D y el kit de desarrollo de aplicaciones en realidad virtual Google Cardboard. Todo ello orientado a alcanzar una versión del software que requiera una menor potencia gráfica, una mayor capacidad de acceso al público objetivo y una menor dificultad de adquisición, dada su naturaleza de aplicación móvil y el considerable descenso de costos en cuanto a hardware necesario para utilizar la aplicación.

En cambio, la presente memoria plantea aprovechar las capacidades del hardware requerido por el Oculus Rift en la primera versión de SIVIT para generar nuevos y más detallados modelos tridimensionales, el cual en base a pequeñas adaptaciones podrá ser implementado en distintos dispositivos de realidad virtual que soporten la versión de Unity 2017.1.1f1.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE DE LA REALIDAD VIRTUAL

2.1. EVOLUCIÓN

Al escuchar el término realidad virtual, es común asociarlo a tecnologías que hace no muchos años atrás eran consideradas de ciencia ficción y en extremo futuristas, pero los inicios de la realidad virtual pueden ser considerados incluso más antiguos que la formalización del concepto como lo conocemos hoy. Si nos enfocamos más estrictamente en el concepto de realidad virtual como el intento de crear una ilusión de ubicarnos en un lugar en el cual no nos encontramos, durante el siglo 19 ya podrían rastrearse los primeros indicios de lograr esta hazaña mediante los enormes murales panorámicos realizados por pintores de esa época cuya intención era ofrecer un gran espectro de visión a quienes miraran la pintura para hacerlos sentir partícipe de ese momento.

Figura 2. Batalla de Borodino. Fuente: Virtual Reality Society

En el año 1838 la investigación del científico e inventor Charles Wheatstone[22] demostró que el cerebro humano es capaz de procesar imágenes distintas en 2D ubicadas frente a cada ojo y unificarlas en una sola imagen en 3D. El ver dos imágenes una al lado de la otra en un estereoscopio entregaba al usuario la sensación de profundidad e inmersión. Los principios del diseño del estereoscopio son los utilizados por empresas como google mediante Google Cardboard[23] y algunos visores para celulares de bajo presupuesto.

Figura 3: Estereoscopio. Fuente: The Heritage Portal

[22] http://www.stereoscopy.com/library/wheatstone-paper1838.html
[23] https://vr.google.com/cardboard/

Durante los años 30, la idea de lentes que permitieran al usuario experimentar un mundo ficticio a través de hologramas, olores, sabores y tacto vinieron de parte del escritor de ciencia ficción Stanley G. Weinbaum en su libro "Pygmalion's Spectacles"[24]. Dentro del libro es posible ver que la descripción de la experiencia de los usuario de estos lentes es muy similar a la que se tiene actualmente con los dispositivos de realidad virtual, convirtiéndolo en un visionario de este campo.

A mediados de los años 50, el cinematógrafo Morton Heilig desarrolló el "Sensorama"[25], el cual era un teatro con forma de Arcade para una persona, en el cual se buscaba estimular todos los sentidos del espectador, no solo la vista y el oído. El "Sensorama" tenía parlantes estéreo, una pantalla estereoscópica 3D, ventiladores, generadores de olores y vibración para la silla.

Figura 4: Sensorama de Morton Heilig. Fuente: Virtual Reality Society

Fue en 1960 que Morton Heilig, creó "Telesphere Mask", el primer ejemplo de un HMD (Head-Mounted Display) tal como los conocemos hoy. Si bien este sistema no tenía rastreo de movimiento (motion tracking) como los dispositivos actuales, si tenía una pantalla estereoscópica 3D de visión amplia y parlantes estéreo.

[24] http://www.simonandschuster.com/books/Pygmalions-Spectacles/Stanley-G-Weinbaum/9781682999219
[25] http://www.mortonheilig.com/InventorVR.html

Figura 5: Telesphere Mask de Morton Heilig. Fuente: Virtual Reality Society

No es hasta 1961 que dos ingenieros de la Philco Corporation, Comeau & Bryan, desarrollaron el precursor de los HMD actuales, al cual denominaron “The Headsight”. Este sistema incorporaba una cámara para cada ojo, y un sistema de rastreo magnético, el cual estaba conectado a un circuito cerrado de cámaras. “The Headsight” no fue desarrollado para aplicaciones de realidad virtual (término que no existía en esa época), sino que entregaba una inmersión remota ante situaciones de peligro para los militares al permitir que con el movimiento de cabeza fuera posible mover una cámara a distancia.

Figura 6: The Headsight. Fuente: Wikipedia

En 1965, Ivan Sutherland describió el concepto de “Ultimate Display” [6], el cual sería capaz de simular la realidad al punto de no poder notar la diferencia con la realidad actual. Este concepto incluye:

- Un mundo virtual visto mediante HMD y con sonidos 3D y feedback mediante tacto.

- La capacidad para que el usuario pueda interactuar con objetos en el mundo virtual de una manera realista.
- Hardware de computadora para crear y mantener este mundo virtual.

Este artículo se convertiría en el núcleo de lo que la realidad virtual es hoy en día.

Potencialmente junto a su estudiante Bob Sproull creó la “Espada de Damocles” (Sword of Damocles) [7], el primer VR/AR HMD conectado a una computadora y no a una cámara. Era tan grande y pesada que debía ser sujetada desde el techo.

Finalmente, es en el año 1987 que Jaron Lanier, fundador del Visual Programming Lab (VPL), popularizó el término Realidad Virtual y esta área de investigación obtuvo un nombre. A través de la investigación de su compañia, Lanier desarrolló una variedad de equipos de realidad virtual, tales como el DataGlove (junto con Tom Zimmerman) y el HDM EyePhone. Fueron la primera compañía en vender lentes de realidad virtual.

Figura 7: EyePhone y DataGlove de VPL. Fuente: Virtual Reality Society

Durante 1991 fue posible comenzar a ver equipos de realidad virtual con acceso directo al público, pero aún eran demasiado costosos para su masificación. The Virtuality Group liberó una gran variedad de Arcades y máquinas en las que los jugadores podían colocarse lentes de realidad virtual cuyas imágenes 3D estereoscópicas tenían menos de 50 ms de latencia. Algunas unidades incluso se encontraban conectadas entre sí para permitir la experiencia multijugador.

En 1993, la compañía Sega anunció el Sega VR headset durante la “Consumer Electronics Show”. El prototipo tenía rastreo de movimiento de cabeza, sonido estéreo y pantallas LCD en el visor, y a un precio de $200 dólares de la época, pero problemas técnicos durante el desarrollo impidieron que el visor pudiera salir al mercado.

Otro intento de acercar los visores al público vino de parte de Nintendo el año 1995. El Nintendo Virtual Boy (VR-32), una consola de videojuegos 3D que generó mucha expectativa al ser la primera consola portátil capaz de entregar verdaderas gráficas en 3D.

Fue vendida en un principio en Japón y Estados Unidos a un valor $180 dólares de la época, pero fue un fracaso debido a que el público no estuvo conforme con que las gráficas fueran en rojo y negro (falta de color), una mala asistencia técnica de software y su dificultad de utilizarla en una posición cómoda. Al año siguiente, el Nintendo Virtual Boy dejó de venderse.

Figura 8: Virtual Boy de Nintendo. Fuente: Nintendo

Los primeros años del siglo 21 han brindado un gran avance en el desarrollo de las tecnologías para la realidad virtual, especialmente a partir de los dispositivos móviles que han permitido que los precios para esta tecnología sean cada vez más bajos. El aumento de smartphones con pantallas de alta resolución y gráficas 3D han permitido una generación de dispositivos aptos para la realidad virtual, livianos y prácticos, siendo la industria de videojuegos una gran responsable en mantener un constante desarrollo de esta área.

Desde el año 2016, una gran variedad de dispositivos parecen responder a las incumplidas promesas hechas por la realidad virtual durante los años 90. Pioneros como Oculus Rift (comprada por Facebook en 2014), HTC Vive (desarrollado por la compañía Valve y HTC), además de Playstation VR de Sony, han entregado cualidades que parecen dejar conformes a los consumidores y que con un continuo desarrollo para perfeccionar sus tecnologías han formado los cimientos sobre el standard en un visor de acceso público, pero pese a estos avances, su valor de mercado no deja de ser considerable (alrededor de $499 dólares en algunos modelos) y la necesidad de equipos con hardware especializado para utilizarlos (computadoras y consolas), los encarecen aún más.

Figura 9: Oculus Rift, HTC Vive y Playstation VR. Fuente: Tecnobits

No es hasta el año 2014 que durante una conferencia de desarrolladores de Google se presenta Google Cardboard y el mundo comienza a comprender el potencial de los smartphones para esta tecnología. Gracias a esta simple propuesta, se volvió posible el uso de un HMD de bajo costo, inalámbrico y accesible al público, donde la pieza clave sería poseer un smartphone con sistema operativo iOS o Android capaz de reproducir aplicaciones estereoscópicas, y con giroscopio para rastrear el movimiento de la cabeza.

Este nuevo enfoque para la realidad virtual permitió que empresas como Samsung y Oculus Rift trabajarán en conjunto para obtener el mejor rendimiento posible por parte de los smartphones. De esta manera hizo su aparición el HMD Samsung Gear VR, el cual improvisó la sensación de movilidad del usuario al incluir en el visor el hardware necesario para el rastreo de movimiento, evitando así que el smartphone tuviera que utilizar su giroscopio, mejorando de manera considerable la latencia y disminuyendo la posibilidad de mareo de movimiento.

Figura 10: Google Cardboard y Gear VR. Fuente: Android Central

La gran oferta de smartphones con capacidades para el uso de la realidad virtual y los diferentes precios a los que es posible encontrarlos, han permitido derribar obstáculos para su uso en diferentes áreas, siendo la de principal interés la educación, tal como se

expone en el artículo de la Universidad de Gothenburg “The Benefits Of Virtual Reality in Education” [8], la disminución de los costos para adquirir y utilizar la realidad virtual han permitido su ingreso en las aulas de clases e instituciones educativas, ayudando a los alumnos a estudiar diversas materias, además de comprobar su eficacia en comparación a aplicaciones comunes de smartphone que abordan las mismas temáticas.

Ejemplos que refuerzan esta experiencia pueden encontrarse en artículos como “The application of virtual reality to chemical engineering education” [9], en el cual se expresa cómo en ingeniería química la realidad virtual permitió recrear accidentes de laboratorio para mostrar a sus usuarios las consecuencias de no seguir las medidas de seguridad. En el artículo “Virtual reality in surgical education” [10] se describe el cómo usar la realidad virtual en estudios de cirugía para permitir al cirujano determinar sus niveles de competencia antes de operar a un paciente, mientras que en el artículo “Can virtual reality improve anatomy education? a randomised controlled study of a computer-generated three-dimensional anatomical ear model” [11], se plantea cómo la medicina ha demostrado gran interés en el uso de aplicaciones en 3D especialmente en el campo de la anatomía humana, donde un estudio reveló que el uso de modelos 3D para improvisar el aprendizaje de los estudiantes tuvo un impacto positivo.

2.2. DEFINICIONES

El concepto subyacente de la realidad virtual tiene un origen incierto, y es que ésta nace completamente de la ciencia ficción, de una idea o un pensamiento general con la llegada de las computadoras, por lo cual se es incapaz de encontrar un punto exacto en el nacimiento de ésta o en la etimología de su nombre. Sino más bien es una idea generalizada, idealizada desde la década del 50, cuya forma empieza a concretarse en los años 80, por lo cual no hay una forma concreta de definirla, más que separar ambas partes de su contenido, ¿qué es lo real? y ¿qué es lo virtual? que ya de por sí, es complejo de definir. Lo real es aquello que se conoce o existe de forma auténtica, los sucesos que disponen de una existencia efectiva y no imaginaria. Sin embargo, lo virtual es aquello que cuenta con la virtud de generar un efecto, pero que no se concreta en el presente, concepto el cual suele oponerse a lo real. Por lo tanto, al analizar ambos conceptos juntos, suena algo contradictorio, sin embargo su noción es muy habitual, y es que en esta era tecnológica se subentiende como un entorno informático que simula ser real. De esta substancia nace arraigada la idea del ser humano de la realidad virtual, sin acuñar a nadie tal pensamiento, sino más bien la idea colectiva y generalizada nacida producto de la era de las computadoras, en base a ello no hay quien se arriesgue a formar una definición propia o un término ajeno al que ya todo subentendemos y tenemos integrado como es el de la realidad virtual.

2.3. PLATAFORMAS TECNOLÓGICAS

Dentro de la industria del desarrollo de videojuegos, existe una variada selección de motores gráficos que cumplen con las necesidades básicas para iniciar un proyecto enfocado en realidad virtual y con soporte para plataformas Android.

A continuación se procederá a describir a 2 de los más utilizados en la industria y por ende con mayores posibilidades de ser seleccionados para el desarrollo de esta memoria.

2.3.1. UNITY 3D

Es un motor de desarrollo de videojuegos multiplataforma, creado por Unity Technologies en el año 2005 y se encuentra disponible para Windows, OS X y Linux. Posee una interfaz simple de comprender y un soporte de compilación para diversas plataformas, desde computadores y consolas hasta equipos móviles.

Unity puede usarse junto con los principales programas de modelado 3D y edición tales como Blender, 3Ds Max y Adobe Photoshop, lo cual permite ampliar las posibilidades durante el desarrollo de proyectos.

Se encuentra disponible en sus dos versiones Unity Pro y Unity Personal, además de contar con una vasta documentación, tutoriales y foros de ayuda para el usuario.

Uno de los principales puntos fuertes de Unity es la cantidad de documentación disponible que se puede encontrar en su página web como en otras páginas de internet. Además, cuenta con una comunidad muy activa que responde y plantea innumerables y variadas preguntas.

Otra de las ventajas de Unity es la rapidez con la que se puede comenzar a desarrollar, es una herramienta muy versátil para el prototipado y además tiene una curva de aprendizaje sencilla tanto por la estructura de su editor como por el uso de un lenguaje de programación como puede ser C#.

También posee gran variedad de contenido de terceros para complementar proyectos al interior de su tienda oficial (ya sean de pago o algunos gratuitos y de gran calidad) y facilidad en la integración de características y servicios como puede ser el uso de Facebook, Google Play Services, etc.

Unity también ofrece una gran variedad de plataformas de publicación siendo uno de los más completos en este aspecto y una gran variedad de herramientas para la realización de animaciones y de cinemáticas dentro del proyecto.

2.3.2. UNREAL ENGINE

Es un motor de videojuegos de PC y consolas creado por la compañía Epic Games en el año 1998. Aunque se desarrolló principalmente para los shooters en primera persona, se ha utilizado en una variedad de otros géneros, incluyendo los videojuegos de sigilo, lucha, MMORPG y otros RPG. Con su código escrito en C++, presenta un alto grado de portabilidad y es una herramienta utilizada actualmente por muchos desarrolladores de juegos.

La versión actual, Unreal Engine 4, está diseñada para un gran número de plataformas tales como Microsoft Windows, macOS, Linux, SteamOS, HTML5, iOS, Android, PlayStation 4, Nintendo Switch, Xbox One SteamVR/HTC Vive, Oculus Rift, PlayStation VR, Google Daydream, OSVR y Samsung Gear VR.

Unreal ofrece un control completo de su motor, ya que ofrece de forma gratuita su código abierto para que los usuarios puedan realizar mejoras.

A su vez entrega una gran calidad y potencia en el apartado de la iluminación global y en la creación de shaders y materiales. Con un sistema de nodos que permite crear un resultado final espectacular.

Unreal Engine cuenta con una gran cantidad de documentación y tutoriales para el uso de su motor gráfico y además cuenta con una comunidad muy activa y colaborativa.

Otro aspecto muy interesante a tener en cuenta es la opción de programación basada en nodos y componentes, que facilita el trabajo a los no programadores y hace el prototipado muy rápido. Este sistema de blueprints muy parecido a crear diagramas de flujo aporta a este motor gráfico un herramienta muy versátil y potente.

2.3.3. SELECCIÓN

El principal problema que es posible encontrar al utilizar Unreal Engine es la dificultad en su curva de aprendizaje. Unreal está basado en C++ y tanto el aprendizaje del lenguaje como el del editor suele ser una barrera para acercarse a este motor. Además, un aspecto importante a tener en cuenta para el desarrollo de la aplicación, es la poca optimización en los proyectos orientados a dispositivos móviles debido a la gestión de Draw Calls que Unreal Engine realiza.

Por otra parte en Unity, una de las dificultades que podemos encontrar, es la mala gestión de la memoria. Las bibliotecas .Net suelen resultar algo lentas a veces y la creación de terrenos en Unity puede ser insuficiente y no muy optimizada.

Por último, hay que comentar la multitud de parches y de bugs que van apareciendo para las diferentes versiones. A lo largo del desarrollo Unity va generando diferentes versiones intermedias que en muchas ocasiones vienen con nuevos bugs para los que finalmente hay que o volver atrás o esperar a que salga el parche correspondiente.

Si bien ambos motores de desarrollo son multiplataforma y es posible desarrollar el proyecto en cualquiera de ellos, se tomó la decisión de utilizar Unity3D ya que es posible implementar de manera simple el SDK tanto de Oculus como de HTC Vive en este motor, la existencia de versiones estable en las que la presencia de bugs es mínima y además de poseer experiencia previa en su utilización, lo cual permitirá dedicar más horas al desarrollo por sobre el aprendizaje.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SIMULADOR

3.1. DESCRIPCIÓN DEL SIMULADOR

- **CONCEPTO**

  Sivit es un simulador de terremotos educativo en realidad virtual para dispositivos VR en computadores, enfocado en representar la vivencia de un terremoto y sus consecuencias al interior de un inmueble específico. Dentro de él, el usuario deberá recorrer la estructura a fin de descubrir lugares peligrosos y los lugares seguros más recomendados.

- **RESUMEN DE FLUJO DEL SIMULADOR**

  El simulador incluirá una locación en la que durante 1 minuto y medio tendrá lugar un terremoto de magnitud 5 a 8 en la escala de Mercalli y en la que el usuario deberá encontrar la mayor cantidad de zonas seguras al interior del inmueble. Una vez el tiempo se agote, la simulación termina dejando libre al usuario de configurar una nueva experiencia.

  Los efectos visibles del terremoto varían según qué magnitud sea seleccionada por el usuario.

- **MIRA DEL PROYECTO**

  El simulador tendrá una locación inicialmente, la cual corresponderá a una casa de un piso con detalles que se mencionan en la sección 3.4. Se desarrolló la aplicación con la idea de integrar nuevas locaciones en un futuro, tales como salas de clases, departamentos, cines, etc.

3.2. HERRAMIENTAS Y ENTORNO DE DESARROLLO

Al momento de desarrollar la aplicación se ocupan los siguientes elementos:

- Windows 10 Pro 64 bits.
- Blender 2.79 64 bits.
- 3DS Max 2017 64 bits
- Unity3D Personal 64 bits.
- Monodevelop como IDE de desarrollo para manipular los códigos.
- Adobe Photoshop CC 2017

Para el desarrollo de modelos tridimensionales se opta por usar principalmente Blender en su versión 2.79, pero dada la cantidad de material encontrado en formato .3ds es que además se hace uso del software 3DS Max para hacer conversiones de archivo y llevarlas a un formato .blend, perteneciente a Blender, donde estos objetos serán manipulados, modificados y escalados para hacer una versión más realista del simulador.

Se escoge este software debido a la familiarización con él y la cantidad de documentación encontrada gracias a la comunidad de desarrolladores en Blender.

En cuanto a Unity es posible programar en C# o Javascript. Se opta por utilizar C# como lenguaje de programación para la aplicación dado que:

- La comunidad de Unity suele trabajar frecuentemente con C# y gran parte de la documentación, tutoriales y ayuda en foros está enfocada en este lenguaje.
- Experiencia previa en el uso de C#.

Se hace uso del programa Adobe Photoshop para la creación de interfaces del dispositivo, para que de esta forma sea más personalizada, intuitiva y llamativa.

3.3. REQUERIMIENTOS DE LA APLICACIÓN

El software debe funcionar en dispositivos VR que soporten la versión de Unity 2017.1.1f1, y un hardware acorde a éste para soportar el procesamiento del mismo (de preferencia tarjetas de video que sean equivalentes o superior a NVIDIA GTX 970 o una AMD R9 290). Cabe señalar que la versión inicial del software, fue implementada en Unity 5.2.2f1 para Oculus Rift DK1 quedó obsoleta debido a su baja capacidad para manipular varios objetos 3D en escena y un pobre renderizado de luces, que obstaculiza la inmersión de la simulación. Es por ello que en esta versión del proyecto se trabajó con una herramienta más potente, pero sin un dispositivo específico de realidad virtual, sin embargo se logró un desarrollo adaptable a nuevas versiones de estos dispositivos, que con un simple plugin puede ser reproducida en ellos.
Cabe además señalar que para el desarrollo de este software se hará uso de una tarjeta de video Asus GTX 1060 Strix de 6 Gb.

3.4. COMPONENTES DE LA SIMULACIÓN

3.4.1. MODELOS EN 3D

Para el desarrollo de la nueva versión del software, se emplearon nuevos modelos 3D. En la versión inicial del proyecto éstos fueron obtenidos de la Asset Store de Unity, en forma gratuita, no pudiendo por ello contar con una gran variedad de modelos. En la versión elaborada en esta memoria, es por ello se hizo uso del software Blender para el desarrollo de modelos, aproximadamente el 20% de los modelos son de creación propia, el 80% son modelos modificados en base a otros hechos por autores que los distribuyen de manera gratuita a través de las siguientes páginas:

- https://free3d.com/
- https://www.cgtrader.com/
- https://archive3d.net/

3.4.2. DISEÑO DEL ESCENARIO

El escenario fue construido en base a los planos de una casa real, escalados en Blender usando las mismas medidas de la estructura, por esta misma razón la casa es más pequeña que en su versión anterior, pero con más habitaciones y objetos. Se incorporan:

- Un living-comedor
- Un desayunador
- Una cocina
- Dos baños
- Tres dormitorios
- Un cuarto de lavado

En comparación a la anterior casa que solo poseía:

- Un living-comedor
- Una cocina
- Un baño

Cada habitación cuenta con un mínimo de 50 modelos, lo que permite un software con un mayor nivel de detalle que la versión anterior, la cual constaba con menos de 100 modelos para la casa completa.

El diseño de la casa está basado en el modelo del cual fue tomada la casa a escala, y en base a ideas de diseño de decoración interior de la plataforma Pinterest.

El objetivo de diseño utilizado fue proveer toda la información posible mediante imágenes para facilitar la toma de decisiones y el conocimiento del estado actual del escenario. Se ocupa un estilo realista y detallado para cada uno de los escenarios, contando con más de 50 modelos diferentes por cada habitación, detallando molduras, guardapolvos, enchufes y hasta interruptores. Se ocupó en su mayoría materiales PBR (ver sección 3.4.3) para dar la sensación de realismo y detalle a cada uno de los modelos.

A continuación se muestran algunas imágenes correspondiente a ambas versiones de los simuladores a fin de conocer sus principales diferencias y mejoras.

Figura 11: SiViT versión inicial estructura. Fuente:Elaboración propia.

Figura 12: SiViT versión 2.0 estructura. Fuente:Elaboración propia.

En la Figura 11 se muestra la estructura de la primera versión del simulador, ésta es bastante espaciosa y con pocos modelos. Mientras que en la Figura 12, se entrega la estructura de la segunda versión, la cual es más realista con una cantidad considerable de objetos y modelos. Una de las principales razones por la cual se tuvo que cambiar de versión de Unity para su construcción es que ésta no soportaba dicha cantidad de objetos dispuestos en escena. En la Figura 13, se muestra una visión de los muebles que se utilizaron en la versión inicial y en las Figuras 14, 15, 16 y 17, se puede ver el mayor nivel de detalle al que se llega con la segunda versión.

Figura 13: SiViT versión inicial inmueble. Fuente:Elaboración propia.

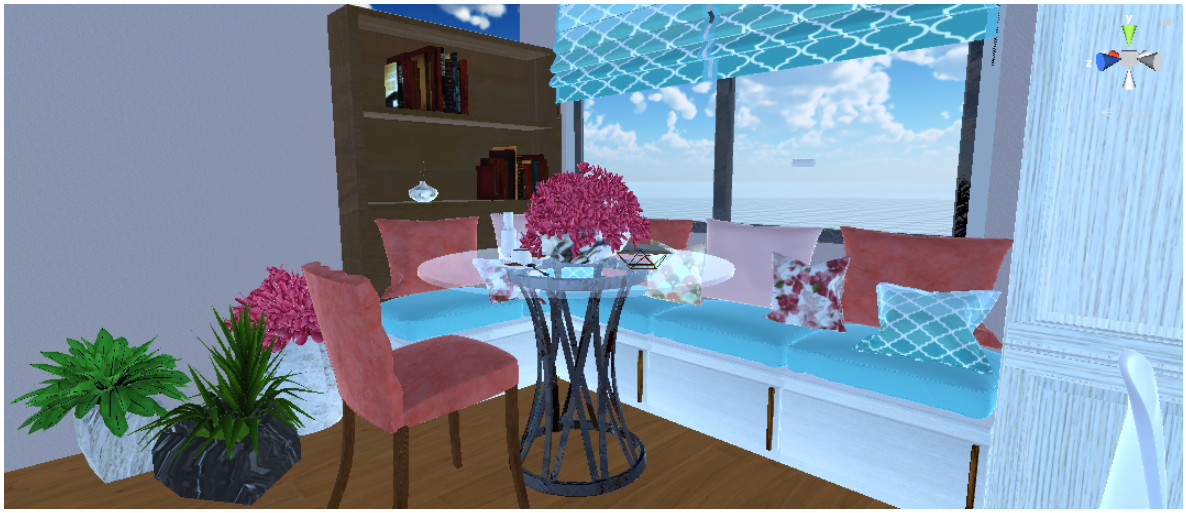


Figura 14: SiViT versión 2.0. desayunador. Fuente:Elaboración propia.

Figura 15: SiViT versión 2.0. comedor. Fuente:Elaboración propia.

Figura 16: SiViT versión 2.0. cocina. Fuente:Elaboración propia.

Figura 17: SiViT versión 2.0. pieza. Fuente:Elaboración propia.

3.4.3. MATERIALES PBR

Los materiales PBR Physically Based Rendering (PBR) son un método de sombreado y renderizado que provee una representación más precisa de cómo la luz interactúa con la superficie de los objetos.

La idea general de los materiales PBR es simular la compleja forma en que la luz interactúa con los objetos para dar un aspecto natural a los mismos. En Unity se puede usar el *Standard Shader* para ello, logrando así que los objetos tengan un aspecto más realista.

Cuando la luz llega a un objeto, parte de esa luz es reflejada en la superficie, proceso físico que todos podemos observar en el mundo real. En computación gráfica esto suele llamarse Specularity o Specular Reflection, que se define como la cantidad de reflectividad que una superficie va a tener.

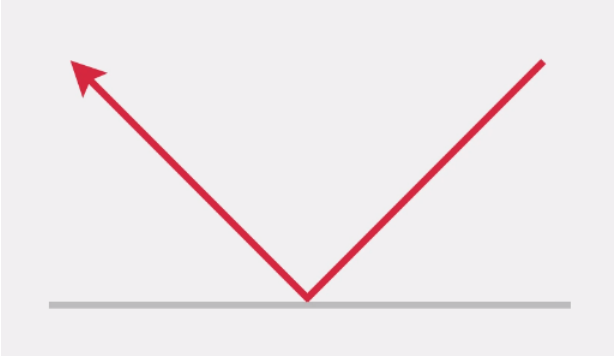
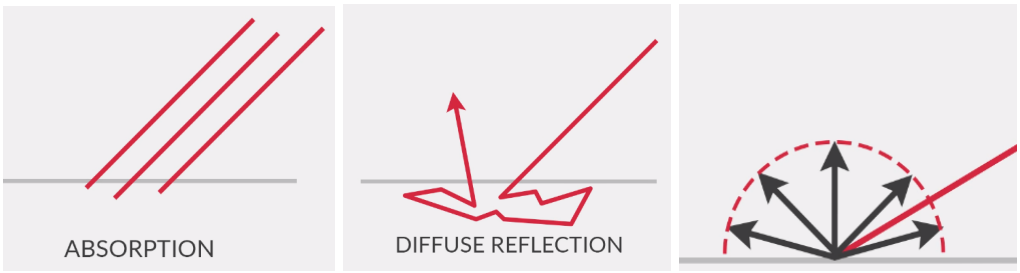


Figura 18: Reflejo. Fuente: Tutoriales unity.

Cuando la luz es reflejada, ésta deja la superficie del material en el mismo ángulo, pero opuesto en la cual llegó respecto de la normal de la superficie. Sin embargo no toda la luz que llega es reflejada, una porción de ella entra en el material, donde puede ser absorbida por el material y luego es liberada en diferentes direcciones, a esto se le conoce como *Diffuse Reflection*, y esta luz hace que el material sea visible ante nuestros ojos.



(a) (b) (c)

Figura 19: (a) Absorción de luz. (b) Luz difusa. (c) Reflección de la luz difusa. Fuente: Tutoriales unity.

En el Standard Shader se puede simular este tipo de componentes a través de las siguientes herramientas que posee y que fueron usadas en esta memoria:

- **Base color / Albedo /Diffuse**

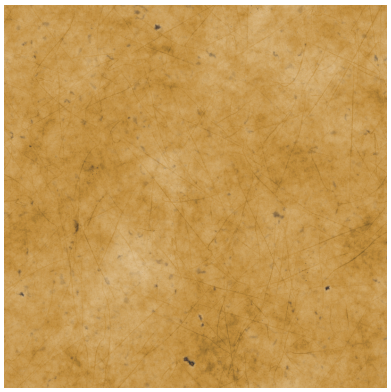


Figura 20: Albedo. Fuente: Materiales PBR.

A grandes rasgos es el color que podemos apreciar del objeto o modelo.

- **Metallic map**

Figura 21:Metallic. Fuente: Materiales PBR.

Un mapa metálico señala la reflexión que tendrá la luz en la superficie del material.

- **Normal map**

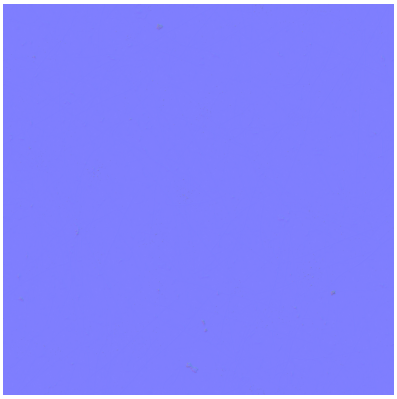


Figura 22: Normal. Fuente: Materiales PBR.

Este tipo de mapa da la ilusión de relieve mostrando zonas más hundidas y otras más levantadas. Esta indica al computador la forma en que la dirección de la luz debe rebotar, sin embargo más que sensación de altura, da una sensación de relieve.

- **Height map**

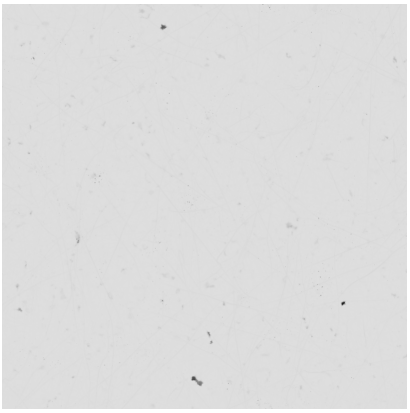


Figura 23: Height. Fuente: Materiales PBR.

Representa la altura del objeto, un píxel más claro representará un punto más alto, mientras que uno más oscuro uno más bajo. Aquellos que estén en un punto intermedio no representarán altura. La diferencia principal con el normal map, es que éste pese a simular un relieve trata a todos los puntos con una misma altura, sin mostrar diferencias, en cambio el height map señala diferentes alturas en las que puede estar situado el relieve.

3.4.4. GAMEPLAY Y MECÁNICAS

- **GAMEPLAY**

El usuario debe recorrer el escenario en busca de zonas seguras durante el tiempo que dure la experiencia, a fin de descubrir qué lugares son los más recomendados para situarse durante un sismo y completar algunas acciones recomendadas.

Durante su búsqueda se encontrará con zonas de peligro que de igual manera permitirán informar sobre lugares a evitar durante estas situaciones.

- **PROGRESO DEL SIMULADOR**

Una vez el tiempo se agota, la simulación finaliza y el usuario podrá ver la cantidad de zonas seguras descubiertas durante ese tiempo. Luego podrá configurar una nueva simulación.

- **MISIÓN**

La misión es simple, descubrir la mayor cantidad de zonas seguras al interior de la casa y cumplir con algunas acciones de seguridad recomendadas antes de que finalice el tiempo asignado.

- **OBJETIVO**

  El objetivo del simulador es informar sobre zonas de seguridad y peligro a fin de que el usuario pueda reconocer estas zonas durante un sismo real.

- **FÍSICAS**

  Se utilizan las físicas predefinidas por el motor de videojuegos Unity, en especial la gravedad, las colisiones y la asignación de peso para los distintos objetos que componen el escenario, a fin de proporcionar un movimiento de éstos lo más cercano a los reales.

- **MOVIMIENTO**

  Al ser una aplicación en 3 dimensiones, el movimiento se podrá realizar en todas las direcciones posibles. La simulación permitirá al usuario moverse tal como podría hacerlo una persona que camina en el mundo real.

- **OBJETOS**

  El usuario puede interactuar con los objetos presentes en el escenario, ya que es posible colisionar con ellos y ser afectado por su presencia en distintas zonas, es decir, éstos pueden entorpecer el movimiento o incluso bloquearlo.

- **ACCIONES**

  El usuario deberá recorrer la casa durante el sismo con el fin de encontrar zonas seguras y aquellas que presenten un peligro para él, para que de esta forma los conocimientos generados en el simulador sean aplicados en el mundo real para una mayor protección a sí mismo y aquellos que lo rodean.

- **FLUJO DEL SIMULADOR**

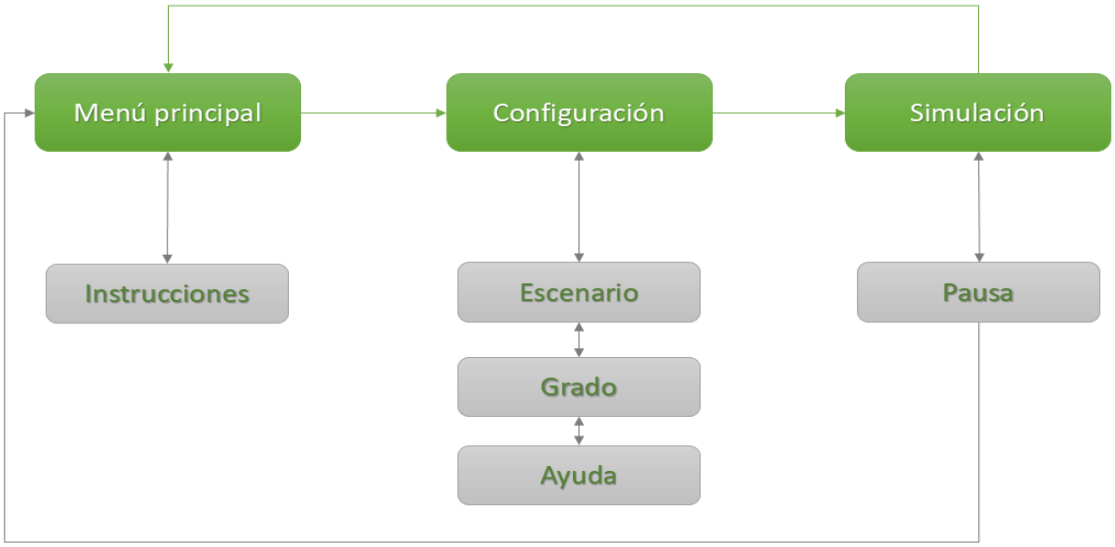


Figura 24: Flujo de pantallas del simulador. Fuente: Elaboración propia.

- **Menú principal:** Es la primera pantalla que el usuario ve al ingresar en la aplicación. Desde ella se puede ingresar a la pantalla de instrucciones en la cual el usuario aprende las reglas del simulador y sus controles, a su vez puede ir a la sección de configuración del simulador, o bien salir de la aplicación.

- **Configuración:** Se accede a esta pantalla al seleccionar “Iniciar” en el menú principal. Desde aquí es posible acceder a las pantallas “Escenario” donde será posible escoger el escenario en el cual correrá la simulación. “Grado”, donde escogerá el grado del sismo y “ayuda” donde podrá activar o desactivar los consejos de seguridad presentes en la simulación.

- **Simulación:** En esta pantalla es posible ver el desarrollo de la simulación. Desde ella se puede acceder al menú de “Pausa” el cual permite salir al menú principal. Una vez finalizado el sismo, esta pantalla llevará automáticamente al menú principal.

3.4.5. INTERFAZ

PANTALLA 1: MENÚ PRINCIPAL

Figura 25: Menú Principal. Fuente: Elaboración propia.

GUI - Botones:

- Iniciar simulación: Permite proceder a configurar la simulación.
- Instrucciones : Permite revisar indicaciones sobre cómo utilizar el simulador.
- Salir: Permite cerrar la aplicación.

PANTALLA 2: CONFIGURACIÓN

Figura 26: Menú configuración. Fuente: Elaboración propia.

GUI - Botones:

- Escenario: Permite seleccionar el escenario de simulación.
- Grado: Permite seleccionar el grado del sismo a simular.
- Ayuda: Permite activar o desactivar consejos de seguridad.
- Iniciar: Permite comenzar la simulación.

Figura 27: Selección de escenario. Fuente: Elaboración propia.

Figura 28: Selección de grado. Fuente: Elaboración propia.

Figura 29: Activar o desactivar ayuda. Fuente: Elaboración propia.

3.4.6. MÚSICA Y EFECTOS DE SONIDO

Sivit no contempla la inclusión de música dada su naturaleza educativa, ya que ésta resulta ser innecesaria para lograr su objetivo, más bien podría ser un distractor.

La aplicación cuenta si con una variada gama de efectos de sonido a fin de lograr una correcta inmersión por parte del usuario:

- Sonido para terremoto.
- Sonido para objetos de vidrio al caer.
- Sonido para objetos metálicos al caer.
- Sonido para objetos misceláneos al golpearse.
- Sonido para caminar.
- Sonido para escape de gas.
- Sonido para fuga de agua.

CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN

4.1. PRUEBAS

Debido al acotado tiempo disponible para completar el desarrollo del simulador e implementar correcciones y posibles mejoras, se decidió realizar un único testing de usuarios con énfasis en dos puntos clave, la búsqueda de errores presentes en la aplicación y recolectar apreciaciones personales referentes a ésta por parte de los usuarios. Para esto se contactó a 12 personas cuyas edades van desde los 10 a los 28 años, siendo éstos pertenecientes al grupo etario donde el simulador espera tener su mayor impacto.

Para la realización de la prueba se hizo uso de las siguientes herramientas:

- Un computador de escritorio y tarjeta gráfica
- Un joystick para computador.
- Zoobofer

Debido a que el software fue desarrollado sin poseer un hardware de VR que soporte sus componentes, éste se testeó de manera en que se pudieran encontrar errores de implementación y generar apreciaciones visuales y/o estéticas.

El desarrollo de la prueba consistió en 2 etapas simples en cuanto al simulador:

- La primera consistía en recorrer el simulador sin hacer uso del script del terremoto, para que de esta forma los usuarios se sintieran libres de explorar y detectar modelos que no estuvieran bien escalados o mal texturizados.
- La segunda parte consistía en probar el simulador nuevamente, pero haciendo uso del script del sismo, para encontrar falla o errores en las interacciones con los objetos.

Además se testeó el uso de la interfaz para comprobar si era simple e intuitiva de usar. Para esto se le pidió al usuario que desarrollara las siguientes acciones dentro de la interfaz a modo de verificar si las indicaciones presentes son suficientes y adecuadas para lograrlas.

1. Acceder a la simulación.
2. Seleccionar el escenario de la simulación.
3. Configurar el grado de la simulación.
4. Activar los consejos de seguridad.
5. Iniciar la simulación.

Además se midió apreciativamente el tiempo que le tomó cada acción, y además si la tipografía y los colores no interferían con lo solicitado al usuario.

4.1.1. ENCUESTA

Se realizó una encuesta simple de manera presencial al momento del testeo. Esta consistió en 19 preguntas, de las cuales las 5 primeras corresponden a información referida al usuario, las 5 siguientes referente a la estética y funcionalidad de la interfaz, luego tres preguntas referente a la estética y proporción de los modelos de la casa y finalmente 6 preguntas que corresponden al uso, la experiencia y las físicas dentro del simulador.

Sobre el usuario:

1. Edad
2. Género
3. Ocupación
4. ¿Qué se debe hacer ante un terremoto?
5. ¿Has tenido experiencia con aparatos y/o aplicaciones de realidad virtual?

Sobre la interfaz:

6. ¿Fue complicado desarrollar las acciones solicitadas?
7. ¿Considera que los colores de la interfaz intervienen en el proceso de realizar dicha acción?
8. ¿Se distinguía un botón marcada de uno sin presionar?
9. La tipografía, tanto en tamaño y color ¿era acorde con el fondo de la interfaz?
10. ¿Mejoraría algún aspecto de la interfaz?

Sobre el software, aspecto estético:

11. ¿Consideras que las proporciones de los objetos son correctas?
12. ¿La textura de los objetos te parece adecuada?¿Se lograba distinguir?
13. ¿Era apreciable el nivel de detalle en cantidad de objetos en cada una de las habitaciones?¿Faltarían más cosas que agregar?

Sobre el software, aspecto funcional:

14. ¿Fue fácil entender el movimiento de la simulación?
15. ¿El movimiento del personaje era preciso? ¿o iba muy rápido o muy lento dentro del simulador?
16. ¿La altura de la cámara es acorde al tamaño de los objetos?
17. ¿El movimiento del sismo parece realista?
18. ¿El movimiento de los objetos parece realista?
19. ¿Que cosas le cambiarías o mejorarías?

4.2. RESULTADOS

Sobre el usuario:

- El grupo etario de las personas testeada fue predeterminado, por lo que el promedio de edad de los mismos es de 26 años, siendo este el 58,3% del total de encuestados.
- 8 de los usuarios fueron hombres y 4 fueron mujeres.
- Entre los encuestados se encontraban estudiantes, periodistas, abogados, kinesiólogos y actores.
- Los encuestados tenían conocimientos básicos sobre el actuar en un sismo, tales como salir con calma hacia un lugar amplio y despejado, colocarse bajo la mesa o marcos de la puerta. Sin embargo ninguno de ellos mencionó el mantener una vía despejada que no obstaculice el paso hacia la salida, poseer un calzado acorde cerca de la cama si es de noche (puesto que los objetos que se caigan podrían causar alguna herida) y solo 3 de ellos respondieron la necesidad de cortar suministros tales como luz, agua y gas.
- 9 de los encuestados ha utilizado una aplicación de realidad virtual antes y 3 de los encuestados nunca había tenido la oportunidad de utilizar una.

Sobre la interfaz:

- En general los usuarios lograron completar las acciones solicitadas en un tiempo prudente, sin embargo a algunos les costaba el manejo del joystick.
- Todos los usuarios estuvieron de acuerdo en que el color y el diseño de la interfaz no obstaculiza el realizar la acción solicitada.
- Todos los usuarios comentaron que se distinguía un botón presionado de uno sin presionar.
- La mayoría de los usuarios comentaron que la tipografía y el color eran adecuados para la interfaz. Solo uno de ellos consideraba que la tipografía era muy grande.
- Implementar el botón “volver” para regresar al menú principal.

Sobre el software, aspecto estético:

- Todos los usuarios consideraron que las proporciones de los objetos eran las correctas.
- 10 de los 12 usuarios consideraron que muchos de los objetos o el escenario en general era muy blanco y faltaba más color o diferentes texturas en ciertas zonas.
- Todos los usuarios consideraron que cada habitación poseía un buen nivel de detalle.

Sobre el software, aspecto funcional:

- 10 de los 12 usuarios poseía experiencia previa en el manejo de uso de joystick por lo cual no les dificultó, el resto poseía casi una nula experiencia, pero se desenvolvió bien.
- 5 usuarios consideraron que el movimiento era muy rápido, los otros 7 consideraron que el movimiento estaba bien.
- 3 usuarios consideraron que la cámara estaba muy abajo, el resto consideró la altura como correcta.
- 8 usuarios consideraron el movimiento realista, los otros 4 consideraron que era algo difícil de describir.
- Todos los usuarios consideraron que los objetos poseían un movimiento realista.
- Dentro de los comentarios surgieron las siguientes propuestas:
    - Cambiar las texturas de algunos objetos para hacerlos más coloridos.
    - Arreglar la iluminación para hacer sombras más notorias a ciertos objetos.
    - Animaciones para girar la perilla del gas.
    - Sonido de vibraciones en las ventanas.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

5.1. CONCLUSIONES GENERALES

- Unity 3D es una poderosa herramienta para desarrollar videojuegos de alta complejidad y calidad. Posee una comunidad amplia y diversa, dispuesta a ayudar en todo tipo de proyectos, sin contar la gran cantidad de documentación y tutoriales que posee. En general, se puede concluir que es una opción idónea si se quiere comenzar a desarrollar videojuegos o proyectos en realidad virtual.

- Para mejorar la calidad de las imágenes, Unreal Engine habría sido una buena herramienta, sin embargo la poca documentación y la falta de experiencia en ella, fueron motivos para descartar su uso.

- Blender posee una amplia gama de funcionalidades para el desarrollo de modelos en 3D, si bien es cierto su curva de aprendizaje es más lenta que los softwares similares en el mercado, su amplia gama de herramientas le permite crear proyectos con de alta complejidad. Siendo otro punto a favor el ser un software *Open Source*.

- 3DS Max destaca en el mercado por ser utilizado en el área de la Arquitectura. Como los modelos que usa el simulador planteado en esta memoria son esencialmente construcciones, hubiese sido un punto a favor haberlo incorporado en el desarrollo, sin embargo no se optó por ello, dado al poco conocimiento que se tenía de este software al inicio, pero que fue ampliándose a medida que se avanzaba el desarrollo en Blender, y hoy al finalizar la memoria se puede concluir que hubiese sido una opción de alto impacto para facilitar el proceso de construcción de las locaciones, debido a que posee más características de modelado, que son adecuadas para los diseños arquitectónicos en 3D, modelos, modelos de ingeniería. Blender a diferencia de 3DS Max, destaca por la cantidad de animaciones y efectos visuales.

- En general una organización de los tiempos y tareas es clave al momento de desarrollar proyectos, ya sea en solitario o en equipo. Sin embargo al comenzar el proyecto esto no se tomó mucho en cuenta, sino que los esfuerzos se centraron en adquirir conocimientos claves en cuanto al uso del software. Esto generó problemas más adelante en el desarrollo, puesto que no se tenía un orden para ir

avanzando en las tareas del proyecto. Una buena forma de enfrentar esto fue incorporar Trello a partir de la fase media del avance del proyecto, lo que permitió identificar claramente las tareas que faltaban por realizar, mejorando así el trabajo mismo.

- Uno de los grandes problemas además de la falta de conocimiento en su momento, fue el hecho de que a medida que se avanzaba en el desarrollo ocurrían problemas de los cuales no se encontraba su origen y llevó repetidas veces a la reinstalación del software con el cual se estaba trabajando. Faltaron además mejores equipos para su trabajo como lo es un buen mouse y teclado, lo que habría facilitado el manejo de Blender (ya que el uso de éste requiere bastante comando para hacer atajos de teclado y precisión).

- El desarrollo de las interfaces requirió de conocimientos básicos de Photoshop, conocimiento con el cual no se contaba en un principio. Sin embargo debido a la gran cantidad de información y tutoriales encontrados en YouTube, esto no presentó mayores problemas para su realización. Además el haber cursado la asignatura “Interfaces Usuarias” generó conocimientos sólidos para diseñar una interfaz con altos estándares de usabilidad para los usuarios.

- En general, la existencia de una comunidad usuaria para diferentes software, facilita adentrarse en alguna herramienta, en especial aquellas comunidades altamente activas como la de Blender, donde siempre se encuentra a alguien disponible a ayudar ante cualquier tipo de problema de desarrollo que surge.

- Gracias a los conocimientos obtenidos en las asignaturas electivas "Proceso de Creación de Videojuegos" y "Taller de Creación de Videojuegos", además de la práctica realizada en la empresa Abstract Tinker, se contó con las competencias necesarias y con una amplia red de contactos, que permitieron sacar el proyecto adelante.

5.2. APRECIACIONES PERSONALES

La idea inicial de esta memoria fue generar un diseño y un ambiente de mayor realismo para SiViT, que produjera una sensación de inmersión mayor que en la versión expuesta en la Feria de Software del 2016. La versión anterior del proyecto contaba con una casa enorme, que poseía pocas habitaciones, apenas con los elementos básicos de una casa, lo cual generaba cierto irrealismo a la hora de la simulación, los objetos eran simples, muchos de ellos no estaban escalados, las cortinas flotaban sobre la pared, no existían lámparas o luces en las habitaciones, se contaba con utensilios tan sencillos y muchas

veces mal modelados, que hacían perder realismo. Todo esto generaba una visión de un diseño pobre y estéticamente poco apreciable. Por lo cual la idea central de esta memoria fue mejorar el realismo de la misma incorporando elementos comparables a nivel visual al mundo real, generando un proyecto atractivo para el usuario, tanto visual como funcionalmente. Sin embargo es sabido que la mayor parte de la apreciación del usuario se enfoca en el aspecto visual al tratarse de un simulador, por lo cual el énfasis principal de esta memoria se dio principalmente en lo estético, para que de esta forma aumentara el nivel de satisfacción del usuario.

El primer problema que había que enfrentar era el hecho de generar los modelos 3D en sí. Antes de esta memoria había nulo conocimiento del modelaje en 3D, por lo cual fue una experiencia nueva y tortuosa. Pasar de tomar modelos ya hechos, con texturas y/o materiales incorporados, a hacer uno mismo polígono por polígono para generar los modelos, buscar y generar texturas propias, con una calidad apreciable para la estética del simulador sin hacer uso de pagos o membresías de diferentes páginas, fue sumamente complicado, todo ello sumado a comprender de forma básica la funcionalidad y los fundamentos del modelado tridimensional. Blender es un software que destaca en la comunidad usuaria del modelaje en 3D como uno de los más complicados, cuya curva de aprendizaje es más lenta en comparación a otros softwares similares, como Maya, Cinema4D, 3D Max; pero que al momento de realizar detallados y complejos modelos posee mucha más herramientas y procesos que le añaden un valor adicional a los modelos.

Me tomó alrededor de tres meses en entender las funcionalidades básicas de Blender, aprender a manejarlas bien y dominarlas. La primera dificultad en cuanto a comenzar con el proceso de modelado fue manejarse en la interfaz y el movimiento de las escenas, existen muchas barras de herramientas y distintos modos de trabajo, lo cual complica el uso del mismo. Pero a medida que se iba avanzando era mucho más fácil memorizar o más aun interiorizarse en los diferentes atajos de comandos que se encuentran presentes en el software, lo cual mejora infinitamente su utilización. Usar diferentes ventanas y herramientas ya no era un problema, mucho menos el moverse dentro de las escenas. El tener los aspectos básicos dominados, agiliza mucho el tiempo de trabajo.

A la hora de lograr contar con los modelos, surgió otro tipo de problemas al importarlos a Unity, muchos de ellos no eran leídos o reconocidos por el mismo, por lo cual se debía optar por otros formatos para su uso. Algunos desaparecían, otros se cambiaban de posición, y estos debían ordenarse o arreglarse, lo cual tomaba un tiempo no menor.

Llegado el momento de texturizar, surgieron otros problemas, tales como que los modelos no poseían un UV-mapping, lo que hacía que no tomaran las texturas, por lo cual había que volver a utilizar Blender e incorporarlos uno por uno. Esto se podía hacer de forma

automática, pero el verdadero problema surgía con modelos complejos, del cual al hacer un smart UV-mapping este generaba un mapa entrecortado que no amoldaba la textura de forma correcta, por lo cual hacer el mapa de forma manual a cada uno de estos objetos llevó bastante tiempo. Todo ello sumado a que no se encontraba una gran variedad de materiales PBR de buena calidad para usar en el proyecto y que dieran un realismo notorio en la escena, por lo cual muchas veces se procedió a realizar estos modelos en Photoshop.

5.3. VERSIONES FUTURAS

El proceso de diseñar el software con una amplia gama de escenarios y modelos, con nuevas funcionalidades dentro de la simulación fueron expectativas muy altas que dejó de lado ciertos aspectos que planeaban mejorarse en esta versión. Sin embargo es un software que puede ir mejorando y creciendo al largo plazo; el contar con un equipo de trabajo especializado en diferentes áreas haría que el trabajo sea más fructífero y más fácil de realizar, además de tener un acabado más prolijo y profesional. La falta de especialistas afectó el desarrollo, pues tener que distribuir el tiempo para hacer modelos tridimensionales, emplear un diseño, generar texturas, diseñar interfaces, implementarlas, generar luces realistas y dinámicas en Unity y programar, fue una tarea bastante compleja. Es por ello que se concluye que para un software como el desarrollado en esta memoria, sería ideal poder contar con un equipo especializado que estuviera compuesto por:

- **Modeladores 3D o animador:** Un equipo que contara con dos modeladores en 3D sería ideal puesto que podría aumentarse el ritmo de trabajo y se disminuiría la carga del mismo. Se podría distribuir de mejor manera el trabajo a realizar por cada escenario, facilitando el proceso y agilizando el rendimiento.

- **Diseñador de interiores /Arquitecto:** A modo de generar modelos más atractivos para los usuarios, sería ideal que guiara a los modeladores a fin de desarrollar modelos de una alta calidad y realismo, eso le añadiría un valor extra a la aplicación.

- **Ingeniero Civil:** A modo de recrear un escenario con daños notorios en la estructura se podría contar con un ingeniero civil, el cual podría guiar a los modeladores tridimensionales para que generaran y animaran el daño en la estructura.

- **Diseñador gráfico:** El contar con una interfaz diseñada por un profesional que esté estéticamente bien construida a modo de generar una mayor satisfacción en el usuario.

- **Artista de efectos de sonido y compositor musical:** Se necesita una persona que esté encargada de realizar los sonidos en el simulador para generar una mejor inmersión en el mismo.

- **Artista de efectos de sonido y compositor musical**: Los efectos de sonido presentes en el simulador son de vital importancia para generar una inmersión auditiva que complemente la experiencia visual. Es por esto que la incorporación de un profesional capaz de generar u obtener dichos efectos permitirá obtener una experiencia más envolvente, además de agregar valor al resultado final de la aplicación al ser posible incluir sonidos para los botones y hasta música personalizada para los menús.

Por otra parte, la simulación puede mejorarse añadiendo nuevos componentes, tales como:

- **La inclusión de nuevos escenarios.** Si bien es cierto la idea original del proyecto fue generar más escenarios, el solo hecho de empezar a modelarlos y detallarlos era más de lo que una sola persona pudiese abarcar.

- **Generar luces más realistas.** Un aspecto desde mi apreciación personal, es que las luces y sombras eran bastante pobres y no se encontraba una mayor información de cómo implementarlas en un entorno cerrado y completamente dinámico.

- **Fortalecer mensajes de protección.** Implementar en la simulación diferentes formas en que el usuario pueda adquirir conocimiento de cómo él y las demás personas puedan protegerse de un sismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] García del Amo, D. y Antón, L. (2018). La tectónica de placas cumple 50 años [PDF]. España. Recuperado de: https://contenido.uned.es/ciencias/revista/Tectonica_placas.pdf

[2] Hanks, T. & Kanamori, H. (1979). A Moment Magnitude Scale [PDF]. United States: California. Recuperado de: https://web.archive.org/web/20100821063413/http://www.gps.caltech.edu/uploads/File/People/kanamori/HKjgr79d.pdf

[3] Servicio sismológico nacional (2017). Sismo del dia 07 de Septiembre de 2017, Chiapas (M 8.4) [PDF]. México: UNAM. Recuperado de: https://web.archive.org/web/20170908064045/http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX_rep_esp_20170907_Chiapas_M84.pdf

[4] Servicio sismológico nacional (2017). Sismo del dia 19 de Septiembre de 2017 Puebla-Morelos (M 7.1) [PDF]. México: UNAM. Recuperado de: http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX_rep_esp_20170919_Puebla-Morelos_M71.pdf

[5] Pérez, M. (2019). Diseño e implementación de simulador virtual de terremotos para plataforma Android (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.

[6] Sutherland, I. (1965). The Ultimate Display [PDF]. Proceedings of the IFIP 65, vol 2, pp. 506-508. Recuperado de: http://worrydream.com/refs/Sutherland%20-%20The%20Ultimate%20Display.pdf

[7] Sutherland, I. (1968). A head-mounted three dimensional display [PDF]. Proceedings of AFIPS 68, pp. 757-764. Recuperado de: http://cacs.usc.edu/education/cs653/Sutherland-HeadmountedDisplay-AFIPS68.pdf

[8] Hussein, M. & Natterdal, C. (2015). The Benefits of Virtual Reality in Education [PDF]. Sweden: University of Gothenburg. Recuperado de: https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/39977/1/gupea_2077_39977_1.pdf

[9] Bell, J. & Fogler, H. (2004). The application of virtual reality to chemical engineering education [PDF]. United States: IEEE Virtual Reality Conference 2004 (VR 2004), 27-31 March 2004, Chicago, IL. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/221402802_The_Application_of_Virtual_Reality_to_Chemical_Engineering_Education

[10] Ota, D; Loftin, B; Saito, T; Lea, R. & Keller, J. (1995). Virtual reality in surgical Education [PDF]. Computers in Biology and Medicine volume 25, Issue 2, Pages 127-137. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/15643948_Virtual_reality_in_surgical_Education

[11] Nicholson, D; Chalk, C; Funnell, W; & Daniel, S. (2006). Can virtual reality improve anatomy education? a randomised controlled study of a computer-generated three-dimensional anatomical ear model [PDF]. United States: Medical Education, pp.1081-1087. Recuperado de: http://digitool.library.mcgill.ca/webclient/StreamGate?folder_id=0&dvs=1547321288018~995

[12] López, P. (2016). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN VIDEOJUEGO PARA PLATAFORMA ANDROID (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.

[13] Lara, B. (2016). S!E SISTEMA DE INFORMACIÓN DE EMERGENCIA MÓVIL PARA ADQUIRIR MENSAJES CIFRADOS A TRAVÉS DE LA RADIO DE UN SMARTPHONE (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.