



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN: PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: “DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA INMERSIVO DE  
RECONOCIMIENTO Y CONTROL DE GESTOS, OSTENSIBLE POR  
MEDIO DE REALIDAD VIRTUAL COMO MÉTODO DE AYUDA EN LA  
REHABILITACIÓN DE LA CAPACIDAD MOTRIZ DE LAS  
EXTREMIDADES SUPERIORES EN PACIENTES CON ACCIDENTE  
CEREBROVASCULAR”**

**AUTORES:**

**GUEVARA BERMEO, BRYAN STEFANO**

**MARTÍNEZ NAVARRETE, AZUCENA WILMA**

**DIRECTOR: MSC. ANDRÉS GORDÓN GARCES**

**LATACUNGA**

**2018**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA INMERSIVO DE RECONOCIMIENTO Y CONTROL DE GESTOS, OSTENSIBLE POR MEDIO DE REALIDAD VIRTUAL COMO MÉTODO DE AYUDA EN LA REHABILITACIÓN DE LA CAPACIDAD MOTRIZ DE LAS EXTREMIDADES SUPERIORES EN PACIENTES CON ACCIDENTE CEREBROVASCULAR**” fue realizado por **Guevara Bermeo, Bryan Stefano y Martínez Navarrete, Azucena Wilma** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos, y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, 13 de julio del 2018**

**Msc. Andrés Marcelo Gordón Garcés**

C.C: 180369880-0



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, ***Guevara Bermeo, Bryan Stefano*** Y ***Martínez Navarrete, Azucena Wilma*** declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño Y desarrollo de un sistema inmersivo de reconocimiento y control de gestos, ostensible por medio de realidad virtual como método de ayuda en la rehabilitación de la capacidad motriz de las extremidades superiores en pacientes con accidente cerebrovascular** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

**Latacunga, 13 de julio del 2018**

***Guevara Bermeo Bryan Stefano***

C.C: 160051770-8

***Martínez Navarrete Azucena Wilma***

C.C: 050362773-9



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

#### AUTORIZACIÓN

Nosotros, ***Guevara Bermeo, Bryan Stefano*** y ***Martínez Navarrete, Azucena Wilma*** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **diseño y desarrollo de un sistema inmersivo de reconocimiento y control de gestos, ostensible por medio de realidad virtual como método de ayuda en la rehabilitación de la capacidad motriz de las extremidades superiores en pacientes con accidente cerebrovascular**: en el Repositorio Institucional cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 13 de julio del 2018

***Guevara Bermeo Bryan Stefano***

C.C: 160051770-8

***Martínez Navarrete, Azucena Wilma***

C.C: 050362773-9

**DEDICATORIAS**

*Dedicado especialmente a mis  
padres y hermanos, quienes  
supieron brindarme su apoyo  
en todo momento a lo largo de mi  
vida universitaria, también dedicado  
a mis maestros, compañeros  
y amigos por ser partícipes de  
mi realización profesional.*

**Bryan Guevara Bermeo**

*Dedico esta investigación a mi madre  
Edita Navarrete por ser un gran ejemplo  
de superación, por demostrarme su  
cariño y apoyo incondicional en  
todo momento de mi vida.  
A Luis por ese optimismo que siempre  
me impulso a seguir adelante.  
A mi hermano Diego que tuvo  
palabras de apoyo para  
mi durante mis estudios.*

**Azucena Martinez Navarrete**

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestra familia, por el apoyo y la fuerza que nos brindaron a lo largo de todos estos años como estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, su esfuerzo nunca desanimó por nosotros.

A nuestro tutor, quien nos ha brindado la confianza y la asesoría necesaria para la realización de este proyecto, como también por la comprensión y la presta disposición a ayudarnos durante las adversidades que ha presentado esta investigación.

A cada uno de los profesionales fisioterapeutas quienes han sido participes activos compartiendo su conocimiento para la realización de un proyecto de calidad que cumpla con los requisitos necesarios para una integración con el proceso de rehabilitación ocupacional.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, que con sus instalaciones, profesores, compañeros y amigos han sido participes de nuestro desarrollo personal y profesional.

**Bryan Guevara y Azucena Martínez**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CARÁTULA

CERTIFICADO DEI DIRECTOR .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIAS .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii

### CAPÍTULO I

#### GENERALIDADES

1.1	Introducción .....	1
1.2	Antecedentes.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	Objetivos generales .....	3
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
1.4	Hipótesis.....	4
1.5	Estado del arte .....	4
1.6	Trabajos relacionados .....	6
1.7	Accidente cerebro vascular .....	10
1.7.1	Factores de riesgo .....	10
1.7.2	Tipos de ictus .....	11
1.8	Detección de ictus .....	13
1.8.1	La discapacidad.....	14

1.9	Rehabilitación de la extremidad superior .....	14
1.9.1	Estructura del brazo humano.....	16
1.9.2	Técnicas de tratamientos convencionales .....	18
1.9.3	Terapia ocupacional .....	19
1.10	Realidad Virtual .....	20
1.10.1	Vistas estereoscópicas.....	22
1.10.2	El sistema de realidad virtual: Máquinas y aparatos.....	23
1.10.3	Generación de polígonos en tiempo real .....	24
1.10.4	Sensaciones hápticas.....	24
1.10.5	El Triángulo de la Realidad Virtual.....	25
1.11	Rehabilitación y realidad virtual .....	25
1.11.1	Realidad virtual y rehabilitación física.....	27
1.11.2	Realidad virtual y rehabilitación cognitiva .....	28
1.12	Modelado 3D .....	29
1.12.1	Representación de los sistemas.....	31
1.12.2	Visualización tridimensional.....	31
1.12.3	Técnicas de Modelado.....	31

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES**

2.1	Requerimientos funcionales y de diseño .....	34
2.2	Fases del diseño.....	36
2.2.1	Modelado y creación del entorno.....	38
2.2.2	Sistema interactivo .....	41
2.3	Selección de ejercicios de rehabilitación para extremidad superior .....	45
2.3.1	Movimientos libres .....	45
2.4	Método para la selección de hardware y software.....	49
2.4.1	Filtrado de conceptos .....	49
2.4.2	Evaluación de conceptos.....	50
2.5	Selección de software.....	51



2.5.1	Software de Modelado.....	51
2.5.2	Selección de software de Modelado.....	58
2.5.3	Motor de Desarrollo (Creación de entornos).....	61
2.6	Selección de Hardware.....	69
2.6.1	Gafas de Realidad Virtual.....	69
2.6.2	Selección de gafas de realidad virtual.....	74
2.6.3	Dispositivo sensor de gestos.....	77
2.6.4	Selección de dispositivo de gestos.....	82
2.7	Relación existente entre las tecnologías seleccionadas.....	84

### **CAPÍTULO III**

#### **IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

3.1	Modelado de antebrazo y mano.....	87
3.1.1	Colocación de huesos a modelado de antebrazo y mano.....	94
3.1.2	Exportar modelo de Blender a Unity.....	106
3.2	Modelado de avatar.....	107
3.2.1	Avatar.....	110
3.2.2	Modelado de prendas de vestir.....	113
3.2.3	Colocación de esqueleto Animación del avatar.....	117
3.2.4	Texturización del avatar de bienvenida en Unity.....	120
3.3	Implementación interfaz Realidad Virtual.....	122
3.4	Creación del Menú.....	124
3.5	Creación del ambiente.....	128
3.6	Implementación del reconocimiento gestual.....	134
3.7	Desarrollo de las actividades para la Rehabilitación.....	135
3.7.1	Movimiento de mano.....	135
3.7.2	Movimiento integral de extremidad superior.....	143
3.8	Implementación total del sistema ostensible en realidad virtual.....	155

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

4.1	Validación de los requisitos técnicos .....	158
4.2	Valoración Médica .....	160
4.3	Evaluación con pacientes .....	161
4.3.1	Flexo extensión de dedos.....	164
4.3.2	Giro de muñeca .....	170
4.3.3	Movimiento integral de brazo.....	175
4.3.4	Flexo extensión de brazos.....	180
4.3.5	Movimiento integral de brazo 2.....	186
4.4	Validación de la Hipótesis.....	190

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones .....	192
5.2	Recomendaciones .....	193

<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>194</b>
---	------------

<b>ANEXOS .....</b>	<b>202</b>
---------------------	------------

### **ANEXO A: MANUALES DE INSTALACIÓN**

Anexo A1. Instalación de Oculus Rif

Anexo A2. Instalación de Leap Motion Orion

Anexo A3. Instalador de Unity

Anexo A4. Instalador de Blender 2.79

### **ANEXO B: TECLAS DE ACCESO RÁPIDO EN BLENDER**

### **ANEXO C: MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA**

### **ANEXO D: ENTREVISTAS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Factores de riesgo de ictus isquémico</i> .....	10
<b>Tabla 2</b> <i>Requisitos del sistema para instalación de Blender</i> .....	53
<b>Tabla 3</b> <i>Requisitos necesarios para instalación de Autodesk Maya 2017</i> .....	55
<b>Tabla 4</b> <i>Requerimientos para instalación de Autodesk 3Ds Max</i> .....	57
<b>Tabla 5</b> <i>Filtrado de conceptos para software de Modelado</i> .....	59
<b>Tabla 6</b> <i>Matriz de evaluación para software de Modelado 3D</i> .....	59
<b>Tabla 7</b> <i>Requerimientos del sistema para instalación de Unity3D</i> .....	64
<b>Tabla 8</b> <i>Requerimientos del sistema para instalación de Unreal Engine</i> .....	66
<b>Tabla 9</b> <i>Matriz de evaluación para software de motor de juegos</i> .....	68
<b>Tabla 10</b> <i>Requerimientos mínimos para Óculos Rift</i> .....	71
<b>Tabla 11</b> <i>Requerimientos mínimos para la HTC Vive</i> .....	72
<b>Tabla 12</b> <i>Características de equipos para el uso de VR BOX</i> .....	74
<b>Tabla 13</b> <i>Filtrado de conceptos de las Gafas de realidad virtual</i> .....	75
<b>Tabla 14</b> <i>Matriz de evaluación para gafas de Realidad Virtual</i> .....	75
<b>Tabla 15</b> <i>Características principales del Controlador Leap Motion</i> .....	78
<b>Tabla 16</b> <i>Requerimientos necesarios para SDK de Leap Motion</i> .....	78
<b>Tabla 17</b> <i>Comparación entre versión V1 y V2 de Kinect</i> .....	80
<b>Tabla 18</b> <i>Requerimientos necesarios para el uso de la Kinect V1 y V2</i> .....	81
<b>Tabla 19</b> <i>Filtrado de conceptos de sensor de gestos</i> .....	83
<b>Tabla 20</b> <i>Matriz de evaluación de conceptos de sensor de gestos</i> .....	83
<b>Tabla 21</b> <i>Calificación de funcionalidad del Sistema Virtual</i> .....	159
<b>Tabla 22</b> <i>Validación de criterios de inclusión y exclusión</i> .....	161
<b>Tabla 23</b> <i>Pacientes seleccionados</i> .....	161
<b>Tabla 24</b> <i>Flexo extensión de dedos por parte de Paciente 1</i> .....	165
<b>Tabla 25</b> <i>Flexo extensión de dedos por parte de Paciente 2</i> .....	167
<b>Tabla 26</b> <i>Flexo extensión de dedos por parte de Paciente 3</i> .....	168
<b>Tabla 27</b> <i>Giro de muñeca por parte del paciente 1</i> .....	171
<b>Tabla 28</b> <i>Giro de muñeca por parte del paciente 2</i> .....	172
<b>Tabla 29</b> <i>Giro de muñeca por parte del paciente 3</i> .....	173

<b>Tabla 30</b> <i>Movimiento Integral de brazo paciente 1</i> .....	176
<b>Tabla 31</b> <i>Movimiento Integral de brazo paciente 2</i> .....	178
<b>Tabla 32</b> <i>Movimiento Integral de brazo paciente 3</i> .....	179
<b>Tabla 33</b> <i>Flexo extensión de brazos paciente 1</i> .....	182
<b>Tabla 34</b> <i>Flexo extensión de brazos paciente 2</i> .....	183
<b>Tabla 35</b> <i>Flexo extensión de brazos paciente 3</i> .....	184
<b>Tabla 36</b> <i>Movimiento integral de brazo 2 paciente 1</i> .....	187
<b>Tabla 37</b> <i>Movimiento integral de brazo 2 paciente 2</i> .....	188
<b>Tabla 38</b> <i>Movimiento integral de brazo 2 paciente 3</i> .....	189

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Rehabilitación con Realidad Virtual .....	5
<b>Figura 2</b> Juego dinámico de KineQuantum.....	6
<b>Figura 3</b> Clasificación de tipos de ictus.....	12
<b>Figura 4</b> Síntomas del Ictus .....	13
<b>Figura 5</b> Afecciones tras un ictus.....	14
<b>Figura 6</b> Objetivos de la rehabilitación.....	15
<b>Figura 7</b> Huesos del brazo.....	16
<b>Figura 8</b> Huesos de la mano.....	17
<b>Figura 9</b> Técnicas de Reeducción .....	18
<b>Figura 10</b> Plasticidad de la neurona .....	21
<b>Figura 11</b> Principios de la estereoscopia.....	23
<b>Figura 12</b> Sistema de realidad Virtual.....	24
<b>Figura 13</b> Realidad virtual diferente de animación 3D .....	25
<b>Figura 14</b> Herramientas de la realidad virtual .....	27
<b>Figura 15</b> Conceptos de geometría en modelaje 3D .....	30
<b>Figura 16</b> Diseño del sistema Inmersivo de realidad Virtual .....	37
<b>Figura 17</b> Esquema de modelos de representación .....	39
<b>Figura 18</b> Avatar Virtual .....	39
<b>Figura 19</b> Selección de entorno .....	40
<b>Figura 20</b> Espacio físico requerido .....	41
<b>Figura 21</b> Diseño del asistente virtual.....	42
<b>Figura 22</b> Diseño de menú interactivo .....	43
<b>Figura 23</b> Diseño de escena para desarrollo de actividades .....	44
<b>Figura 24</b> Ejercicio de deslizamiento Tendinoso.....	46
<b>Figura 25</b> Ejercicio de pronosupinación.....	46
<b>Figura 26</b> Movimiento de abducción y aducción .....	47
<b>Figura 27</b> Movimiento de flexión y extensión .....	48
<b>Figura 28</b> Movimiento de rotación.....	49
<b>Figura 29</b> Proceso para la selección de conceptos .....	51

<b>Figura 30</b> Parámetros de selección de Software .....	52
<b>Figura 31</b> Interfaz de Blender .....	53
<b>Figura 32</b> Interfaz de Autodesk Maya 2017 .....	55
<b>Figura 33</b> Interfaz de 3Ds Max.....	57
<b>Figura 34</b> Formatos permitidos en Blender.....	60
<b>Figura 35</b> Parámetros de selección del motor de desarrollo.....	61
<b>Figura 36</b> Interfaz de Unity.....	63
<b>Figura 37</b> Consolas multiplataforma compatibles con Unity3D.....	63
<b>Figura 38</b> Interfaz de Unreal 4 .....	65
<b>Figura 39</b> Parámetros de selección para gafas de realidad virtual .....	69
<b>Figura 40</b> Óculus Rift .....	70
<b>Figura 41</b> HTC vive .....	72
<b>Figura 42</b> VR BOX.....	73
<b>Figura 43</b> Parámetros de selección para sensor de gestos .....	77
<b>Figura 44</b> Leap Motion.....	78
<b>Figura 45</b> Kinect V2 Para Windows .....	80
<b>Figura 46</b> Diagrama de relación del Sistema RV .....	85
<b>Figura 47</b> Imagen visualizada en panel 3D de Blender .....	88
<b>Figura 48</b> División de pantalla en Blender .....	89
<b>Figura 49</b> Base para el modelado de la extremidad .....	90
<b>Figura 50</b> Extremidad con más número de nodos .....	91
<b>Figura 51</b> Modificador de Superficies .....	91
<b>Figura 52</b> Manos con bordes suavizados .....	92
<b>Figura 53</b> Boceto del dorso de la mano .....	93
<b>Figura 54</b> Modelad de extremidad izquierda terminada.....	93
<b>Figura 55</b> Modelado de antebrazo y mano .....	94
<b>Figura 56</b> Menú de objetos .....	95
<b>Figura 57</b> Hueso .....	96
<b>Figura 58</b> Menú.....	96
<b>Figura 59</b> Hueso generado desde la cola .....	97

<b>Figura 60</b> Hueso generado desde la cola .....	97
<b>Figura 61</b> Huesos emparentados.....	98
<b>Figura 62</b> Huesos en dedos de la mano .....	99
<b>Figura 63</b> Nomenclatura de huesos "R" .....	99
<b>Figura 64</b> Selección de huesos.....	100
<b>Figura 65</b> Copia de cadena.....	100
<b>Figura 66</b> Invertir Nombres .....	101
<b>Figura 67</b> Nomenclatura de huesos "L" .....	101
<b>Figura 68</b> Huesos en dedos de las manos.....	102
<b>Figura 69</b> Nombres de los huesos de la mano .....	102
<b>Figura 70</b> Huesos metacarpianos del modelado.....	103
<b>Figura 71</b> Padres e hijos en huesos de la palma y dedos .....	103
<b>Figura 72</b> Jerarquía de los huesos de la extremidad superior .....	104
<b>Figura 73</b> Extremidad con esqueleto .....	105
<b>Figura 74</b> Unión de esqueleto y modelado .....	106
<b>Figura 75</b> Exportar a extensión fbx.....	106
<b>Figura 76</b> Nombre y ubicación de archivo con extensión fbx.....	107
<b>Figura 77</b> Visualización de extremidad en Unity3D .....	107
<b>Figura 78</b> Menú de personajes .....	108
<b>Figura 79</b> Portada de Make Human 1.1.1 .....	109
<b>Figura 80</b> Interfaz de Make Human .....	111
<b>Figura 81</b> Avatar en Make Human .....	112
<b>Figura 82</b> Avatar exportado a Blender .....	112
<b>Figura 83</b> Boceto de camiseta .....	113
<b>Figura 84</b> Camiseta de avatar.....	114
<b>Figura 85</b> Boceto de Pantalón .....	114
<b>Figura 86</b> Pantalón de avatar.....	115
<b>Figura 87</b> Boceto de Zapatos.....	115
<b>Figura 88</b> Zapatos de avatar .....	116
<b>Figura 89</b> Avatar con prendas de Vestir .....	116

<b>Figura 90</b> Esqueleto generado en Blender .....	117
<b>Figura 91</b> Avatar con esqueleto .....	118
<b>Figura 92</b> Frames de saludo de avatar .....	119
<b>Figura 93</b> Posición de saludo.....	119
<b>Figura 94</b> Texturas importadas a Unity .....	120
<b>Figura 95</b> Creación de nuevos materiales .....	121
<b>Figura 96</b> Nuevos materiales creados .....	121
<b>Figura 97</b> Avatar texturizado.....	122
<b>Figura 98</b> Botón de soporte para RV .....	123
<b>Figura 99</b> Importación del prefab del Sistema de Cámara.....	123
<b>Figura 100</b> Creación de fondo y panel base para el menú .....	124
<b>Figura 101</b> Creación paneles y botones de selección .....	124
<b>Figura 102</b> Implementación de cursor .....	127
<b>Figura 103</b> Panel de texturas importadas .....	129
<b>Figura 104</b> Panel de texturas importadas .....	129
<b>Figura 105</b> Extracciones de terreno.....	129
<b>Figura 106</b> Texturas.....	130
<b>Figura 107</b> Arbustos .....	131
<b>Figura 108</b> Escenario de bosque .....	131
<b>Figura 109</b> Escenario de Isla .....	132
<b>Figura 110</b> Escenario desértico .....	133
<b>Figura 111</b> Detección de la mano con Leap Motion.....	134
<b>Figura 112</b> Animación del personaje con Mecanim .....	135
<b>Figura 113</b> Interfaz 2D de la primera actividad. ....	138
<b>Figura 114</b> Actividad de giro de muñeca .....	143
<b>Figura 115</b> Cubos para actividad integral de brazos.....	144
<b>Figura 116</b> Modelo de manos en el control touch de Unity .....	144
<b>Figura 117</b> Actividad integra para el movimiento de brazos .....	148
<b>Figura 118</b> Esfera para realzar la actividad .....	149
<b>Figura 119</b> Implementación previa de la actividad para brazos .....	150



<b>Figura 120</b> Implementación final de la actividad para brazos .....	152
<b>Figura 121</b> Creación de paredes para la aplicación.....	152
<b>Figura 122</b> Integración de manos dentro de las paredes.....	153
<b>Figura 123</b> Realización de actividad integral para brazos .....	155
<b>Figura 124</b> Implementación del modelado 3D de las manos .....	156
<b>Figura 125</b> Fisioterapeutas probando el sistema de realidad virtual.....	160
<b>Figura 126</b> Fotografía del paciente 1 .....	163
<b>Figura 127</b> Fotografía del paciente 2 .....	163
<b>Figura 128</b> Fotografía del paciente 3 .....	164
<b>Figura 129</b> Análisis de ejercicio de flexo extensión de dedos.....	169
<b>Figura 130</b> Análisis de ejercicio del giro de muñeca.....	175
<b>Figura 131</b> Análisis de ejercicio Integral de extremidad superior.....	180
<b>Figura 132</b> Análisis de ejercicio de flexo- extensión de brazos.....	185
<b>Figura 133</b> Análisis de ejercicio Integral de extremidad superior II.....	190

## RESUMEN

En la presente investigación se detalla el proceso de desarrollo de un sistema en realidad virtual para la utilización en terapias de rehabilitación con déficit motor en el miembro superior a causa de un Ictus. Para empezar, se realiza una recopilación acerca de la generalidad de las terapias que se realizan durante el proceso de rehabilitación del miembro superior, así como el tipo de tecnologías vigentes para el reconocimiento de gestos y la representación en realidad virtual juntamente con los motores de desarrollo que se utilizan en la industria. Seguido de esto, se trabaja en conjunto con la orientación del profesional fisioterapeuta para seleccionar los ejercicios motrices adecuados para la rehabilitación de la extremidad superior, se realiza el diseño de software, el cual divide la arquitectura del sistema en dos pilares fundamentales: Modelado 3D e implementación de la interactividad de los ejercicios usando sensores gestuales y controles touch representados en un entorno virtual. Se documenta el proceso de creación del modelo 3D de la extremidad superior (mano y antebrazo), su integración con el reconocimiento gestual, controles touch y representación de entornos en realidad virtual, así como el diseño de un asistente que dirige al paciente a través de los ejercicios dentro del programa. Finalmente se realiza las pruebas técnicas y de funcionamiento en pacientes que han sufrido un ictus a lo largo de tres meses para determinar el efecto que el sistema ha tenido sobre los pacientes y así se da fin a la investigación exponiendo conclusiones y recomendaciones.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **REALIDAD VIRTUAL**
- **MODELADO 3D**
- **RECONOCIMIENTO GESTUAL**
- **ENFERMEDADES CEREBROVASCULAR – REHABILITACIÓN**

## **ABSTRACT**

In the present investigation, the development process of a virtual reality system for its use in rehabilitation therapies with motor deficit in the upper limb due to a cerebrovascular accident is detailed. To begin with, a compilation is made on the generality of the therapies that are carried out during the rehabilitation process of the upper limb, as well as on the type of technologies in force for the recognition of gestures and representation in virtual reality together with the development engines that are used in the industry. Followed by this, along with the guidance of the professional physiotherapist to select the appropriate motor exercises for the rehabilitation of the upper extremity, the software design is carried out which divides the architecture of the system into two fundamental pillars: 3D modeling and implementation of the Interactivity of the exercises using gestural sensors and tactile controls represented in a virtual environment. The process of creating the 3D modeling model of the upper extremity (hand and forearm), its integration with gesture recognition, tactile controls and the representation of virtual reality environments, as well as the design of an assistant who directs the patient through of the program. Finally, the technical and operational tests are performed on patients who have suffered a stroke for more than three months to determine the effect that the system has had on patients and thus ends the investigation presenting conclusions and recommendations.

### **KEYWORDS:**

- **VIRTUAL REALITY**
- **3D MODELING**
- **GESTUAL RECOGNITION**
- **CEREBROVASCULAR DISEASES – REHABILITATION**

## PRESENTACIÓN

La presente investigación se basa en el desarrollo de un sistema inmersivo de realidad virtual para la rehabilitación de las extremidades superiores enfocadas para pacientes que han sufrido ictus (accidente vascular cerebral), dicho sistema está basado en ejercicios a modo de juegos basado en la terapia ocupacional.

En el Capítulo I se recopila toda la información destacada sobre accidente cerebrovascular, la rehabilitación, la realidad virtual y sobre el modelado en 3D, dicha información ayudara con el enfoque y dirección que debe tomar la investigación.

En el Capítulo II se llevará a cabo el diseño del sistema inmersivo, basado en el diseño de software, además de ir analizando que parámetros se toma como importantes para el sistema, también se realizará la selección de hardware como gafas de realidad virtual y sensor de reconocimiento gestual seguido de la selección de software para los modelados 3D y para el motor de juegos, así mismo de la selección de los ejercicios adecuados para a extremidad superior.

En el Capítulo III se detalla la implementación de los modelados 3D, del menú interactivo, de ambientes virtuales, el reconocimiento virtual y funcionamiento del sistema inmersivo de realidad virtual para la rehabilitación de extremidades superiores.

En el Capítulo IV se evidencia la pruebas y resultados obtenidos en pruebas técnicas que verifican su correcta funcionalidad, flexibilidad, adaptabilidad y robustez del sistema.

En el Capítulo V se expone las conclusiones y recomendaciones recopiladas a lo largo del desarrollo de la investigación.

Finalmente se concreta las referencias bibliográficas usadas a lo largo del proceso de investigación y los anexos indispensables para profundizar el desarrollo de la investigación.

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

La recuperación de la capacidad motriz de la extremidad superior es uno de los mayores retos que se enfrentan los pacientes afectados con secuelas sensitivo-motoras después de sufrir un accidente cerebrovascular (ACV) o llamado también ictus. Es por eso que en la actualidad la realidad virtual se está sometiendo a numerosos estudios que demuestran tener buena evidencia científica en la mejora del control motor de la extremidad superior parética. Actualmente, según un estudio clínico piloto publicado de acceso abierto en la revista *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, los investigadores han puesto de manifiesto que utilizar la realidad virtual aumenta la confianza del paciente en el uso de su brazo paralizado y que ello puede ser crucial en su recuperación. La realidad virtual se la considera como una alternativa que posibilita un realismo en el entorno, además de conceder gestar una serie de estímulos gracias a la viabilidad de adaptación al entorno virtual (Rubio Belén, 2015).

La convergencia de la tecnología de realidad virtual con un sistema de control gestual conduce a una nueva plataforma de servicios en la que el usuario puede controlar objetos localizados en un entorno virtual e interactuar con ellos mediante su extremidad superior. Estas dos tecnologías se encuentran aún en desarrollo y tienen productos comerciales que se enfocan en desarrolladores, pero con la puesta en la mira de nuevos productos comerciales que apuntan a mercados masivos con una tecnología emergente en el transcurso de los próximos años.

## 1.2 Antecedentes

Tras sufrir un accidente cerebrovascular, se originan diversas alteraciones en las extremidades superiores que generan reducción de la capacidad motora de los grupos musculares de las extremidades superiores, así como la limitación de integrarse a la ejecución de las actividades de la vida diaria provocando el desuso de la extremidad, además también pueden generar problemas cognitivos, así como desencadenar depresión y ansiedad provocando que la extremidad afectada se atrofia, se torne rígida y se presente con deformidades y dolor (Ustrell Xavier, Serena Joaquín, 2007).

Un accidente cerebrovascular comúnmente conocido como ictus o derrame cerebral es considerado como uno de los trastornos más devastadores que puede sufrir una persona. Alrededor de una cuarta parte de las personas se ven afectadas sus extremidades superiores debido al ictus, pueden mejorar la funcionalidad de mano y brazo con un programa de neurorrehabilitación individual.

Tras sufrir un ictus, entre un 75% y 85% de las personas tienen dificultad para mover la extremidad superior. A los seis meses del ACV, el 65% continúan teniendo esa dificultad y, dentro de este grupo, dos terceras partes están muy afectadas o moderadamente afectadas. Pasado ese tiempo, sólo un 10% de los pacientes más severos recuperan su estado funcional (Marín Juan, 2014).

La rehabilitación de los pacientes para su recuperación incluye actividades de la vida diaria como señalar, sostener, manipular y seguir patrones de movimiento que involucren la integración de todos los músculos y articulaciones de la extremidad superior. Algunos ejercicios son ejecutados por medio del terapeuta que ayuda activamente al paciente a mover un miembro repetidamente, lo que en muchas ocasiones hace que la terapia se

vuelva monótona, cansada y poco atractiva, provocando un desinterés por parte del paciente, es así que cuando el paciente termina la rehabilitación en el centro médico, este deja de realizar los ejercicios para la completa y funcional recuperación de la capacidad motriz al no disponer del personal y las herramientas necesarias para la terapia.

### **1.3Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivos generales**

Diseñar y desarrollar un sistema inmersivo de reconocimiento y control de gestos ostensible en realidad virtual utilizando un dispositivo de reconocimiento gestual que ayude a la rehabilitación de las extremidades superiores en pacientes con accidentes cerebrovasculares (ACV).

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Investigar acerca de las técnicas de simulación y la detección de objetos mediante dispositivos de reconocimiento gestual para virtualizar las extremidades superiores.
- Modelar la extremidad superior, el asistente, y los entornos virtuales utilizando un software de modelado 3D para estimular el nivel de aceptación y la interacción del paciente con el espacio que le rodea.
- Implementar el algoritmo de reconocimiento de las extremidades superiores a través de un dispositivo de reconocimiento gestual en tiempo real para obtener un plano tridimensional de la posición de la extremidad.

- Desarrollar actividades y ejercicios a través del sistema inmersivo que permita la mejora continua en la capacidad motriz del paciente con ayuda de un asistente virtual.
- Documentar pruebas y resultados mediante recopilación de información de los grupos de control.

#### **1.4 Hipótesis**

El sistema inmersivo de reconocimiento y control de gestos ostensible en realidad virtual ayudará a mejorar la capacidad motriz en el proceso de rehabilitación de las extremidades superiores en pacientes con accidentes cerebrovasculares (ACV).

**Variables Independientes** Sistema inmersivo de reconocimiento y control de gestos ostensible en realidad virtual.

**Variables Dependientes** Ayudar a mejorar la capacidad motriz de extremidades superiores en pacientes con accidentes cerebrovasculares (ACV).

#### **1.5 Estado del arte**

##### **La realidad virtual en el mundo de rehabilitación**

Una de las enfermedades que más preocupa en la sociedad moderna, es el accidente cerebrovascular (ACV) o conocido comúnmente como "ictus". Los fisioterapeutas ocupacionales, a la hora de trabajar con pacientes que han sufrido ictus, se pueden encontrar con diferentes afecciones en las cuales puede resultar difícil la terapia para el paciente (RealoVirtual, 2015).





**Figura 1.** Rehabilitación con Realidad Virtual

Fuente: (RealoVirtual, 2015)

La compañía francesa KineQuantum ha presentado en el Consumer Electronic Show (CES) de 2018 un sistema que permite efectuar procesos de evaluación, rehabilitación y seguimiento del paciente de forma dinámica. El Consumer Electronic Show (CES) de 2018, una de las ferias de tecnología y electrónica más importantes del planeta, ha sido el punto de partida de algunos de los dispositivos más vanguardistas en el ámbito de la salud y el bienestar. La compañía francesa KineQuantum ha presentado una tecnología destinada a mejorar la rehabilitación física (KineQuatum, 2018).

El sistema, bautizado con el mismo nombre que la startup gala, es una plataforma que se basa en la realidad virtual para efectuar procesos de evaluación, rehabilitación y seguimiento del paciente. La razón de ser de este proyecto se asienta en que los usuarios, a través de una serie de juegos y actividades virtuales, desarrollan planes y rutinas de ejercicios indicadas por profesionales sanitarios. Atendiendo a detalles concretos, KineQuantum se compone de unas gafas de realidad virtual y un par

de joysticks de mano. Al paciente, se le invita a seguir con su mirada los objetos que aparecen en pantalla el dispositivo también cuenta con juegos como cazar moscar, disparar cañones piratas a través de los mecanismos de mano (KineQuatum, 2018). Este sistema desemboca en una rehabilitación más dinámica y funcional, las actividades están pensadas para que sean divertidas y evitar que el paciente sea consciente de que está en terapia. Así, mientras desarrolla este amplio abanico de actividades virtuales, KineQuantum es capaz de analizar parámetros como los tiempos de respuesta o el rango de movimiento (KineQuatum, 2018).



**Figura 2.** Juego dinámico de KineQuantum  
Fuente: (KineQuatum, 2018).

## 1.6 Trabajos relacionados

**William López. (2017). Diseño e implementación de un sistema de realidad virtual basado en la tecnología kinect 2.0 para la evaluación del movimiento corporal humano. Carrera de Ingeniería en Electrónica e Instrumentación. Universidad de las Fuerzas Armadas.**

Este proyecto se enfoca en el diseño e implementación de un sistema de realidad virtual denominado goniómetro virtual multipunto de extremidades superiores con el dispositivo de tracking óptico Kinect 2.0 de Microsoft. Este sistema posee algunas características que lo convierten en un instrumento de ayuda para el profesional de la fisioterapia ya que le permite evaluar los diferentes rangos de movimiento de las extremidades superiores que el usuario puede realizar.

**Aguado Fidalgo, Carlos Andrés. (2015). Realidad virtual aplicada a la rehabilitación física. Ingeniería Informática. Universidad Carlos III de Madrid.**

En este trabajo de titulación se desarrolla un videojuego ostensible en realidad virtual que contribuye a la rehabilitación del movimiento de un paciente. El sistema de rehabilitación se basa principalmente en recuperar el movimiento por lesión del manguito rotador del hombro tal y como se definen en el libro de Fisiología articular por A.I. Kapandji. Como dispositivo de inmersión de realidad virtual se utiliza las gafas Oculus Rift que juntamente a una cámara que es capaz de reconocer y seguir los movimientos.

**Alba Cabezuelo. (2016) Efectividad de la realidad virtual en el tratamiento del accidente cerebrovascular: una revisión sistemática. Ciencias de la Salud. Universidad de Jaén.**

El presente artículo reúne y analiza las principales evidencias científicas que evalúan los efectos de la rehabilitación con realidad virtual en pacientes con ictus, para ello se revisó más de 1480 artículos relacionados encontrando evidencia sólida de que el programa de rehabilitación en realidad virtual es una buena herramienta para mejorar el movimiento de las extremidades en pacientes con accidente cerebro vascular.

Este estudio encontró evidencia sólida de que la rehabilitación física acompañado de un programa de realidad virtual es mejor que la terapia física sola para la mejora de la marcha y el equilibrio, sin embargo, la evidencia es limitada para demostrar que la terapia física junto a la realidad virtual mejora la destreza manual, el rango articular y actividades de la vida diaria en relación a la terapia física sola.

**Santiago Riofrío. (2014). Implementación de un sistema de reconocimiento de patrones de movimiento con las extremidades superiores del cuerpo humano. Carrera de Ingeniería en Electrónica y Control. Escuela Politécnica Nacional.**

Este proyecto es capaz de reconocer patrones de movimiento de las extremidades superiores y grabarlos para posteriormente ser reconocidos e interpretados por el computador. Además, el sistema cuenta con una interfaz intuitiva que permite grabar, editar, archivar y recuperar patrones, así como controlar algunas aplicaciones como *Microsoft Power Point* en base a una lista de patrones grabados. El software ha sido desarrollado en Microsoft Visual Studio basado en CSharp (C#) utilizando el sensor KINET como dispositivo de detección gestual y la técnica de Alineamiento temporal dinámico como método de reconocimiento de patrones basado en cálculo de distancias.

**Jenny Alejos. (2011). Efecto rehabilitador del ejercicio terapéutico cognoscitivo en la mano hemipléjica del paciente adulto del Centro Médico Naval Santiago Távara.**

Este proyecto determina el grado de efectividad del ejercicio terapéutico cognoscitivo para mejorar la capacidad motriz de la mano hemipléjica de un paciente adulto. La funcionalidad del miembro afectado es evaluada con la escala DASH (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) y las funciones cognitivas la prueba de LOTCA (Loewestein Occupational Therapy Cognitive Assessment). Se aplica el Ejercicio Terapéutico

Cognoscitivo (ETC) a 10 pacientes adultos y se reevalúa la funcionalidad del miembro superior. Se concluye que el Ejercicio Terapéutico Cognoscitivo es un método de tratamiento neurocognitivo, que se puede aplicar en la terapia ocupacional y rehabilitación integral.

**José Manuel Navarrete. (2009). La realidad virtual como arma terapéutica en rehabilitación. Residente de Medicina Física y Rehabilitación. Hospital Clínico de la Universidad de Chile.**

Este artículo pretende analizar la tecnología de la realidad virtual como instrumento en el proceso de la rehabilitación física explorando e identificando las fortalezas, oportunidades y debilidades que se presentan en este sistema. Se finaliza presentando un compendio de aplicaciones posibles que podrían ser de utilidad en varios ámbitos profesionales, así como una serie de ventajas que por su estrecha relación con los videojuegos puede ser muy motivante para los pacientes.

**Indra. (2014). Tele-rehabilitación Audiovisual Motora (TRAM) de la Unidad de Daño Cerebral (UDC) del Hospital Beata María Ana.**

Este proyecto permite la rehabilitación y entrenamiento del miembro superior basándose en la captura de movimiento, ya sea mediante el empleo del sistema Tech-MCS o a través del dispositivo Kinect de Microsoft, proporciona una plataforma electrónica de gestión de la historia terapéutica y de rehabilitación que permite el análisis de los resultados de la terapia, así como un canal de comunicación entre las personas involucradas en el proceso de rehabilitación, ya sean pacientes, familiares, o terapeutas.

## 1.7 Accidente cerebro vascular

El término ictus representa un grupo de trastornos que incluyen el infarto cerebral, la hemorragia cerebral y la hemorragia subaracnoidea, es un término latino que, al igual que su correspondiente anglosajón – stroke–, significa ‘golpe’, describen perfectamente el carácter brusco y súbito del proceso (Tejedor, Álvarez, Muñoz, 2001). El ictus o accidente cerebrovascular (ACV) se refiere a una lesión cerebral causada por un fallo en el sistema de riego sanguíneo o vascular del cerebro. Puede ser por un exceso de sangre en diferentes zonas del cerebro o por ausencia de la misma las secuelas del ictus pueden ser importantes provocadas por la muerte de las neuronas, que son las células que forman el cerebro (Reintegra, 2014).

### 1.7.1 Factores de riesgo

En la Tabla 1 detalla la clasificación de los factores de riesgo del ictus isquémico.

**Tabla 1**  
*Factores de riesgo de ictus isquémico*

<b>Factores de riesgo bien documentados</b>	
Modificables	Hipertensión arterial
	Cardiopatía
	Fibrilación auricular
	Endocarditis infecciosa
	Estenosis mitral
	Infarto de miocardio reciente
	Tabaquismo
Anemia de células falciformes	
Estenosis carotídea asintomática	
Potencialmente modificables	Diabetes mellitus
	Homocisteinemia
	Hipertrofia ventricular izquierda
<b>Factores de riesgo menos documentados</b>	
Potencialmente modificables	Dislipemia

**CONTINÚA** 

	<b>Otras cardiopatías</b>	Discinesia de la pared ventricular
		Endocarditis no bacteriana
		Calcificación del anillo mitral
		Prolapso mitral, Miocardiopatía
	Uso de anticonceptivos orales	
	Consumo excesivo de alcohol	
	Consumo de drogas	
No modificables	<b>Obesidad</b>	
	Factores dietéticos	
	Hematocrito elevado	
	Desencadenantes agudos: estrés	
	Estados de hipercoagulabilidad e inflamación	
	Migraña	
	Estación del año	
Clima		

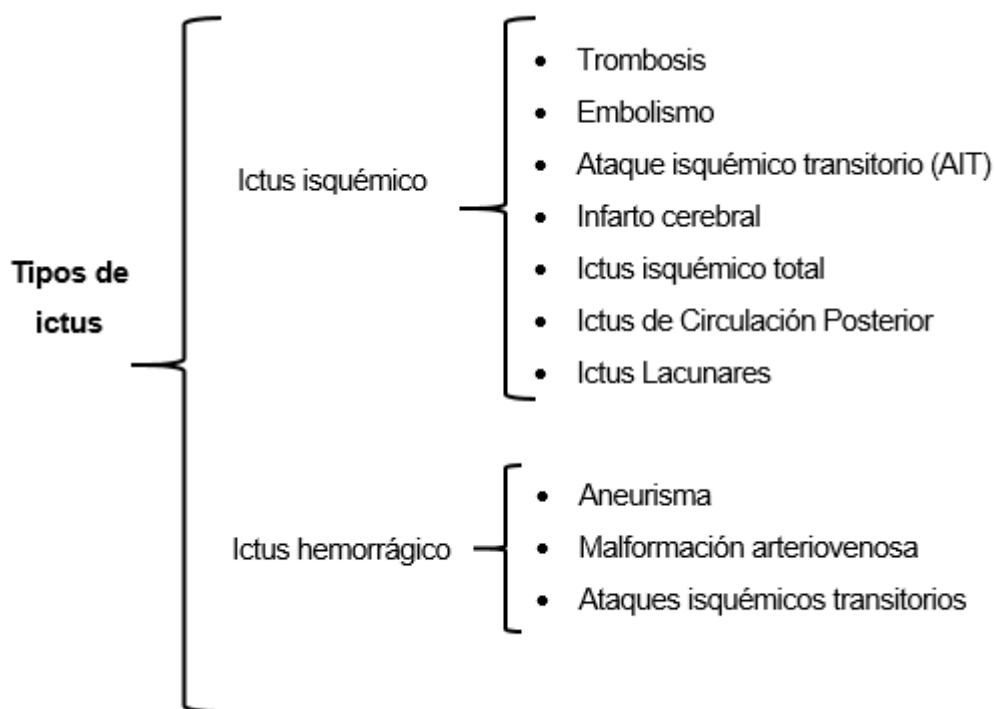
Fuente: (Cuadrado Ángel, 2009)

Identificar los principales factores de riesgo es sumamente importante ya que esto permite realizar estrategias y llevar un control en los sujetos que aún no presentan la enfermedad previniendo de esta manera una tasa alta de mortalidad y morbilidad causada por las enfermedades vasculares cerebrales.

### 1.7.2 Tipos de ictus

A los diferentes tipos de ictus se los puede clasificar en función del fenómeno vascular que los ha suscitado.

- Ictus Isquémicos: Producidos por la obstrucción de vasos sanguíneos, que impiden el riego en una parte del cerebro (Alento, 2012).
- Ictus Hemorrágicos causados por la rotura de ramas arteriales y la consiguiente hemorragia cerebral. Se producen con menor frecuencia, pero tienen una tasa de mortalidad mayor (Alento, 2012).



**Figura 3.** Clasificación de tipos de ictus

El ictus puede producirse tanto por una disminución importante del flujo sanguíneo que recibe una parte de nuestro cerebro como por la hemorragia originada por la rotura de un vaso cerebral. El ictus que con más frecuencia se puede encontrar en pacientes es el ictus isquémico; son los más frecuentes (hasta el 85% del total) y su consecuencia final es el infarto cerebral: situación irreversible que lleva a la muerte a las células cerebrales afectadas por la falta de aporte de oxígeno y nutrientes transportados por la sangre, el menos frecuente es el ictus hemorrágico pero su mortalidad es considerablemente mayor (Egido, Exuperio, Tejedor, 2003).

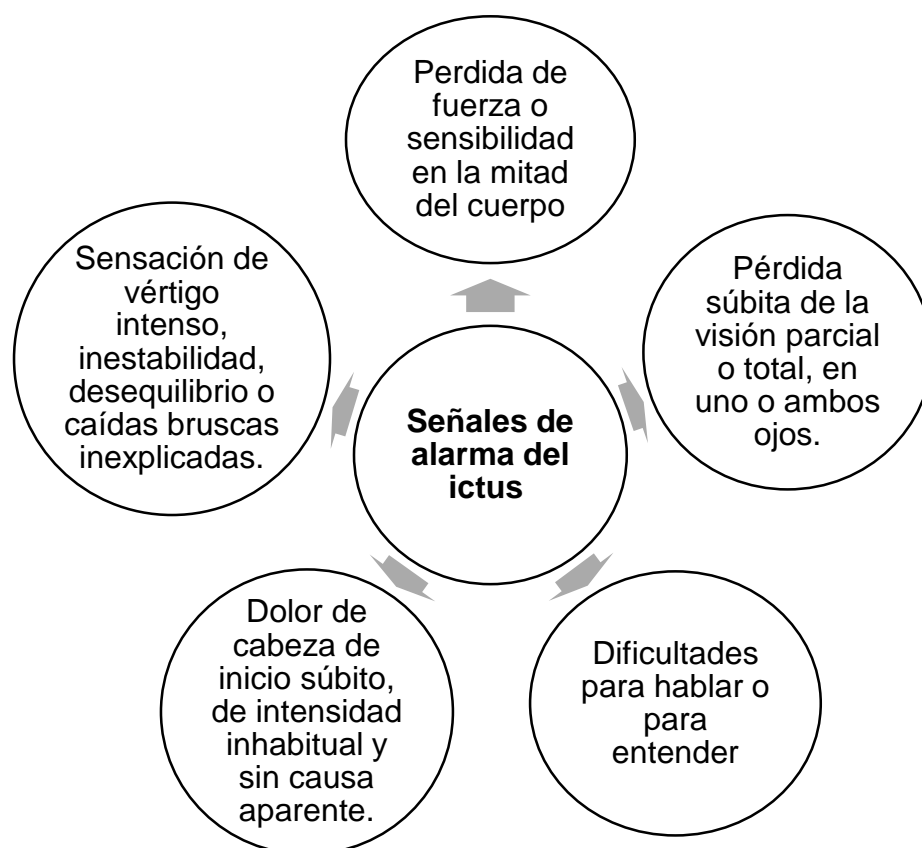
Los efectos de un ictus pueden variar desde leves hasta severos y se suelen provocar síntomas bruscos o súbitos de adormecimiento o debilidad en la cara, el brazo o la pierna (especialmente en un lado del cuerpo); confusión o dificultad para hablar o entender;



dificultad para ver con uno o con los dos ojos; dificultad para caminar, mareo o pérdida del equilibrio o dolor de cabeza severo, sin causa conocida (Ictus Sevilla, 2010).

### 1.8 Detección de ictus

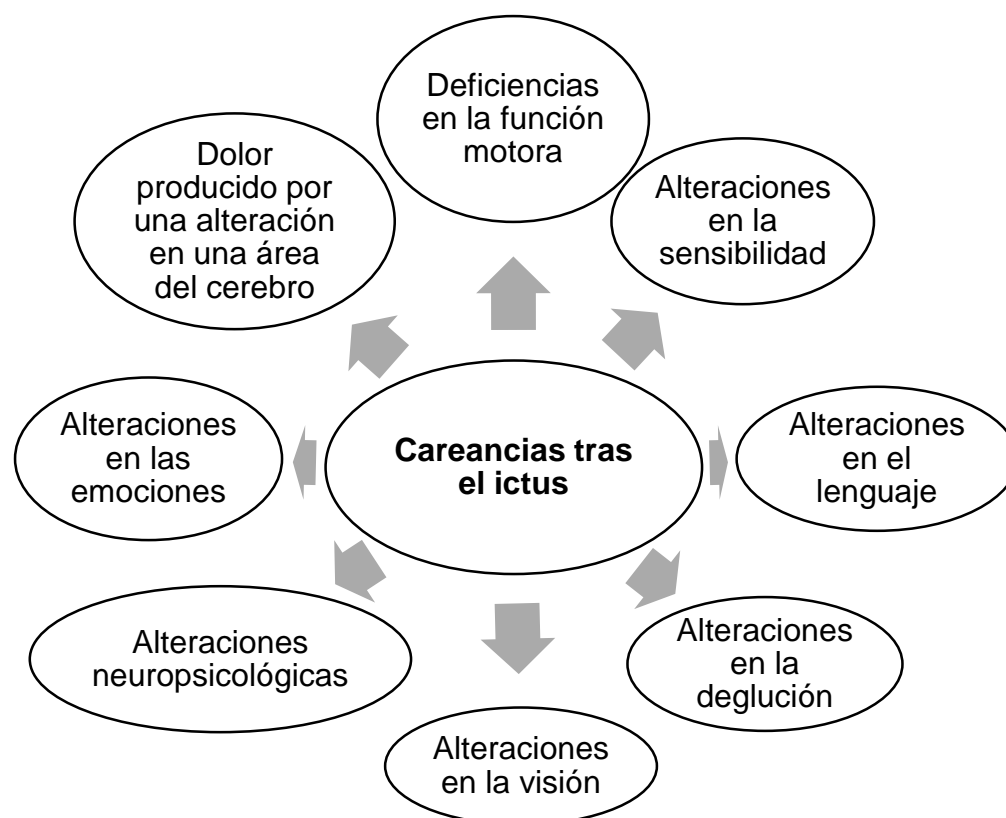
Poder detectar el ictus anticipadamente es necesario e importante lograr obtener un diagnóstico de qué tipo de accidente cerebrovascular es, y así de esa manera poder proveer al paciente del tratamiento adecuado lo antes posible y así evitar problemas más graves e irremediables, estos problemas principalmente aparecen cuando se presenta un ictus hemorrágico, donde si no se recibe una ayuda inmediata puede terminar con la muerte de la persona.



**Figura 4.** Síntomas del Ictus  
Fuente: (Alento, 2012)

### 1.8.1 La discapacidad

El ictus puede dejar resultados negativos ya sea físico o psíquico, la gran parte de las personas que sufren esta afección presentará algún grado de discapacidad permanente, por lo que se hace necesario e importante conocer el déficit que puede producir. En la Figura 5 presenta las principales carencias en una persona tras sufrir de ictus.



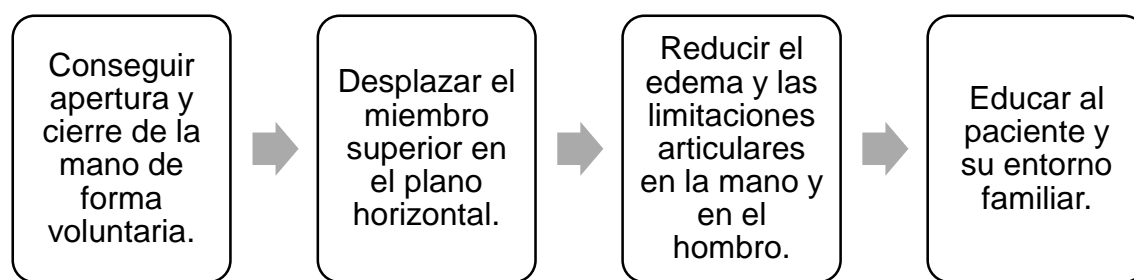
**Figura 5.** Afecciones tras un ictus

Fuente: (Fundacion Ictus, 2017)

### 1.9 Rehabilitación de la extremidad superior

El programa de rehabilitación de la extremidad superior incluye movimientos auto asistidos, practica y fortaleza mental, estimulación neuromuscular, terapia robótica y el

uso de la realidad virtual que juntamente con buena motivación y compromiso permiten rescatar un porcentaje considerable de la limitada capacidad motriz en hombro, brazo y articulaciones de la mano (Red Menni, 2016). Una de las variables más importantes a tener en cuenta a la hora de iniciar un programa de rehabilitación, es el grado de severidad de la limitación de movilidad, es por eso que la terapia persigue ciertos objetivos específicos que se detalla en la Figura 6:



**Figura 6.** Objetivos de la rehabilitación  
Fuente: (Red Menni, 2016)

La planificación de la rehabilitación será compleja y su tratamiento dependerá del orden de prioridades que se establezcan entre los procesos afectados que son los siguientes:

- Falta o exceso de tono.
- Problemas en activación coordinada entre los grupos musculares
- Falta de precisión y graduación de la fuerza
- Problemas sensitivos
- Reflejo de prensión o grasping.

Para la rehabilitación de las extremidades superiores se debe considerar la estructura por la cual está formada la extremidad y entender de mejor manera el tipo de rehabilitación que va a realizar.

### 1.9.1 Estructura del brazo humano

El brazo humano a nivel de esqueleto está formado por de tres partes principales el brazo, antebrazo y la mano.



**Figura 7.** Huesos del brazo  
Fuente: (Ozuna Laura, 2012)

#### a. Brazo

El brazo está formado del hueso denominado húmero que es el hueso más largo presente en la extremidad superior, en el húmero se insertan varios músculos que permiten desarrollar la fuerza.

#### b. Antebrazo

El antebrazo está formado por dos huesos denominados radio y cúbito, si el antebrazo derecho se flexiona en ángulo recto y la mano se abre hacia arriba, el radio queda en el

lado derecho del antebrazo y el cúbito en el izquierdo. El radio se puede girar en un eje longitudinal y transmite el giro a la mano, el cúbito no puede realizar estos movimientos giratorios debido a su estructura (Ozuna Laura, 2012).

### c. Mano

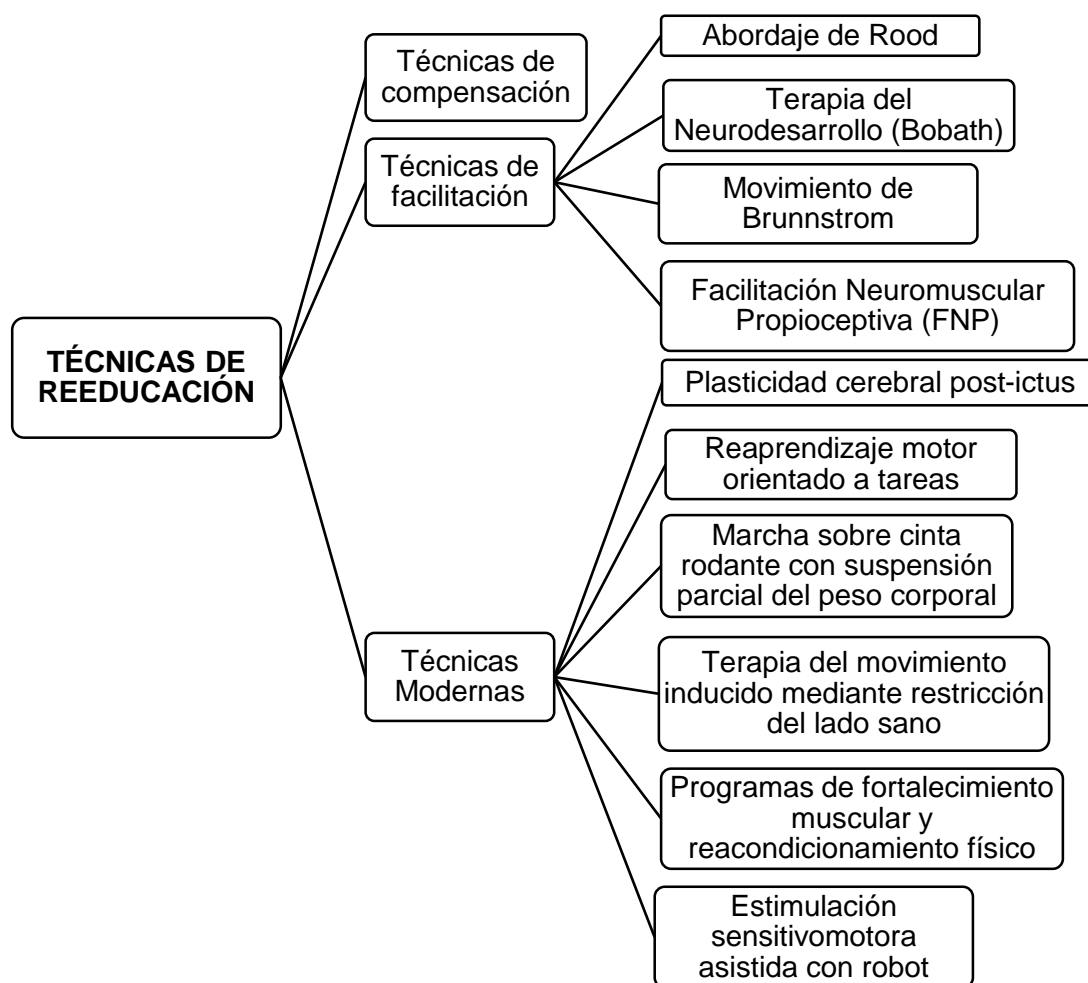
El esqueleto de la mano se subdivide en cuatro partes: el carpo, el metacarpo, la palma de la mano las falanges. El carpo es la parte del esqueleto en donde se encuentra la muñeca y conecta con los otros dos segmentos. El metacarpo consiste de cinco huesos metacarpianos que se numeran lateral medial, en cada metacarpiano se distingue un cuerpo, una extremidad superior (cabeza) y una extremidad inferior (base) (Montiel,Reséndiz, 2015). Las falanges forman el esqueleto óseo de los dedos. El dedo pulgar posee dos falanges mientras los demás poseen tres. En cada dedo las falanges se designan como proximal, medial y distal, todas ellas tienen la estructura general de los huesos largos (Montiel,Reséndiz, 2015).



**Figura 8.** Huesos de la mano  
Fuente: (Montiel,Reséndiz, 2015)

### 1.9.2 Técnicas de tratamientos convencionales

Se han propuesto numerosos abordajes para intentar mejorar los déficits motores del hemipléjico. Históricamente y conceptualmente se pueden agrupar en tres grandes grupos: técnicas de compensación, técnicas de facilitación y las propuestas más recientes, entre las que destaca el reaprendizaje motor orientado a tareas específicas. La Figura 9 se presenta las distintas técnicas de reeducación para el tratamiento de ictus.



**Figura 9.** Técnicas de Reeducación

Fuente: (Flórez Mariano, 2000)

### **1.9.3 Terapia ocupacional**

La Terapia Ocupacional (T.O) es, según la definición de la Organización Mundial de la Salud (OMS), “el conjunto de técnicas, métodos y actuaciones que, a través de actividades aplicadas con fines terapéuticos, previene y mantiene la salud, favorece la restauración de la función, suple los déficit invalidantes y valora los supuestos comportamentales y su significación profunda para conseguir la mayor independencia y reinserción posible del individuo en todos sus aspectos: laboral, mental, físico y social”. El fin de la T.O es conseguir la máxima funcionalidad de la persona con algún tipo de limitación, ya sea física, cognitiva, conductual o una variedad de ellas, a través de la actividad con sentido y/o talleres terapéuticos (NeuroRHB, 2012).

#### **a. Rehabilitación propioceptiva**

La propiocepción es el sentido que informa al organismo de la posición de los músculos, es la capacidad de sentir la posición relativa de partes corporales contiguas. La propiocepción regula la dirección y rango de movimiento, permite reacciones y respuestas automáticas, interviene en el desarrollo del esquema corporal y en la relación de éste con el espacio, sustentando la acción motora planificada. Otras funciones en las que actúa con más autonomía son el control del equilibrio, la coordinación de ambos lados del cuerpo, el mantenimiento del nivel de alerta del sistema nervioso central y la influencia en el desarrollo emocional y del comportamiento (Tarantino Ruíz, 2012).

#### **Cuando hacer terapia del miembro superior**

El miembro superior debe trabajarse después de haber logrado un buen control de tronco, si se trabaja el brazo antes que el tronco, se puede provocar un hombro doloroso. El tratamiento comenzará en sentido proximal a distal, por lo tanto, las actividades en un

principio implicarán patrones de movimientos amplios. Las actividades que se propongan deben ser simétricas y simples, sobre todo al comienzo del tratamiento, simétricas para aprovechar el refuerzo contralateral a la vez que aumenta la habilidad y destreza en el miembro sano, y simples para evitar la frustración. Una vez se han conseguido los movimientos amplios y un control más adecuado del hombro y codo, se pueden hacer actividades de fortalecimiento. Conforme aparece el control voluntario se debe progresar hacia actividades más complejas con el fin de mejorar el movimiento coordinado de prensión y liberación.

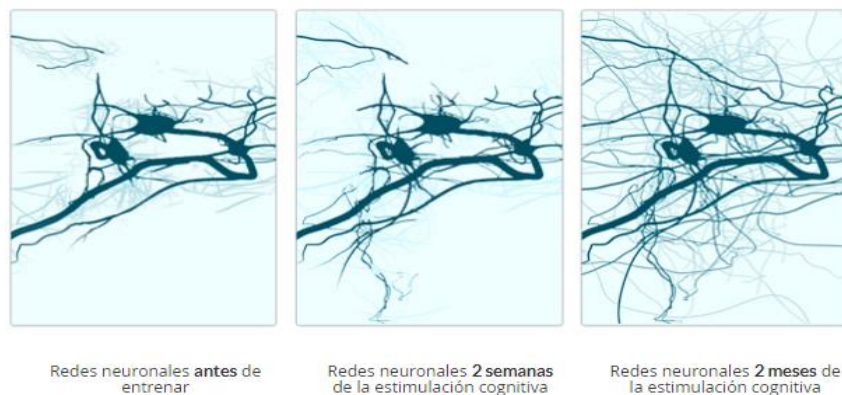
Las actividades propuestas deben seguir el orden de recuperación motora del miembro superior, es decir:

- Flexión de codo combinada con flexión de hombro
- Flexión de muñeca y dedos
- flexión y extensión de todos los dedos
- Supinación de antebrazo
- Extensión selectiva de hombro y codo

### **1.10 Realidad Virtual**

El cerebro mantiene la plasticidad durante toda la vida esto quiere decir que los sistemas nerviosos tienen la facultad de regenerarse tanto anatómicamente como funcionalmente y formar nuevas conexiones sinápticas es decir puede cambiar su estructura y funcionalidad a lo largo de toda su vida, como reacción a la diversidad de entorno. Lo que se pretende con la rehabilitación por medio de realidad virtual es tomar ventaja de la plasticidad que posee el cerebro (Maciques Elaime, 2016).





**Figura 10.** Plasticidad de la neurona

Fuente: (Maciques Elaime, 2016)

El objetivo de la realidad virtual es actuar como una herramienta para complementar las técnicas clásicas de rehabilitación, se debe considerar que los ejercicios que se implante en la realidad virtual deben ser repetitivos, didácticos que simulen actividades de la vida diaria del paciente, ejercicios que se tornen divertidos para el usuario.

La realidad virtual se puede definir como la forma más avanzada de relación entre el ordenador y la persona, permitiendo al usuario interactuar con la máquina y sumergirse en un entorno generado artificialmente. Esta tecnología se basa en la generación interactiva multisensorial de estímulos con el objetivo de mantener la sensación completa de inmersión en un mundo real. Se caracteriza por la ilusión de participación en un entorno sintético, más que la observación de éste (Naranjo V, 2015).

La realidad virtual comprende la interface hombre-máquina (human-machine), que permite al usuario sumergirse en una simulación gráfica 3D generada por ordenador, y navegar e interactuar en ella en tiempo real, desde una perspectiva centrada en el usuario. La realidad virtual es una experiencia sintética mediante la cual se pretende que

el usuario sustituya la realidad física por un entorno ficticio generado por ordenador (Pérez Francisco, 2011).

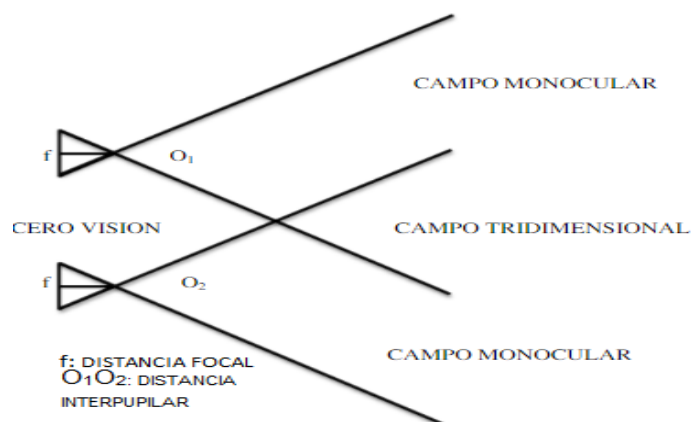
Dentro de los sistemas de realidad virtual podemos encontrarnos con sistemas inmersivos y no inmersivos.

- Los entornos virtuales inmersivos se ligan a un ambiente tridimensional generado por ordenador en el cual el sujeto interactúa a través de guantes de datos, cascos de visualización estereoscópica, pantallas interconectadas que abarcan un amplio campo de visión que representan escenarios virtuales en los que se realizan los ejercicios programados (Cabezuelos Alba, 2016).
- Los entornos virtuales no inmersivos se diferencian de los anteriores por su bajo coste y el no necesitar de otros dispositivos o hardware adicionales al propio ordenador. A través de una ventana de escritorio se interactúa con el mundo virtual con un sencillo mando (Cabezuelos Alba, 2016).

### **1.10.1 Vistas estereoscópicas**

Mostrar vistas estereoscópicas de un objeto es una técnica para representar un objeto tridimensional. Este método no produce imágenes realmente tridimensionales, pero proporciona un efecto tridimensional mediante la presentación de una vista diferente a cada ojo de un observador, para que parezca que las escenas poseen profundidad. (Hearn D, Baker P, 2006). Para un entendimiento correcto sobre la estereoscopia se observa en la Figura 11 una representación de los principios de la estereoscopia. El efecto tridimensional que nos proporciona las vistas estereoscópicas prácticamente es interpretada de esa manera por el cerebro gracias a que nuestros ojos toman información

de manera independiente e interpretan de distinta forma la información presentada de una misma escena.

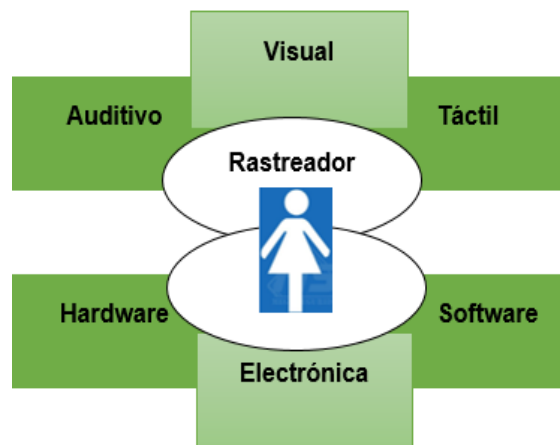


**Figura 11.** Principios de la estereoscopia  
Fuente: (Hearn D, Baker P, 2006)

### 1.10.2 El sistema de realidad virtual: Máquinas y aparatos

Un sistema de realidad virtual está compuesto de muchos sistemas. Apoyados en un fundamento básico de hardware, software y electrónica se trata de un sistema independiente desarrollado para producir efectos visuales, auditivos y táctiles que son utilizados en entornos virtuales sensorial (Casey Larijani, 1994).

Lo elemental que debe tener un sistema de realidad virtual es la simulación interactiva, interacción implícita e inmersión como se muestra en a la Figura 12.



**Figura 12.** Sistema de realidad Virtual  
Fuente: (Casey Larijani, 1994)

### 1.10.3 Generación de polígonos en tiempo real

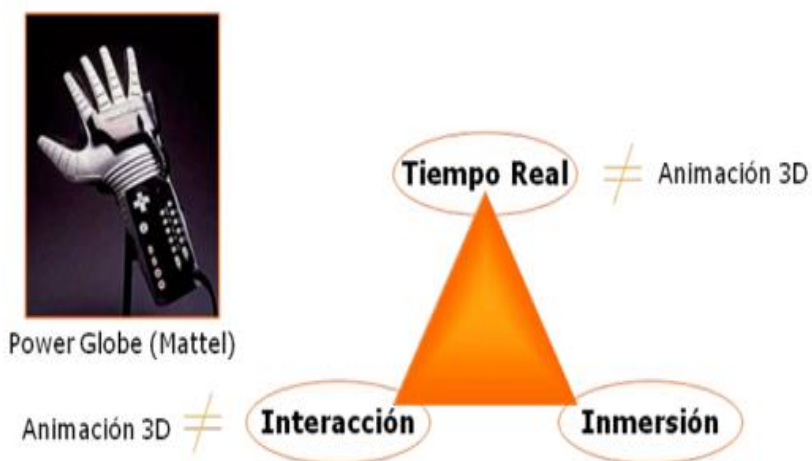
Cada imagen es un pequeño mosaico de pequeños polígonos cada uno de los cuales son generados separadamente por la computadora para acercarnos a secuencias visuales realistas en tiempo real, la computadora tiene que generar 30000 polígonos por segundo y el escenario debe actualizarse un mínimo de seis veces por segundo para conseguir la impresión de fluidez de movimiento. Siempre debe existir una correspondencia entre velocidad y calidad de imagen (Casey Larijani, 1994).

### 1.10.4 Sensaciones hápticas

Sistema háptico se considera como aquel que adquiere información a partir de la percepción táctil y la percepción kinestésica. Es decir, gracias al sentido táctil somos capaces de recibir información a través de los receptores y fibras nerviosas situados en la piel sobre los estímulos de la superficie externa de nuestro cuerpo, y gracias al sentido kinestésico seremos capaces de determinar la posición, estática o dinámica, de las distintas partes del cuerpo mediante los mecano receptores que se encuentran en articulaciones, músculos y tendones (Andreu V, Torronteras A, 2015).

### 1.10.5 El Triángulo de la Realidad Virtual

Las tres características fundamentales que definen la realidad virtual frente a las animaciones 3D tradicionales son: posibilidad de tiempo real, que permite elegir la dirección hacia dónde moverse en el interior del escenario o hacia dónde dirigir la mirada; inmersión completa por el interior del mismo, perdiendo el contacto con la realidad exterior al percibir únicamente los estímulos del mundo virtual; e interacción con los elementos que lo conforman, que permite interactuar con el mundo virtual a través de diversos dispositivos de entrada se posibilita así al usuario para modificar elementos del mundo virtual recibiendo, a su vez, una respuesta del mundo 3D, a través de sus sentidos (Pérez Francisco, 2011). La Figura 13 representa la diferencia entre animación 3D y realidad virtual.



**Figura 13.** Realidad virtual diferente de animación 3D  
Fuente: (Pérez Francisco, 2011)

### 1.11 Rehabilitación y realidad virtual

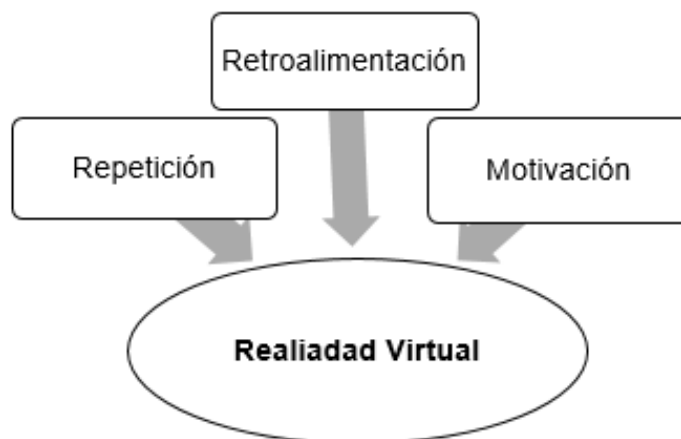
El programa de rehabilitación consiste en que el paciente pueda controlar su extremidad superior afectada de forma virtual, vista en primera persona mediante el cual

ha de realizar una serie de tareas que ayuden a la autonomía para realizar las actividades de la vida diaria (AVD) minimizando las secuelas sensitivo-motriz en las extremidades afectadas, alcanzando una mejora del rango de movilidad del hombro, brazo y mano, aumento de la velocidad de movimiento y un mejor movimiento selectivo de los dedos.

La rehabilitación con realidad virtual se basa en fundamentos científicos relacionados con el aprendizaje motor. Cualquier capacidad humana se caracteriza, entre otras cosas, por poder ser mejorada a través de la experiencia y la práctica. La estimulación se define como el conjunto de técnicas y estrategias que pretenden optimizar la eficacia del funcionamiento de las distintas capacidades y funciones físicas y cognitivas (percepción, atención, razonamiento, abstracción, memoria, lenguaje, procesos de orientación) mediante una serie de situaciones y actividades concretas donde la RV puede jugar un papel importante (Alvear A , Quintero G, 2012).

La realidad virtual proporciona una poderosa herramienta para el programa de rehabilitación en pacientes con ACV; en una primera etapa, para adquirir una nueva destreza es bien sabido que la repetición (aprendizaje - error) es la base fundamental para esto, otro elemento clave es la retroalimentación o feedback que implica conocer si el paciente está realizando correctamente el ejercicio, por último, para alcanzar el objetivo buscado es necesario que el paciente cuente con la motivación suficiente para no abandonar el tratamiento y lograr una recuperación completa.

En la figura 14 se observa las principales herramientas que ofrece la realidad virtual en rehabilitación física.



**Figura 14.** Herramientas de la realidad virtual

Otro hito importante en la realización de este proyecto es demostrar la viabilidad del uso de la técnica de realidad virtual y reconocimiento gestual como un método de ayuda para la rehabilitación del paciente con ACV, puesto a prueba a través de grupos de control analizando cómo repercute la funcionalidad de esta técnica, así como el tiempo que están expuestos a ella.

### **1.11.1 Realidad virtual y rehabilitación física**

En los últimos años, un grupo numeroso de investigadores han desarrollado sistemas de realidad virtual que permitan el movimiento de las extremidades superiores en pacientes con ictus o derrame cerebral. Los procesos se centran en el concepto de "Aprendizaje por imitación" en donde con la ayuda de un profesor virtual, los sistemas le permiten al usuario volver a entrenar una amplia variedad de movimientos del brazo, incluyendo hombro, codo, muñeca y mano (Maureen Holden, 2005).

Adicionalmente, la integración de los entornos virtuales con sistemas robóticos puede ampliar la gama de aplicaciones para los programas de rehabilitación en pacientes afectados, sin embargo, los dispositivos involucrados en la terapia pueden resultar poco

amigables al toparse con ellos por primera vez, debido a la presencia de cables conectores y al complicado diseño de la aplicación (Naranjo V, 2015).

Así mismo, la terapia con realidad virtual también puede presentar efectos secundarios, los estudios han señalado dos tipos de cuadros. El primero es el llamado Cyber sickness o que podría traducirse como “Enfermedad cibernética” que consiste en el desarrollo de alteraciones visuales, como defectos en la percepción de profundidad y cansancio, mareo, vértigo y náuseas, que se presentan inmediatamente después de haber participado en una actividad de realidad virtual. El segundo cuadro es el denominado “After effects” o “Efectos posteriores” en el cual se presenta la sensación de revivir el episodio de inmersión en el mundo virtual (flasback) y que se presenta entre horas y días después de someterse a la terapia (Navarrete José, 2009).

### **1.11.2 Realidad virtual y rehabilitación cognitiva**

Una de las aplicaciones más recientes de la realidad virtual han sido los ambientes simulados para el tratamiento y/o evaluación de personas con discapacidad intelectual. Lo anterior surge como respuesta a la redefinición de discapacidad, ya no sólo como la presencia de limitaciones en el funcionamiento intelectual de un individuo, sino también por las relacionadas con las deficiencias en el comportamiento adaptativo, es decir, en el conjunto de habilidades conceptuales, sociales y prácticas aprendidas por el sujeto para funcionar en su vida diaria (Abellán G , Hidalgo Ch, 2011).

Los retos que se presentan en un programa de rehabilitación en personas con este tipo de discapacidad resultan numerosos y aún más difícil, obtener mediciones sobre el desempeño cognitivo del paciente, por ello, la realidad virtual comenzó a ser visualizada como una alternativa que podría disminuir los inconvenientes de los métodos



tradicionales y constituirse, por tanto, en una vía de intervención apropiada para dichos individuos (Tejedor, Álvarez, Muñoz, 2001).

La forma más común de aplicación de la realidad virtual desde el punto de vista de la neuropsicología ha sido en el ámbito del comportamiento adaptativo, y más escasamente, se ha investigado su utilidad para intervenir y/o evaluar funciones específicas. En este sentido, los ambientes virtuales han sido empleados como métodos de entrenamiento de habilidades para la vida independiente y como formas de evaluación de la adquisición de tales habilidades. Los estudios en este ámbito han demostrado que el aprendizaje adquirido por esta vía puede ser transferido a las situaciones de la vida real en donde se requiere de tales capacidades (Pérez Claudia, 2008)..

### **1.12 Modelado 3D**

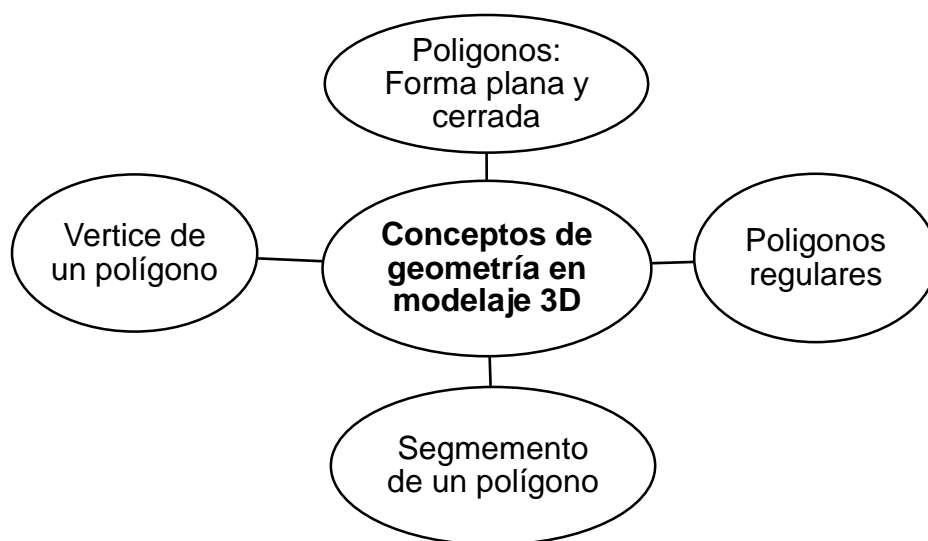
Para poder entender que es el modelado en 3D se debe tener claro los conceptos básicos como sistemas de coordenados, vector, vector normal, segmento, polígono, entre otros. A partir de estos conceptos básicos podemos decir que el modelado 3D es un medio ostensible de coordenadas que nos permiten conformar estructuras las cuales están envueltas en texturas, este proceso se lo realiza mediante una computadora para poder crear personajes, objetos, escenas y otros elementos.

El modelado en 3D es el proceso por el cual se crean personajes, objetos y escenas que se utilizan tanto para los videojuegos como para el cine e incluso en la terapia física de pacientes con déficit en el movimiento de extremidades o por problemas cognitivos como déficit de atención ocasionado por problemas neuronales. Esta es la fase inicial de la creación de personajes u objetos tridimensionales, por esta razón se convierte en la

parte fundamental del diseño, puesto que, si se parte bien, es más probable que los detalles finales también tengan óptima culminación (Romero Paco, 2014).

Se puede definir el proceso de modelado geométrico tridimensional como el encargado de crear modelos consistentes que puedan ser manejados algorítmicamente en un computador. Este proceso de construcción se aborda en diferentes etapas, partiendo típicamente de entidades básicas y aplicando una serie de operadores sobre ellas. Estas entidades básicas pueden ser primitivas geométricas (calculadas de forma algorítmica o mediante una ecuación matemática) u obtenidas mediante un dispositivo de captura escáner 3D (Gonzalez Carlos).

Para poder realizar el modelado en 3D hay que tener en cuenta conceptos que son muy importantes dentro de la geometría los cuales se muestran en la Figura15.



**Figura 15.** Conceptos de geometría en modelaje 3D

### **1.12.1 Representación de los sistemas**

La información que describe un modelo suele proporcionar como una combinación de datos geométricas y no geométricos.

#### **a. Información geométrica:**

Incluye las coordenadas para ubicar las partes componentes, las primitivas de salida y las funciones de atributo que definen la estructura de los componentes, así como permitir construir las conexiones entre esos componentes (Hearn D, Baker P, 2006, pág. 800).

#### **b. Información no geométrica**

Incluye las etiquetas de texto, los algoritmos que describen las características de operación del modelo y las reglas para determinar las relaciones o conexiones entre las partes componente (Hearn D, Baker P, 2006, pág. 801).

### **1.12.2 Visualización tridimensional**

En una visualización en 3D cada objeto se suele definir mediante conjuntos de superficies que forman un conjunto cerrado alrededor del interior del objeto además las funciones de visualización procesan las descripciones de los objetos sobre la superficie de un dispositivo de salida. En la visualizado tridimensional requiere tareas que no están presentes en su equivalente bidimensional como, rutinas para transferir el objeto o escena a una vista sobre una superficie plana, identificar las parte visibles del objeto o escena y, para tener una imagen realista (Hearn D, Baker P, 2006, pág. 376).

### **1.12.3 Técnicas de Modelado**

Existen infinidad de técnicas de modelado en 3D entre ellas presentamos 2 como lo son:

### **a. Modelado Sólido**

También conocidos como de Geometría Sólida Constructiva (CSG). Los modelos sólidos definen el volumen del objeto que representan, y en muchos casos indican incluso el centro de masas, la densidad del material interna, etc. Se utilizan en fabricación por computador y en aplicaciones médicas e industriales (Gonzalez Carlos).

### **b. Modelado de Contorno**

También conocidos como de Representación de Contorno (B-Rep - Boundary Representation). Los modelos de contorno únicamente representan la superficie límite del objeto (de forma conceptual, la "cáscara"). Son más fáciles de definir y modificar. Además, lo interesante para la representación del objeto es su apariencia exterior (en los casos donde interesa el interior simplemente se aproxima, como en el caso del SubSurfaceScattering). Prácticamente todos los paquetes de diseño y animación (incluido Blender) empleados en síntesis de imagen y en aplicaciones interactivas emplean este tipo de modelos (Gonzalez Carlos).

### **c. Modelado de caja (Box modeling)**

Es la técnica reina, sin duda. Se fundamenta en partir de una figura prediseñada sencilla (llamada primitiva) como puede ser un plano o un cubo, y de la que disponemos de forma inmediata en el software; después se añade geometría en forma de vértices, caras que hacen que el volumen gane forma y detalles (Gonzalez Carlos).

Para obtener una imagen de un gráfico 3D es necesario realizar los siguientes pasos:

#### **d. Iluminación**

En esta etapa se introducen en pantalla luces o focos que iluminan y crean sombras sobre el modelo 3D. Estas luces pueden ser de diferente tipo como directas, difusas, con diferente intensidad o diferentes colores.

#### **e. Color y texturizado**

Podemos añadir múltiples colores al modelo 3D y fotografías o texturas para hacer efecto de madera piedra, etc.

#### **f. Renderizado**

El Render es una imagen digital que se crea a partir de un modelo o escenario 3D realizado en algún programa de computadora especializado, cuyo objetivo es dar una apariencia realista, se calcula por medio de diferentes fórmulas y algoritmos que simulan los rebotes de los rayos de luz sobre los objetos 3D en la escena, rastreándolos desde la cámara virtual que coloquemos, hasta las fuentes lumínicas que iluminan la escena (ARQING, 2017).

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES**

Actualmente en el país las tecnologías de realidad virtual y control gestual son tecnologías relativamente nuevas que tienen el potencial de ser explotadas en varios campos de la ciencia como es el de la salud, es por eso que, se dará inicio al diseño y desarrollo de un sistema inmersivo de reconocimiento y control de gestos, ostensible que asiste la rehabilitación de la capacidad motriz de la extremidad superior en pacientes con un accidente cerebrovascular basado en realidad virtual y la detección de movimiento de los brazos y manos para la realización de la terapia física-virtual.

Para el diseño del sistema virtual se debe considerar que la recuperación de cada paciente es diferente y depende de varios factores como, la zona de afección, la rapidez con que logra restablecer el flujo sanguíneo, el estado de salud en que se encuentre el paciente, las terapias de recuperación, su estabilidad emocional entre otros factores. El diseño está enfocado a personas que hayan tenido una afección leve, y tengan cierta movilidad en las extremidades superiores y en efecto no tenga la necesidad que el fisioterapeuta este constantemente supervisando y ayudando a su recuperación.

#### **2.1 Requerimientos funcionales y de diseño**

Los requerimientos funcionales y de diseño se basan fundamentalmente para conseguir la máxima capacidad funcional posible y facilitar la independencia y la integración del paciente al entorno familiar, laboral, y social. En consecuencia, el sistema debe ser robusto, divertido para que el paciente se motive a realizar las actividades de

rehabilitación mediante juegos interactivos que le permitirá no solo rehabilitar la parte física si no también la parte cognitiva.

A continuación, se mencionan ciertos requerimientos con las cuales debe gozar el sistema de realidad virtual de rehabilitación de la extremidad superior con el fin de alcanzar los resultados esperados en la terapia.

- Proyectar una interfaz amigable, llamativa, de fácil uso e intuitiva para que el paciente pueda beneficiarse de la terapia.
- Registrar y proyectar el movimiento de la extremidad superior.
- Mostrar de forma interactiva y a modo de juegos dinámicos los ejercicios que se desarrollen para la terapia.
- El sistema debe tener código abierto para facilitar modificaciones a futuro de las actividades.
- Además, en las actividades se debe observar y verificar el mejoramiento con las diferentes sesiones que realice el paciente.
- Se debe considerar aspectos de calidad como: seguridad, continuidad, coordinación, pertinencia, eficiencia, accesibilidad oportunidad e Integralidad.
- Los equipos necesarios para el sistema de realidad virtual deben ser accesibles al mercado.
- La manipulación de los equipos debe ser fácil de montar y usar.
- El área física del paciente para la utilización del sistema de realidad virtual debe brindar confort.

## 2.2 Fases del diseño

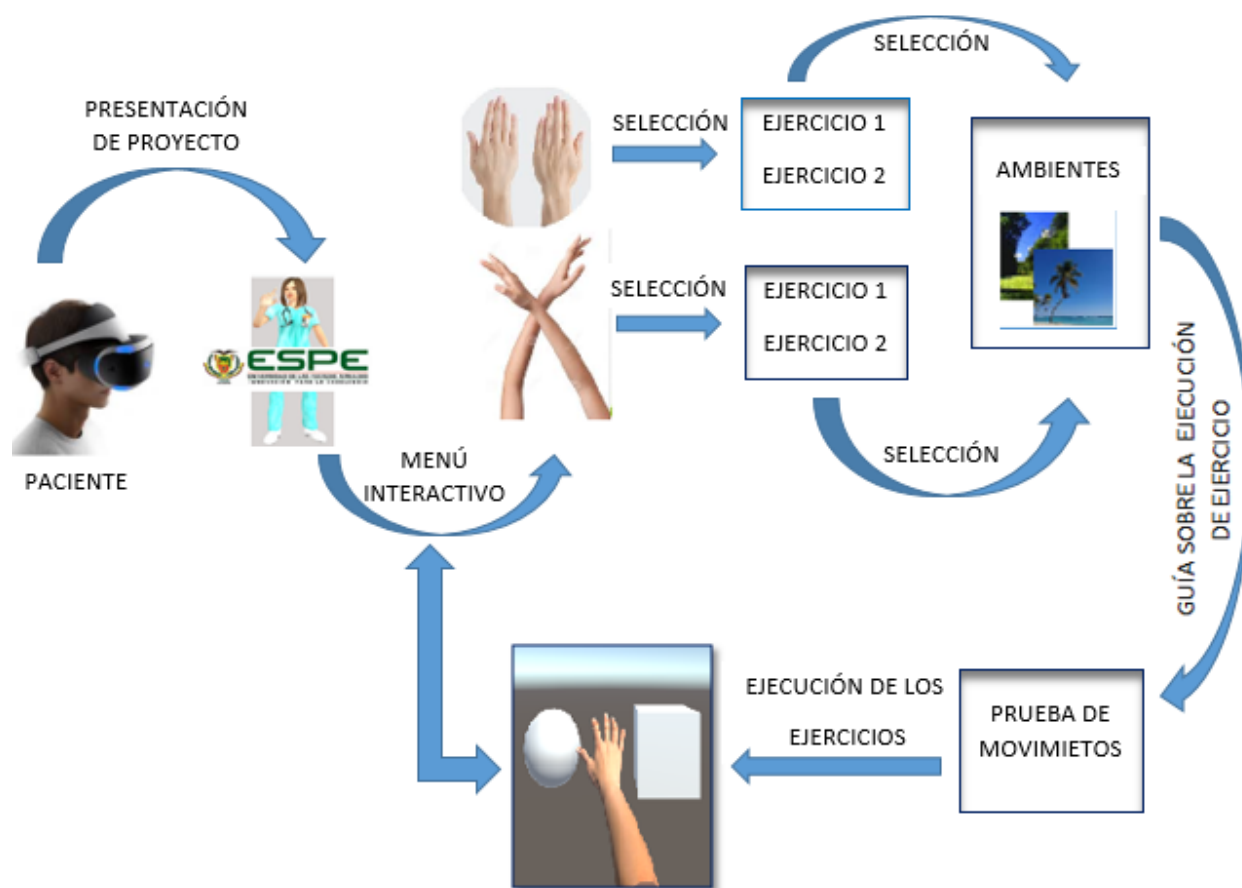
Como se menciona a lo largo de esta documentación el sistema de realidad virtual inmersivo debe poseer característica específica para poder presenciar la recuperación adecuada del paciente si necesidad de una supervisión constante del fisioterapeuta, no se pretende eliminar en su totalidad la asistencia terapéutica, pero se ambiciona que el paciente tenga autonomía al momento de realizar sus ejercicios de rehabilitación en un entorno amigable, saludable, cómodo y dinámico. Además, lo que se pretende con el sistema es incentivar al paciente en su recuperación mediante actividades dinámicas y fáciles de superar.

En forma general se aspira diseñar un entorno virtual robusto que procure llevar al paciente a un entorno relajado y cómodo el cual le incentive a su recuperación mediante juegos recreacionales que activen tanto su capacidad física motriz como su capacidad cognitiva además el sistema busca reforzar la estimulación multisensorial. El diseño del sistema en si está basado en su totalidad en la inmersión que experimente el paciente con el mundo virtual y la facilidad para habituarse en el mismo, por ese motivo el diseño es robusto y fácil de ser usado por el paciente.

Se mostrará un avatar que saluda y acompaña un menú interactivo el cual para ingresar al mismo deberá dirigirse con el movimiento de la cabeza y esperar unos momentos hasta que se muestre a que parte de la extremidad superior se la quiere fortalecer, como la mano o el brazo en su totalidad. Seguido de lo mencionado, se presenta actividades las cuales el paciente debe elegir con cual se siente a gusto de iniciar la terapia, continuando por la selección de ambiente que es un factor muy importante para que el paciente sienta confort mientras realiza los ejercicios. A



continuación, se mostrará un asistente virtual el cual ayudará a canalizar la correcta ejecución de la actividad en curso, para la realización del ejercicio el paciente podrá apreciar sus extremidades superiores dentro del sistema de realidad virtual. La Figura 16 presenta un bosquejo general del diseño del sistema inmersivo de realidad virtual:



**Figura 16.** Diseño del sistema Inmersivo de realidad Virtual

El sistema de realidad virtual debe ser infalible, seguro y mantenible, es decir que el sistema pueda ser variado, rectificado para que se adapte a futuros cambios y no quede desfasado con posibles adaptaciones venideros. Para ello lo primero que se debe hacer es capturar y examinar los requerimientos que tendrá el sistema cuyos requerimientos ya se mencionan y se detallan en el ítem 2.1. Seguido a esto se diseña la arquitectura del

sistema, este punto es muy importante dado que con un buen diseño en la arquitectura del sistema puede ser capaz de adaptarse a la tecnología que en estos momentos este vigente como a las nuevas tecnologías.

Después de realizar el diseño de la arquitectura hay que profundizar y diseñar la lógica y los vínculos existentes entre todas las partes del sistema para finalmente codificar y así realizar pruebas para verificar si cumple los requisitos y funciones como es previsto.

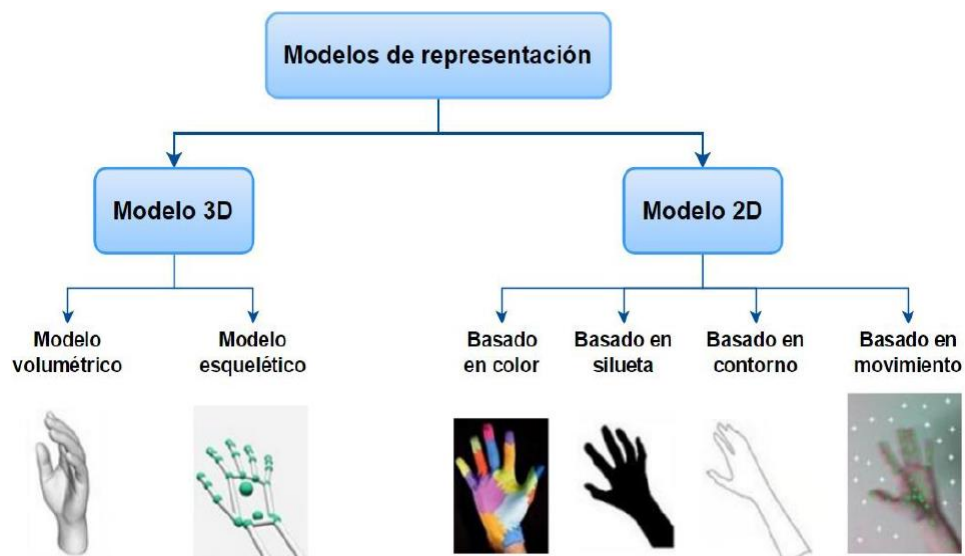
En base al diseño que se presenta en la Figura 16, y lo mencionado previamente, se detalle cada una de las etapas que debe seguir el diseño para poder ser ejecutado.

### **2.2.1 Modelado y creación del entorno**

El diseño 3D es uno de los campos que en los últimos años está evolucionando de una manera acelerada, gracias al desarrollo progresivo de la tecnología informática, en base a esto se puede percibir que el alcance es mayor en cuanto a definición y capacidad de procesamiento, lo que da lugar a resultados cada vez más realistas.

#### **a. Modelado de brazos**

Como ya se nombró con anterioridad se requiere que los brazos tengan una apariencia real para que el paciente sienta confort al momento de usar el sistema de rehabilitación virtual por ese motivo se debe considerar que el modelado debe ser de representación de gestos. Analizando la Figura 17 se debe realizar modelado volumétrico ya que se requiere que la representación sea lo más real posible para evitar confusión o descontento en el paciente. Lo que se logra con el modelo 3D volumétrico es conseguir una representación con gran exactitud sobre el tamaño, la forma y textura lo cual permitirá visualizar de una manera similar a la real.



**Figura 17.** Esquema de modelos de representación

Fuente: (Garrote Nuñez Adrián, 2016)

### b. Modelado del asistente virtual de bienvenida

Para el modelado del asistente virtual de bienvenida se realizará un personaje de características humanas, el mismo que dará el recibimiento al sistema de realidad virtual.

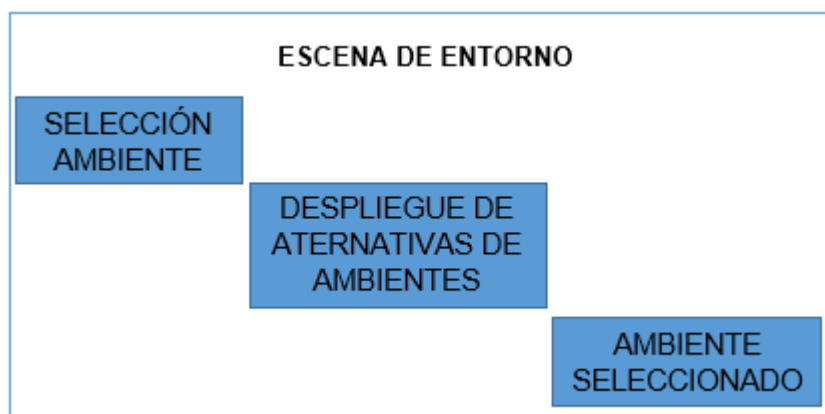


**Figura 18.** Avatar Virtual

Este asistente presenta características de género femenino con su vestimenta parecida a la de los fisioterapeutas que se encuentran en un centro de rehabilitación real, así, brindar confianza y realismo al momento de la inmersión del paciente al mundo virtual. La Figura 18 representa un avatar virtual de características humanas.

### c. Creación de entorno

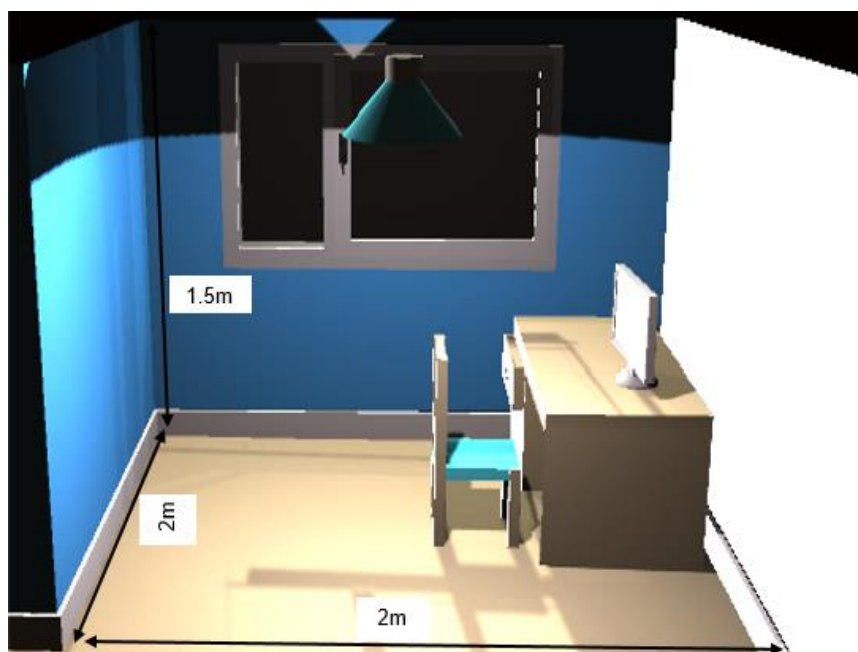
Las rehabilitaciones físicas de los pacientes por lo general se realizan en un centro fisioterapéutico que es un ambiente cerrado, influyendo así en el paciente estrés y poco interés por la rehabilitación. Debido a ese motivo es de gran ayuda la realidad virtual en la rehabilitación física ya que podemos transportar de forma virtual a ambientes amigables al paciente, donde se sienta cómodo. Debido a este fundamento se elabora tres ambientes distintos donde incluya vegetación, agua e incluso sonido el cual le permitirá una experiencia amena dentro del sistema de realidad virtual permitiendo así que el paciente se relaje y pueda realizar su rehabilitación de manera serena, fluida y dinámica, la Figura 19 se observa el diseño de la dinámico de la escena del entorno.



**Figura 19.** Selección de entorno

#### d. Espacio físico destinado a la rehabilitación

El área física que requiere el paciente es pequeña, ya que la rehabilitación de extremidades superiores no requiere de tanto espacio físico ya que la actividad a realizar no incluye desplazamiento de un lugar a otro, incluso el paciente puede realizar los ejercicios sentado debido a este motivo el área requerida es de cuatro metros cuadrados como muestra la Figura 20, la incidencia de luz puede generar un deterioro en la calidad de rastreo de los sensores por lo que el espacio no debe ser excesivamente iluminado .



**Figura 20.** Espacio físico requerido

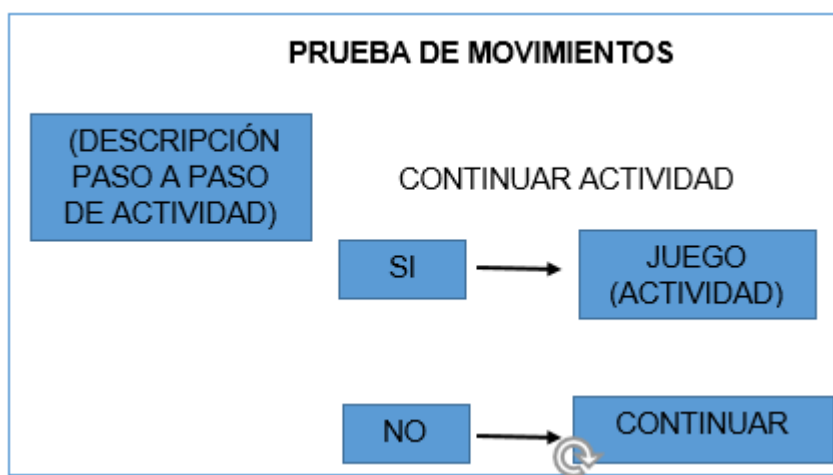
#### 2.2.2 Sistema interactivo

Comprende en la extracción de los datos del reconocimiento espacial de las manos y de la utilización de la interfaz en realidad virtual para poder realizar los ejercicios de rehabilitación, para esto, gracias a las gafas de realidad virtual el paciente puede moverse a través del menú con total fluidez utilizando el movimiento de la cabeza y haciendo uso

del sensor de reconocimiento gestual es posible capturar la información de la posición, rotación y escala de los elementos que comprenden el movimiento de una mano y utilizarlos para la realización de ejercicios que simulen actividades de la vida diaria (AVD).

#### a. Asistente de desarrollo de actividades

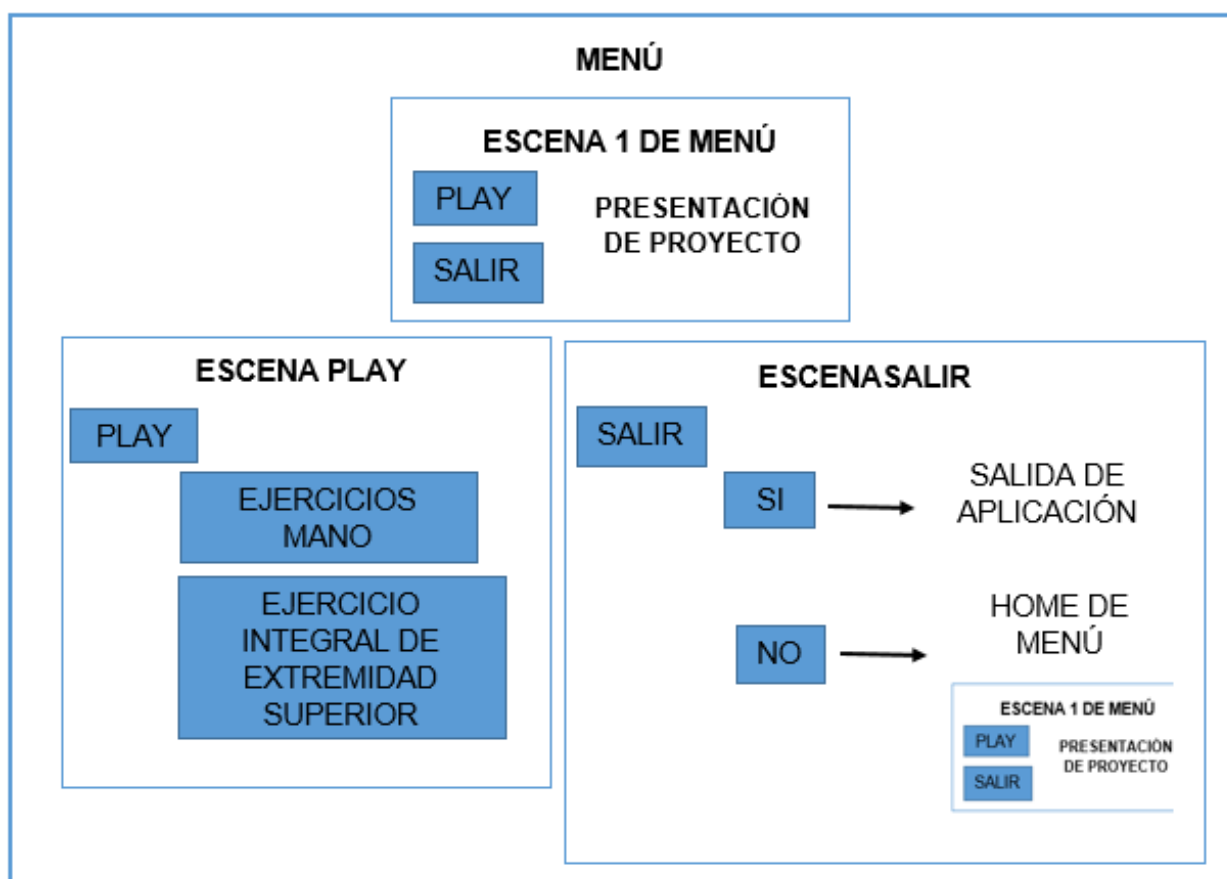
El trabajo que va a realizar el asistente de desarrollo de actividades es mostrar al usuario paso a paso como deben ser ejecutados cada uno de los ejercicios, la información que dé a conocer el asistente virtual al paciente debe ser detallada y fácil de entender para que sea capaz de seguir las instrucciones y pueda ejecutar las actividades con facilidad, de igual manera el asistente virtual cuenta con instrucciones audibles, el cual detalla los ejercicios facilitando al paciente tanto la lectura como el audio de las instrucciones de los ejercicios. Al hablar de asistente virtual no necesariamente debe ser con apariencia humana, lo que se busca en este caso es que el paciente siga una serie de instrucciones para llevar a cabo las actividades de la rehabilitación. La figura 21 muestra el diseño de como funcionara el asistente virtual.



**Figura 21.** Diseño del asistente virtual

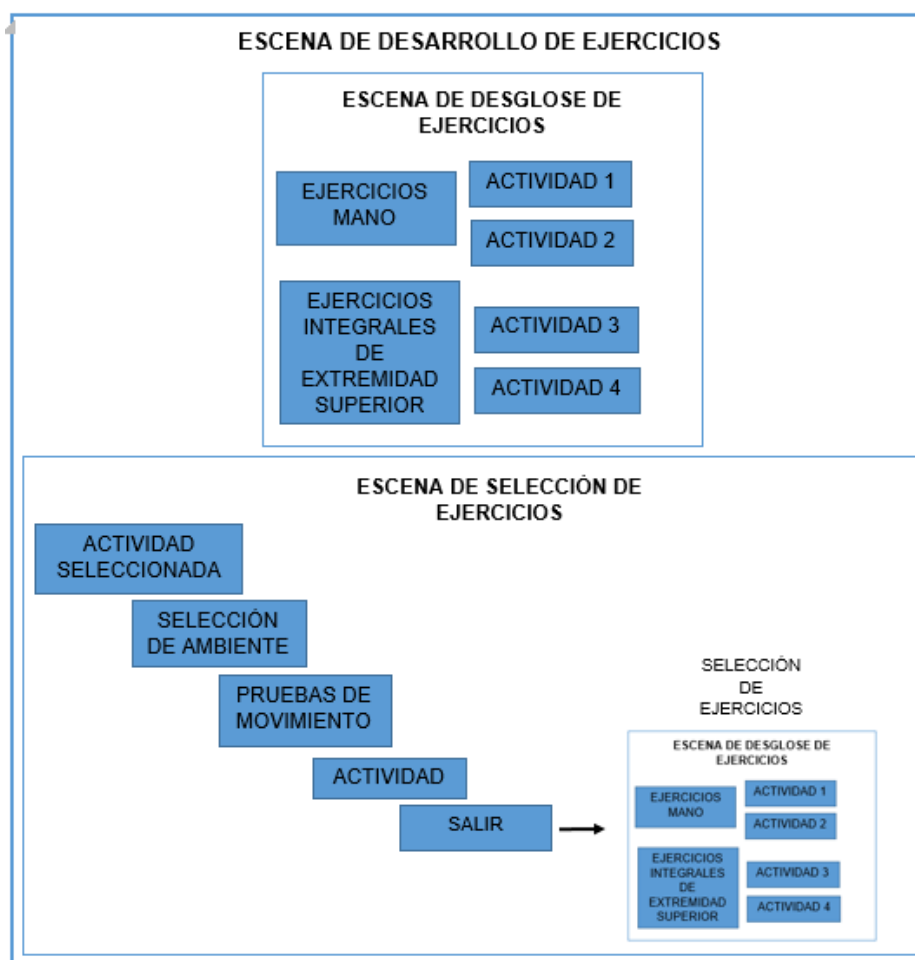
### b. Diseño de creación del menú

El menú interactivo se presentará con botones de selección, que permita al paciente seleccionar sin ninguna dificultad las actividades y ambientes en el cual quiere desarrollar el ejercicio de rehabilitación, por esta razón se pretende que la selección de los diferentes parámetros presentes en el menú didáctico sean seleccionados con el movimiento de la cabeza, facilitando así al paciente la correcta selección de las diferentes actividades y ambientes que se encuentran detallados en el menú didáctico e interactivo.



**Figura 22.** Diseño de menú interactivo

La escena de la selección de los ejercicios va a estar vinculada con las escenas mostradas en la Figura 21 y 22, al seleccionar en la escena del menú el ejercicio se desglosará cinco actividades en total, dos actividades para la mano y dos actividades las cuales integran tanto movimiento de muñeca, dedos, brazo y antebrazo. Una vez seleccionada la actividad deseada se tendrá que realizar la selección del ambiente, después de esto se ejecuta una prueba de movimientos que al culminarlo se ingresa a la actividad y se pedirá una confirmación de continuar o salir del juego, la Figura 23 muestra el diseño de la escena de desarrollo de los ejercicios.



**Figura 23.** Diseño de escena para desarrollo de actividades



## **2.3 Selección de ejercicios de rehabilitación para extremidad superior**

Hay que tomar en cuenta que el programa de ejercicios que se presente será para personas que tengan una afección leve y moderada ya que lo que se pretende con este proyecto es ayudar a que los pacientes puedan seguir su terapia en casa con ejercicios repetitivos básicos que no requieran la presencia constante de un fisioterapeuta.

### **2.3.1 Movimientos libres**

Un movimiento libre es aquel que se ejecuta con ausencia de todo tipo de apoyo y de otras resistencias, es decir, es un movimiento que se ejecuta dentro del campo de acción de la gravedad de la tierra y por ello con la fuerza de gravedad y contra la resistencia de fuerza de gravedad. Los movimientos básicos (flexión, y extensión, rotación externa e interna, aducción y abducción, pronación y supinación o inversión y eversión) se pueden combinar en una gran cantidad de movimientos. Al mismo tiempo los músculos tienen, además de su función de movimiento, una función de posición lo que quiere decir que algunos músculos juegan un papel de estabilizador en determinados sectores del cuerpo (Hüter, Schewe, Heipertz, 2003). Los ejercicios se basan en actividades repetitivas y movimientos libres es decir sin apoyo y en actividades que se lleven a cabo en la vida diaria, a continuación, se describe una serie de ejercicios.

#### **a. Deslizamiento tendinoso**

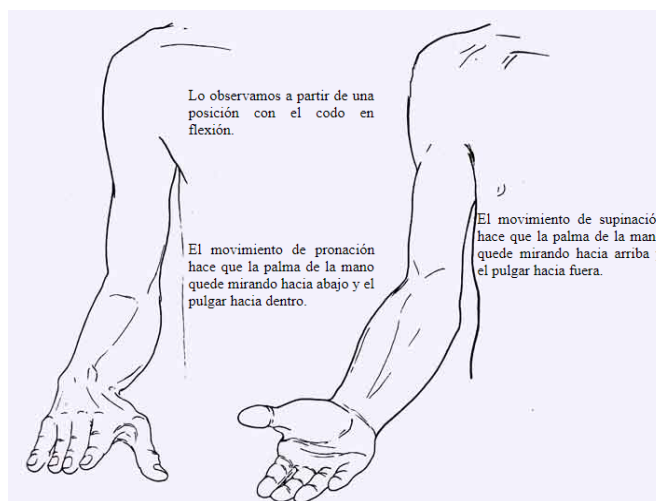
El deslizamiento tendinoso es un ejercicio de movilización donde se pretende que el paciente realice el cierre y abertura de la mano, Para conseguir fuerza nuevamente en la mano, debemos cerrar lentamente la misma todo lo que sea posible hasta lograr “hacer puño” (Moranta Josep, 2014) como se muestra en la Figura 24.



**Figura 24.** Ejercicio de deslizamiento Tendinoso  
Fuente: (Moranta Josep, 2014)

### e. Pronosupinación

El movimiento de supinación hace que la palma de la mano quede mirando hacia arriba y el pulgar hacia fuera, la pronosupinación incluye dos movimientos: la pronación y la supinación. La pronación consiste en un movimiento del codo y del brazo con el fin de que la mano pueda volverse hacia abajo (Traumatología Hellín, 2015), en la Figura 25 se observa el ejercicio de pronosupinación.



**Figura 25.** Ejercicio de pronosupinación  
Fuente: (Anatomía Humana, 2016)

#### f. Abducción y aducción

La abducción del brazo se basa en levantar un brazo o ambos brazos desde una posición recta que descansa holgadamente en el costado del cuerpo hacia el lado, por lo tanto, brazo derecho a la derecha, brazo izquierdo a la izquierda, hasta que el brazo permanezca recto. El paciente debe formar una línea horizontal que se extienda hacia afuera desde la articulación del hombro con el resultado de que la mano está a un brazo más lejos de la parte más cercana de la columna vertebral de lo que era antes de que comenzara el movimiento. La aducción de la extremidad superior consiste en mover la parte superior del brazo (húmero) desde una posición en línea recta desde el cuerpo. Debido al gran rango de movimiento de esta articulación esférica, el hombro también es capaz de tener aducción horizonte. En este caso, el brazo superior se mueve desde una posición recta desde el cuerpo y se mueve la línea media con el brazo paralelo al piso. La Figura 26 presenta los movimientos de abducción y aducción la extremidad superior.



**Figura 26.** Movimiento de abducción y aducción  
Fuente: (CáceresAntonio, López Juan, 2013)

### g. Flexión y extensión

La flexión del brazo consiste en la elevación del brazo en un plano sagital. El movimiento tiene un rango articular de 0-180 grados. Los principales músculos son el deltoides anterior y el bíceps braquial, en cambio la extensión es el descenso del brazo en un plano sagital. El movimiento tiene un rango articular de 180-(-45) grados. Los principales músculos son el deltoides posterior y tríceps braquial (CáceresAntonio, López Juan, 2013). La Figura 27 muestra los movimientos de flexión y extensión.

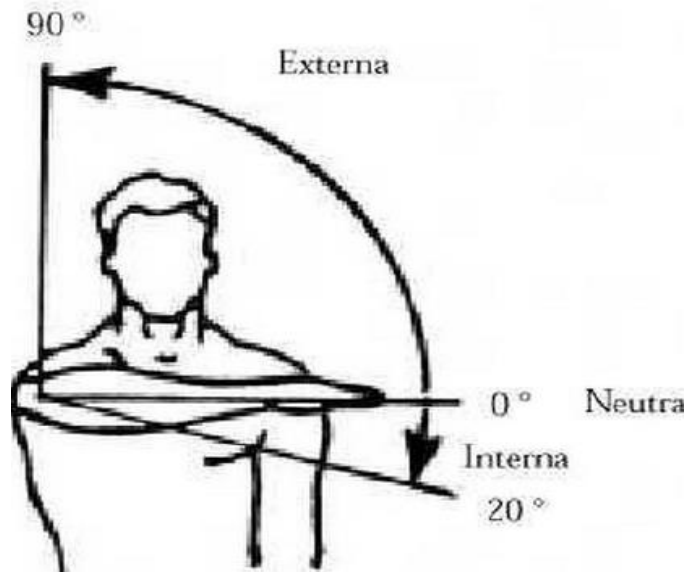


**Figura 27.** Movimiento de flexión y extensión

Fuente: (CáceresAntonio, López Juan, 2013)

### h. Movimiento rotacional interna y externa

El movimiento rotacional hacia dentro de la cabeza humeral, la rotación interna es un ángulo de  $-20^{\circ}$  con respecto al eje horizontal, denotado en la Figura 28 como posición neutral. El movimiento rotacional hacia fuera de la cabeza humeral, la rotación externa es un ángulo de  $90^{\circ}$  con respecto al eje horizontal.



**Figura 28.** Movimiento de rotación  
Fuente: (CáceresAntonio, López Juan, 2013)

## 2.4 Método para la selección de hardware y software

Para poder seleccionar de una manera adecuada todos los componentes se va a utilizar la matriz de filtrado de conceptos junto con la matriz de evaluación de conceptos.

### 2.4.1 Filtrado de conceptos

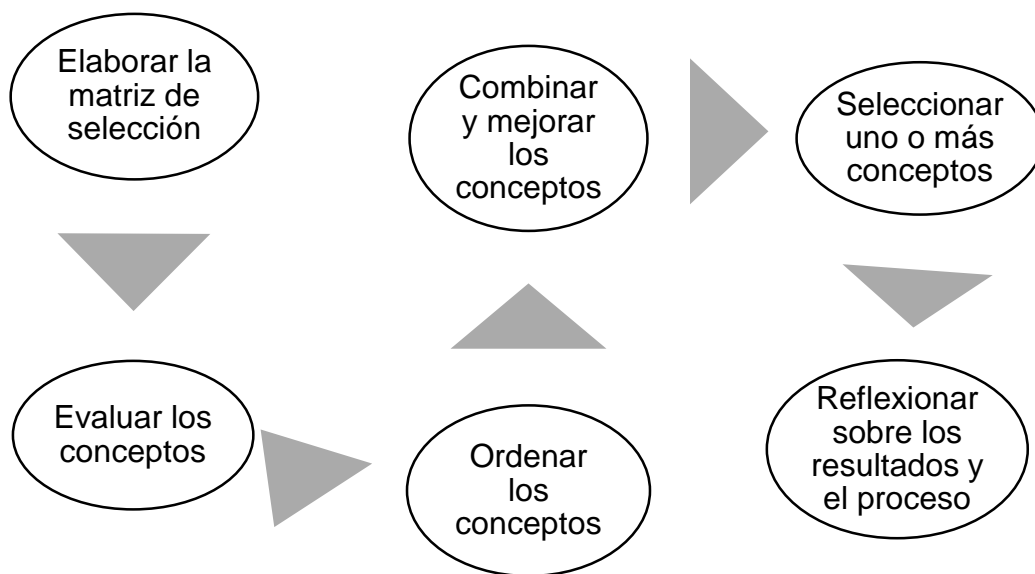
El filtrado de conceptos se basa en un método desarrollado por el desaparecido Stuart Pugh, que a veces también se le llama matriz de selección de conceptos. Los fines de esta etapa son reducir rápidamente el número de conceptos y mejorarlos. Durante el filtrado de conceptos, los conceptos iniciales, burdos, son evaluados con respecto a un concepto de referencia común. En la creación de la matriz de filtrado se coloca los que se considere como más importantes para ser evaluado, los conceptos se introducen a lo largo de la parte superior de la matriz, usando leyendas gráficas o de texto de alguna clase, los criterios de selección aparecen en lista en el lado izquierdo de la matriz de filtrado. Una evaluación relativa de “mejor que” (+), “igual a” (0), o “peor que” (-) se pone

en cada celda de la matriz para representar cómo se evalúa cada concepto en comparación con el concepto de referencia relativo al criterio particular (Karl Ulrich ,Steven Eppinger, págs. 150-151).

#### **2.4.2 Evaluación de conceptos**

La evaluación de conceptos se usa cuando una mayor resolución va a lograr una mejor diferencia entre conceptos que compiten. En esta etapa, el equipo pondera la importancia relativa de los criterios de selección y se enfoca en comparaciones más refinadas con respecto a cada criterio, las evaluaciones del concepto están determinadas por la suma ponderada de las calificaciones. Los conceptos que hayan sido identificados para análisis se introducen en la parte superior de la matriz a continuación se coloca los criterios, el equipo agrega valores de importancia a la matriz. Se pueden usar varios esquemas para ponderar los criterios, por ejemplo, asignar un valor de importancia de 1 a 5. (Karl Ulrich ,Steven Eppinger, págs. 154-155). Ambas etapas, filtrado de conceptos y evaluación de conceptos, siguen un proceso de seis pasos que llevan al equipo por la actividad de selección del concepto como se muestra en la Figura 29.

Cada uno de los miembros tiene puntos de vista únicos que aumentan el entendimiento del problema y por lo tanto facilitan el desarrollo de un producto exitoso y orientado al cliente. El método de selección del concepto utiliza las matrices como guías visuales para construir consenso entre miembros del equipo. Las matrices concentran su atención en las necesidades del cliente y otros criterios de decisión y en los conceptos del producto para evaluación, mejora y selecciones explícitas (Karl Ulrich ,Steven Eppinger, pág. 150).



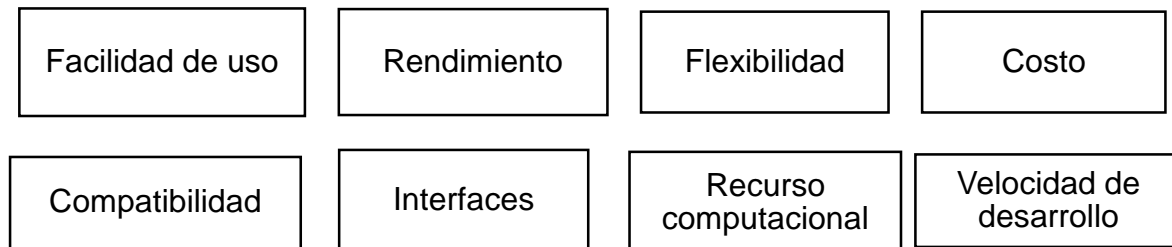
**Figura 29.** Proceso para la selección de conceptos  
Fuente: (Karl Ulrich ,Steven Eppinger, pág. 150)

## 2.5 Selección de software

Para la selección de software se considera que se debe buscar un software que permita modelar y animar en 3D y un motor de juegos que facilite la detección de movimientos y presentación de información visual.

### 2.5.1 Software de Modelado

Se puede encontrar varios softwares que pueden ser utilizados para el modelado y la animación 3D, pero este proyecto trata de buscar y de seleccionar el mejor para la aplicación de esta investigación que es la rehabilitación de extremidades superiores para personas que han sufrido ictus. Para esto se va a identificar los softwares que se encuentren disponibles para este fin buscando así los que tengan mayor aceptación y estén disponibles en el mercado para posteriormente identificar los parámetros sobre los cuales se realizará la evaluación, entre algunos de los parámetros se puede mencionar los siguientes que están representados en la Figura 30:



**Figura 30.** Parámetros de selección de Software

### **Alternativas de solución para software de Modelado 3D**

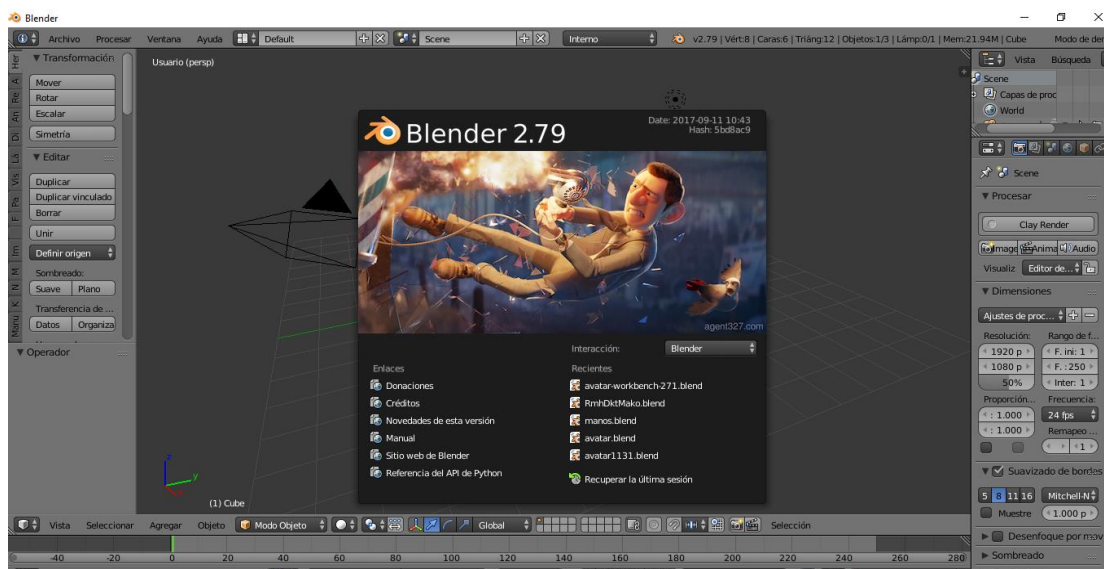
Se puede encontrar una infinidad de programas destinados para el modelo en 3D cada uno de ellos diferenciados de acuerdo las necesidades creativas del profesional, con la gama extensa que se tiene se han considerado los siguientes:

#### **a. Blender**

Blender proporciona un amplio espectro de funciones de modelado, texturizado, iluminación, animación y pos procesamiento de video en un solo paquete. A través de su arquitectura abierta, proporciona interoperabilidad multiplataforma, extensibilidad, una huella increíblemente pequeña y un flujo de trabajo estrechamente integrado. Es una de las aplicaciones gráficas 3D Open Source más populares del mundo, puede usarse para crear visualizaciones 3D, fotogramas y videos de calidad de cine y emisión, mientras que la incorporación de un motor 3D en tiempo real permite la creación de contenido 3D interactivo para reproducción, continúa desarrollándose como «Software libre», con el código fuente disponible bajo la licencia GNU GPL (Manual Blender, 2016).

La interfaz de Blender se presenta en la Figura 31





**Figura 31.** Interfaz de Blender

Como todo software antes de ser instalado se debe conocer las características del sistema para obtener un funcionamiento óptimo del programa los cuales se enlistan en la Tabla 2, esta detalla tanto requerimientos recomendados como los requerimientos para un grado de producción.

**Tabla 2**  
*Requisitos del sistema para instalación de Blender*

Requisitos recomendados	
CPU	2 Ghz
RAM	8 GB
Ratón	de tres botones
Tipo de sistema	64-bit quad core CPU
Visualización	Pantalla Full HD con color de 24 bits
Tarjeta gráfica	Gráficos compatibles con OpenGL 3.2 con 2 GB de RAM
Hardware óptimo (de grado de producción)	
CPU	de ocho núcleos de 64 bits
RAM	16GB
Visualización	Dos pantallas Full HD con color de 24 bits
Ratón	de tres botones y tableta gráfica
Tarjetas gráficas	Compatibles con OpenGL 3.2 con 4 GB de RAM

Fuente: (Manual Blender, 2016)

## **Ventajas de Blender**

- Su código es abierto para plataformas de Linux, Mac, Windows, Mac OS X, Solaris, IRIX y FreeBSD
- Es un software que no utiliza mucho espacio en el disco
- Goza con un post de producción incorporado y compositor de imágenes de textura.
- Se lo puede programar en Python
- Blender arranca sumamente rápido en comparación con otros programas destinados para modelado 3D
- El consumo de recursos es bajo
- Se lo puede adaptar a formatos gráficos como TGA, SGI, TIFF, JPG

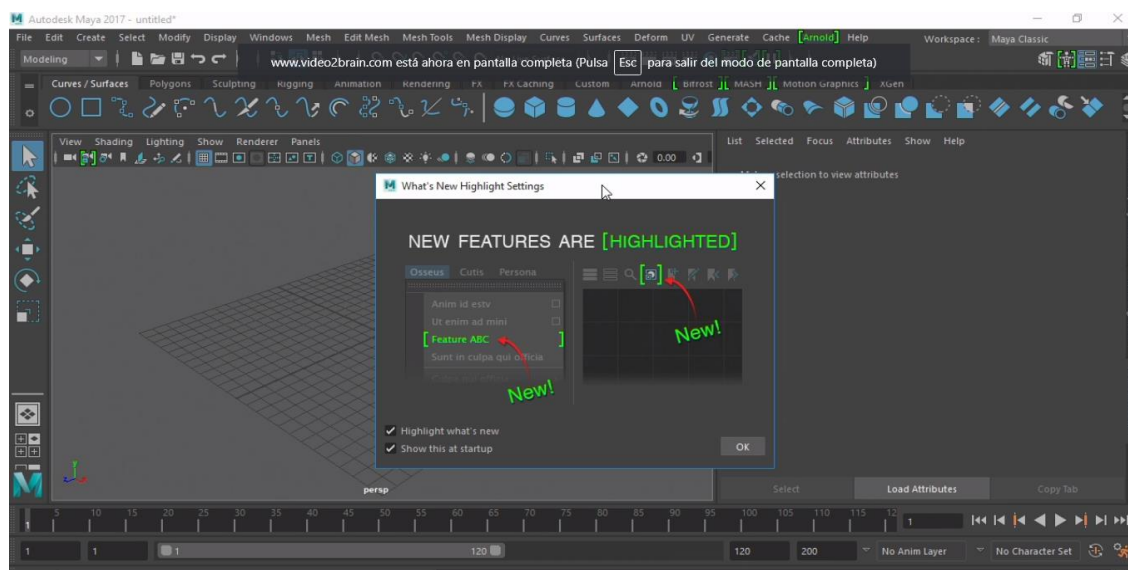
## **Desventajas de Blender**

- Por defecto no utiliza todos los procesadores de computador, ya que por ser un software libre no tienen ingresos para contratar especialistas que solucionen las debilidades que posee Blender
- Dificultad de funcionamiento con polígonos mayores a 4 lados
- Para personas que no estén acostumbradas a utilizar programas de 3D le resultara complicado entender y el aprendizaje será lento y complejo

### **b. Autodesk Maya**

El software de animación 3D Maya brinda un conjunto completo de funciones creativas para composición, renderización, simulación, modelado y animación por computadora 3D en una plataforma de producción sumamente ampliable. Maya ofrece tecnología de visualización de próxima generación, flujos de trabajo acelerados de modelado y

herramientas para manejar datos complejos, además de contar con una interfaz dinámica para el usuario como se muestra en la Figura 32 (Autodesk, 2017).



**Figura 32.** Interfaz de Autodesk Maya 2017  
Fuente: (Autodesk, 2017)

La Tabla 3 detalla los requisitos necesarios tanto de hardware como software para el buen funcionamiento de Autodesk Maya.

**Tabla 3**

*Requisitos necesarios para instalación de Autodesk Maya 2017*

Requerimientos Necesarios	
<b>Software</b>	
Sistema operativo	Sistema operativo Microsoft® Windows® 7 (SP1) y Windows® 10 Professional Sistema operativo Apple® Mac OS® X 10.10.5 y 10.11.x Sistema operativo Red Hat® Enterprise Linux® 6.5 y 7.2 WS Sistema operativo CentOS 6.5 y 7.2 Linux
<b>Hardware</b>	
CPU	Procesador de varios núcleos de 64 bits Intel® o AMD® con el conjunto de instrucciones SSE4.2
RAM	8GB de RAM (se recomiendan 16 GB o más)
Espacio en disco	4 GB de espacio libre en disco para la instalación
Dispositivo señalador	Ratón de tres botones

Fuente: (Autodesk, 2017)

### **Ventajas de Autodesk Maya**

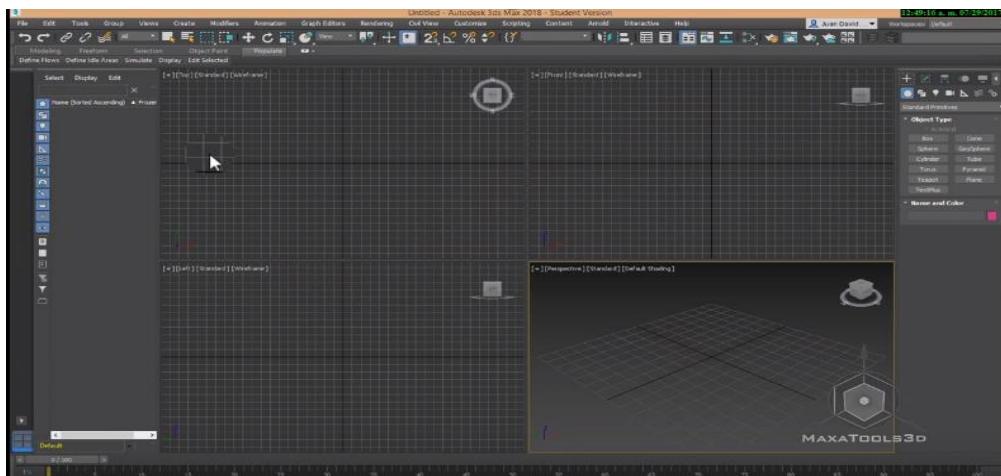
- Posee una ventana grafica de rendimiento alto el que le permite evaluar el trabajo en un entorno más fidedigno con efectos a toda la pantalla
- Tienen las posibilidades de crear y editar representaciones de pases de render que están basados en nodos para poder verificar y optimizar el trabajo directamente dentro de Maya
- La sincronización y visualización de los videos son editables
- Nos encontraremos con avisos de alerta si se realiza operaciones indebidas facilitando así el aprendizaje

### **Desventajas de Autodesk Maya**

- Su costo es elevado
- Si se trabaja con una versión y después se cambia a otra se va a tener complicaciones en el entendimiento con las versiones anteriores
- Trabaja solo para plataformas de Linux, Mac, Windows
- El consumo de recursos es elevado

#### **c. Autodesk 3Ds Max**

Es un Software para modelado, texturización y animación de objetos, muy utilizada en juegos, películas y por artistas especializados por considerarse completa. Fue creado por el Grupo Yost para luego pasar a manos de Autodesk para continuar con su desarrollo. Cuando se reescribió para Windows se le agregó la palabra MAX (Autodesk 3D MAX, 2018), la Figura 33 muestra la interfaz de 3Ds Max.



**Figura 33.** Interfaz de 3Ds Max  
Fuente: (Autodesk 3D MAX, 2018)

En la Tabla 4 se detalla los requerimientos que se necesitan del equipo para el correcto funcionamiento de Autodesk 3Ds Max 2018.

**Tabla 4**  
*Requerimientos para instalación de Autodesk 3Ds Max*

Requerimientos Necesarios	
<b>Software</b>	
Sistema operativo	Sistema operativo Microsoft® Windows® 7 (SP1), Windows 8, Windows 8.1 y Windows 10 Professional
<b>Hardware</b>	
CPU	Procesador de varios núcleos Intel® o AMD® de 64 bits El renderizador Arnold requiere que el procesador admita SSE4.1
RAM	4 GB de RAM como mínimo (se recomienda 8 GB o más)
Espacio en disco	6 GB de espacio disponible en disco para la instalación
Dispositivo señalador	Ratón de tres botones

Fuente: (Autodesk 3D MAX, 2018)

3Ds Max es una poderosa solución de modelado y animación en 3D utilizada por los desarrolladores de juegos, artistas de efectos visuales y diseñadores gráficos para crear mundos masivos, escenas impresionantes y experiencias de realidad virtual atractivas, 3ds Max con su arquitectura basada en plugins, es uno de los programas de animación

3D más utilizado, especialmente para la creación de videojuegos, anuncios de televisión, en arquitectura o en películas (Autodesk 3D MAX, 2018).

### **Ventajas de 3Ds Max**

- Personajes animados y visualización de imágenes de manera interactiva, diseño de personajes lo más reales posibles
- La interfaz de usuario es adaptable
- Funciona para animación de 3D de alta calidad
- El rendimiento que se obtienen en la pantalla grafica son muy satisfactorios tanto para la interacción como para la reproducción
- Se puede encontrar gran cantidad de información y ayuda para el aprendizaje

### **Desventajas de 3Ds Max**

- El software tiene un costo por tener licencia, el soporte lo ofrece la empresa Autodesk
- Utiliza una gran cantidad de los recursos del computador
- La curva de aprendizaje se torna complicada

### **2.5.2 Selección de software de Modelado**

Tomando en cuenta los parámetros de selección expuestos anteriormente se calificará en base a las matrices de filtrado y evaluación de conceptos, a continuación, se puede observar la evaluación para la selección del software para modelado 3D:

En la Tabla 5 se observa la primera selección entre tres softwares que se los considera de manera personal más idóneos para modelado 3D esto se llevará a cabo a través del filtrado de conceptos.

**Tabla 5***Filtrado de conceptos para software de Modelado*

Criterios de Selección	Software de modelado		
	Autodesk Max	3Ds Autodesk Maya	Blender
Soporte	+	+	+
Facilidad de uso	0	0	0
Rendimiento	+	+	+
Flexibilidad	-	+	+
Código abierto	-	-	+
Recurso computacional	-	-	+
Sincronización y visualización de videos editables	+	+	+
Suma +	4	4	6
<b>Suma -</b>	3	2	0
<b>Sum 0</b>	1	1	1
<b>Evaluación Neta</b>	1	2	6
<b>¿Continuar?</b>	no	si	si

En la Tabla 6 se visualiza la selección definitiva mediante la matriz de evaluación de conceptos.

**Tabla 6***Matriz de evaluación para software de Modelado 3D*

Criterios de Selección	Peso %	Software de modelado			
		Autodesk Maya		Blender	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Soporte	10	3	0,3	4	0,4
Facilidad de uso	10	3	0,3	3	0,3
Rendimiento	15	4	0,6	2	0,3
Flexibilidad	15	3	0,45	5	0,75
Código abierto	25	2	0,5	5	1,25
Recurso computacional	10	2	0,2	4	0,4
Sincronización y visualización de videos editables	15	5	0,75	4	0,6
<b>Total Puntos</b>	100		3,1		4
<b>Lugar</b>			2		1
<b>¿Continuar?</b>			NO		SI

La elección de Blender para el modelado 3D se la hizo por muchos motivos muy importantes, que sea un software gratuito no implica que tenga carencias al momento de usarlo o que no cumpla con los requerimientos de diseño 3D que se han implantado desde un inicio, Blender es todo lo contrario, es un software muy potente de animación, simulación y capaz de diseñar juegos, además de ser un software muy ligero que no requiere de un computador potente, de igual manera funciona en cualquier plataforma. La Figura 34 muestra los formatos que permite exportar e importar Blender.



**Figura 34.** Formatos permitidos en Blender



Blender es un software que va evolucionando por ese motivo sigue apareciendo nuevas versiones mejoradas que van corrigiendo pequeños bugs, incorporando así nuevas propiedades, otro motivo importante es que detrás de Blender hay una gran comunidad en internet donde se puede encontrar ayuda y asesoramiento.

En Blender se puede incorporar pequeños addons que puede realizar cosas increíbles y lo mejor de todo que la estos addons son gratuitos. Otro atributo que se le puede agregar es que Blender permite exportar e importar desde múltiples formatos siendo así versátil al momento de exportarlo a otro programa de modelado 3D o un motor de juegos. El mayor inconveniente que muchos presentan al momento de usar Blender es que la curva de aprendizaje es extensa, pero esto se soluciona con el sin número de tutoriales que se puede encontrar en internet que son fáciles de seguir e ir ejecutando.

### 2.5.3 Motor de Desarrollo (Creación de entornos)

El motor de desarrollo es el software principal para la realización del programa de rehabilitación de la extremidad superior, en él se recopila la información de los demás requerimientos para la realización de los ejercicios específicos, detección de movimientos y presentación de información visual. Se requiere que cumpla con ciertos parámetros que se describen en la Figura 35.



**Figura 35.** Parámetros de selección del motor de desarrollo

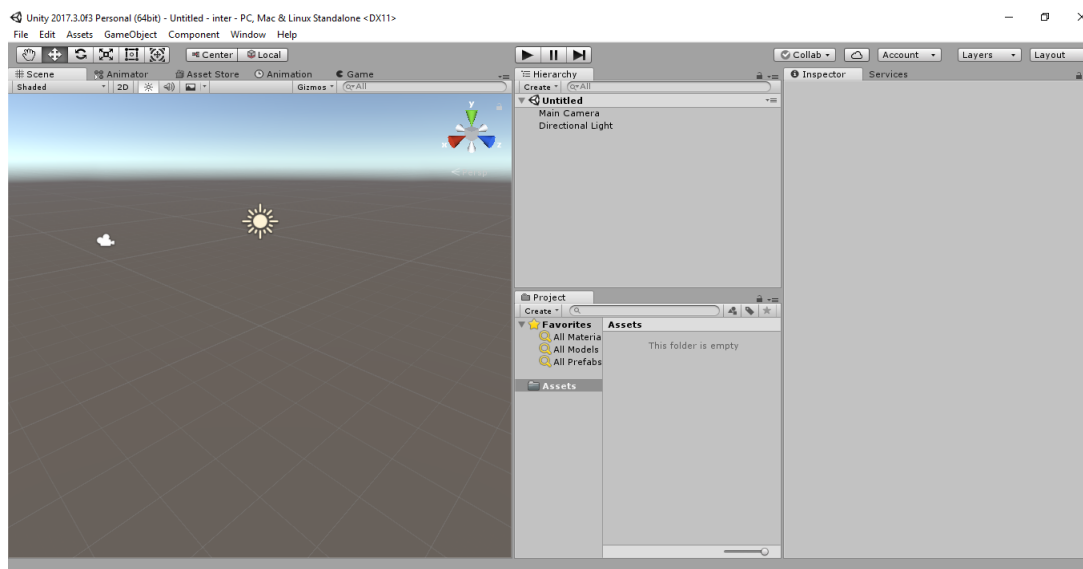
## **Alternativas de solución para software Motor de Desarrollo**

Para seleccionar el motor de desarrollo se debe considerar los parámetros mencionados anteriormente para ello se expone las siguientes alternativas de las cuales se seleccionará la más idónea para el sistema de rehabilitación virtual.

### **a. Unity3D**

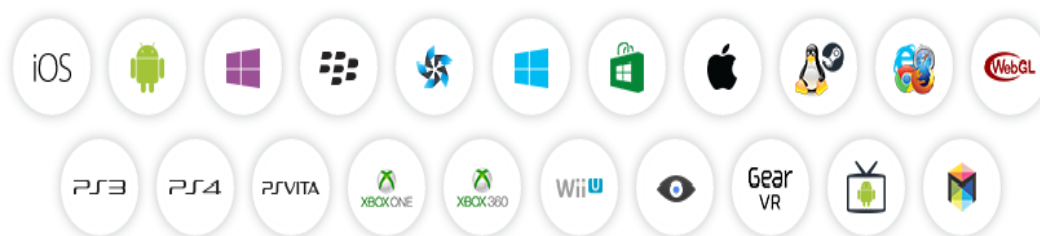
Unity 3D es un motor de creación de videojuegos 3D lanzado oficialmente como tal el primero de junio 2005. Este motor permite la creación de juegos y otros contenidos interactivos como diseños arquitectónicos o animaciones 3D en tiempo real, tiene el honor de ser una de las principales herramientas que propició el auge de los estudios independientes. Pese a estar enfocado al desarrollo de videojuegos en 3D, los desarrolladores lograban crear contenido en 2D a base de manipulaciones como la cámara y de utilizar herramientas no nativas. Afortunadamente, a partir de la versión 4.3 Unity3d integra herramientas nativas que facilitan esta tarea (Herrera José, 2015).

Se puede encontrar una versión profesional de Unity, pero para adquirirla se necesita realizar un pago anticipado, sin embargo, se puede encontrar una versión gratuita que se la puede conseguir en la página oficial de Unity, esta versión a comparación de la pagada posee menos funcionalidades no obstante permite crear videojuegos de excelente calidad. En la Figura 36 se observa la interfaz de Unity.



**Figura 36.** Interfaz de Unity

Este motor no permite la modelización, pero permite crear escenas que soportan iluminación, terrenos, cámaras, texturas. Fue creado en un principio para la plataforma Mac y ha sido exportado a Windows, permite obtener aplicaciones compatibles con Windows, Mac OS X, iOS, Android, Wii, Playstation 3, Xbox 360, Nintendo, iPad, iPhone con Web gracias a un plugin y recientemente desde la versión 3.5 con el formato Flash de Adobe (David Helgason, 2012).



**Figura 37.** Consolas multiplataforma compatibles con Unity3D  
Fuente: (David Helgason, 2012)

Como todo software antes de ser instalado se debe conocer las características del sistema tanto los requerimientos mínimos como los recomendados como se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Requerimientos del sistema para instalación de Unity3D*

<b>Requisitos de equipo para instalación de Unity</b>	
<b>CPU</b>	Soporte para el conjunto de instrucciones SSE2.
<b>RAM</b>	6 GB libres
<b>GPU</b>	Tarjeta gráfica con DX9 (modelo de shader 3.0) o DX11 con capacidades de funciones de nivel 9.3.
<b>Tipo de sistema</b>	Windows 7 SP1+, 8, 10, solo versiones de 64 bits; Mac OS X 10.9+.
<b>NOTA:</b> El resto depende principalmente de la complejidad de los proyectos	

Fuente: (David Helgason, 2012)

### **Ventajas de Unity3D**

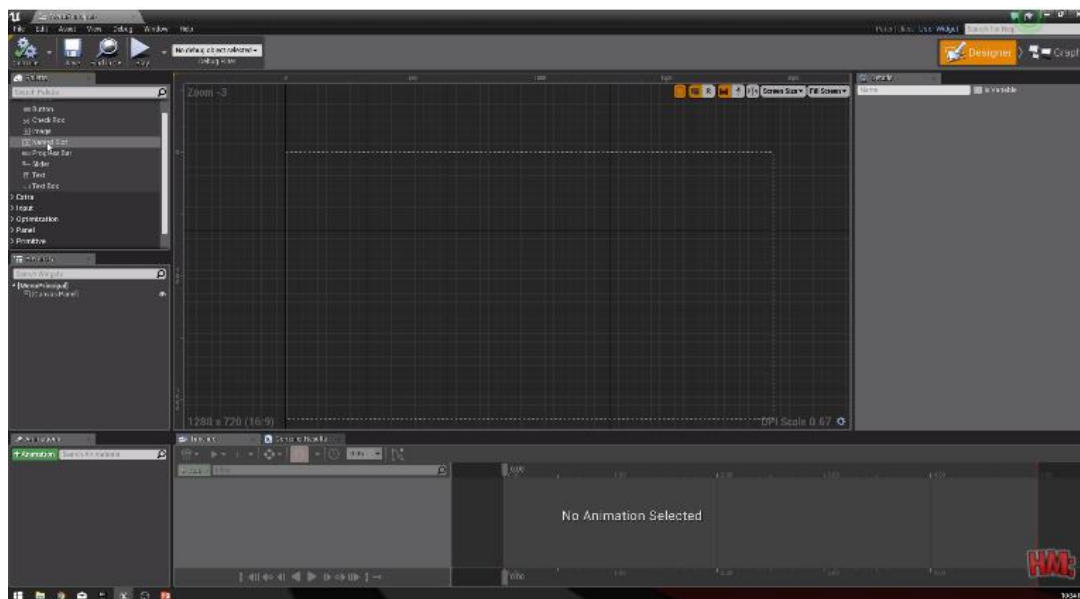
- Curva de aprendizaje sencilla
- Gran comunidad de desarrolladores
- Asset Store amplia y completa
- Notable integración multiplataforma
- Acepta muchos formatos y distintos lenguajes de programación
- Gratuito
- Robusto
- Versátil tanto si es artista como si se es programador

## Desventajas

- Exige mucho rendimiento al PC
- Menor calidad gráfica
- Los proyectos se expanden en tamaño principalmente si se usa assets complejos.
- Gestión de versiones
- Se debe empezar desde cero un juego debido a que no permite trabajar desde plantillas o bases
- Política de precios y costes en versiones de paga

### b. Unreal Engine 4

Unreal Engine 4 es un conjunto completo de herramientas de desarrollo que permite crear desde aplicaciones empresariales y experiencias cinematográficas hasta juegos de alta calidad a través de diversas plataformas como PC, consola, móvil, VR y Ar.



**Figura 38.** Interfaz de Unreal 4  
Fuente: (Eduardo Pardos, 2016)

Desarrollado por Epic Games, Unreal Engine potencia miles de juegos y aplicaciones interactivas en tiempo real, gracias a sus amplias funciones de creación y desarrollo que cumplen con los requisitos artísticos y diseños más exigentes en el rendimiento (Eduardo Pardos, 2016). En la Figura 38 se observa la interfaz de Unreal 4.

Como todo software antes de ser instalado se debe conocer las características del sistema tanto los requerimientos mínimos como los recomendados para tener un funcionamiento óptimo del programa, en la Tabla 8 se detallan los requisitos mínimos que debe cumplir el equipo.

**Tabla 8**

*Requerimientos del sistema para instalación de Unreal Engine*

Requisitos	
<b>Sistema Operativo</b>	Windows 7/8 64-bit
<b>Procesador</b>	Quad-core Intel or AMD, 2.5 GHz or faster
<b>RAM</b>	8GB
<b>Tarjeta gráfica</b>	Compatible con DirectX 11

Fuente: (Eduardo Pardos, 2016)

## Ventajas

- Calidad gráfica superior
- Permite crear juegos grandes y complejos
- Gratuito
- Entorno virtual
- Variedad de plataformas
- Basado en el lenguaje de programación C++

- Herramienta lista para desarrollar juegos de realidad virtual
- Calidad y potencia en el apartado de la iluminación global y en el de la creación de shaders y materiales
- Programación basada en nodos y componentes, que facilita el trabajo a los no programadores y hace el prototipado muy rápido

### **Desventajas**

- Curva de aprendizaje complicada
- Comunidad inferior
- Recursos para el aprendizaje reducido
- El peso de los proyectos es alto
- Poca optimización en los proyectos orientados a dispositivos móviles debido a la gestión de Draw Calls que el Engine realiza

El software está pensado para desarrolladores avanzados. Usa el lenguaje C++, con el que se crean juegos de gran envergadura y complejidad. Está diseñado para empresas en las que trabajan varios programadores conjuntamente por su nivel de dificultad. Una particularidad importante de Unreal Engine es que es gratis y en unos minutos se puede descargar y utilizarlo (Eduardo Pardos, 2016).

### **Selección de Software de Motor de Desarrollo**

Tomando en cuenta los parámetros de selección expuestos anteriormente se calificará en base a la matriz evaluación de conceptos, a continuación, se puede observar la evaluación para la selección del software para el motor de desarrollo el cual se encuentra detallado en la Tabla 9.

**Tabla 9***Matriz de evaluación para software de motor de juegos*

Criterios de Selección	Peso	Software para el motor de juegos			
		Unity		Unreal	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Integridad y compatibilidad con otros software	20	5	1	4	0,8
Curva de aprendizaje	18	4	0,72	2	0,36
Sistema de seguimiento	10	3	0,3	3	0,3
Calidad Gráfica	10	2	0,2	4	0,4
Soporte 2D y 3D	8	3	0,24	4	0,32
Costo	12	4	0,48	5	0,6
Rendimiento del PC	8	2	0,16	2	0,16
Comunidad de desarrolladores	14	4	0,56	2	0,28
<b>Total Puntos</b>	100		3,66		3,22
<b>Lugar</b>			1		2
<b>¿Continuar?</b>			SI		NO

La elección de Unity 3D como motor de juegos se lo hizo tomando aspectos importantes como son la gran comunidad de desarrolladores que se puede encontrar en internet, la basta documentación que posee y el soporte que brinda a modelos creados en Blender, además de cumplir con los parámetros que se necesitan para la creación del proyecto, dado que Unity va estar encargado de englobar y darle sentido a todos los archivos creados conocidos como Assets. Estos Assets se los puede traducir como elementos del videojuego estos incluyen modelados 3D, texturas, materiales, animaciones, scripts, sonidos entre otros, que se importarán en subdirectorios organizados bajo la percepción de cada usuario bajo la dirección principal del mismo nombre. Otro atributo que se puede agregar es que la curva de aprendizaje es



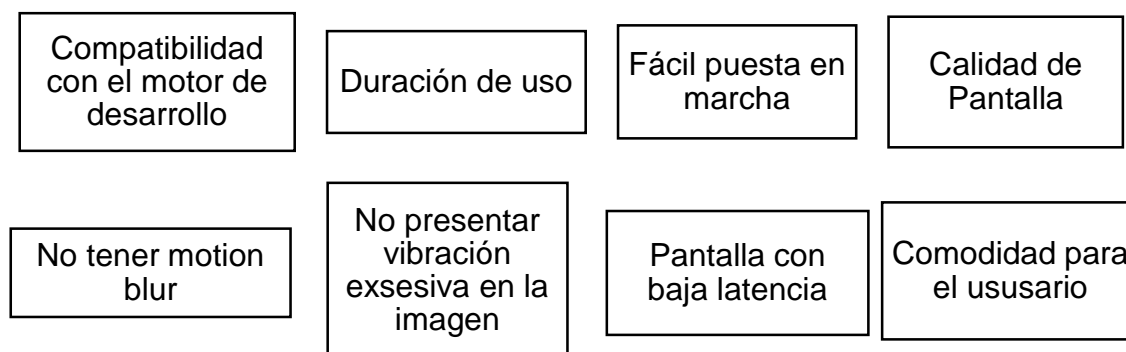
sumamente fácil y sencilla para poder crear videojuegos ya que posee una interfaz gráfica moderna y sencilla, muchas de las herramientas de la creación del juego se representan con elementos visuales y menús sencillos de usar. En este software se puede encontrar una gran variedad de plugins que se puede añadir al editor desde el Asset Store propio de Unity.

## 2.6 Selección de Hardware

Para la selección de hardware hay que considerar que se necesitan dos tipos de dispositivos, uno que nos permita la inmersión en el mundo virtual, y otro que nos posibilite sentir las extremidades superiores y puedan ser visualizadas dentro del sistema de rehabilitación virtual inmersivo.

### 2.6.1 Gafas de Realidad Virtual

Las gafas de realidad virtual es el dispositivo por el cual los pacientes gozarán de la experiencia inmersiva durante el programa de rehabilitación, se requiere que cumpla con ciertos parámetros que se describen en la Figura 39.



**Figura 39.** Parámetros de selección para gafas de realidad virtual

### **Alternativas de solución para gafas de Realidad Virtual**

Para seleccionar las gafas de realidad virtual que cumpla con los parámetros mencionados anteriormente se considera para la selección las siguientes alternativas de las cuales se seleccionará la más idónea para el sistema de rehabilitación virtual.

#### **a. Óculus Rift**

Fue inventado por Palmer Luckey para trabajar en conjunto con un dispositivo móvil o computadora, se trata de una especie de gafas que disponen una imagen al usuario de realidad virtual en extremo realista (Pacheco, 2016).



**Figura 40.** Óculus Rift  
Fuente: (Pacheco, 2016)

El pc es el motor de rift y por este motivo se recomienda el siguiente nivel de software para garantizar un buen rendimiento en todas las experiencias de la realidad virtual. En la Tabla 10 se observa los requerimientos mínimos y recomendados que se debe considerar para adquirir una Óculos Rift.

**Tabla 10***Requerimientos mínimos para Óculos Rift*

Requerimientos mínimos	
<b>Tarjeta gráfica</b>	NVIDIA GTX 1050 Ti/AMD Radeon RX 470 o superior
<b>CPU</b>	Intel i3-6100 / AMD Ryzen 3 1200, FX4350 o superior
<b>Memoria</b>	8 GB DE RAM O MÁS
<b>Salida de vídeo</b>	Salida de vídeo HDMI 1.3 compatible
<b>Puertos USB</b>	1 puerto USB 3.0 más 2 puertos USB 2.0
<b>SO</b>	Windows 8.1 o posterior

Fuente: (Pacheco, 2016)

**Ventajas de los Óculus Rift**

- No presenta retardo en los movimientos y en mostrar la pantalla
- Posee distintas ópticas que se las puede ir graduando para la comodidad del usuario, OLED en cada ojo con una calidad de 1200x1800 pixeles
- El desarrollo está orientado en funcionar en PCs por lo cual nos da la ventaja de que no se necesita tener una consola de última generación para poder utilizarla
- Todo movimiento que se realice de manera sutil con la cabeza se manifestará un seguimiento en tiempo real recreándonos así una experiencia natural y sagaz
- El campo de visión es de más de 90 grados horizontales y de 110° de visión diagonal

**Desventajas de las Óculus Rift**

- Para personas que usan lentes se les torna incomodo ya que los auriculares, solapados con las patillas, ocasionan una gran cantidad de molestias
- Si la graduación de las ópticas no es ajustada correctamente se presenta síntomas como mareo y desorientación

- El dispositivo proyecta una imagen en HD, 1280 x 800 pixeles aproximadamente

### b. HTC Vive

HTC Vive ha sido desarrollada por el gigante de la telefonía HTC, y Valve, creadores de Steam, la mayor plataforma de videojuegos del mundo. Sus características técnicas relativas a la resolución, calidad de imagen y requisitos son prácticamente idénticas a Oculus Rift, HTC Vive presenta una mejora con respecto a Rift o PlayStation VR. Es la experiencia room-state o, en palabras sencillas, la posibilidad de moverte libremente e interactuar con el entorno virtual (Juan Pascual, 2016).



**Figura 41.** HTC vive  
Fuente: (Juan Pascual, 2016)

La Tabla 11 detalla la recomendación el nivel de software para garantizar un buen rendimiento en todas las experiencias de la realidad virtual.

**Tabla 11**  
*Requerimientos mínimos para la HTC Vive*

Requerimientos mínimos	
Tarjeta gráfica equivalente	Nvidia GeForce GTX 970, AMD Radeon R9 290
CPU	Intel Core i5-4590 o superior
Memoria	4GB of RAM
Salida de vídeo	Displayport 1.2 o HDMI 1.4
Puertos USB	1 x puerto USB 2.0
SO	Windows 7 SP1 o posterior

Fuente: (Juan Pascual, 2016)

### **Ventajas del HTC Vive**

- La sensación de inmersión es excelente ya que nos permite una libertad de movimiento espectacular
- Los controles intuitivos tienen una buena duración de las baterías
- Tienen alianza de desarrollo con Valve
- OLED en cada ojo con una calidad de 1200x1800 pixeles

### **Desventajas del HTC Vive**

- Su configuración se torna complicado de configurar
- Su costo es elevado
- Es incomodo de usar ya que tienen unos cuantos cables que salen de las gafas para conectarse al pc
- Desorientación espacial

### **c. VR BOX**

Las VR BOX son gafas que se les puede acoplar teléfonos móviles de 3,5 a 6 pulgadas de diagonal de la pantalla, con un tamaño máximo de 83mm de altura y 163mm de anchura del propio móvil, lo que hace compatible con casi todos los Smartphone que hay en el mercado.



**Figura 42.** VR BOX  
Fuente: (happyVR, 2016)

La Tabla 12 detalla que tipo de equipos son compatibles con las gafas de VR BOX.

**Tabla 12**

*Características de equipos para el uso de VR BOX*

<b>Dispositivo necesario (SmartPhone - No suministrado)</b>	
Calidad	FULL HD 1.080
Pantalla	Recomendado 5 - 6.0" Pulgadas
Contraste	64:01:00
Visión	92 - 100º Grados
<b>Resolución Aconsejada</b>	
Calidad Grafica	HD 24 Bits
Calidad Video	1.280 x 720 Px
Calidad Foto	1.920 x 1.080P
Soporte Video	Codec mkv 3D
Soporte Audio	Codec Kmp/Mpeg-4

Fuente: (happyVR, 2016)

### **Ventajas de la VR BOX**

- Son económicas y fáciles de configurar
- Ligeras y cómodas, con protección de espuma viscoelástica

### **Desventajas de la VR BOX**

- Si los teléfonos no tienen giroscopio no se puede usar para movimientos
- Se necesita de móvil con resolución Full HD o superior, de lo contrario notaremos una apreciable pixelación
- Para cambiar de una experiencia a otra se necesita entrar a una interfaz de Android o iOS para elegir la nueva app

### **2.6.2 Selección de gafas de realidad virtual**

Tomando en cuenta los criterios para la selección expuestos anteriormente en base a la matriz de filtrado se puede realizar una primera selección entre tres equipos distintos como se observa detallado en la Tabla 13.

**Tabla 13***Filtrado de conceptos de las Gafas de realidad virtual*

Criterios de Selección	Equipos		
	Óculos Rift	HTC Vive	VR BOX
Costo	+	-	+
Comodidad	0	-	0
No debe tener Motion Blur	+	+	-
Baja latencia	0	+	-
Compatibilidad con el motor de desarrollo	0	0	0
Puesta en Marcha	+	+	+
<b>Suma +</b>	3	3	2
<b>Suma -</b>	0	1	2
<b>Sum 0</b>	3	2	2
<b>Evaluación Neta</b>	3	2	0
<b>¿Continuar?</b>	si	si	no

La Tabla 14 se muestra la selección definitiva que se realiza en base a los dos dispositivos que quedaron en la primera selección, considerando de igual manera todos los parámetros expuestos a lo largo de la redacción.

**Tabla 14***Matriz de evaluación para gafas de Realidad Virtual*

Criterios de Selección	Peso	Equipos			
		Óculos Rift		HTC Vive	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Costo	10	3	0,3	1	0,1
Comodidad	15	3	0,5	2	0,3
No debe tener Motion Blur	20	3	0,6	4	0,8
Baja latencia	15	3	0,5	4	0,6
Compatibilidad con el motor de desarrollo	25	4	1	4	1
Puesta en Marcha	15	4	0,6	3	0,45
<b>Total Puntos</b>	100		3,4		3,25
<b>Lugar</b>			1		2
<b>¿Continuar?</b>			SI		NO

Para la selección adecuada de las gafas de realidad virtual se considera aspectos muy importantes como la compatibilidad con el motor de desarrollo dado que este permite realizar una serie de rutinas de programación que permiten el diseño, la creación y la representación del sistema de rehabilitación virtual por medio de ejercicios a manera de juegos didácticos, otro aspecto importante es que no se presente desenfoques durante el movimiento, ya que esto comprometería a la comodidad del usuario, por otro lado para que no comprometa a la inmersión de la realidad virtual la suma de retardos temporales dentro de una red debe ser baja.

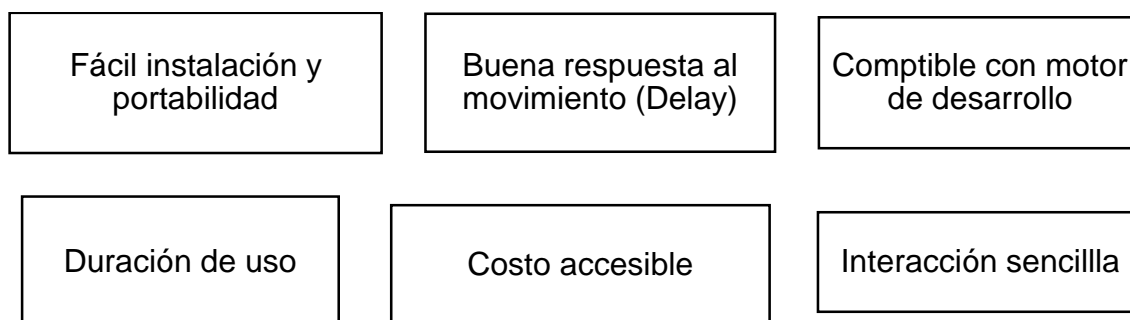
A simple deducción se llegaría a la conclusión que la mejor opción es la HTC VIVE ya que esta posee características superiores a comparación de la Óculus Rift y que cumplirían con lo que se requiere en el sistema, pero hay que considerar que la instalación del equipo debe ser fácil, el espacio físico que requiere el paciente debe ser pequeño, debido a que el sistema está enfocado a realizar asistencia en el domicilio y muchos de los casos no cuentan con una zona amplia, de igual manera la instalación de las HTC VIVE se torna complicado y requiere de mucho tiempo para su instalación.

Con lo que se menciona no se pretende decir que las Óculus Rift sea mejor que las HTC VIVE la selección se basa en las necesidades y requerimientos para el sistema de realidad virtual, y en este caso uno de los aspectos importantes es la facilidad que tenga el usuario para la instalación y la zona disponible que este tenga para el uso del sistema. Por eso se concluye de que en ámbitos de tecnología no hay ganadores al momento de seleccionar un equipo si no excelentes alternativas de acuerdo a cada necesidad, en este caso el equipo que cumple las necesidades del sistema de rehabilitación virtual es la Óculus Rift.



### 2.6.3 Dispositivo sensor de gestos

El dispositivo sensor de gestos es la herramienta por la cual captura los movimientos de la extremidad superior y la proyecta en el motor gráfico de desarrollo, del mismo modo que el dispositivo anterior, se requiere que cumpla con ciertos parámetros que se describen en la Figura 43.



**Figura 43.** Parámetros de selección para sensor de gestos

#### Alternativas de solución para sensor de gestos

Para seleccionar el sensor de gestos debe cumplir los parámetros mencionados anteriormente se considera para la selección las siguientes alternativas de las cuales se seleccionará la más idónea para el sistema de rehabilitación virtual.

##### a. Leap Motion

Creado por Leap Motion Inc. que solo permite el reconocimiento de gestos de las manos mediante el uso de sensores por infrarrojo. Es compatible con los diversos sistemas operativos de Windows, Linux y Apple y tiene distintas APIs para poder programar con él en C++, Java, C# y Python entre otros lenguajes de programación, también tiene compatibilidad con diversos motores gráficos como Unity (Sancho, 2015).



**Figura 44.** Leap Motion  
Fuente: (Sancho, 2015)

La Tabla 15 presenta las características principales de controlador de Leap Motion.

**Tabla 15**  
*Características principales del Controlador Leap Motion*

Característica	Descripción
Dimensiones	75 mm de largo, 25 mm de ancho y 11 mm de alto.
Partes	2 cámaras, tres Leds y un microcontrolador
Sensor de cámara	CMOS Monocromático de 850 nm
Leds	Espectro de luz infrarroja a longitud de onda de 850 nm
Microcontrolador	MXIC MX25L3206E–32M-bit CMOS SERIAL FLASH
Controlador USB	Soporta alta velocidad USB 3.0
Envío y recepción de datos	Serial UART_RX y UART_TX
Zona de cobertura:	Semi esfera de 2 ft (60 cm) de radio.
Ángulo de visión vertical:	150.92°
Ángulo de visión horizontal:	150.92°
Zona de trabajo	110.55 mm de altura x 110.55 mm de anchura x 69.43 mm de profundidad.

Fuente: (ShowLeap, 2015)

Para poder instalar el SDK de la Leap Motion se debe considerar los siguientes requerimientos descritos en la Tabla 16.

**Tabla 16**  
*Requerimientos necesarios para SDK de Leap Motion*

Requerimientos necesarios	
CPU	AMD Phenom TM II or Intel® Core TM i3/i5/i7
RAM	2GB
Puertos USB	USB 2.0
Sistema Operativo	Windows 7+ Mac OS x10.7 o versiones menores

Fuente: <https://www.leapmotion.com/product/vr#113>

### **Ventajas de la Leap Motion**

- Asequible y económica de adquirir
- Es portable
- Es preciso barato y de alta resolución
- Puede desarrollarse en las áreas de robótica e incluso en el área negocios
- Fácil de conectar y configurar solo se debe conectar por medio de una USB y estará lista para ser usado
- Posee una amplia comunidad de desarrollo
- Realiza un seguimiento de las manos dedos y objetos situados dentro de este espacio con una precisión muy alta

### **Desventajas de la Leap Motion**

- El SDK no está disponible para el sistema operativo Linux
- Para obtener el procesamiento de datos se requiere de un hardware y software específicos
- Las condiciones de luz deben ser la adecuadas si no comienza haber problemas en su funcionamiento
- Rango de detección limitado
- Calentamiento del dispositivo, conllevando así a problemas de respuesta

#### **b. Kinect**

Este dispositivo es su primera versión lanzado al mercado en noviembre de 2010 permite a los usuarios controlar e interactuar con el ordenador sin necesidad de tener un contacto físico con él, mediante una interfaz que reconoce gestos y comando de voz.

Entre las aplicaciones podemos destacar la funcionalidad de seguimiento y el sensor de giro motorizado para ajustar la cámara para que el usuario se mantenga dentro del marco, incluso cuando se mueve (Eric Tecayehuatl, 2010).



**Figura 45.** Kinect V2 Para Windows

Fuente: (Eric Tecayehuatl, 2010)

El rebote del haz de laser en el Kinect permite obtener un campo de profundidad (Z-range). A partir de esto se puede hacer la identificación de una persona con técnicas de reconocimiento de patrones. Y una vez identificadas las partes del cuerpo el software del dispositivo es capaz de construir el esqueleto como un conjunto de articulaciones en movimiento (Celina Osorio, Jesús Vázquez, Javier Luna, 2011). Existe una segunda versión de este dispositivo que brinda ciertas ventajas en comparación a su antecesor, en la Tabla 17 se elabora una comparativa para ilustrar algunas diferencias notables.

**Tabla 17**

*Comparación entre versión V1 y V2 de Kinect*

Capacidad	Kinect V1	Kinect V2
<b>Video</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 640x480 @30 fps</li> <li>• 1280x960 @12 fps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1920x1080 @30 fps</li> <li>• High Definition</li> </ul>
<b>Profundidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 320x240, 640x480</li> <li>• Distancias 0.8 a 4 metros.</li> <li>• Distancias de 0.4 a 3 metros en modo cercano.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 512x424</li> <li>• Distancias 0.5 a 4.5 metros</li> <li>• Permiten hasta 8 metros</li> </ul>

Continua 

<b>Rastreo del cuerpo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad para detectar 6 personas, pero solo dos se pueden rastrear completamente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad para detectar 6 cuerpos, todos completamente rastreados.</li> </ul>
<b>Precio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kinect para Windows \$250 dólares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kinect para Windows V2 \$200 dólares</li> </ul>
<b>Motor de Inclinación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si. Motor puede graduarse entre +27 grados y -27 grados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No. Sin embargo, en caso de que se requiera, se puede graduar manualmente su inclinación.</li> </ul>
<b>USB</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2.0</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3.0</li> </ul>
<b>Sistema Operativo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Win7 o superior</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Win8.1 o superior</li> <li>Sólo 64 bits</li> </ul>

Fuente: (Edwin Duque, 2015)

Para el uso de la Kinect V2 y Kinect V1 se necesita ciertos requisitos del sistema que se detallan en la Tabla 18.

**Tabla 18**

*Requerimientos necesarios para el uso de la Kinect V1 y V2*

	Requerimientos necesarios	
	Kinect V1	Kinect V2
<b>Procesador de 64 bits</b>	AMD Phenom TM II or Intel® Core TM i3/i5/i7	AMD Phenom TM II or Intel® Core TM i3/i5/i7
<b>Doble núcleo físico</b>	3,1 GHz (2 núcleos lógicos por uno físico) o un procesador más rápido	3,1 GHz (2 núcleos lógicos por uno físico) o un procesador más rápido
<b>Puertos USB</b>	USB 2.0	USB 3.0
<b>RAM</b>	4 GB	4 GB
<b>Sistema Operativo</b>	Windows 7 o superior	Windows 8 o superior

Fuente: (Eric Tecayehuatl, 2010)

### Ventajas de la Kinect

- Permite el ejercicio y el movimiento corporal
- No se necesita un dispositivo de entrada de datos
- Reconocimiento facial

- Reconocimiento de voz
- Útil en rehabilitación
- Permite poder ver de forma más nítida objetos de menor tamaño
- Estabilidad de la función de seguimiento del cuerpo
- Proporciona una entrada estable en la que compilar aplicaciones interactivas de alta calidad
- Inicio de sesión automático mediante el reconocimiento facial
- Auto-reorientación mediante el reconocimiento facial

### **Desventajas de la Kinect**

- El seguimiento que realiza la Kinect lo hace principalmente de todo el cuerpo en dimensiones de una habitación
- Debe tener una excelente iluminación para su correcto funcionamiento
- Su costo es un poco elevado
- No ha investigado todo el potencial
- Hacked fácilmente
- Problemas de privacidad
- No hay suficiente investigación disponible

### **2.6.4 Selección de dispositivo de gestos**

Tomando en cuenta los criterios para la selección expuestos anteriormente en base a las matrices de filtrado y evaluación de conceptos se procede a realizar la evaluación para la selección del sensor de gestos.

En la Tabla 19 se observa la selección entre tres equipos utilizando el método de filtrado de conceptos.

**Tabla 19**

*Filtrado de conceptos de sensor de gestos*

Criterios de Selección	Equipos		
	Leap Motion	Kinect V1	Kinect V2
Compatible con motor de desarrollo	+	-	-
Campo de visión	-	+	+
Sistema de seguimiento	+	0	0
Rango de detección	-	+	+
Motor de Inclinación	+	0	+
Puesta en Marcha	+	-	-
<b>Suma +</b>	4	2	3
<b>Suma -</b>	2	2	2
<b>Sum 0</b>	0	2	1
<b>Evaluación Neta</b>	2	0	1
<b>¿Continuar?</b>	si	no	si

En la Tabla 20 se realiza la matriz de evaluación de conceptos.

**Tabla 20**

*Matriz de evaluación de conceptos de sensor de gestos*

Criterios de Selección	Peso	Equipos			
		Kinect V2		Leap Motion	
		Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Compatible con motor de desarrollo	20	3	0,6	4	0,8
Campo de visión	10	4	0,4	3	0,3
Sistema de seguimiento	13	3	0,39	2	0,26
Rango de detección	20	3	0,6	2	0,4
Motor de Inclinación	11	3	0,33	3	0,33
Costo	13	2	0,26	4	0,52
Puesta en Marcha	13	3	0,39	4	0,52
<b>Total Puntos</b>	100		2,97		3,13
<b>Lugar</b>			2		1
<b>¿Continuar?</b>			NO		SI

La selección del dispositivo de gestos se lo realiza en base a los requerimientos que se necesita en el sistema de rehabilitación virtual, la Leap Motion reconoce los gestos de las manos incluso también los dedos y los objetos situados entre ellos con las mismas proporciones e incluso tiene la capacidad de realizar cálculos de reconocimiento con una alta exactitud y velocidad, posibilitando obtener muchos estados reconocidos con mucha información detectada en poco tiempo.

El motivo por el cual no se elige a la Kinect es porque este dispositivo está desarrollado para leer al cuerpo completo, y esto influye en la precisión de dispositivo, ya que lo que se pretende en el sistema es que realice la detección de la mano y de los dedos individualmente.

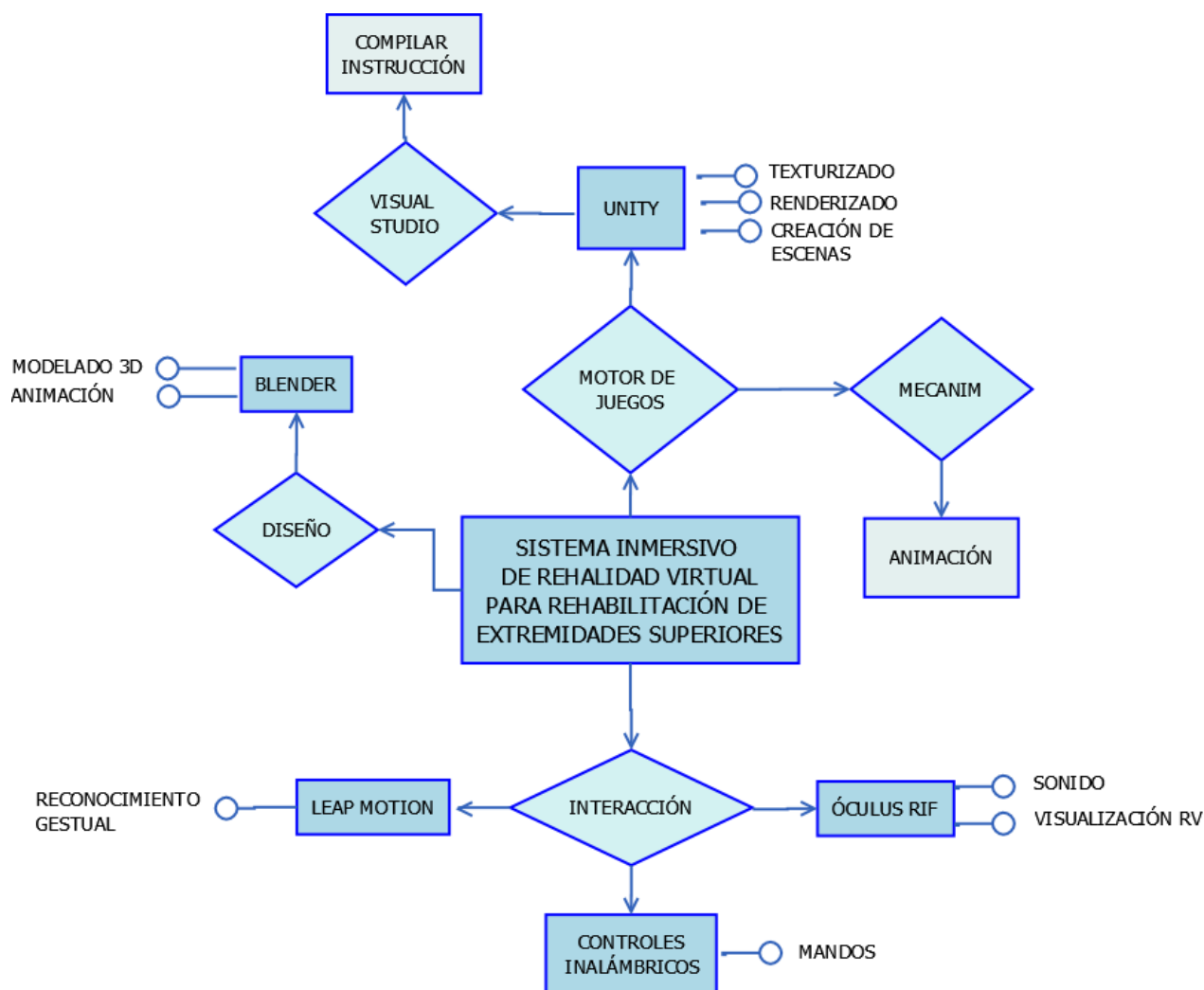
## **2.7 Relación existente entre las tecnologías seleccionadas**

Seguido de la selección de los equipos lo que se procede es ejecutar una relación que existe entre todas las tecnologías y softwares elegidos, donde se identifica las entidades principales que están involucradas en el sistema inmersivo de realidad virtual para rehabilitación del miembro superior, posteriormente a esto se lleva a cabo identificar relaciones que existe entre diferentes entidades y a cada uno de ellas detallar los atributos, es decir, establecer características de las entidades.

La entidad principal es el sistema inmersivo de realidad virtual para rehabilitación de extremidades superiores que tiene relación con tres aspectos importantes el diseño, el motor de juegos, y la interacción. Dentro del diseño se presencia una sub-identidad que es el Blender que este tiene como atributo el de poder realizar el modelado 3D de la mano-antebrazo y del avatar de bienvenida incluso de ejecutar una pequeña animación de un saludo. Al hablar del motor de juegos se encuentra una sub identidad que es el



Unity que este programa permite realizar texturización, renderizado, creación de escenas entre otros. Incorporado dentro del Unity se encuentra otra subdivisión de entidades que son la animación y la compilación de instrucciones que se llevan a cabo mediante Mecanim y Visual Studio respectivamente. La Figura 46 presenta un diagrama de relación entre las tecnologías seleccionadas.



**Figura 46.** Diagrama de relación del Sistema RV

En cuanto al hablar de la interacción es referirse a una acción de modo recíproca que se va a desarrollar entre el paciente y el sistema inmersivo de realidad virtual, esto se lleva a cabo a través de tres dispositivos como son: la Leap Motion, Controladores inalámbricos y la Óculus Rift, la primera permite el reconocimiento de los movimientos que se efectúen en las manos dentro del entorno virtual, los controladores inalámbricos tienen una tarea similar a la Leap Motion y, por último, las Óculus rift permiten que el sentido del oído y de la vista del paciente se incentiven ya que a través de las gafas se puede percibir sonidos, visualizar paisajes y más.

## **CAPÍTULO III**

### **IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

En este capítulo lo que se presenta es el desarrollo del sistema de inmersión de realidad virtual para rehabilitación de la extremidad superior, la cual lleva una serie de pasos para poner en marcha su funcionamiento, para ello se procede a realizar el modelado de la extremidad (antebrazo - mano), modelado del avatar de bienvenida de apariencia humana, la implementación de la interfaz de la realidad virtual, creación de la dinámica del entorno virtual, implementación del reconocimiento gestual, entre otras actividades, asimismo se cita recursos como: música, assets., fuentes de letras entre otras herramientas de software.

Para los modelados tanto de la extremidad como del avatar de bienvenida se desarrolla a través de Blender y para el desarrollo de ambientes, escenas, creación del menú, desarrollo de las actividades de rehabilitación a modo de juegos interactivos se lo efectuara por medio de Unity para ello hay que realizar su respectiva instalación la cual se encuentra detallada en el anexo "A" del manual de instalaciones.

#### **3.1 Modelado de antebrazo y mano**

Para realizar un modelado tridimensional con acierto, facilidad y rapidez hay que tener ingenio para poder visualizar como se puede desarrollar el modelo 3D. Hay varias maneras de realizar un modelado en Blender, pero en este caso se utiliza un procedimiento sistemático el cual se basa en imágenes de referencia como bocetos, diseños o fotografías. Para iniciar con el modelado se requiere tener a mano el boceto con el cual se va a trabajar el mismo que debe ser visualizado en la ventana 3D de

Blender, hay que considerar que las diferentes perspectivas de la imagen de referencia, deben ser el mismo elemento para evitar errores en el modelado.

Para incorporar una imagen dentro de la ventana, en la barra de propiedades de transformación se activa la sección "Imágenes de fondo" dentro de esta sección se encuentra un menú el cual permite buscar la imagen a ser utilizada como boceto. Hay que tomar en consideración que si no se visualiza la imagen que se selecciona es debido a que el uso de imágenes, de referencia está pensado para modelar desde puntos de vista concretos: perfil, frente o planta y de igual manera está pensado para trabajar con una vista ortogonal. Para solucionar esto se debe anular la perspectiva de planos mediante a tecla "5" del teclado numérico. En la Figura 47 se muestra la imagen de la extremidad en el panel 3D de Blender.

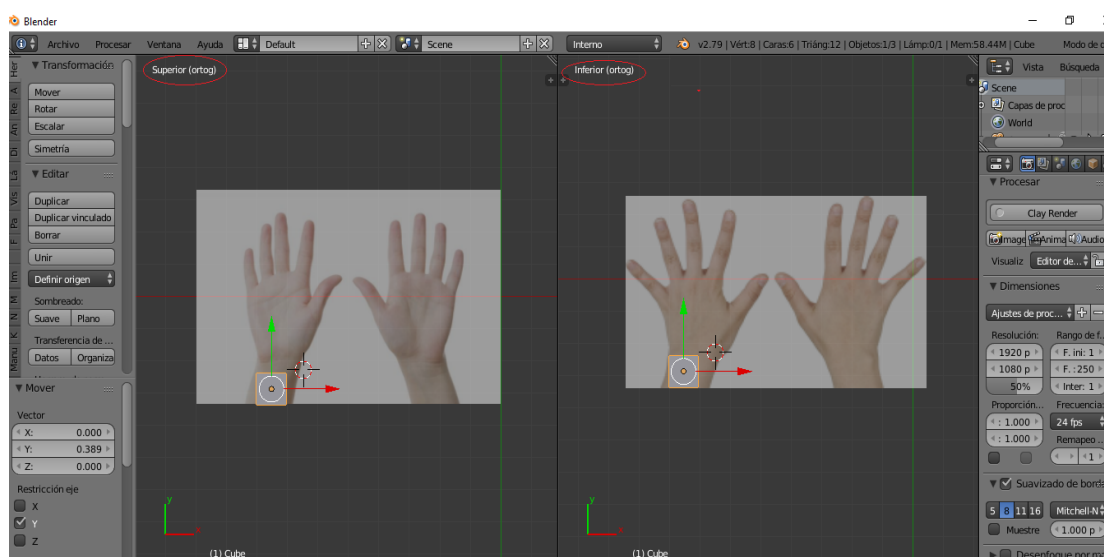


**Figura 47.** Imagen visualizada en panel 3D de Blender

Lo que procede es realizar una división de la pantalla para poder trabajar tanto la parte superior de la mano, como la inferior que es la palma, en la primera pantalla se deja

visible las palmas de las manos, y en la segunda pantalla se debe dejar visible la parte superior de la mano para así trabajar en conjunto y verificar como se trabaja a la par en las dos pantallas facilitando así el modelado de la extremidad.

En la Figura 48 se observa la división de la pantalla y la colocación del cubo que selecciona la zona de extracción para realizar la ejecución del modelado de la extremidad.

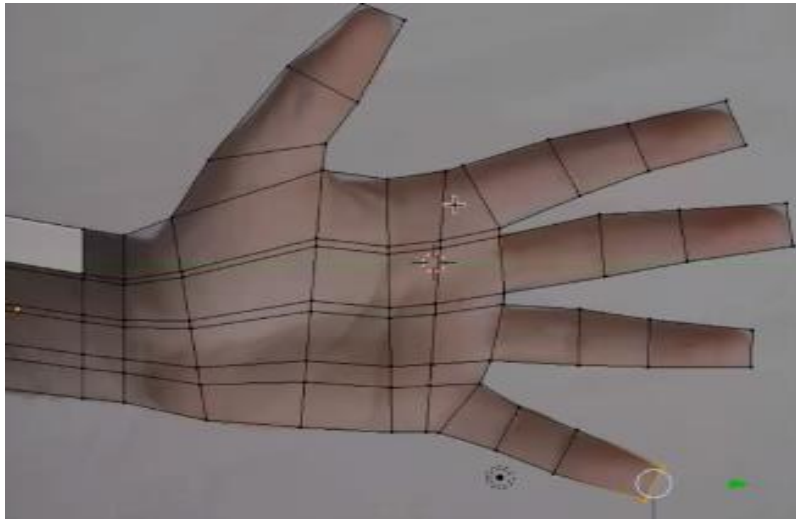


**Figura 48.** División de pantalla en Blender

Ya realizado los pasos previos lo que procede es realizar el modelado a partir del cubo que se presenta por defecto al ejecutar Blender. Al cubo hay que darle forma según el boceto que se tiene en la pantalla 3D. Para dar forma al cubo se lo va deformando, colocando ángulos: se lo puede seleccionar por áreas mediante la tecla "A", de igual manera se lo puede extruir a través de la tecla "E", para que vaya tomando la forma de la extremidad, al llegar a los dedos es necesario colocar en la vista de forma estructura para poder visualizar la referencia. Al momento de llegar a los dedos es indispensable

utilizar la función "Loop Cut and Slide" por medio de la tecla "R", esta función divide un bucle de caras insertando un nuevo bucle de borde que intercepta el borde elegido.

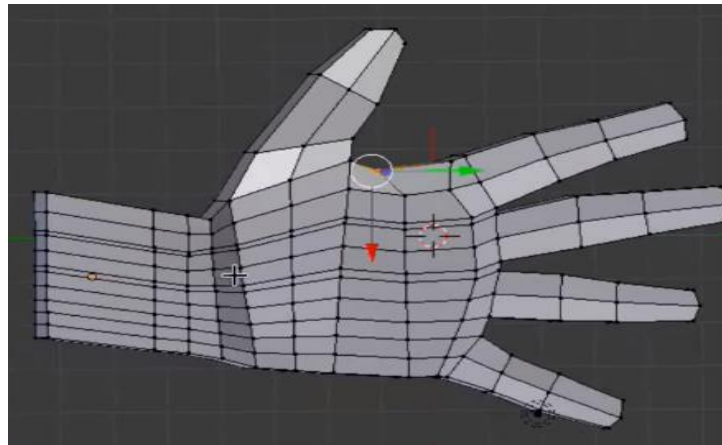
Una vez que la herramienta ya este activada se debe mover el cursor sobre el borde deseado. El corte estará marcado con una línea a medida que se mueva el mouse sobre los distintos bordes, el bucle de borde creado se detiene en los polos donde termina el bucle de cara existente. La Figura 49 presenta la base para el modelado de la extremidad superior izquierda.



**Figura 49.** Base para el modelado de la extremidad

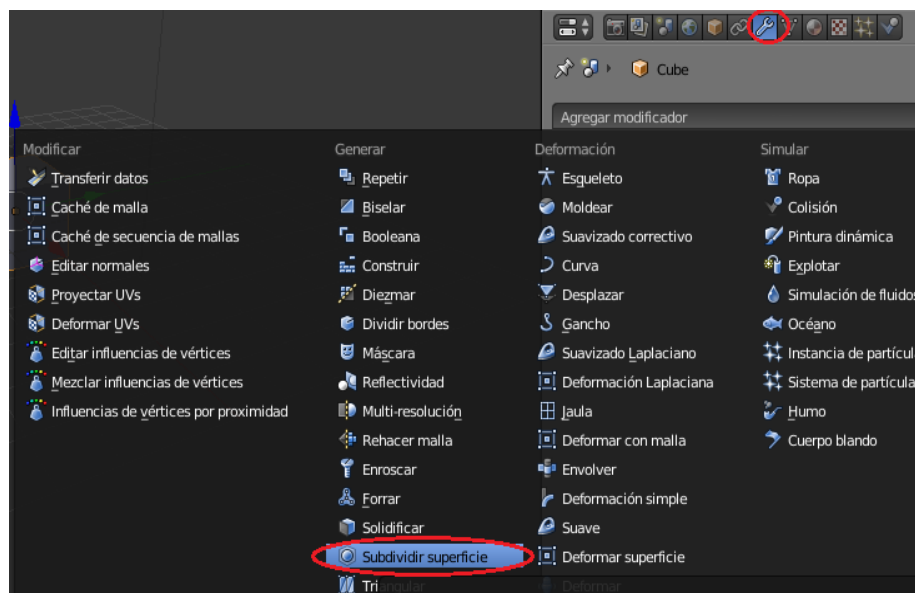
En función a la base que se desarrolló se pule detalles de la mano dedos y de más características de la extremidad superior, ya que la extremidad cuenta con superficies elevadas y hendiduras en las palmas, la forma de las uñas, detalles de la división que permite la articulación de los dedos, entre otras características, esto se realiza mediante movimiento de nodos e insertando nuevos nodos. Los nodos colocados en la mitad de los dedos permitirán dar forma para evitar que tengan apariencia rectangular, al ir

puliendo detalles se debe verificar que todos los nodos no converjan y formen triángulos ya que esto dificultará la animación del modelado.



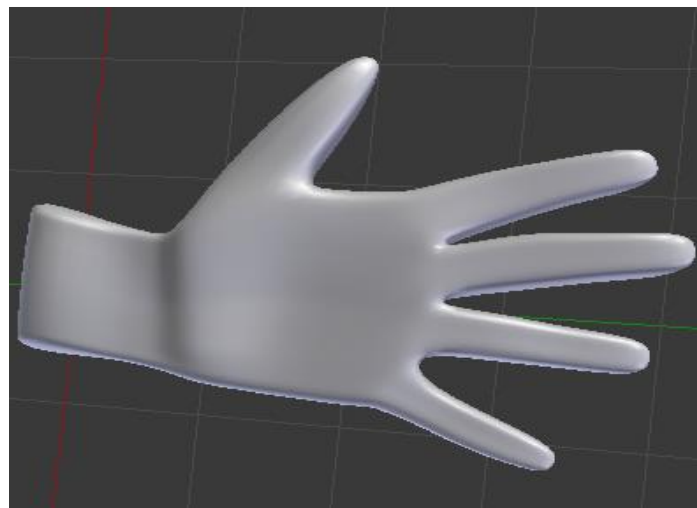
**Figura 50.** Modelado low poly de la extremidad

En la Figura 50 se observa que la extremidad se ve de forma cuadrada para corregir esto, con la extremidad seleccionada hay que dirigirse al modificador de superficies, seguido de esto se elige “Subdividir Superficie”, como se muestra en la Figura 51.



**Figura 51.** Modificador de Superficies

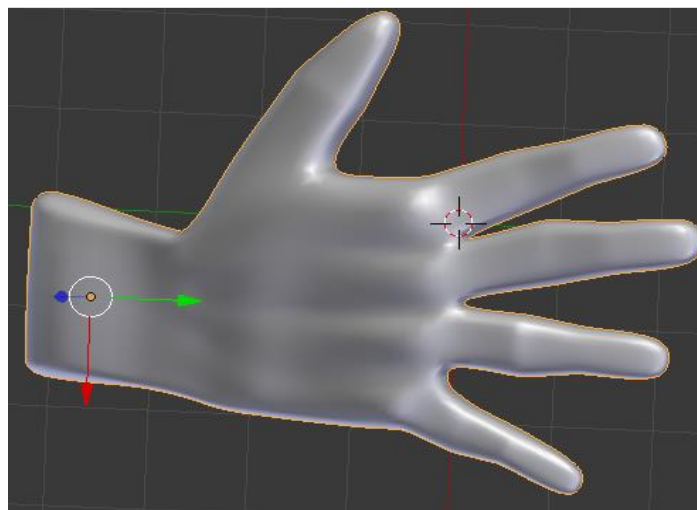
Lo que permite la opción "Subdividir Superficie", es subdividir caras de una malla, permitiendo así modelar superficies que necesiten de varios detalles a partir de mallas que contengan un bajo número de vértices, también se puede modelar mallas de alta resolución sin necesidad de estar almacenando y administrando una gran cantidad de datos, esta opción permite dar una apariencia orgánica al modelado. Realizada la división de superficies, hay que dirigirse a la barra de herramientas en la parte de sombreado elegir "Suave" esta opción permite procesar y mostrar las caras en forma suave, usando las normas interpoladas de los vértices. En la Figura 52 se observa como cambia la perspectiva de la mano.



**Figura 52.** Manos con bordes suavizados

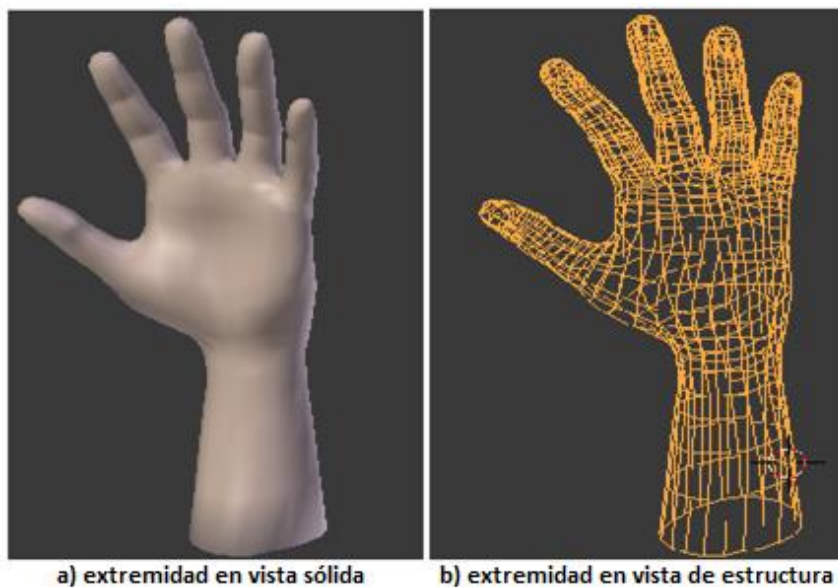
Lo que se ha trabajado es la palma de la mano y detalles de la misma, para realizar los detalles del dorso de la mano como los nudillos, uñas, las divisiones de las falanges entre otras características para ello, se sigue el mismo procedimiento que se utilizó para la palma de la mano obteniendo así lo que se observa en la Figura 53.





**Figura 53.** Boceto del dorso de la mano

Como se aprecia a lo largo de esta redacción el modelado requiere de paciencia y tiempo para poder ir puliendo detalles e ir mejorando el diseño.



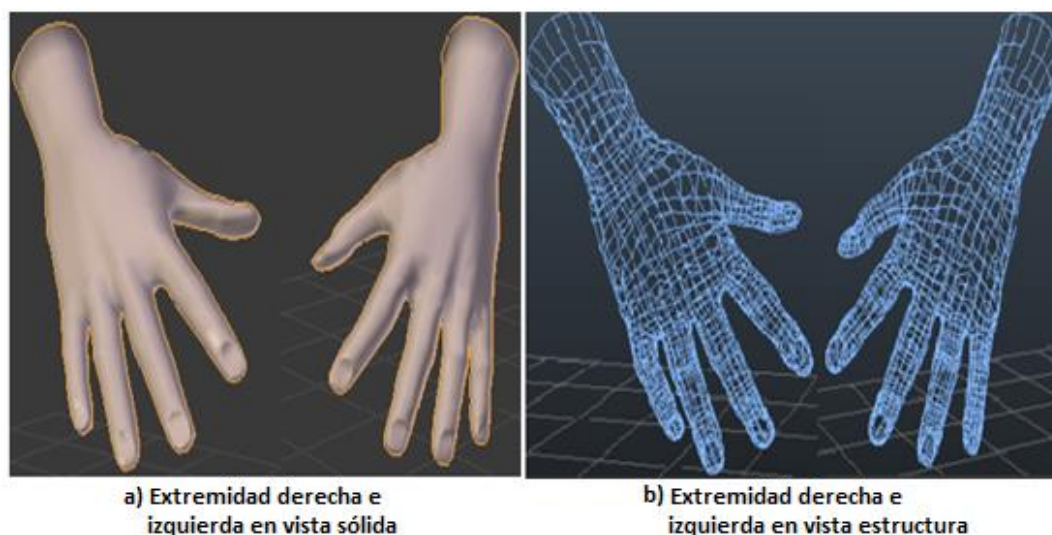
a) extremidad en vista sólida

b) extremidad en vista de estructura

**Figura 54.** Modelad de extremidad izquierda terminada

De aquí en adelante lo que sobresale es el ingenio del diseñador para ir mejorando cada vez más el modelado. Cabe destacar que para este proceso se requiere del

conocimiento del funcionamiento de varias teclas que se utilizan en el Blender, para ello en el Anexo B se enlistan las teclas más usadas en Blender lo cual facilitará el desarrollo del modelado de las extremidades. El mismo proceso que se ejecutó para el modelado de la mano izquierda se utiliza para realizar el modelado de la mano derecha. En la Figura 55.a se observa el modelo final de la mano y antebrazo en forma sólida, texturizada con un color de apariencia de la piel. En la Figura 55.b las extremidades se observan en forma de estructura, pudiéndose apreciar como se ha ido puliendo detalles para obtener una apariencia mucho más realista.



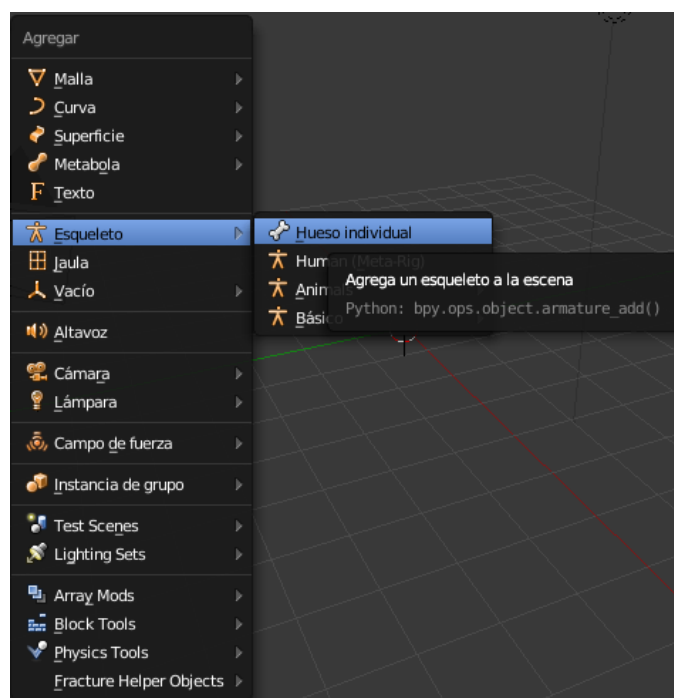
**Figura 55.** Modelado de antebrazo y mano

### 3.1.1 Colocación de huesos a modelado de antebrazo y mano

Los huesos son denominados como sub unidades y el conjunto de huesos componen un objeto calificado como esqueleto. Afortunadamente a este tipo de objeto se puede iniciar un proyecto de animación 3D habitual. Si el trabajo integral del diseñador está

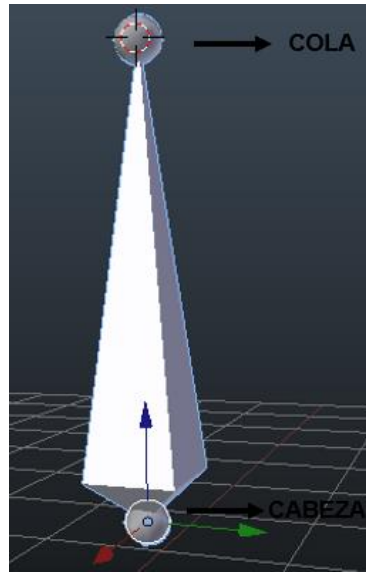
correcto, se procede a ocuparse de mover los huesos, debido a que ajustar la malla a las distintas condiciones lo ejecuta Blender.

Para la ubicación de los huesos se debe tener en consideración de la cinemática inversa la cual permite determinar la ubicación del ultimo hueso de la cadena, denominado efecto final consiguiendo así que los huesos restantes de la cadena tomen una posición automática. En resumen, la cinemática inversa localiza la posición de todos los huesos de la cadena matemáticamente otorgando al diseñador sencillez y precisión al momento de animar. Para entender lo que es un hueso en Blender a continuación se detalla que partes forman el mismo y como se puede unir dos o varios huesos para formar un esqueleto. Para añadir un hueso se presiona Shift\_A y a continuación se presenta un menú de objetos, dirigirse a esqueleto>>hueso individual como se ilustra en la Figura 56.



**Figura 56.** Menú de objetos

Seguido de esto se despliega un hueso el cual está formado por una cabeza y una cola como se muestra en la Figura 57.



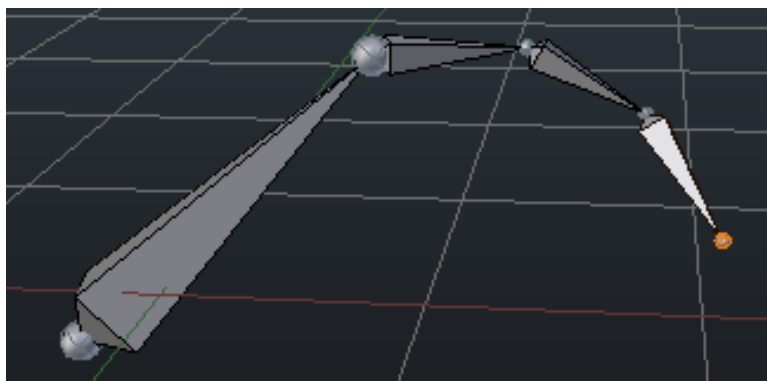
**Figura 57.** Hueso

La cabeza actúa como gozne en la rotación y de centro para cualquier otro tipo de edición, la cola indica el final y en varios casos conjetura el comienzo de un nuevo hueso. Para trabajar con el esqueleto se lo puede realizar en modo objeto, modo edición y modo pose como se muestra en el menú de la Figura 58 se puede encontrar en la barra de herramientas de la vista 3D que se presenta en Blender.



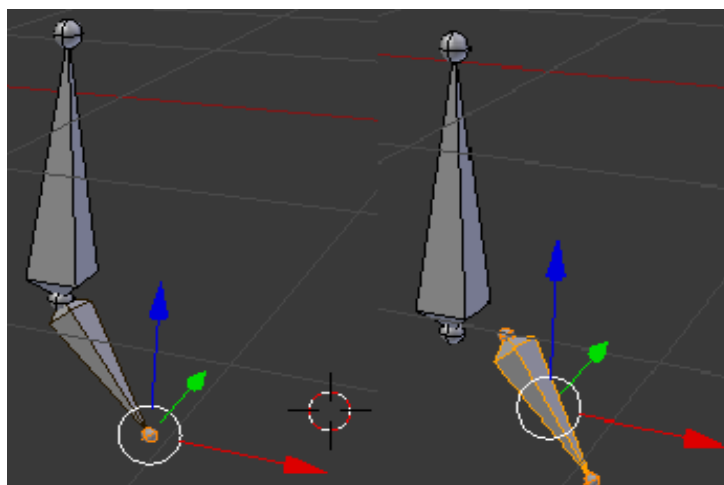
**Figura 58.** Menú

Un esqueleto puede estar integrado por varias cadenas independientes. Situando como ejemplo práctico, si una persona requiere mover la cabeza no compromete la movilización del brazo, pero no imposibilita que pertenezca al mismo esqueleto.



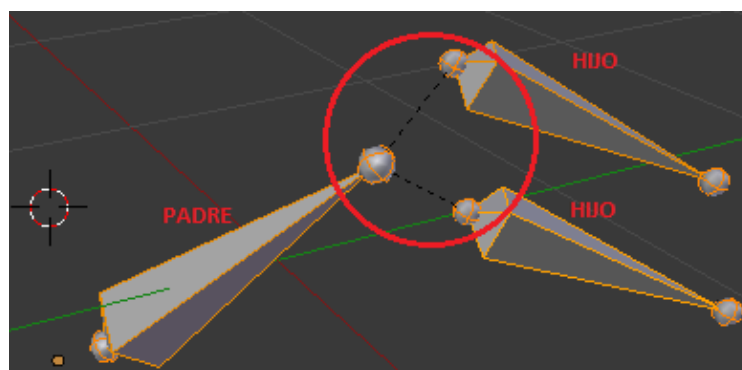
**Figura 59.** Hueso generado desde la cola

Si se realiza una extrusión desde la cola del hueso forma nuevos huesos convirtiéndole en parte de una cadena, en otras palabras, el ultimo hueso es hijo del penúltimo, el penúltimo del antepenúltimo y así hasta llegar al último hueso que es el padre final. En la figura 59 se representa una cadena de huesos.



**Figura 60.** Hueso generado desde la cola

Por el contrario, si se ejecuta una extrusión desde la cabeza se desplaza un nuevo hueso, pero este no tiene relación de hijo del hueso que ha salido. Como se observa en la Figura 60 al momento de mover el hueso en modo edición este se mueve individualmente. Para emparentar cadenas de huesos y el conjunto de estas formen un esqueleto se debe seleccionar primero el hueso que vaya a quedar como hijo, luego seleccionar al final el padre y seguido de esto se presiona CTRL+ P>>Keep offset para que los huesos queden unidos mediante líneas entrecortadas como en la Figura 61.

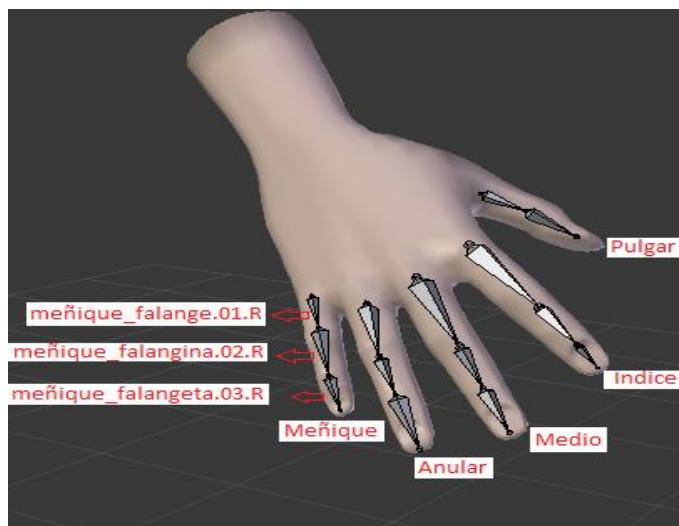


**Figura 61.** Huesos emparentados

Observadas las características básicas de los huesos procedemos a colocar los huesos en el modelo del antebrazo y mano. La colocación de los huesos se lo realiza en forma ordenada, así que se inicia con la colocación de los huesos en los dedos, para esto se debe considerar utilizar una nomenclatura adecuada para identificar a que extremidad pertenece, si es la extremidad izquierda al final del nombre se coloca la letra "L" que representa left, y para identificar si es la extremidad derecha la letra "R" que representa right.

Como por ejemplo el dedo meñique derecho su nomenclatura correcta sería la siguiente: (meñique\_falange.01. R), (meñique \_falagina.02. R), (meñique \_falangeta.03. R).

En la figura 62 se aprecia la colocación de todos los huesos de los dedos de la mano siguiendo la nomenclatura recomendada.



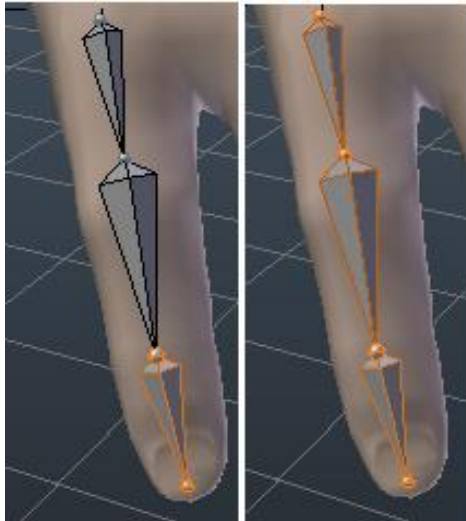
**Figura 62.** Huesos en dedos de la mano

El hueso con denominación de falange sería el padre de falangina y falangeta es el hijo de falangina como se muestra en la Figura 63.



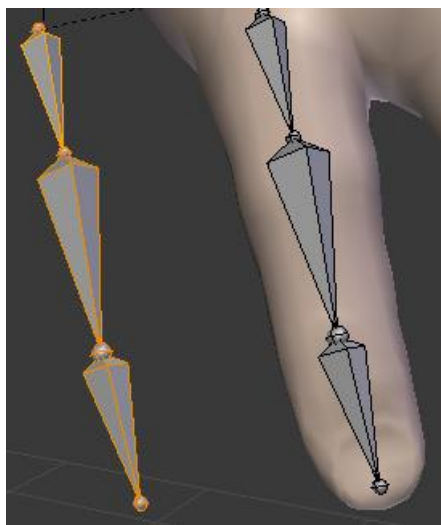
**Figura 63.** Nomenclatura de huesos "R"

Colocados y nombrados los huesos de los dedos de la mano derecha lo que procede es realizar un duplicado de cada una de las cadenas de los dedos.



**Figura 64.** Selección de huesos

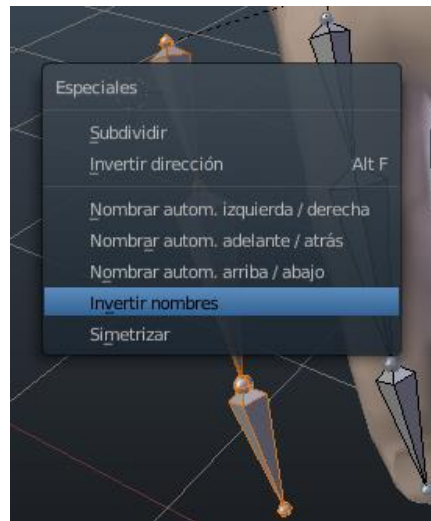
En la Figura 64 se visualiza en el lado izquierdo la selección de la falangeta del dedo meñique, seguido de esto se presiona "L" y automáticamente se selecciona los demás huesos esto se debe a que son parte de una misma cadena.



**Figura 65.** Copia de cadena



Para realizar el duplicado de toda la cadena del dedo se presiona "Shift D", se desplaza y se observa que la cadena del dedo se duplica como se puede ver en la Figura 65.



**Figura 66.** Invertir Nombres

Para nombrar esta cadena de huesos duplicados se presiona "W" y se desplazará un menú donde se seleccionará "Invertir nombres" como se observa en la Figura 66, este procedimiento se realiza con cada una de las cadenas de los dedos.



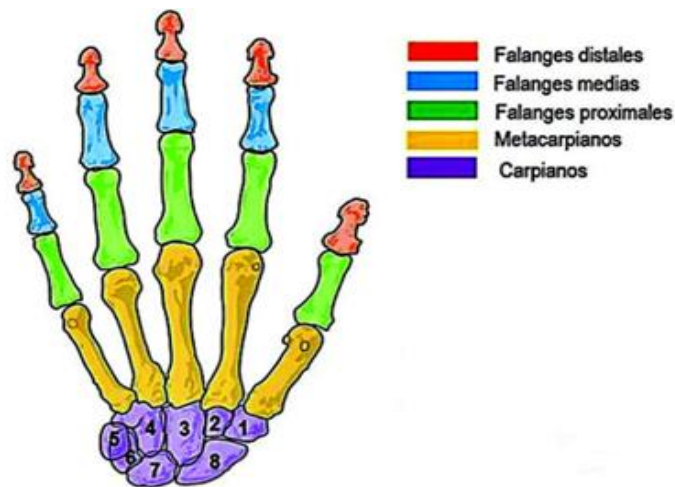
**Figura 67.** Nomenclatura de huesos "L"

En la figura 67 se visualiza que los nombres cambian automáticamente, motivo por el cual es importante seguir una nomenclatura adecuada para facilitar su identificación.



**Figura 68.** Huesos en dedos de las manos

En la figura 68 se observa la colocación de la cadena de huesos tanto de la mano derecha como el de la izquierda.

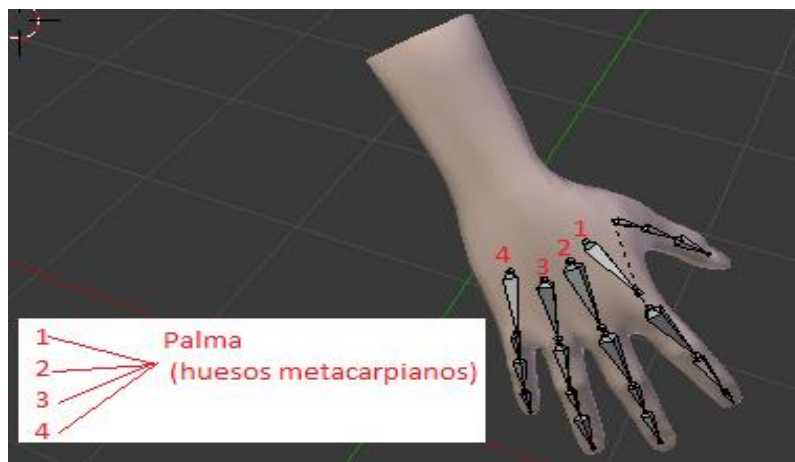


**Figura 69** Nombres de los huesos de la mano

Fuente: (Trome, 2017)

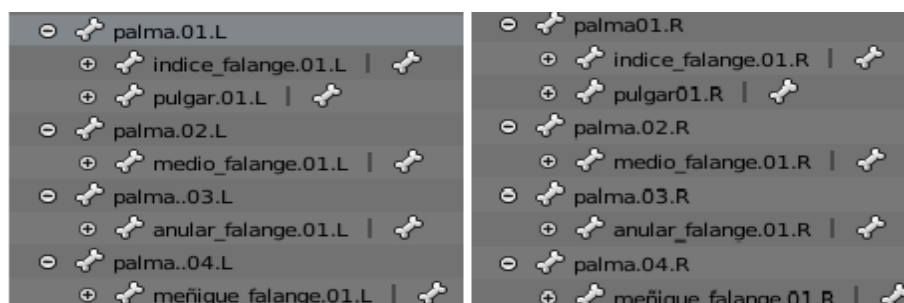
En la mano se encuentra una variedad de huesos como los metacarpianos y ocho conjuntos de huesos que forman los carpianos, para colocar los huesos en el modelado

lo que se considera son los metacarpianos que se los denominara como palmas, y el conjunto de los huesos carpianos se verán representados por un solo hueso denominado carpiano, en la Figura 69 se muestra los huesos que forman parte de la mano. Para la colocación de los huesos metacarpianos en el modelado se sigue los mismos pasos que se mencionaron para la colocación de los huesos de los dedos, de igual forma debe respetarse la nomenclatura para poder realizar el duplicado de los huesos y la inversión de los nombres como se muestra en la Figura 70.



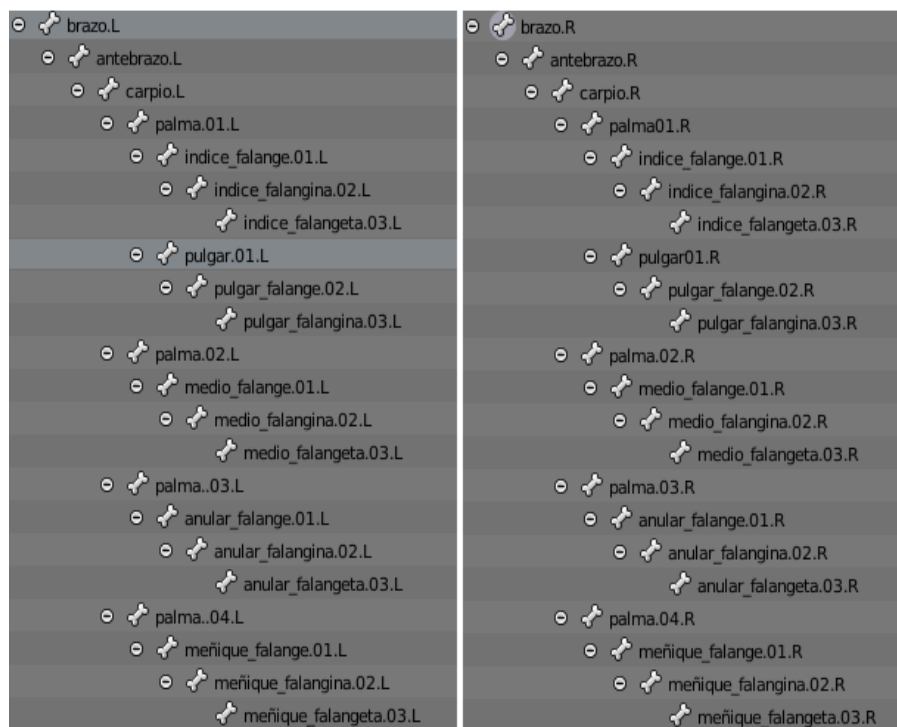
**Figura 70.** Huesos metacarpianos del modelado

En la Figura 71 se observa la distribución de padres e hijos en los huesos metacarpianos y de los dedos tanto de la mano izquierda como el de la derecha.



**Figura 71.** Padres e hijos en huesos de la palma y dedos

Al realizar la colocación de todos los huesos en la extremidad se visualiza en la Figura 72 que como padre general de la extremidad queda el hueso denominado brazo, como segundo nivel de jerarquía el hueso denominado carpio, y dentro de estos tenemos los huesos denominados palmas quedando así la estructura de los niveles de jerarquía que permitirá la correcta movilidad de la extremidad, también se distinguen niveles y subniveles, dentro de los subniveles puede haber cadenas de huesos o huesos individuales.



**Figura 72.** Jerarquía de los huesos de la extremidad superior

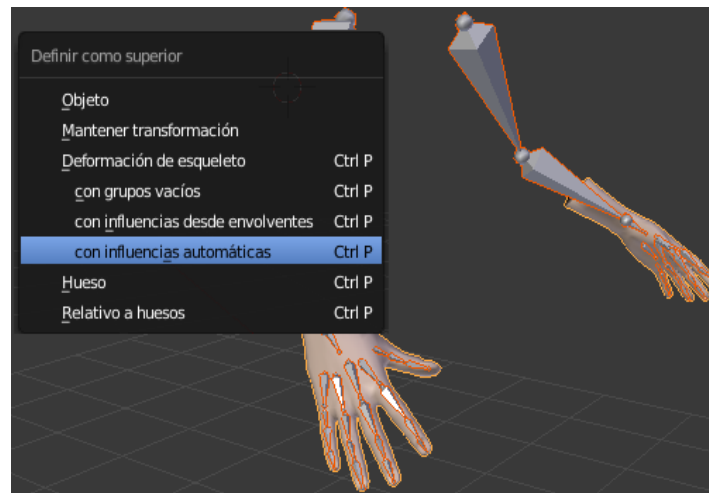
Para colocar de manera adecuada la jerarquía de los huesos se debe tener claro de que hueso depende para que se ejecute un movimiento o rotación y efectuar una colocación correcta del hueso ya sea como padre o hijo.

A pesar de que el modelado va desde la parte baja del antebrazo la colocación de los huesos es de toda la extremidad, para que al momento de ejecutar un movimiento lo realice de manera correcta, es decir que a mover el último hueso de la cadena que forma el brazo, automáticamente se mueve toda la cadena de manera apropiada. En la figura 73 se observa la colocación integral de los huesos de la extremidad derecha e izquierda.



**Figura 73.** Extremidad con esqueleto

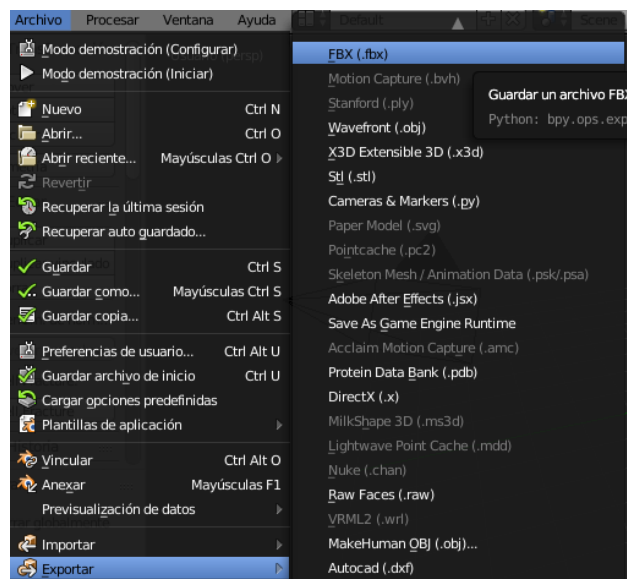
Para que el esqueleto forme un solo cuerpo con el modelado lo que prosigue es realizar una unión entre los dos elementos, para ello en modo objeto se selecciona el esqueleto y el modelado se presiona CTRL\_P>>Automatic Whait (con influencia automática), lo que realiza esta acción es formar un solo cuerpo y de esta manera si se mueve un dedo lo hará el modelo en conjunto ya que forman parte de un mismo elemento. En la Figura 74 muestra la acción de unión entre el esqueleto y modelado.



**Figura 74.** Unión de esqueleto y modelado

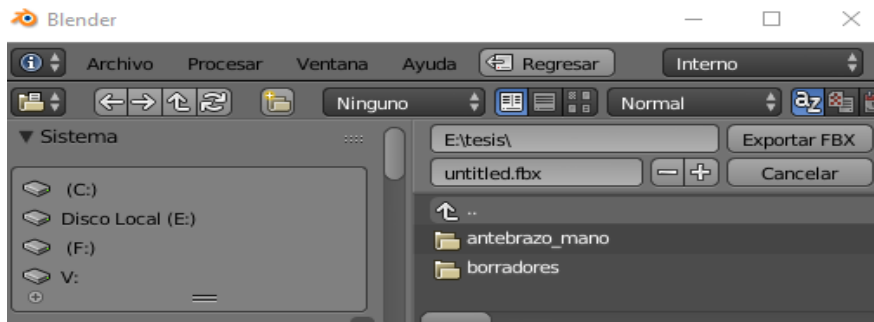
### 3.1.2 Exportar modelo de Blender a Unity

Para exportar de Blender a Unity se debe exportar como archivo fbx, esta extensión de archivo se emplea para la creación de un nivel alto de interoperabilidad entre aplicaciones 3D. En la Figura 75 se observa como exportar de Blender a formato fbx para que este archivo que contiene el modelado pueda ser utilizado en Unity3D.



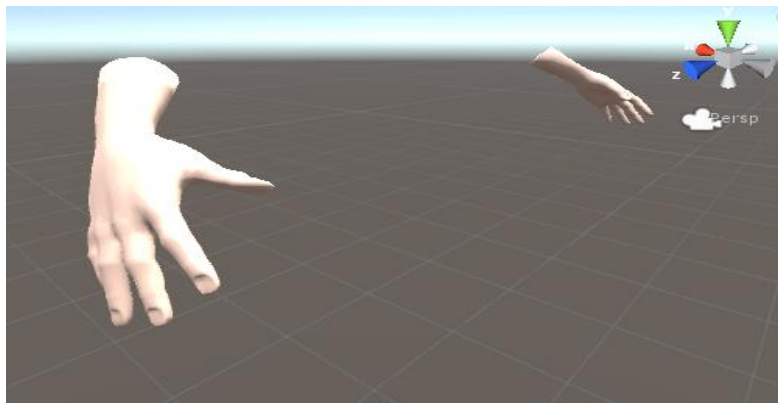
**Figura 75.** Exportar a extensión fbx.

En la Figura 76 se puede observar que se solicita el nombre del documento y la ubicación del mismo.



**Figura 76.** Nombre y ubicación de archivo con extensión fbx

Luego de realizar la exportación lo que comprende a continuación es abrir el archivo en Unity como se muestra en la Figura 77, como se observa los huesos quedan ocultos, pero al desplegar el archivo se encuentra el esqueleto en el modelado, pero no visible.



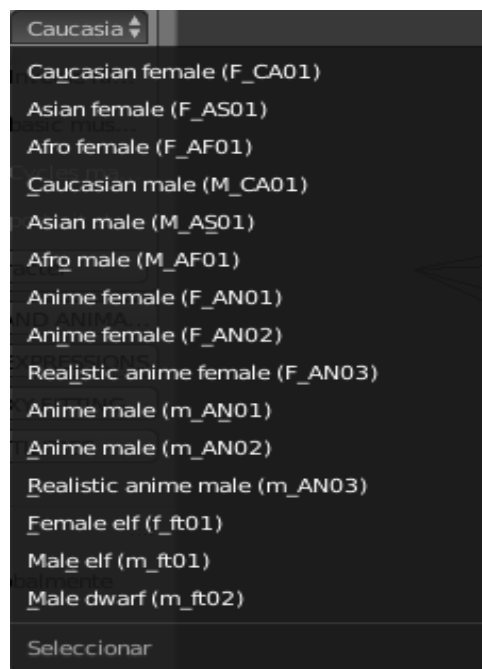
**Figura 77.** Visualización de extremidad en Unity3D

### 3.2 Modelado de avatar

La creación de un avatar con características humanas llega hacer muy complejo por lo que para facilitar este proceso de crear un avatar humano desde cero lo que se procede es adquirir la ayuda de un software adicional el cual permita crear un avatar de manera

sencilla, práctica y didáctica. En la investigación se encontró una gran variedad de softwares que facilitan el modelado, entre ellos se menciona a consideración personal los más aptos, entre ellos están ManuelbastioniLAB y MakeHuman.

ManuelbastioniLAB es un complemento gratuito y de código abierto para Blender, en el modelado 3D paramétrico de personas humanoides fotorrealistas con una interfaz gráfica en Blender, está escrito Python y funciona en todas las plataformas compatibles con Blender, proporciona tres clases principales de humanos caucásicos, asiáticos, y afro, como se muestra en la Figura 78, donde para cada clase hay un conjunto específico de fenotipo, cada fenotipo puede ser cargado desde la biblioteca y ser utilizado como base para un personaje personalizado o realizar mezclas entre los distintos fenotipos. Esta herramienta para Blender se la puede encontrar en (Manuel Bastioni, 2015).

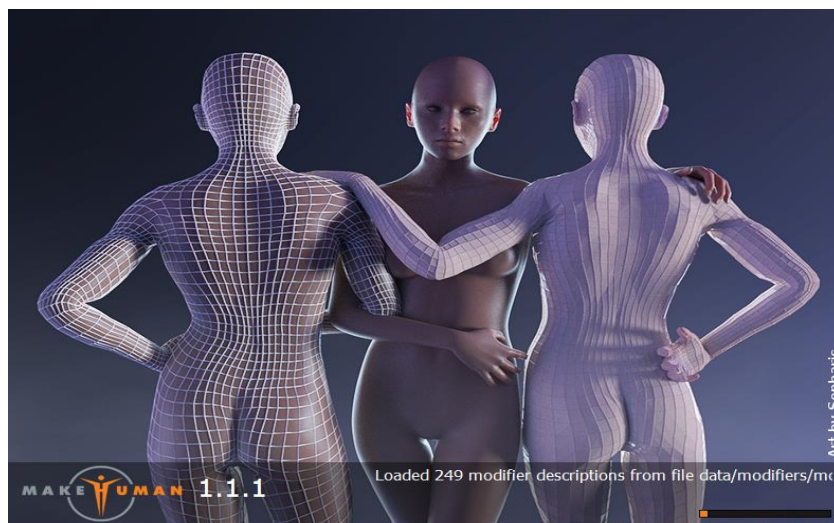


**Figura 78.** Menú de personajes



ManuelbastioniLAB cuenta con una gran librería para caracterizar a un personaje humanoide, pero una desventaja notoria es que mientras más atribuciones humanas se le vaya colocando se nota que el computador comienza a funcionar de manera forzada provocando molestias por la optimización del tiempo al momento de renderizar, para solucionar esto se debería considerar obtener un computador de mejores características y con una excelente tarjeta gráfica para poder disfrutar de esta herramienta tan útil para la obtención de un personaje humanoide realista.

Make Human es una aplicación que permite realizar gráficos 3D de tipo humanoides fotorrealistas, esta aplicación es desarrollada por una comunidad de programadores académicos y artistas que lleva interés en el modelado tridimensional de personajes, es un software desarrollado en C++. Al igual que ManuelbastioniLAB proporciona tres clases principales de humanos caucásicos, asiáticos, y afro, donde para cada clase hay un conjunto específico de fenotipo, se puede personalizar un personaje realizando mezclas de los diferentes fenotipos.



**Figura 79.** Portada de Make Human 1.1.1

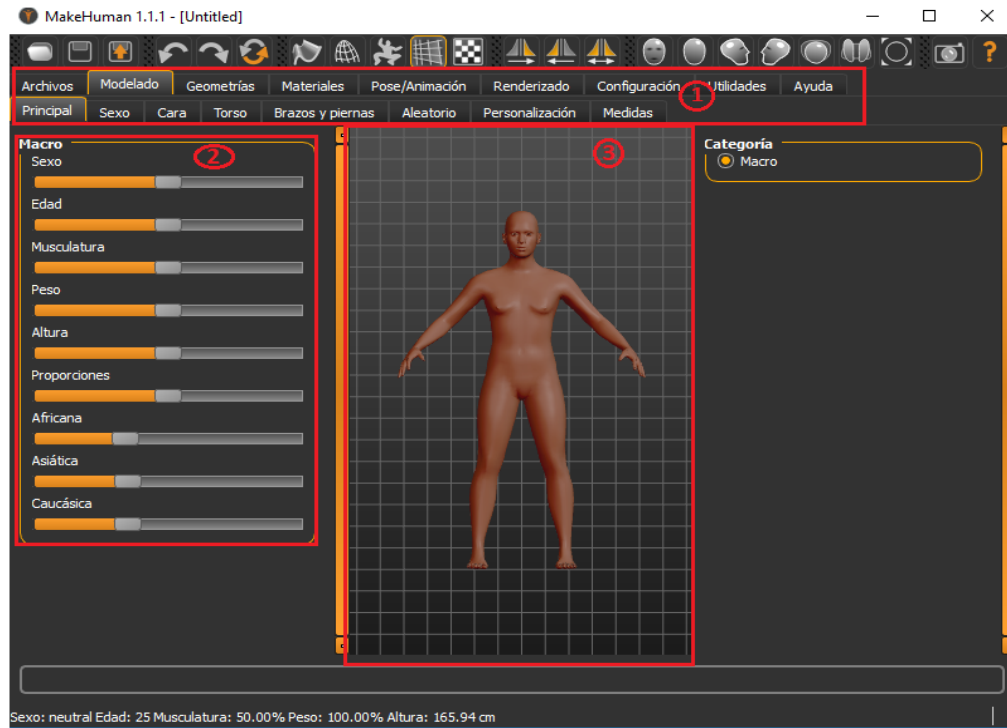
Make Human es considerado un software de modelado de forma artística y paramétrica al mismo tiempo, ya que se puede definir sexo, edad, proporciones del rostro, y varios parámetros bien definidos puede crear: bebés, adolescentes, jóvenes, y adultos gracias a su tecnología Morphing 3D. Este software se lo encuentra en (MakeHuman, 2015), la Figura 79 muestra la pantalla de bienvenida de Make Human 1.1.1

Una ventaja de Make Human es la exportación, puede ser exportado como archivo dae, fbx, Wavefront obj, Ogre 3D, y stl. Dichas exportaciones fbx y dae son compatibles con Blender facilitando así su futura modificación. El archivo generado por Make Human es ligero, dando viabilidad al realizar cambios y optimizando tiempo.

### **3.2.1 Avatar**

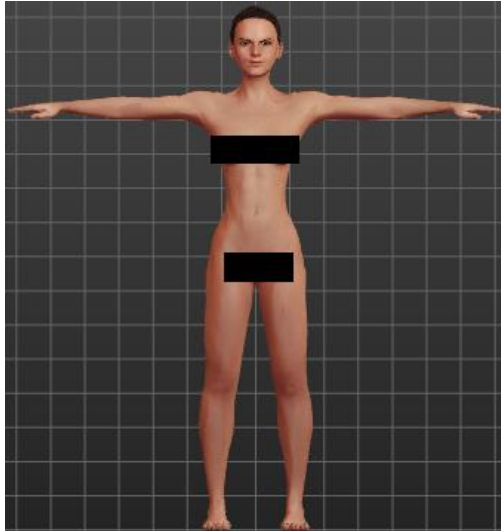
Para el modelado del avatar del saludo inicial del sistema se va a utilizar Make Human, cabe recalcar que este programa nos permite seleccionar las prendas de vestir, en este caso las prendas de vestir se las va a diseñar y colocarlas en el avatar.

El modelo como se ha mencionado se lo realizará de características femeninas, colocándole una edad media entre 30 y 35 años de apariencia afable. Al ingresar a la comunidad de Make human se puede acceder para realizar la descarga, obteniendo así un ejecutable que es fácil de usar, permitiendo definir el sexo, raza, tamaño de nariz, tamaño de ojos, apariencia de rostro proporciones de brazos y piernas y una amplia gama de parámetros que nos permitirá personalizar al avatar de bienvenida. En la Figura 80 se puede observar la interfaz de Make Human.



**Figura 80.** Interfaz de Make Human

En la interfaz de Make Human en el numeral uno se observa una serie de herramientas que permite trabajar e ir jugando con las características y así personalizar al avatar según el ingenio del diseñador, como se visualiza se puede trabajar con el modelado, la geometría, la posición entre otros aspectos, en el ítem dos se presentan las carteristas macro que va a definir al avatar como: el sexo, musculatura, peso, altura, proporciones y que fenotipo de persona se desea, en el ítem tres aparece por defecto la silueta de un hombre a los cuales gracias a la tecnología Morphing 3D que posee se puede cambiar de género según las necesidades del usuario. Al ir empleando cada una de las herramientas se observa en a Figura 81 el resultado final del avatar de bienvenida.



**Figura 81.** Avatar en Make Human

Elaborada el avatar lo que procede es exportar a Blender para ello hay que dirigirse a Archivos>>Exportar>> Collada (dae), colocar el nombre del archivo y la dirección a la cual se requiere guardar, seguido de esto en Blender dirigirse a importar, elegir en formato Collada (dae) y se abrirá el modelado en la ventana 3D de Blender como se muestra en la Figura 82.



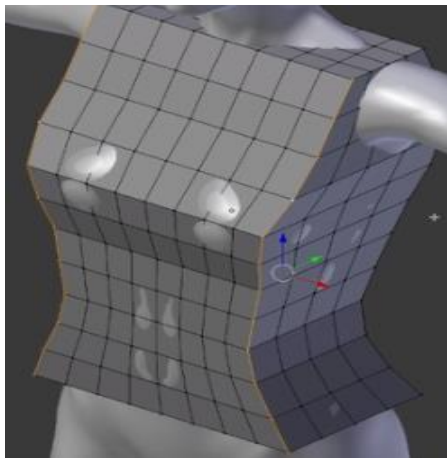
**Figura 82.** Avatar exportado a Blender

### 3.2.2 Modelado de prendas de vestir

La vestimenta del avatar como se mencionó en su diseño será parecida a la vestimenta de los centros fisioterapéuticos, es decir, consta de una camiseta, un pantalón y zapatos estilo deportivo.

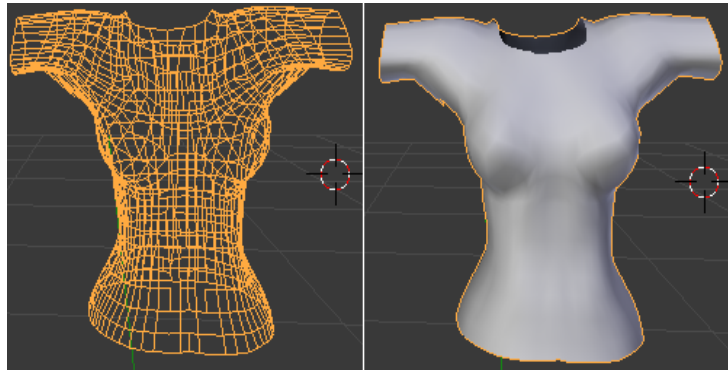
#### a. Camiseta

Todos los modelados parten del cubo que aparece por defecto al ejecutar Blender, a este cubo se lo va extruyendo y dando forma del cuerpo del avatar obteniendo un primer boceto primitivo, que se muestra en la Figura 83.



**Figura 83.** Boceto de camiseta

Una vez obtenido el boceto primitivo se procede a ejecutar detalles que vayan puliendo la forma de una camiseta donde se vaya adecuando al cuerpo del avatar para ello hay que trabajar con ángulos, biselados, extrucciones entre otras funciones. La Figura 84 se observa la camiseta con todos sus detalles.



**Figura 84.** Camiseta de avatar

### **b. Pantalón**

Al igual que la camiseta se procede a realizar un boceto primitivo el cual permitirá tener una base para ir diseñando la forma del pantalón para que se vaya acoplando a la forma del avatar, la Figura 85 muestra el boceto primitivo del pantalón.



**Figura 85.** Boceto de Pantalón

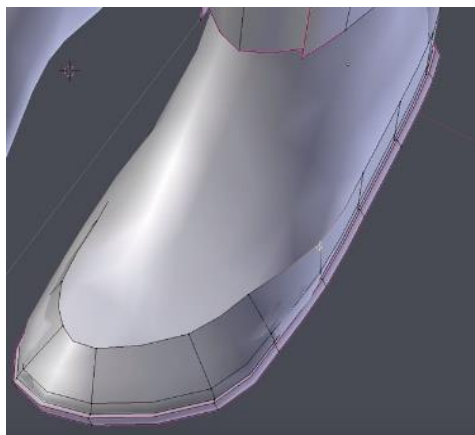
Al ir trabajando en el boceto primitivo se le da forma al pantalón colocando pequeños detalles como un bolsillo y un ajustador en forma de lazo dando mejor estética y apariencia a la prenda, la Figura 86 presenta el pantalón con todos sus detalles.



**Figura 86.** Pantalón de avatar

### c. Zapatos

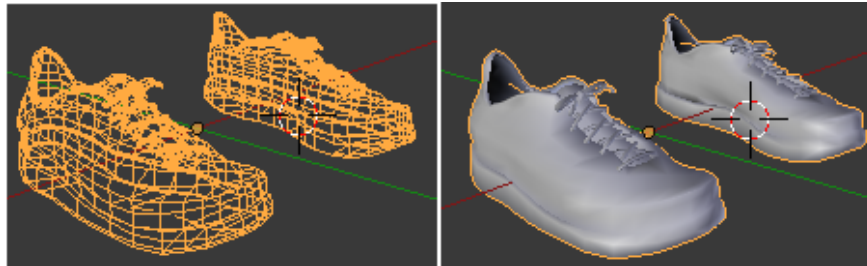
Para el diseño de los zapatos se puede tomar el camino de un boceto fotográfico al igual que en el modelado de la extremidad, pero en este caso como se tiene el pie del avatar, se va a partir desde ahí tomando como molde el pie del avatar para ir dando forma al zapato, se inicia por la planta como se muestra en la Figura 87.



**Figura 87.** Boceto de Zapatos

Al igual como se ha venido trabajando con los demás modelados hay que ir colocando detalles, en este caso como se mencionó se busca la apariencia de un zapato deportivo,

el cual se coloca detalles como cordones una pequeña plataforma entre otros aspectos como se visualiza en la Figura 88.



**Figura 88.** Zapatos de avatar

Para todos los modelados de las prendas de vestir se sugiere trabajar en simetría, si se realiza un cambio en la mitad del modelado esto va influenciar en la otra mitad correspondiente realizando así un modelo simétrico, para ello hay que dirigirse a la ventana de herramientas y con el modelo seleccionado colocar simetría en x o y dependiendo de la simetría que se requiera al momento de modelar.



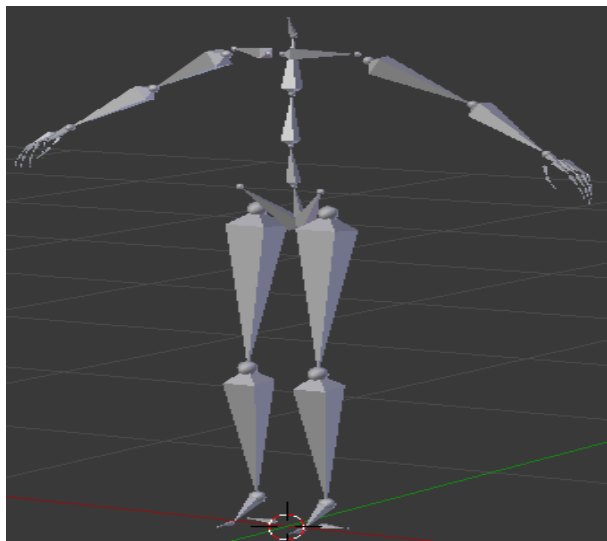
**Figura 89.** Avatar con prendas de Vestir



En la Figura 89 se aprecia el modelo del avatar con su vestimenta colocada además de poder observar los detalles que se le han venido situando a lo largo del modelado, para que se vaya ajustando a cuerpo del avatar, para realizar todos los detalles que se han venido mencionando se requiere de varias funciones para extruir, biselar, unir, dar ángulos entre otros, estas funciones se encuentran detalladas en el Anexo B.

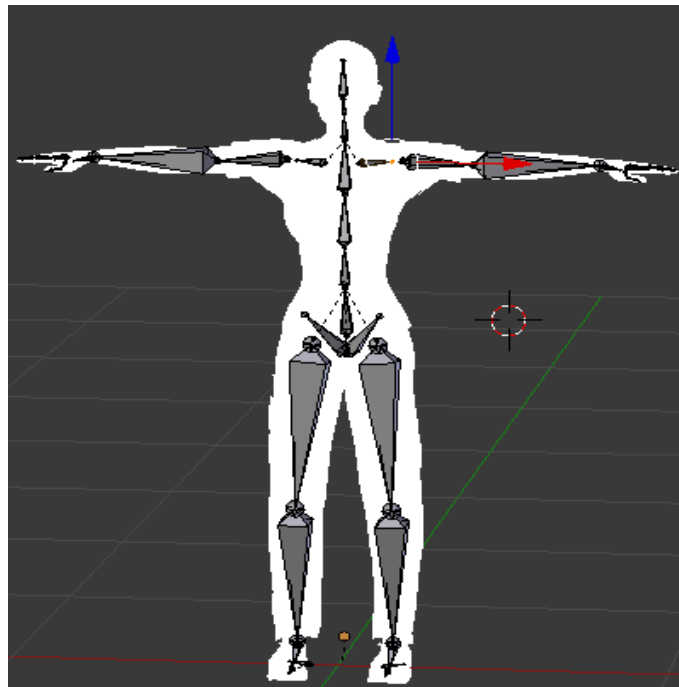
### 3.2.3 Colocación de esqueleto Animación del avatar

Para desplegar el esqueleto que será colocado en el avatar se presiona Shift\_A en la pantalla 3D de Blender y a continuación se presenta un menú de objetos, nos dirigimos a esqueleto>>Human (Meta-Rig). Donde se presenta un esqueleto completo con los huesos incluidos del rostro, estos huesos del rostro se proceden a eliminar ya que no se realizará gesticulación, para eliminar estos huesos hay que trabajar en forma de edición y seleccionar los que no sean necesarios y eliminarlos. Como se observa en la Figura 90 el esqueleto desplegado es un esqueleto que consta de todos los huesos necesarios para realizar una animación adecuada.



**Figura 90.** Esqueleto generado en Blender

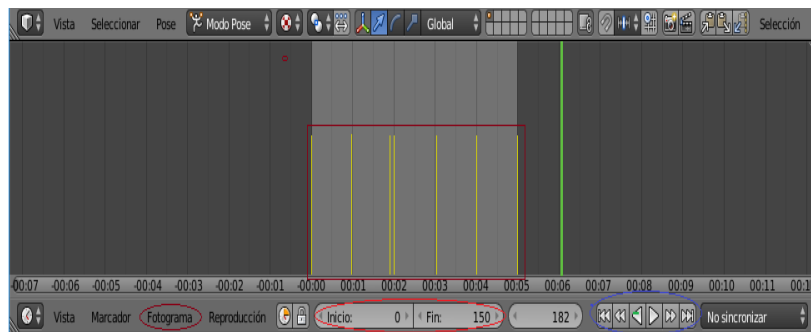
Generado el esqueleto lo que procede es colocarlo en el avatar y si es necesario se debe escalar el esqueleto para que estén a la misma medida. Una vez realizada la correcta colocación del esqueleto, se requiere que el esqueleto forme un solo cuerpo con el modelado para ello se realizar una unión entre los dos elementos, en modo objeto se selecciona el esqueleto y modelado presionar CTRL\_P>>Automatic Whait. En la Figura 91 se observa el avatar con su esqueleto.



**Figura 91.** Avatar con esqueleto

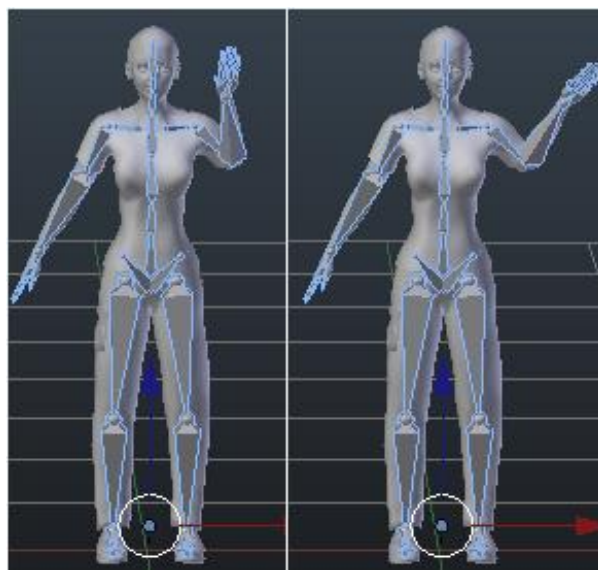
Para la animación del avatar hay que tener claro el significado de frames, estos elementos son un conjunto de posiciones que se le viene dando al avatar, cuyas posiciones se guardan para que en un momento determinado la animación sea ejecutada, sin importar que haya habido anteriormente ni lo que vaya a haber después, en ese momento todo deberá adaptarse para coincidir con lo que se dejó estipulado al colocar

cada una de las posiciones. Para comenzar la animación se procede a guardar todas las posiciones que comprende la acción de saludar en un frame específico y de forma automática el programa realiza una interpolación entre las posiciones guardadas para completar la animación, se procede a ejecutar para visualizar la misma, la Figura 92 presenta el panel de animación que incluye los fotogramas de la acción de saludar.



**Figura 92.** Frames de saludo de avatar

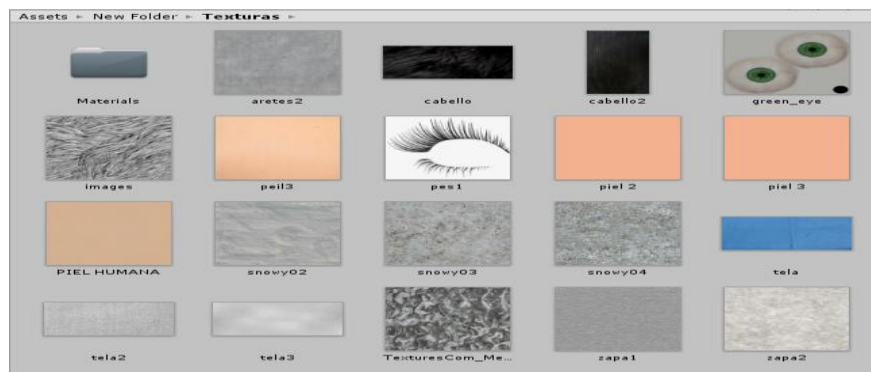
En la figura 93 se observa la posición que toma el avatar para poder ejecutar el saludo de bienvenida al sistema de rehabilitación virtual.



**Figura 93.** Posición de saludo

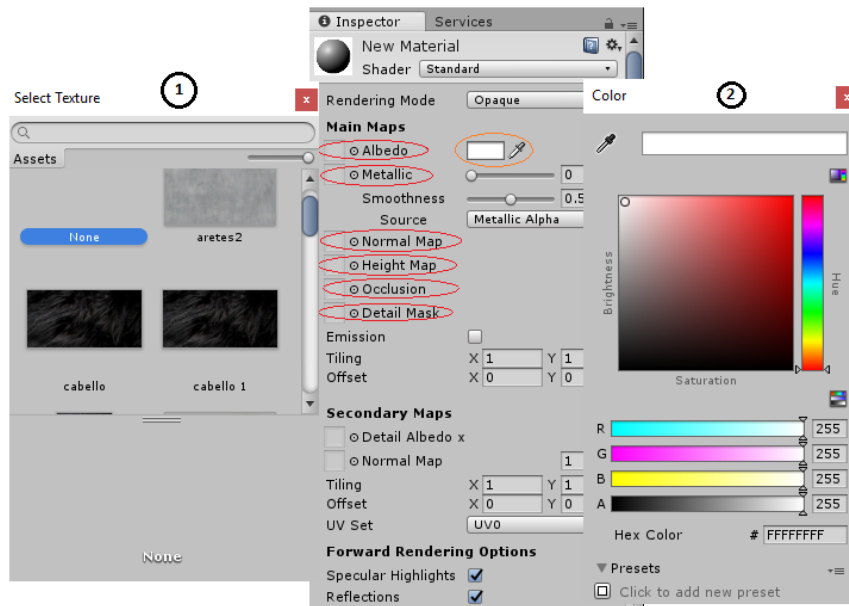
### 3.2.4 Texturización del avatar de bienvenida en Unity

En la ventana Project View del editor se crea una carpeta denominada materiales en dicha carpeta se guarda una serie de texturas que combinadas formaran el material deseado para cada parte que conforma el avatar. Estas texturas se observan en la Figura 94 las cuales se las encuentra en: (FreeStockTextures, 2009), (Freeimages, 2016), (TextureKing, 2018), donde se puede encontrar una infinidad de texturas gratuitas, como texturas de piel humana, telas, de cabello, entre otras.



**Figura 94.** Texturas importadas a Unity

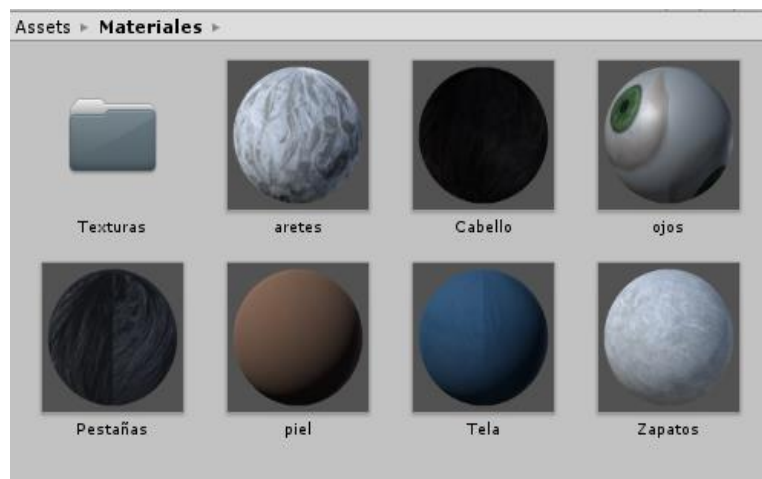
Ya incorporadas en la carpeta las texturas, se crea una nueva carpeta denominada materiales, esta contendrá los materiales creados a través de la combinación de las diferentes texturas, en la ventana Inspector se encuentra una gran variedad de herramientas que permitirá modificar el nuevo material según la necesidad. En la Figura 95 se observa un círculo naranja donde se despliega una ventana en la cual se puede elegir entre una gran gama de colores según la necesidad, esta ventana que se despliega con el numeral dos, en los círculos rojos se puede elegir varias texturas para formar un solo material como se observa en el numeral uno.



**Figura 95.** Creación de nuevos materiales

En la figura 96 se visualiza los materiales creados, para ser colocados en el avatar, entre los materiales creados están la piel, los ojos, pestañas, cejas, cabello, ropa, entre otros.

El resultado de estos materiales es la combinación de más de una textura.



**Figura 96.** Nuevos materiales creados

Para dar color y textura al avatar se procede a colocar los materiales creados en cada parte que conforma el mismo según corresponda, la figura 97 muestra el resultado final.

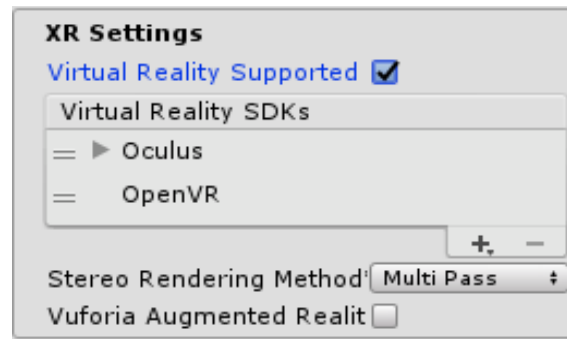


**Figura 97.** Avatar texturizado

### **3.3 Implementación interfaz Realidad Virtual**

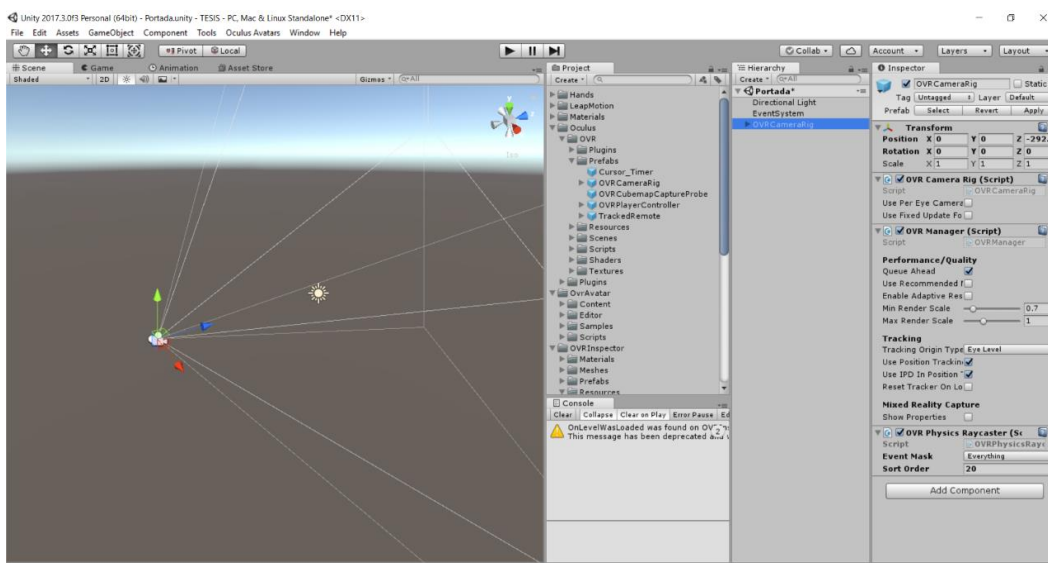
Para empezar, previamente se debe instalar y configurar el software de Oculus Rift para Windows que se puede apreciar en el manual de instalaciones (Anexo A) y descargarse los módulos de desarrollo para Unity3D, así como los paquetes de utilidad de los sitios web (developers, 2018). Se procede a abrir el editor de Unity3D, crear un nuevo proyecto e importar los paquetes descargados anteriormente. Se prepara la escena para realidad virtual utilizando el paquete de desarrollo de Oculus Rift y se

selecciona el recuadro que prepara al programa para que el sistema de cámara sea compatible como se muestra en la Figura 98.



**Figura 98.** Botón de soporte para RV

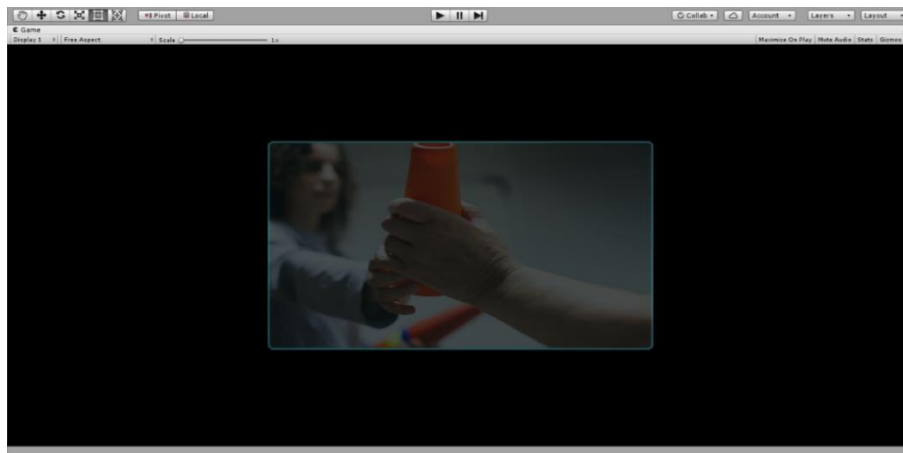
Se importa en escena el prefabricado "OVRCameraRig" que contiene los componentes "camera" para cada ojo, compilamos el proyecto para comprobar que las gafas de realidad virtual se reconozcan correctamente como se muestra en la Figura 99 donde visualiza la importación del prefab del sistema de cámara para realidad virtual.



**Figura 99.** Importación del prefab del Sistema de Cámara

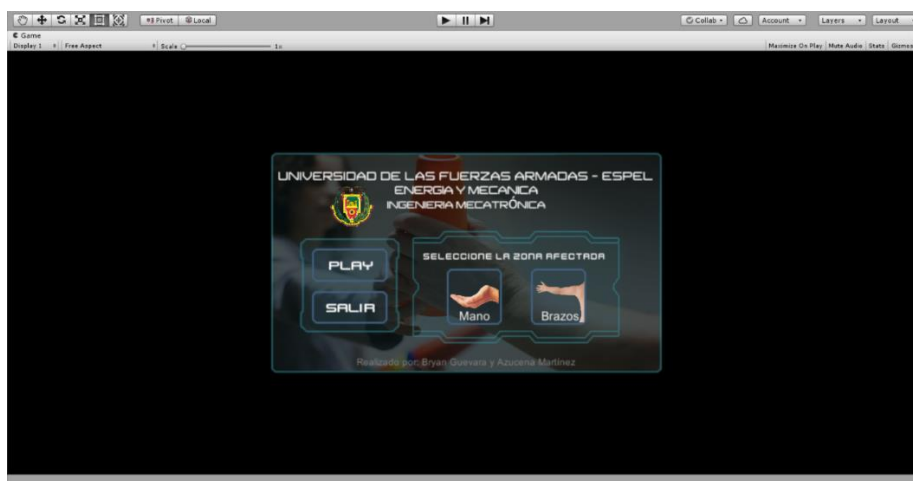
### 3.4 Creación del Menú

En una copia de la escena anterior, se crea un gameobject con un componente Canvas donde se deben incluir todos los elementos de UI (Interfaz de Usuario), se inicia con agregar una imagen de fondo y un Panel como base como se muestra en la Figura 100.



**Figura 100.** Creación de fondo y panel base para el menú

Se inserta un gameobject con el componente Tex Mesh en la sección Hierachy en el cual se escribe el texto de bienvenida como portada principal del menú y se agregan los paneles que contienen los botones de selección, como muestra la Figura 101.



**Figura 101.** Creación paneles y botones de selección



Se importa la imagen que representa el puntero y se le agrega un script "OVRGazePointer" incluido en el módulo de desarrollo de Oculus para definirlo como tal, a este script se le adjunta el gameobject "CenterEyeAnchor" ubicado en el Hierarchy como hijo de "OVRCameraRig" el cual contiene un componente camera que dispara un objeto raycast proyectando el cursor sobre el Canvas. Se crea un script "ButtonTimer" que permita reconocer cuando el cursor este por encima de un botón se comience una cuenta regresiva de cinco segundos y lo active.

Métodos de la clase "ButtonTimer" que realiza la selección de botón:

```
1.     public void OnPointerEnter(PointerEventData eventData) {
2.         NotificationCenter.DefaultCenter().PostNotification(this, "EnBoton");
3.         InvokeRepeating("countDown", 1, 1);
4.     }
5.
6.     public void OnPointerExit(PointerEventData eventData) {
7.         NotificationCenter.DefaultCenter().PostNotification(this, "EnNada");
8.         print("Cancela");
9.         CancelInvoke("countDown");
10.        timeremain = 5;
11.    }
12.
13.    void countDown()
14.    {
15.        if (timeremain < 0)
16.        {
17.
18.            NotificationCenter.DefaultCenter().PostNotification(this, "EnNada");
19.            _button.onClick.Invoke();
20.            CancelInvoke("countDown");
21.            timeremain = 5;
22.            print("reset time");
23.        }
24.        timeremain--;
25.    }
26.
27.    public void OnSelect(BaseEventData eventData){
28.        Debug.Log(this.gameObject.name + " was selected");
29.    }
```

Se crea otro script "FillCursor" que realice la animación de reloj en sentido horario cuando el cursor este por encima del botón de forma que se reconozca de manera intuitiva como activar el botón de selección con el movimiento de la cabeza.

Métodos de la clase "FillCursor" que realiza la animación del cursor:

```

1. void Start ()
2. {
3.     NotificationCenter.DefaultCenter().AddObserver(this, "EnBoton");
4.     NotificationCenter.DefaultCenter().AddObserver(this, "EnNada");
5.     radial = GetComponent<Image>();
6.     radial.fillAmount = 1;
7.
8. }
9.
10. void Update ()
11. {
12.     if (go){
13.         tiempo = tiempo + Time.deltaTime;
14.         radial.fillAmount = 1 - tiempo / 4;
15.         print(radial.fillAmount);
16.     }
17.
18.     else {
19.         radial.fillAmount = 1;
20.     }
21. }
22. }
23.
24. void EnBoton(Notificacion notificacion){
25.     go = true;
26.     tiempo = 0;
27. }
28. }
29.
30. void EnNada(Notificacion notificacion){
31.     go = false;
32. }

```

Se cambia el color de la propiedad "Highlighted Color" del componente Button del gameobject Botón para que se diferencie cuando el cursor está o no sobre él, se compila el proyecto para comprobar la funcionalidad del curso sobre el botón. En la Figura 102 se observa el cursor temporizado sobre el botón



**Figura 102.** Implementación de cursor

A continuación, se crea un script "Menú\_ESPE" en el que se estructura la interfaz de selección utilizando paneles que se activan o desactivan según el usuario vaya navegando a través del menú hasta llegar a realizar los ejercicios.

Métodos públicos de la clase " Menú\_ESPE " que realiza la navegación a través del menú.

```

1.     public void Start () {
2.         animMain.SetBool("mainpanel", true);
3.         Act_manos.SetActive(false);
4.         exitpanel.SetActive(false);
5.         nombre_proyecto.SetActive(true);
6.         panelmano_brazo.SetActive(false);
7.         MainPanel.SetActive(true);
8.         OptionPanel.SetActive(false);
9.     }
10.
11.    public void Play(){
12.        panelmano_brazo.SetActive(true);
13.        nombre_proyecto.SetActive(false);
14.    }
15.
16.    public void Mano(){
17.        panelmano_brazo.SetActive(false);
18.        Act_manos.SetActive(true);
19.    }
20.
21.    public void escenario(){
22.        ambiente.SetActive(true);
23.        Act_manos.SetActive(false);
24.    }
25.
26.    public void Opciones(){

```

```

27.     MainPanel.SetActive(false);
28.     OptionPanel.SetActive(true);
29.     animOption.SetBool("optionpanel", true);
30. }
31.     public void Return(){
32.         MainPanel.SetActive(true);
33.         OptionPanel.SetActive(false);
34.         animMain.SetBool("mainpanel", true);
35.         nombre_proyecto.SetActive(true);
36.         Act_manos.SetActive(false);
37.         exitpanel.SetActive(false);
38.     }
39.
40.     public void Exit(){
41.         Act_manos.SetActive(false);
42.         exitpanel.SetActive(true);
43.         nombre_proyecto.SetActive(false);
44.     }
45.     public void Gamebutton(){
46.     }
47.
48.     public void Controlbutton(){
49.     }
50.
51.     public void Videobutton(){
52.     }
53.     public void Actividad1(){
54.         SceneManager.LoadScene("Actividad 1");
55.     }

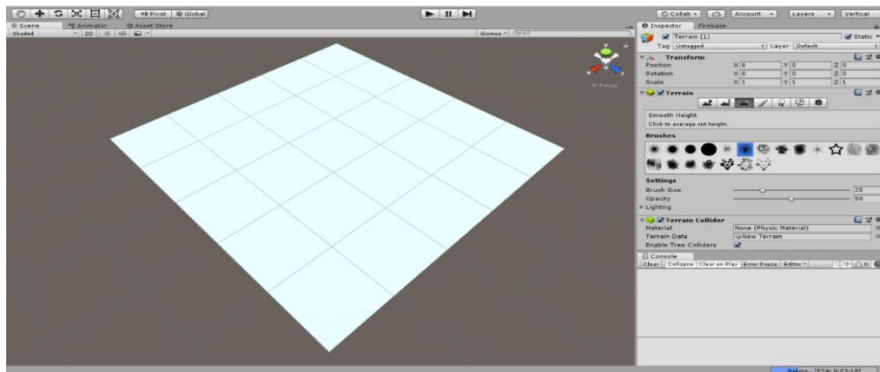
```

Se compila constantemente el proyecto para comprobar la funcionalidad del menú según lo establecido en el diseño del capítulo dos.

### 3.5 Creación del ambiente

Los entornos representan el lugar en donde el paciente realiza las actividades generando la sensación de inmersión y el atractivo para no abandonar la rehabilitación física. Se ha propuesto desarrollar tres escenarios posibles para la elección del paciente, entre ellos, un ambiente que brinde la sensación de naturaleza, otro de una isla y por último un lugar desértico.

Para ello, se comienza creando un terreno vacío en la escena del Editor como se muestra en la Figura 103.



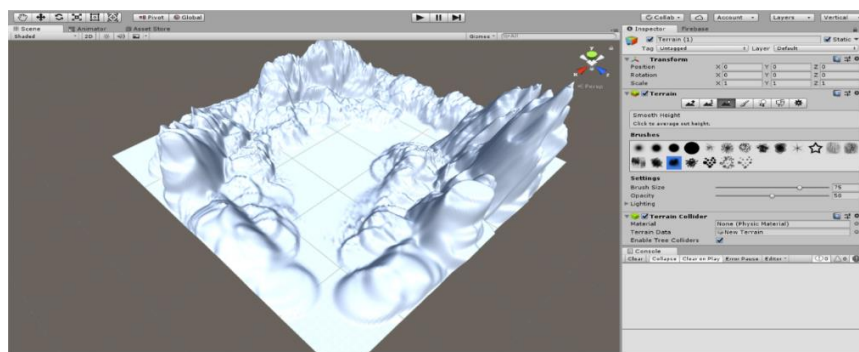
**Figura 103.** Panel de texturas importadas

Antes de comenzar a esculpir el terreno es necesario establecer algunas características generales como las dimensiones, la resolución del detalle gráfico e importar las texturas necesarias utilizando las herramientas de edición de terrenos, en la Figura 104 se observa las herramientas para esculpir los terrenos.



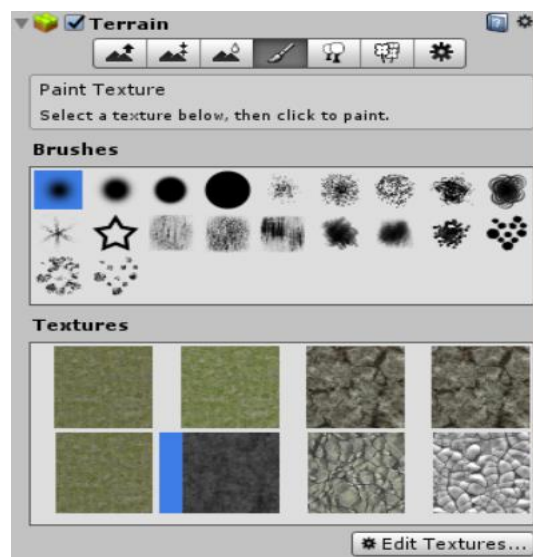
**Figura 104.** Panel de texturas importadas

Con la paleta “Raise/Lower” y “Height” se procede a realizar varias extrucciones en el terreno variando en intensidad, tamaño y forma hasta lograr conseguir un terreno base como se visualiza en la Figura 105.



**Figura 105.** Extracciones de terreno

Para dotar de color y realismo a los terrenos primitivos creados anteriormente se procede a texturizar las áreas del mismo utilizando la paleta “Texture” presentada en la Figura 106, para ello se realiza la compra de elementos de utilidad como sprites, texturas y entre otros, obtenidos en el Asset Store de Unity3D en: (Unity Asset Store, s.f.). Además, se importan el paquete Standar Assets incluidos en la instalación del Editor, este paquete provee de un prefabricado del modelo y animación del agua que posteriormente es utilizado en el escenario de isla.



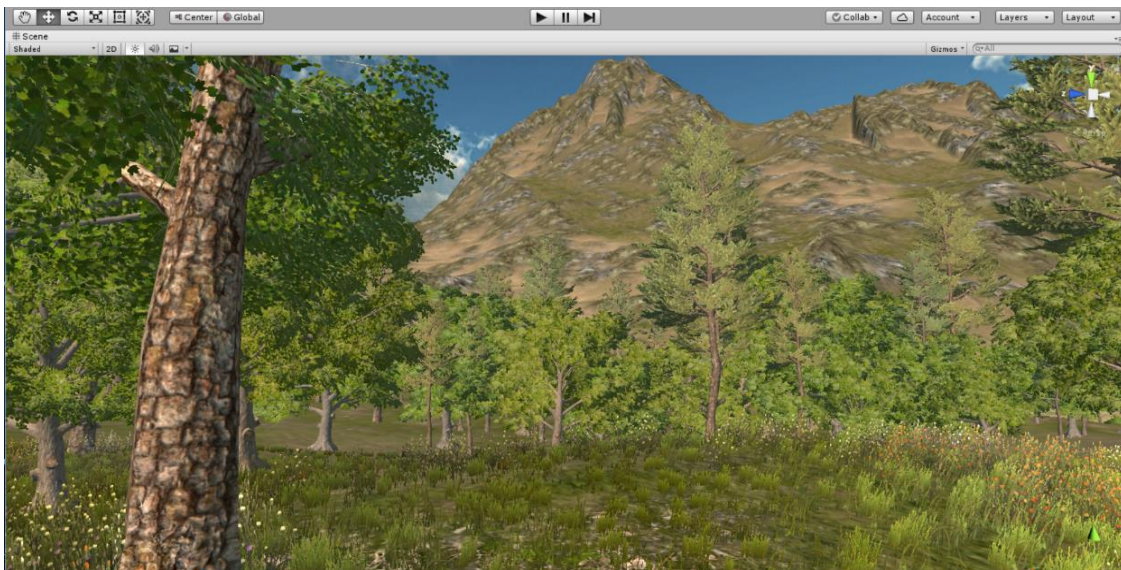
**Figura 106.** Texturas

Para recrear el ambiente de naturaleza se utiliza los elementos obtenidos anteriormente en el Unity Asset Store, se procede a importar el conjunto de prefabricados como los arbustos y árboles para añadirlos al terreno mediante la paleta “Trees” como se observa en la Figura 107.



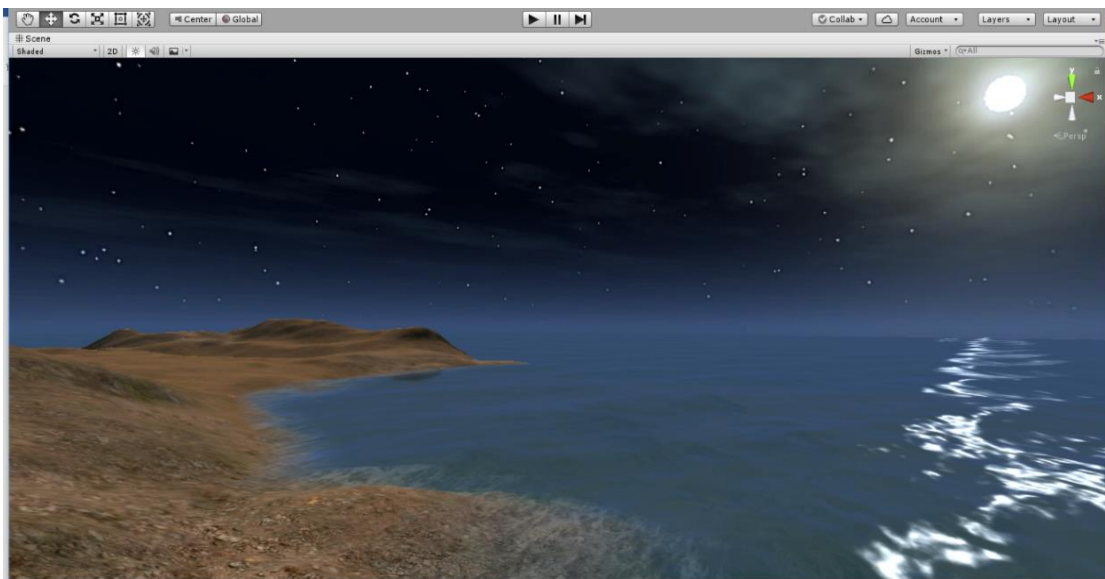
**Figura 107.** Arbustos

Se importa un paquete de skybox para todos los escenarios, obtenido desde el Unity Asset Store en: (Hand Painted Nature Kit, 2016) y para dotar realismo a la escena se crea el efecto de movimiento por acción del viento en las hojas de los árboles y se agrega música de ambiente obtenida desde: (Escuchar & Relajar, 2017). En la Figura 108 se observa la recreación del ambiente de naturaleza.



**Figura 108.** Escenario de bosque

Termina la recreación del primer ambiente se procede a realizar los otros dos en un proceso similar. Para el caso del ambiente de isla se implementa un skybox con luz de luna y reflejo sobre el prefabricado del agua que se obtuvo desde el paquete Standar Assets. Por último, se agrega música de ambiente extraída desde (Acerting Art, 2012): En la Figura 109 se observa la recreación del ambiente de isla



**Figura 109.** Escenario de Isla

En la recreación del ambiente desértico se obvia la creación de vegetación y agua, predominando únicamente el color arena sobre el terreno, para este último se elige un skybox ambientado en un atardecer, se agrega música de ambiente extraída desde la siguiente: (Totalpaz Carlos, 2014). En la Figura 110 se observa la recreación del ambiente desértico.





**Figura 110.** Escenario desértico

Por último, se agregan y se desactivan todos los escenarios en cada una de las actividades para luego implementar un script "SelectorTerrain" que reciba y guarde de la clase "MenúESPE" la selección de terreno que el paciente realiza en la portada de inicio.

Método Start de la clase "SelectorTerrain":

```

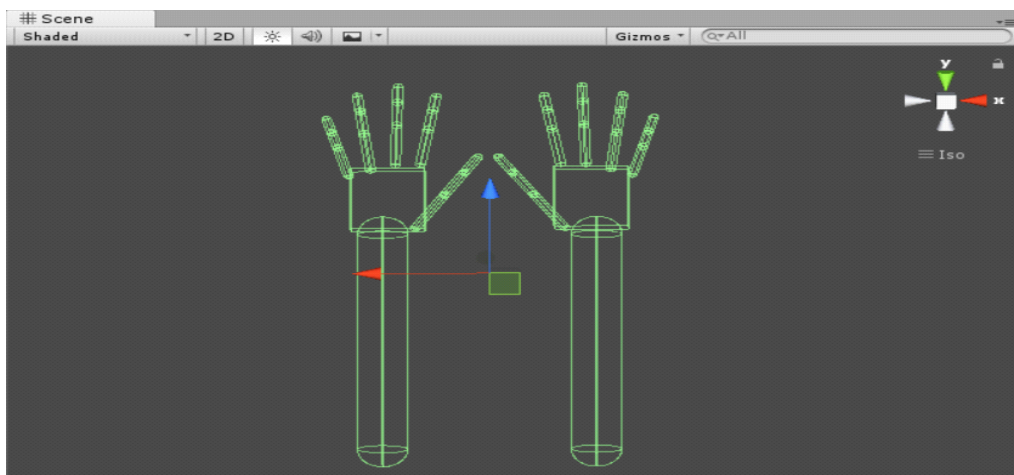
1. void Start () {
2.
3.     switch (MenuESPE.GetAct1())
4.     {
5.         case 1:
6.             RenderSettings.skybox = forest;
7.             terrain1.gameObject.SetActive(true);
8.             break;
9.         case 2://playa
10.            RenderSettings.skybox = playa;
11.            terrain2.gameObject.SetActive(true);
12.            break;
13.         case 3:
14.            RenderSettings.skybox = desierto;
15.            terrain3.gameObject.SetActive(true);
16.            break;
17.         default:
18.            break;
19.     }

```

### 3.6 Implementación del reconocimiento gestual

Como primer paso, se descarga e instala el software de Leap Motion Orion que se encuentra detallada en el Anexo A y se importan dentro del proyecto los módulos de desarrollo de Leap Motion para unity3D obtenidos de: (LeapMotion, 2017). Se importa en escena el prefabricado "LMHeadMountedRig" incluido en los módulos de desarrollo de Leap Motion el cual contiene la clase "Controller" y este a su vez contiene el acceso al conjunto de datos durante el rastreo de la mano.

El módulo de desarrollo de la Leap Motion proporciona un rastreo predictivo de las manos representadas por la clase "Hand" el cual consiste básicamente en un array en el que guarda un valor [0] para la primera mano detectada y un [1] para la segunda, sin tomar en cuenta sea esta derecha o izquierda. A su vez, los dedos son representados por la clase "Finger" el cual proporciona un gameobject que describe la posición, rotación y escala de cada hueso de la mano detectada definidos en vectores representados en un componente "Transform".



**Figura 111.** Detección de la mano con Leap Motion

Como se muestra en la Figura 111, los dedos detectados corresponden al modelo de mano que utiliza el API de Leap Motion.

### 3.7 Desarrollo de las actividades para la Rehabilitación

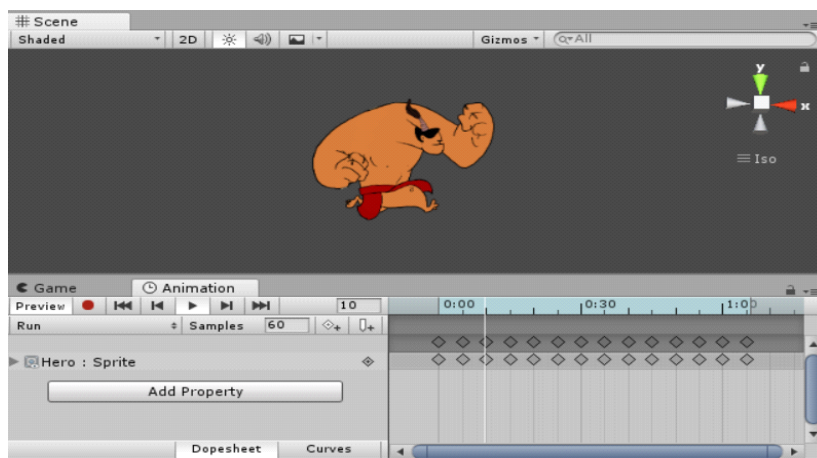
Para el desarrollo de las actividades se divide en movimientos dirigidos a dedos y giro de muñeca y en movimientos integrales de la extremidad superior.

#### 3.7.1 Movimiento de mano

Para la realización de los ejercicios de rehabilitación en la mano, se toma en cuenta algunos de los movimientos que tradicionalmente se realizan en una terapia de rehabilitación estándar como pronosupinación, movilidad de los dedos y deslizamiento tendinoso mencionados en el capítulo 2 además de movimientos de la vida diaria (AVD).

##### a. Ejercicio 1 – Flexo extensión de dedos

Esta actividad plantea realizar movimientos de flexo extensión del codo en conjunto con un deslizamiento tendinoso, además, se realiza una integración de un entorno virtual 3D con mecánicas de desarrollo 2D. Se importa el conjunto de texturas 2D del personaje principal el cual fue descargado desde el Unity Asset Store.



**Figura 112.** Animación del personaje con Mecanim

La figura 112 se muestra la animación de los diferentes estados de movimiento intercambiando sus texturas 2D a una tasa de 60 frames por segundo generando así el efecto de correr, saltar y caer.

Para esta actividad se hace uso de la clase "ExtendedFingerDetector" incluido en los módulos de desarrollo de Leap Motion el cual permite identificar si la mano detectada se cierra o abre, cualquiera de estos dos eventos activa un método de la clase pública "Movimiento" vinculado al personaje de la actividad que controla el salto de este por efecto de una fuerza aplicada dentro del entorno de unity3D.

Métodos públicos de la clase "Movimiento:

```

1.     public void Start () {
2.         animMain.SetBool("mainpanel", true);
3.         Act_manos.SetActive(false);
4.         exitpanel.SetActive(false);
5.         nombre_proyecto.SetActive(true);
6.         panelmano_brazo.SetActive(false);
7.         MainPanel.SetActive(true);
8.         OptionPanel.SetActive(false);
9.     }
10.
11.    public void Play(){
12.        panelmano_brazo.SetActive(true);
13.        nombre_proyecto.SetActive(false);
14.    }
15.
16.    public void Mano(){
17.        panelmano_brazo.SetActive(false);
18.        Act_manos.SetActive(true);
19.
20.    }
21.
22.    public void escenario(){
23.        ambiente.SetActive(true);
24.        Act_manos.SetActive(false);
25.    }
26.
27.    public void Opciones(){
28.        MainPanel.SetActive(false);
29.        OptionPanel.SetActive(true);
30.        animOption.SetBool("optionpanel", true);
31.    }
32.
33.    public void Return(){
34.        MainPanel.SetActive(true);

```

```

35.     OptionPanel.SetActive(false);
36.     animMain.SetBool("mainpanel", true);
37.     nombre_proyecto.SetActive(true);
38.     Act_manos.SetActive(false);
39.     exitpanel.SetActive(false);
40. }
41.
42.     public void Exit(){
43.         Act_manos.SetActive(false);
44.         exitpanel.SetActive(true);
45.         nombre_proyecto.SetActive(false);
46.     }

```

Además, se crea el efecto de parallax scroll en el fondo de la actividad utilizando objetos llamados Quad, esta técnica de diseño plano consiste en dotar de cierta tridimensionalidad y lograr un mayor realismo la escena 2D, para ello se superponen varios de estos elementos y se agrega un material con una textura de fondo diferente para cada uno. Se realiza lo mismo para el efecto de movimiento del piso, pese a ser una escena estática se logra el efecto de movimiento del personaje.

Métodos de la clase "Scroll":

```

1.     void EmpiezaCorrer(Notification notificacion){
2.         enmovimiento = true;
3.         tiempoinicio = Time.time;
4.     }
5.
6.     void Update () {
7.         scrollparallax();
8.     }
9.     void scrollparallax() {
10.
11.         if (enmovimiento){
12.             GetComponent<Renderer>().material.mainTextureOffset = new Vector2(v
13. elocidad * (Time.time - tiempoinicio) %1 , -0.005f);
14.         }else{
15.             tiempoinicio = Time.time;
16.         }
17.     }

```

Se importan los obstáculos de la actividad obtenidos de manera gratuita desde el Unity Asset Store y a continuación, se crea un objeto vacío con el script "Generador" para generar en tiempos aleatorios los obstáculos que figuran en la actividad.

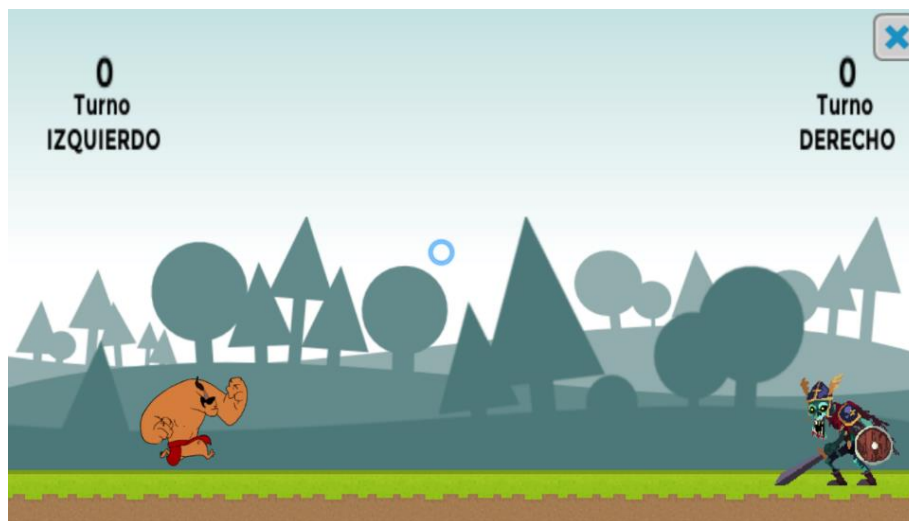
Métodos de la clase "Generador":

```

1.     void Start () {
2.         generar ();
3.     }
4.
5.     void generar(){
6.         GameObject objetocreado = objetos [Random.Range (0, objetos.Length)];
7.         Instantiate (objetocreado, objetocreado.transform.position,objetocreado.transform.r
otation);
8.         Invoke ("generar", Random.Range (tmin, tmax));
9.     }
10.

```

Se modifica el script "Movimiento" para que visualice como se muestra en la Figura 113 el turno del movimiento de la mano, el número de veces que se han cerrado y abierto, así como el número de obstáculos superados y el tiempo máximo como datos de la ejecución de la actividad proyectadas en texto Canvas.



**Figura 113.** Interfaz 2D de la primera actividad.

Por último, se crea un asistente según los requerimientos de movimientos en de la actividad, de esta forma, se conduce al paciente por una serie de instrucciones y breves

sesiones de práctica para que este pueda familiarizarse con el control de movimiento y realizar correctamente el ejercicio.

Métodos públicos de la clase "Asistente":

```

1.  void Start () {
2.      SI.SetActive(false);
3.      cursor.SetActive(true);
4.      time.SetActive(false);
5.      contadores.SetActive(false);
6.      heroe.SetActive(false);
7.      generador.SetActive(false);
8.      mano.GetComponent<Leap.Unity.ExtendedFingerDetector>().enabled=false;
9.      mano2.GetComponent<Leap.Unity.ExtendedFingerDetector>().enabled = false;
10.     iz = cerrar.saltoiz;
11.     der = cerrar.saltode;
12.     grados = angulo.RollDegrees;
13.     grados2 = angulo.RollDegrees2;
14.     tiempo = 5;
15.     posicion = 0;
16.     asistenteactivo = objetos[posicion];
17.     objetos[posicion].SetActive(true);
18. }
19.
20. void Update () {
21.
22.     grados = angulo.RollDegrees;
23.     grados2 = angulo.RollDegrees2;
24.     iz = cerrar.saltoiz;
25.     der = cerrar.saltode;
26.
27.     if (posicion == 0){
28.         cursor.SetActive(false);
29.         cuentaregresiva(3);
30.     }
31.
32.     if (posicion == 1){
33.         if (mano.activeInHierarchy == true && mano2.activeInHierarchy)
34.         {
35.             cuentaregresiva(2);
36.         }
37.     }
38.
39.     if (posicion == 2) {
40.     if (((-45<grados)&& (grados <45))&& ((-45<grados2)&& (grados2 <45)))
41.     {
42.         cuentaregresiva(3);
43.     }
44.     }
45.
46.     if (posicion == 3){
47.         heroe.SetActive(true);
48.         mano.GetComponent<Leap.Unity.ExtendedFingerDetector>().enabled = true;
49.         mano2.GetComponent<Leap.Unity.ExtendedFingerDetector>().enabled = false;

```

```
50.         contadores.SetActive(true);
51.         if (der){
52.             cuentaregresiva(3);
53.         }
54.     }
55.     if (posicion == 4){
56.         mano.GetComponent<Leap.Unity.ExtendedFingerDetector>().enabled = false;
57.         mano2.GetComponent<Leap.Unity.ExtendedFingerDetector>().enabled = true;
58.         if (iz) {
59.             cuentaregresiva(5);
60.         }
61.     }
62.
63.     if (posicion == 5) {
64.         mano.GetComponent<Leap.Unity.ExtendedFingerDetector>().enabled = true;
65.         mano2.GetComponent<Leap.Unity.ExtendedFingerDetector>().enabled = true;
66.         SI.SetActive(true);
67.         cursor.SetActive(true);
68.     }
69.     if (posicion == 6) {
70.         cursor.SetActive(false);
71.         SI.SetActive(false);
72.         generador.SetActive(true);
73.         time.SetActive(true);
74.         cuentaregresiva(3);
75.     }
76.     if (posicion == 7) {
77.         objetos[7].SetActive(false);
78.     }
79. }
80. public void cuentaregresiva(int valor) {
81.
82.     tiempo -= Time.deltaTime;
83.     double time = System.Math.Round(tiempo, 0);
84.     if (time <= 0) {
85.         posicion = posicion + 1;
86.         tiempo = tiempo - tiempo + valor;
87.         objetos[posicion].SetActive(true);
88.         objetos[posicion - 1].SetActive(false);
89.     } }
90. public void pisicion() {
91.     posicion = posicion + 1;
92.     asistenteactivo = objetos[posicion];
93.     objetos[posicion].SetActive(true);
94.     objetos[posicion - 1].SetActive(false);
95. }
96.
97. public void Actividad1() {
98.     SceneManager.LoadScene("Act1");
99.
100.
101. public void Portada() {
102.     SceneManager.LoadScene("Portada");
103. }
```



El objetivo de la actividad consiste en superar el máximo número de obstáculos utilizando el cierre y abertura alternada de las manos, contabilizando en pantalla el progreso de la realización de la actividad.

### a. Ejercicio 2 – Giro de la muñeca

Para esta segunda actividad se pretende realizar movimientos de flexo-extensión del codo y pronosupinación de antebrazo con extremidad superior extendida para lo cual se procede a crear una clase "ControlMove" que extraiga los ángulos Roll, Pitch, y Yaw de las dos manos detectadas por el sensor gestual y utilizar esta información para crear un control proporcional simple para mover un objeto en función al giro de la mano sobre su eje longitudinal.

Métodos de la clase "ControlMove":

```

1.     void Start () {
2.         controller = new Controller();
3.     }
4.
5.     float AGrados(float radians)
6.     {
7.         float degrees;
8.         degrees = radians * 180 / Mathf.PI;
9.         if (degrees < 0) {
10.             degrees = degrees + 360;
11.         }
12.         return degrees;
13.     }
14.
15.     void Update () {
16.
17.         double ang = System.Math.Round(RollDegrees, 0);
18.         angulo.text = ang.ToString();
19.         Frame frame = controller.Frame();
20.         List<Hand> hands = frame.Hands;
21.         if (frame.Hands.Count > 0) {
22.             firsthand = hands[0];
23.         }
24.
25.         HandPalm_Pitch = firsthand.Direction.Pitch;
26.         HandPalm_Yam = firsthand.Direction.Roll;
27.         HandPalm_Roll = firsthand.PalmNormal.Yaw;
28.
29.         PitchDegrees = AGrados(HandPalm_Pitch);
30.         YamDegrees = AGrados(HandPalm_Yam);

```

```

31.         RollDegrees = AGrados(HandPalm_Roll);
32.
33.         float e = RollDegrees - 180;
34.
35.         if (RollDegrees > 190) {
36.             canasta.transform.Translate(new Vector3( 0.08f *e* Time.deltaTime,0,0));
37.         } else if (RollDegrees < 170) {
38.             canasta.transform.Translate(new Vector3( 0.08f *e* Time.deltaTime,0,0));
39.         }
40.     }
41. }

```

A continuación, se importa el modelo de un cofre descargado gratuitamente desde el Unity Asset Store, y se le vincula al control proporcional del giro del ángulo Roll de la mano para moverlo a lo largo de su eje de las abscisas conforme al giro de la muñeca, se imprime en pantalla el ángulo detectado por el sensor. Se crean varias esferas y se les agrega el script "Gravedad" que permite modificar la velocidad inicial de un objeto a 0 unit / seg y una aceleración de -1 unit / seg para que caiga lentamente antes de destruirse al tocar el suelo, se guarda como prefabricados diferentes.

Métodos de la clase publica "Gravedad":

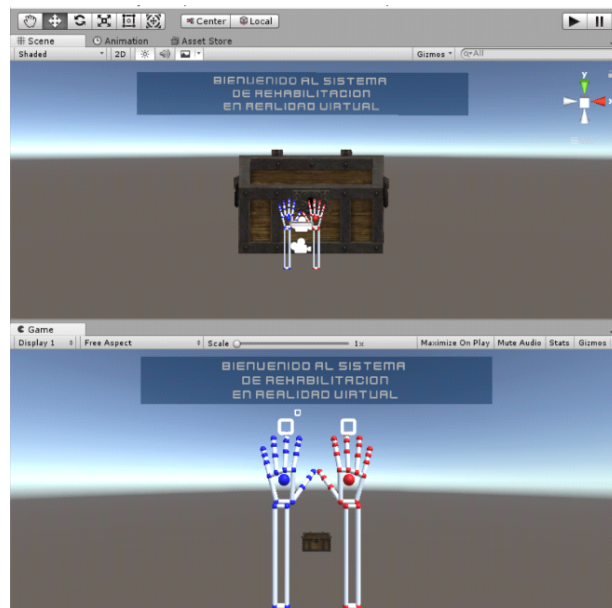
```

1.     void Start () {
2.         esfera = GetComponent<Rigidbody>();
3.     }
4.
5.     void Update () {
6.
7.         verticaVel -= gravity * Time.deltaTime;
8.         Vector3 movimiento = new Vector3(0, verticaVel, 0);
9.         esfera.velocity = movimiento;
10.    }
11.

```

Seguido de esto se utiliza el script "Generador" escrito en la actividad anterior, para generar de forma aleatoria los prefabricados de las esferas guardadas en alguna posición del array, tanto en posición del eje absiso como en un rango de tiempo delimitado. Por último, se implementa un script "Asistente2" como un segundo asistente de desarrollo de actividades y testing que además de guiar al usuario, le permite familiarizarse con el

desarrollo del ejercicio hasta sentirse seguro de realizarlo, se integra también la selección de botones utilizando el movimiento del cursor con las gafas de realidad virtual desarrollado en el menú interactivo, la figura 114 muestra el desarrollo previo de la actividad.



**Figura 114.** Actividad de giro de muñeca

El ejercicio consiste en atrapar el máximo número de esferas dentro del cofre con el giro de la muñeca sobre su eje longitudinal en un tiempo límite de treinta segundos, se toman datos de la ejecución.

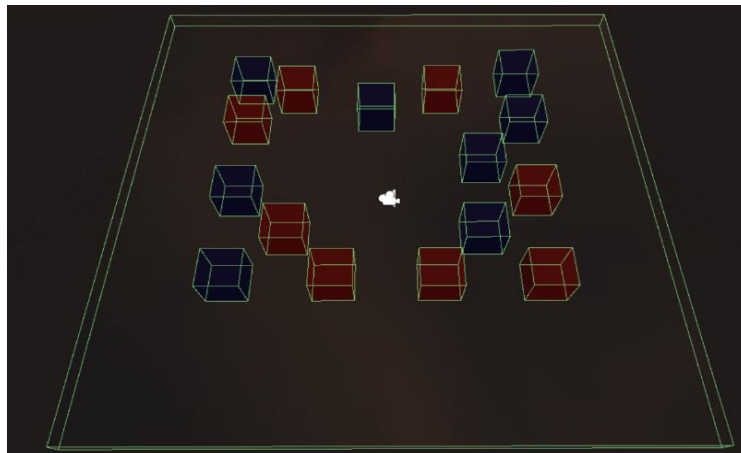
### **3.7.2 Movimiento integral de extremidad superior**

En el desarrollo integral de la extremidad se toma movimientos de flexión, extensión y pronosupinación de brazos, los mismos que se encuentran detallados en el capítulo dos.

#### **a. Ejercicio 1 – Movimientos integrales del brazo**

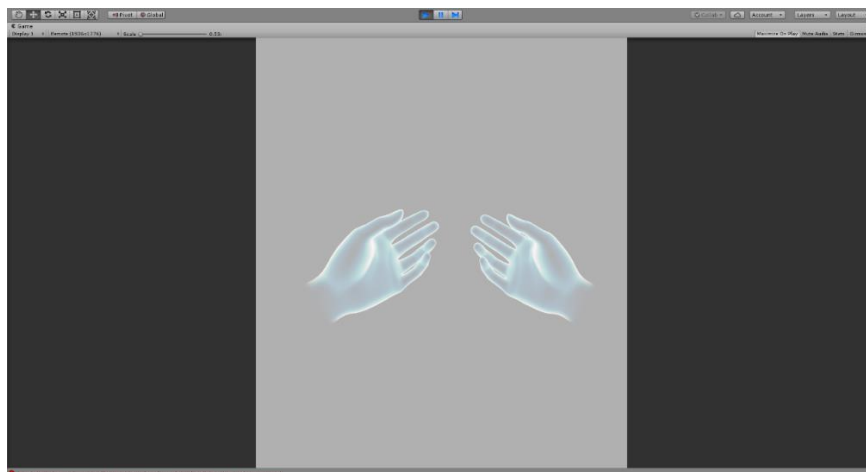
Esta actividad plantea la posibilidad de realizar de forma conjunta algunos movimientos como abducción, flexión, extensión movimiento rotacional y agarre,

tomando en cuenta que la realización de esta actividad involucra el trabajo integral de todo el miembro superior. Se importa la cámara para realidad virtual a la escena y se crea un cubo que será la base de la actividad y dieciséis cubos desorganizados separados en dos grupos como se observa en la Figura 115.



**Figura 115.** Cubos para actividad integral de brazos

Se agrega en escena un prefabricado de reconocimiento espacial de los controles inalámbricos incluidos en los SDK de desarrollo de Unity3D para Oculus Rift para visualizar las manos en el entorno virtual como se muestra en la Figura 116.



**Figura 116.** Modelo de manos en el control touch de Unity

Se implementa una clase publica "VrgGrabbable" a todos los cubos de la escena para acceder a su componente Rigidbody y a las propiedades físicas tales como posición, rotación y escala a través de métodos públicos de la clase.

Métodos públicos de la clase "VrgGrabbable":

```

1.     void Awake(){
2.         rigidbody_ = GetComponent<Rigidbody>();
3.     }
4.
5.     void Update() {
6.         grabClickCooldown_ -= Time.deltaTime;
7.         if (isGrabbed){
8.             onGrabMoved.Invoke();
9.         }
10.    }
11.
12.    public int OnGrabbed(VrgGrabberScale grabber){
13.        grabbers_.Add(grabber);
14.        velocity = Vector3.zero;
15.        angularVelocity = Vector3.zero;
16.        onGrabbed.Invoke();
17.        return grabId_++;
18.    }
19.
20.    public void OnReleased(VrgGrabberScale grabber) {
21.        onReleased.Invoke();
22.        grabbers_.Remove(grabber);
23.    }
24.
25.    public void OnGrabClicked(VrgGrabberScale grabber)      {
26.        if (grabClickCooldown_ > 0f) return;
27.        onGrabClicked.Invoke();
28.        grabClickCooldown_ = 0.1f;
29.    }

```

Se implementa la clase "VrgGrabber" que utiliza la información obtenida en los métodos del script anterior para sujetar el cubo (efecto grabbing) mientras el paciente introduce la mano dentro de este y presiona los botones "Axis1D.PrimaryHandTrigger" y "Axis1D.SecondaryHandTrigger" en los controles.

Métodos públicos de la clase "VrgGrabber":

```

1. void FixedUpdateGrabbingObject(){
2.     if (Device.GetClick(side)){
3.         grabInfo_.grabbable.OnGrabClicked(this);
4.     }
5.     if (grabInfo_.grabbable.isMultiGrabbed){
6.         FixedUpdateGrabbingObjectByDualHand();
7.     }
8.     else{
9.         FixedUpdateGrabbingObjectBySingleHand();
10.    }
11. }
12.
13. void FixedUpdateGrabbingObjectBySingleHand(){
14.     var grabbable = grabInfo_.grabbable;
15.     var stickY = Device.GetCoord(side).y;
16.     var stickMove = stickY * stickMoveSpeed;
17.     var stickMoveFilter = stickY > Mathf.Epsilon ? 0.1f : 0.3f;
18.     grabInfo_.stickMove += (stickMove - grabInfo_.stickMove)*stickMoveFilter;
19.     grabInfo_.distance = Mathf.Clamp(grabInfo_.distance + grabInfo_.stickMove, 0f, maxGrabDistance);
20.     var mat = grabInfo_.gripToGrabbableMat;
21.     var pos = mat.GetPosition();
22.     var rot = mat.GetRotation();
23.
24.     FixedUpdateGrabbingObjectTransform(pos,rot,grabbable.transform.localScale);
25. }
26.
27. void FixedUpdateGrabbingObjectTransform(Vector3 pos, Quaternion rot, Vector3 scale)
28. {
29.     var grabbable = grabInfo_.grabbable;
30.     var a = (Mathf.Clamp(grabInfo_.distance, minGrabSmoothDist, maxGrabSmoothDist) - minGrabSmoothDist) / (maxGrabSmoothDist - minGrabSmoothDist);
31.     var targetFilter = 1f - (1f - minGrabSmoothFilter) * a;
32.     var filter = grabInfo_.smoothFilter + (targetFilter - grabInfo_.smoothFilter) * 0.1f;
33.     grabInfo_.smoothFilter = filter;
34.     pos = Vector3.Lerp(grabbable.position, pos, filter);
35.     scale = Vector3.Lerp(grabbable.transform.localScale, scale, filter);
36.     var v = (pos - grabbable.position) / Time.fixedDeltaTime;
37.
38.     grabInfo_.velocity.Add(v);
39.     grabbable.scale = scale;
40.     grabbable.position = pos;
41.     grabbable.rigidbody.constraints = RigidbodyConstraints.FreezeAll;
42. }

```

A continuación, se implementa un script "Cube" a cada uno de los cubos en la escena para que identifique y contabilice si los objetos son apilados en orden según el número o letra.

Métodos públicos de la clase de la clase "Cube":

```

1. public void OnCollisionEnter(Collision cubo)
2.     {
3.         if (cont.auxiliar[0])
4.         {
5.             if (cubo.gameObject.tag == "cubeB")
6.             {
7.                 cont.contadorrojo += 1;
8.                 cont.auxiliar2[0] = true;
9.                 cont.auxiliar[0] = false;
10.            }
11.        }
12.    }
13.
14. public void OnCollisionExit(Collision cubo)
15.     {
16.         if (cont.auxiliar2[0])
17.         {
18.             if (cubo.gameObject.tag == "cubeB")
19.             {
20.                 cont.contadorrojo -= 1;
21.                 cont.auxiliar2[0] = false;
22.            }
23.        }
24.    }

```

Para la correcta realización de la actividad se agrega un asistente basado en las actividades anteriores que conduce al paciente a través de una breve explicación sobre la mecánica de funcionamiento de los controles y el ejercicio para su correcta ejecución. Por último, implementa una clase “Colo” que extrae el material de cada uno de los cubos y le asigna un color RGB aleatorio cada tres segundos, esto con la intención de generar un mayor impacto visual durante el proceso de realización.

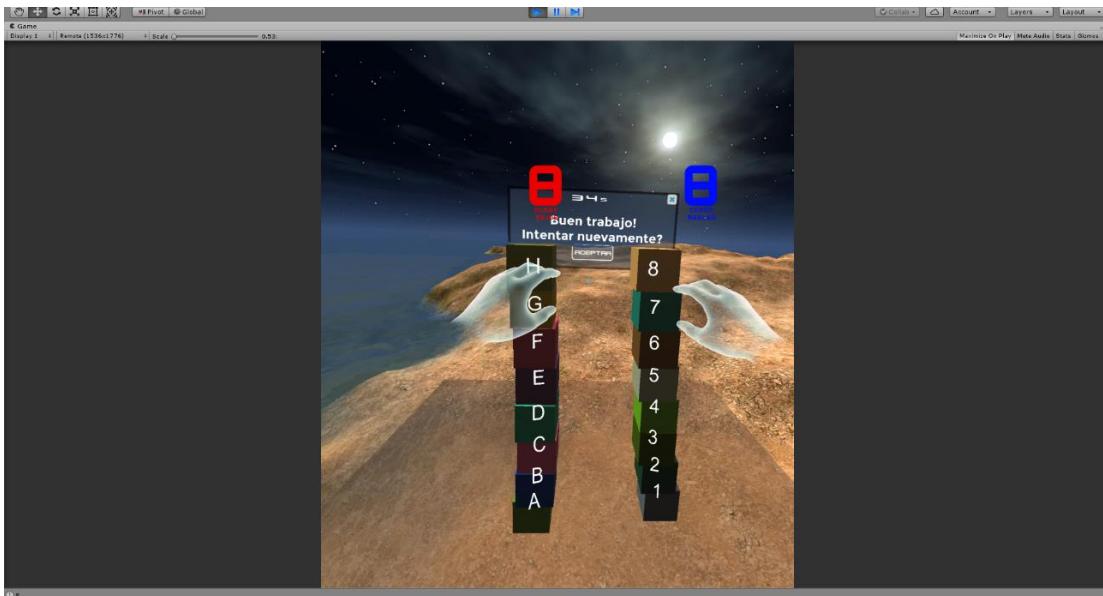
Método de la clase “Colo”:

```

1. void Update()
2.     {
3.         if (timeLeft <= Time.deltaTime)
4.         {
5.             GetComponent<Renderer>().material.color = targetColor;
6.             targetColor = new Color(Random.value, Random.value, Random.value);
7.             timeLeft = 3f;
8.         }
9.         else
10.        {
11.            GetComponent<Renderer>().material.color = Color.Lerp(GetComponent<Renderer>().material.color, targetColor, Time.deltaTime / timeLeft);
12.            timeLeft -= Time.deltaTime;
13.        }

```

La actividad consiste en sujetar los cubos alrededor del paciente con las manos, ocho para cada una, y colocarlos uno encima de otro según corresponda el orden, favoreciendo así al movimiento integral de toda la extremidad en todos los rangos de movimientos posibles. Esta actividad tiene como tiempo máximo de ejecución dos minutos, y se da por finalizada cuando el paciente complete de apilar todos los cubos o se termine la cuenta regresiva, la figura 117 muestra la actividad realizada en su totalidad.

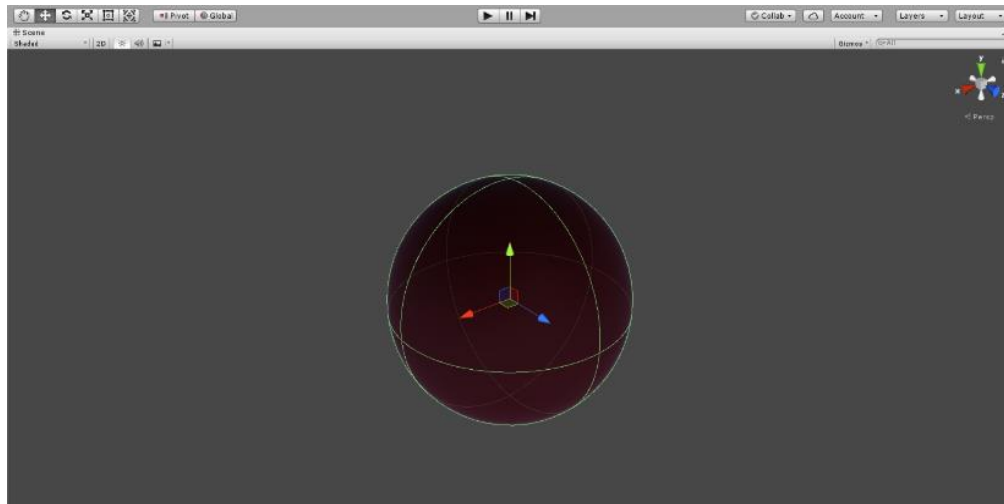


**Figura 117.** Actividad integral para el movimiento de brazos

### **b. Ejercicio 2 – Flexo extensión de brazos**

Esta actividad tiene como objetivo lograr que el paciente realice un movimiento de flexo-extensión de sus brazos en su máximo rango posible y lograr medir cual ha sido la medida entre brazos del paciente al realizar este ejercicio. En una nueva escena se importa nuevamente el prefabricado "OVRCameraRig" para configurar la cámara en realidad virtual, luego se crea un objeto Sphere para ser utilizado posteriormente como se muestra en la Figura 118.

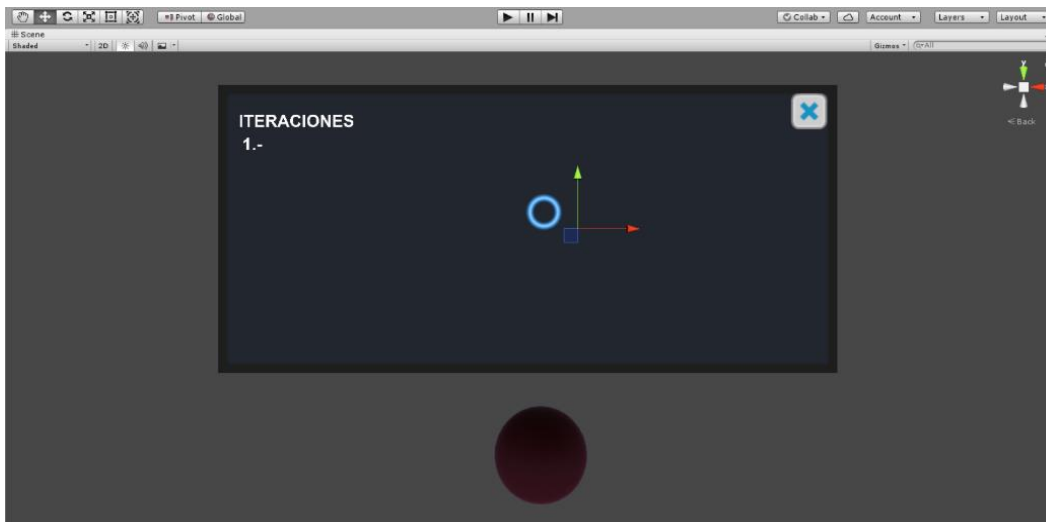




**Figura 118.** Esfera para realizar la actividad

Se agrega el script "VrgGrabbableScale" a la esfera para convertirlo en un objeto interactivo, es decir, se pueda acceder a su componente Rigidbody y sus propiedades físicas como posición, rotación, escala. Seguido de esto se crea una clase "Ingresamanos" que detecte cuando las manos ingresan dentro de la esfera y se presiona los botones "Axis1D.PrimaryHandTrigger" y "Axis1D.SecondaryHandTrigger" de los controles touch.

Cuando esto ocurre llama a funcionamiento la clase "VrgGrabberScale" que calcula la posición de una mano relativa de la otra y extrae la magnitud de este vector para conocer la distancia entre ellas. Mientras el paciente abre sus brazos este valor se actualiza hasta que se deja de presionar el botón para almacenarlos en un vector y recibir una fuerza que lo impulsa en proporción a la distancia entre los controles, la Figura 119 muestra la implementación previa de la actividad.



**Figura 119.** Implementación previa de la actividad para brazos

Método de la clase "Ingresamanos":

```

1.     void OnTriggerEnter(Collider other)    {
2.         if (other.gameObject.tag == "derecha") {
3.             aux = true;
4.             print("der");
5.         }
6.         else if (other.gameObject.tag == "izquierda") {
7.             print("iz");
8.             aux2 = true;
9.         }
10.    }
11.
12.    void OnTriggerExit(Collider other)    {
13.        if (other.gameObject.tag == "derecha") {
14.            aux = false;
15.            print("der");
16.        }
17.        else if (other.gameObject.tag == "izquierda")    {
18.            print("iz");
19.            aux2 = false;
20.        }
21.    }

```

Método de la clase " VrgGrabberScale":

```

1.     void Release() {
2.         distan = 0;
3.         if (!isGrabbing) return;
4.         var grabbable = grabInfo_.grabbable;
5.         Assert.IsTrue(grabbable.isGrabbed);
6.         grabbable.velocity = grabInfo_.velocity.average;

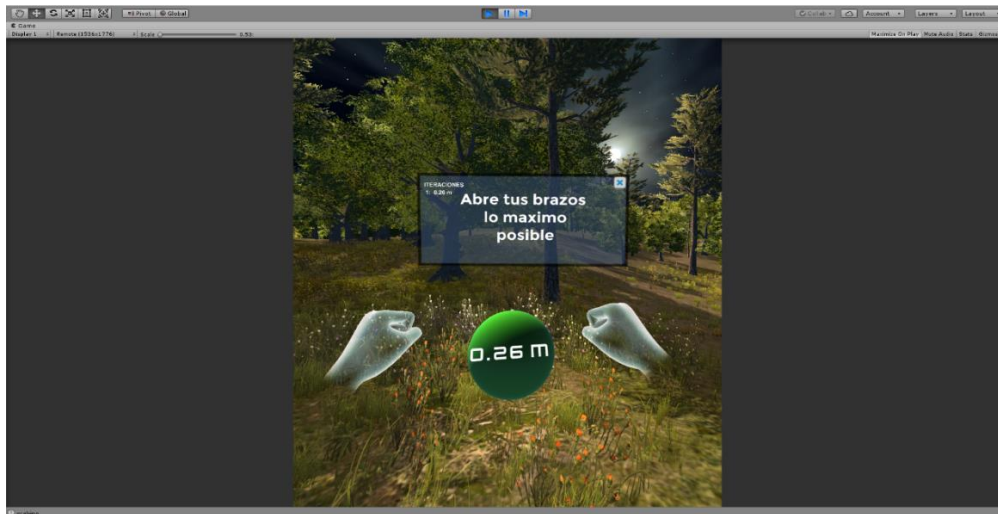
```

```

7.     grabbable.scale = new Vector3(0.1f, 0.1f, 0.1f);
8.     grabbable.OnReleased(this);
9.     if (!grabbable.isGrabbed) {
10.        grabbable.rigidbody.isKinematic = grabInfo_.isKinematic;
11.    }
12.    grabInfo_ = new GrabInfo();
13. }
14.
15. void FixedUpdateGrabbingObjectByDualHand() {
16.
17.     if (!isPrimary) return;
18.     var secondary = opposite;
19.     Assert.IsNotNull(secondary);
20.     var primaryGripPos = gripTransform.position;
21.     var primaryGripRot = gripTransform.rotation;
22.     var secondaryGripPos = secondary.gripTransform.position;
23.     var secondaryGripRot = secondary.gripTransform.rotation;
24.     var primaryMat = grabInfo_.gripToGrabbableMat;
25.     var secondaryMat = secondary.grabInfo_.gripToGrabbableMat;
26.     var primaryPos = primaryMat.GetPosition();
27.     var secondaryPos = secondaryMat.GetPosition();
28.     var center = (primaryPos + secondaryPos) / 2;
29.     var dCenter = center - dualGrabInfo_.center;
30.     var pos = dualGrabInfo_.pos + dCenter;
31.     var primaryToSecondary = primaryGripPos - secondaryGripPos;
32.     var currentDir = primaryToSecondary.normalized;
33.     var initDir = dualGrabInfo_.primaryToSecondary.normalized;
34.     var dRot = Quaternion.FromToRotation(initDir, currentDir);
35.     var rot = dRot * dualGrabInfo_.rot;
36.     var scale = dualGrabInfo_.scale;
37.
38.     if (grabInfo_.grabbable.isScalable)
39.         var currentDistance = primaryToSecondary.magnitude;
40.         var initDistance = dualGrabInfo_.primaryToSecondary.magnitude;
41.         distan = currentDistance;
42.     }
43.     else
44.         distan = 0;
45.     grabInfo_.smoothFilter = 0f;
46. }

```

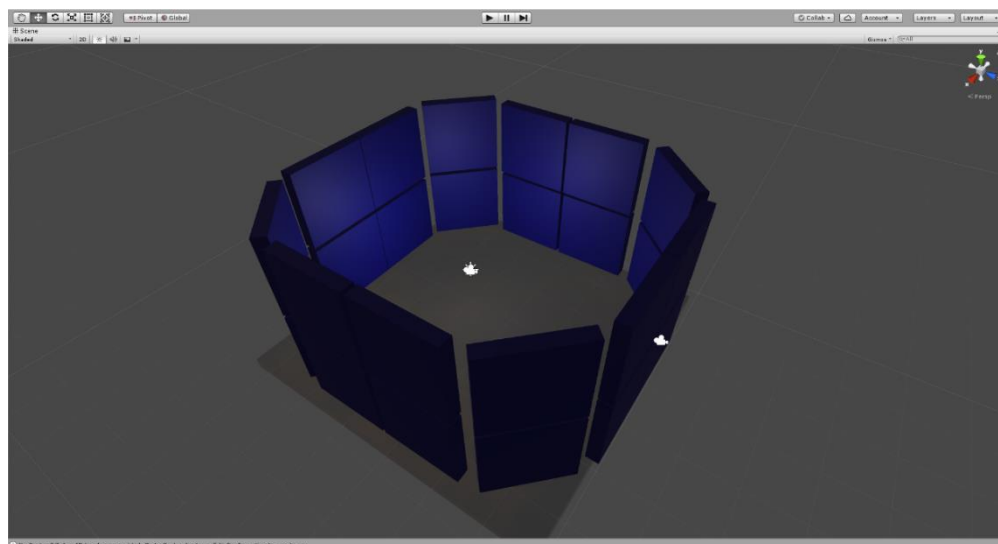
Finalmente se implementa un asistente basado en los ejercicios anteriores que extrae de la clase "VrgGrabberScale" los valores de la distancia entre las manos abiertas y las almacena en un vector, además de dirigir al paciente a través de la actividad y que este lo realice correctamente con se muestra en la Figura 120.



**Figura 120.** Implementación final de la actividad para brazos

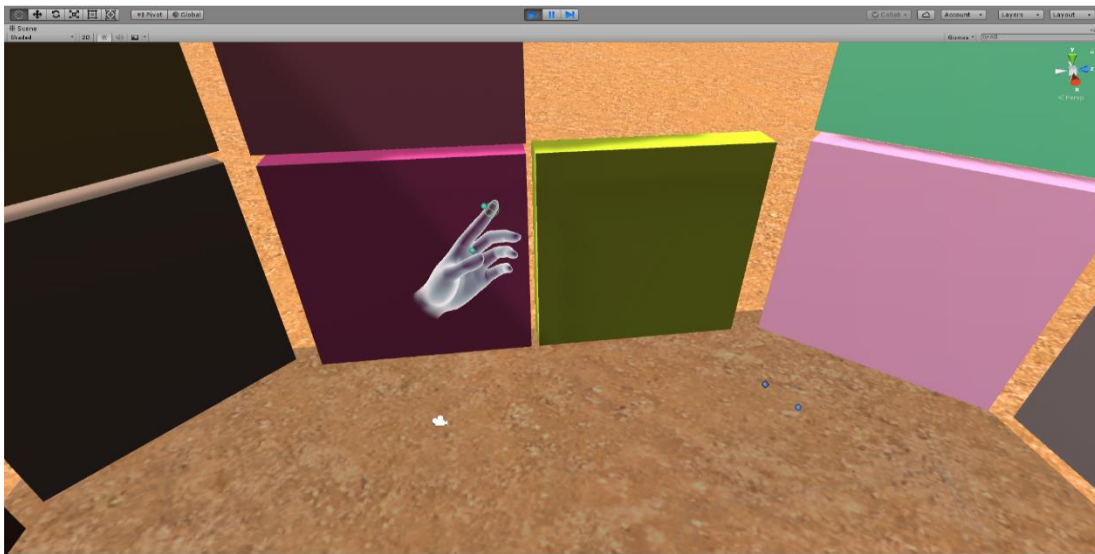
### c. Ejercicio 3 – Movimientos integrales del brazo II

Al igual que el primer ejercicio para brazos, esta actividad busca incentivar el uso de toda la extremidad superior para realizar movimientos de abducción, flexión, extensión, movimiento rotacional y agarre durante el desarrollo del ejercicio.



**Figura 121.** Creación de paredes para la aplicación

Nuevamente se prepara la escena para las gafas de realidad virtual con el prefabricado `OVRCameraRig` para configurar la cámara de la escena, seguido de esto, se agrega en escena el prefabricado `LocalAvatar` de reconocimiento espacial de los controles touch de Oculus Rift para visualizar las manos en el entorno virtual mostrado en la Figura 122.



**Figura 122.** Integración de manos dentro de las paredes

En el extremo del reconcomiendo del control touch se agrega un objeto vacío con un componente `Capsule Collider` el cual detecta si algún otro objeto entra en colisión con él, esto lo realiza las instrucciones del script "Colision".

Métodos de la clase "Colision":

```

30.     void Awake(){
31.         rigidbody_ = GetComponent<Rigidbody>();
32.     }
33.
34.     void Update() {
35.         grabClickCooldown_ -= Time.deltaTime;
36.         if (isGrabbed){
37.             onGrabMoved.Invoke();
38.         }
39.     }
40.     public void OnGrabClicked(VrgGrabberScale grabber)

```

Métodos de la clase "Colision":

```

41.     void Awake(){
42.         rigidbody_ = GetComponent<Rigidbody>();
43.     }
44.
45.     void Update() {
46.         grabClickCooldown_ -= Time.deltaTime;
47.         if (isGrabbed){
48.             onGrabMoved.Invoke();
49.         }
50.     }
51.
52.
53.     public void OnGrabClicked(VrgGrabberScale grabber)

```

Finalmente se implementa una clase “Colo” que cambia de forma aleatoria color RGB del material de las paredes cada tres segundo y se incluye un asistente basado en las actividades anteriores que instruya al paciente a la realización de la actividad, se guarda en una variable el tiempo de ejecución.

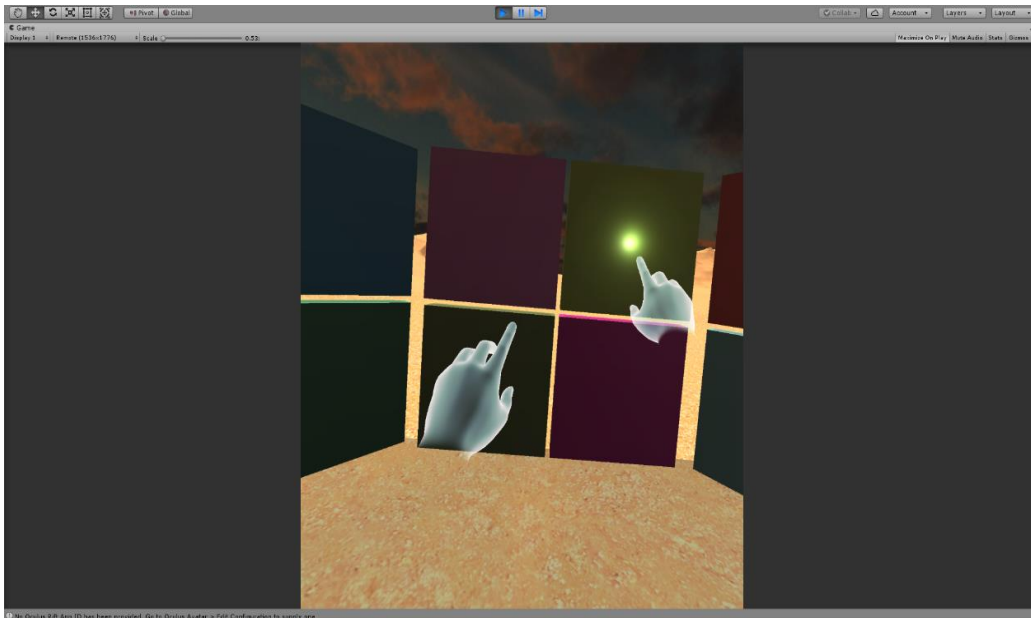
Método de la clase “Colo”:

```

14. void Update()
15.     {
16.         if (timeLeft <= Time.deltaTime)
17.             {
18.                 GetComponent<Renderer>().material.color = targetColor;
19.                 targetColor = new Color(Random.value, Random.value, Random.value);
20.                 timeLeft = 3f;
21.             }
22.         else
23.             {
24.                 GetComponent<Renderer>().material.color = Color.Lerp(GetComponent<Renderer>().material.color, targetColor, Time.deltaTime / timeLeft);
25.                 timeLeft -= Time.deltaTime;
26.             }
27.     }

```

La actividad consiste en destruir las paredes alrededor del paciente como se visualiza en Figura 123 realizando un conjunto de movimientos combinados de los brazos con el fin de descubrir el ambiente el cual le rodea.



**Figura 123.** Realización de actividad integral para brazos

### 3.8 Implementación total del sistema ostensible en realidad virtual

En esta etapa final se integran de forma conjunta todas las fases de desarrollo del sistema las cuales se han venido realizando cada una de forma aislada. En primera instancia es necesario realizar la integración del modelo 3D de las manos con el reconocimiento gestual de la Leap Motion, para ellos se implementa el script "CopiarMov" que extrae del componente Transform el vector posición y rotación de los eslabones de brazo y muñeca para luego copiarlos sobre el nuevo modelo de las manos.

Código implementado en script "CopiarMov":

```

1. using System.Collections;
2. using System.Collections.Generic;
3. using UnityEngine;
4. public class CopiarMov : MonoBehaviour {
5.
6.     public Transform pulg1;
7.     public float velocidad = 5f;
8.
9.     void Start () {
10.    }

```

```
11.  
12.     void Update() {  
13.  
14.         transform.rotation = Quaternion.Slerp(pulg1.rotation, pulg1.rotation, velocidad * Time.deltaTime);  
15.         transform.position = pulg1.position;  
16.     }  
17. }
```

A continuación, se realiza la animación para cerrar y abrir las manos utilizando la interfaz Mecanim de Unity3D y se instancia en la ventana Animator las condiciones para efectuar la transición entre animaciones. Se compila constantemente el proyecto para comprobar el funcionamiento y corregir posibles errores, la Figura 124 presenta la integración completa entre el entorno virtual recreado, el modelado de la extremidad superior y el control gestual.



**Figura 124.** Implementación del modelado 3D de las manos

En el menú principal se integra a la selección de ambiente la posibilidad de guardar en un fichero la elección del paciente para cargar los ambientes sin perder esta información entre escenas del editor.



Métodos públicos de la clase "MenuESPE" para guardar selección de escenarios:

```
1.     public void SaveAct(int seleccion) {  
2.         PlayerPrefs.SetInt("terrenoAct", seleccion);  
3.     }  
4.     public static int GetAct()  
5.     {  
6.         return PlayerPrefs.GetInt("terrenoAct", 0);  
7.     }
```

Por último, se crean los efectos de sonido para toda la estructura del sistema, comenzando por el menú, botones, instrucciones de forma audible en los asistentes, luz, sombras y optimización grafica en cada uno de escenas de las actividades, además, se integra el diseño del avatar con una animación que saluda al paciente al ingresar a la portada de inicio.

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

En esta etapa de la investigación se pone a prueba el correcto funcionamiento del sistema de rehabilitación para miembro superior en realidad virtual, además se comprueba que cumpla con todos los requisitos establecidos en el diseño, así como la aceptación por parte del paciente que tiene la afección. Para ello se pone en consideración que la evaluación se va a realizar con personas externas e internas al proyecto. Las personas consideradas para la evaluación externa son los pacientes que padecen un ACV y alguna afección a su miembro superior considerando que su nivel de afección les permita realizar los ejercicios al contar con cierta movilidad en sus extremidades superiores. Para la evaluación interna que conlleva la funcionalidad del sistema virtual será valorada por parte del tutor quien realizará la validación de los requisitos que prueban que el sistema funciona correctamente.

Antes bien, se toma en cuenta que la actividad del programa de rehabilitación en realidad virtual dispone de escalas de medidas de resultados que no son específicas al ictus y que además no recogen aspectos concretos propios de la enfermedad, sin embargo, podemos establecer la relación entre el déficit motor y su repercusión funcional al simular movimientos necesarios en actividades de la vida diaria.

#### **4.1 Validación de los requisitos de funcionamiento**

La validación del sistema permite comprobar si el sistema cumple con los requerimientos establecidos y ejecuta las funciones necesarias para dicha verificación. La evaluación que se realiza a continuación está enfocada al logro de resultados, otorgar

un cumplimiento a los requisitos de las partes interesadas, y en el enfoque basado en procesos.

Para realizar la evaluación interna se va asignar puntajes del 1 al 4, a cada criterio de acuerdo con la siguiente escala

- No aceptable – 1
- Aceptable – 2
- Bueno - 3
- Excelente - 4

**Tabla 21**  
*Calificación de funcionalidad del Sistema Virtual*

Funcionalidad del entorno virtual	Calificación			
	1	2	3	4
Inmersión al mundo virtual				✓
Menú interactivo			✓	
Estética del ambiente				✓
Instrucciones sobre ejecución de Ejercicios				✓
Visualización de las extremidades superiores en el mundo virtual				✓
Monitoreo de ejecución de ejercicios				✓
Adaptabilidad a cambios futuros			✓	
Flexibilidad (Permite interactuar de manera adecuada de acuerdo a las necesidades del usuario)				✓

Se recomienda que el menú del sistema interactivo posea instrucciones de voz para que el paciente pueda seguir las ordenes de manera fácil y rápida si tener que dar lectura a las indicaciones para ejecutar la actividad.

## 4.2 Valoración Médica

Para la aceptación del programa de rehabilitación del miembro superior por parte de los profesionales fisioterapeutas se emplea el uso de entrevistas para verificar que los ejercicios para la extremidad se ajusten a los movimientos requeridos en actividades de la vida diaria y contribuya a la reeducación propioceptiva.

Para esta validación, en colaboración con la Lcda. Paulina Zumbona, fisioterapeuta del hospital IESS Latacunga se determina los movimientos que se requieren durante las rehabilitaciones del miembro superior, además, en colaboración del Msc. Carlos Cardos, fisioterapeuta de la Clínica de Especialidades Santa Fe y funcionario del centro de tratamiento kinesiólogo y osteópata Pro Tsunki, y la Lic. Cristina Macías, Fisioterapeuta del hospital del IESS Sucúa, quienes también han sido participes de esta investigación como muestra la Figura 125, orientando el desarrollo de los ejercicios y la validación cualitativa del sistema de rehabilitación virtual en base a las preguntas realizadas que se encuentran plasmadas en el Anexo D, en el cual las respuestas reflejan una aceptación favorable acerca del tipo de movimientos y la interacción que el sistema puede brindar al paciente.



**Figura 125.** Fisioterapeutas probando el sistema de realidad virtual

### 4.3 Evaluación con pacientes

Antes de dar inicio al programa de rehabilitación resulta indispensable seleccionar un grupo de pacientes dispuestos a colaborar como agentes de prueba en esta investigación. La Tabla 22 detalla los criterios necesarios para que el paciente pueda ser apto para dicha investigación.

**Tabla 22**

*Validación de criterios de inclusión y exclusión*

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Consentimiento para participar en la investigación	Problemas cognitivos graves
Mayor 40 años	Trastornos de la comunicación
Afección de ictus isquémico y/o déficit de movimiento en extremidad superior	Afección de ictus hemorrágico
Independiente	Discapacidad previa
Tratamiento ambulatorio	Padecer de enfermedad catastrófica

A todos los pacientes que cumplen con la validación de inclusión se les valoró de manera ambulatoria en sus domicilios cada 6 semanas.

En la Tabla 23 detalla datos generales de los tres pacientes que hacen parte de la investigación y valoración de su progreso en los movimientos de la extremidad superior.

**Tabla 23**

*Pacientes seleccionados*

Nombre	Edad	CI:	Lugar de residencia
Martha Ortiz	60	050096819-3	San Juan de Pastocalle
Rosa Benavidez	59	171144830-6	Riobamba
María Catota	45	171199089-3	Toacazo

Después de seleccionar los pacientes lo que se procede es realizar un análisis de avances durante las sesiones, el seguimiento del progreso de los pacientes se lo elabora en una tabla donde se va registrando datos que permitirán un análisis profundo de la valoración de su rehabilitación.

Las tablas donde se registran los avances del paciente durante, los tres meses de prueba está constituida por tres sesiones y en cada sesión se ejecuta las actividades cinco veces, tomando un receso de treinta segundos entre cada repetición de la actividad. Los datos que se vayan llenando en la tabla depende del tipo de actividad que se ejecute y de la variable que se guarda en el registro, para monitorear los progresos del paciente durante la ejecución. Para facilitar el análisis se elabora un diagrama de barras con los promedios obtenidos durante las cinco repeticiones en cada sesión.

Para el análisis lo que se procederá es elaborar un diagrama de barras con los promedios obtenidos durante las cinco repeticiones durante las tres sesiones para facilitar de esa manera el análisis de los avances durante los tres meses.

Para no escribir el nombre del paciente en cada descripción de la tabla de las diferentes actividades lo que se procederá es identifícalos de la siguiente manera.

**Paciente1:** Sra. Martha Ortiz

La Figura 125 se muestra dos fotografías de la Sr. Martha Ortiz usando las gafas de realidad virtual para la ejecución de las actividades de rehabilitación. Cabe destacar que la paciente tiene una motricidad menor en el giro de la muñeca y en la flexo-extensión de los dedos de la mano.



**Figura 126.** Fotografía del paciente 1

**Paciente 2:** Sra. Rosa Benavidez

La Figura 126 muestra dos fotografías de la Sr. Rosa Benavidez usando las gafas de realidad virtual para la ejecución de las actividades de rehabilitación. Al igual que la paciente uno presenta una disminución considerable de la motricidad en el giro de la muñeca.



**Figura 127.** Fotografía del paciente 2

**Paciente 3:** Sra. María Catota

La Figura 128 se muestra dos fotografías de la Sr. María Catota usando las gafas de realidad virtual para la ejecución de las actividades de rehabilitación. La paciente tres su

motricidad es más fluida que la paciente uno y dos, cabe destacar que la señora no presenta ictus, pero si una pequeña dificultad en la motricidad en sus brazos por un accidente laboral.



**Figura 128.** Fotografía del paciente 3

De acuerdo a esto se procede a realizar el monitoreo de las actividades en cada paciente para ello se ordena de acuerdo a la ejecución de los ejercicios y no por pacientes.

#### **4.3.1 Flexo extensión de dedos**

En este ejercicio lo que tiene como objetivo es superar el máximo número de obstáculos con el cierre y la abertura de la mano que se ejecutará de manera alternada, si el paciente no logra superar el obstáculo la actividad reinicia nuevamente con el asistente, y el paciente tendrá que ejecutar desde cero la actividad, contando este suceso como una repetición. Cuando el paciente siente incomodidad en la actividad se le sugiere pasar a la siguiente, hasta que se sienta preparado para ejecutar de nuevo el ejercicio no superado. El dato que predomina y hay que tomar en cuenta para el análisis es el tiempo que ejecuta la actividad, mientras el tiempo de ejecución sea mayor esto indica que el número de obstáculos dominados es superior.



A continuación, se realiza el monitoreo de avance para cada paciente:

### Paciente 1:

El paciente uno requiere de más tiempo de asesoría para comprender la dinámica de funcionamiento del ejercicio, además de solicitar asesoría constante de una persona para poder realizar los movimientos necesarios para llevar a cabo la ejecución de la actividad. El monitoreo que se realizó durante las tres sesiones se ve reflejado en la Tabla 24, en dicha tabla se toma datos del tiempo de ejecución de la actividad, el promedio del tiempo en cada sesión, el cierre de la mano izquierda y de la derecha y el promedio respectivo de cada cierre.

**Tabla 24**

*Flexo extensión de dedos por parte de Paciente 1*

	Repeticiones	Tiempo de ejecución (s)	Promedio de tiempo	Cierre de mano izquierda	Promedio Cierre de mano izquierda	Cierre de mano derecha	Promedio Cierre de mano derecha
<b>Sesión 1</b>	1	9	10	1	1,4	1	1,4
	2	8		1		1	
	3	10		1		2	
	4	12		2		2	
	5	11		2		1	
<b>Sesión 2</b>	1	8	10,2	1	1,4	1	1,6
	2	10		2		1	
	3	12		2		2	
	4	10		1		2	
	5	11		1		2	
<b>Sesión 3</b>	1	8	10,6	1	1,6	1	1,6
	2	10		1		2	
	3	12		2		1	
	4	11		2		2	
	5	12		2		2	

En la tabla 24 se observa el avance del paciente 1 dando como resultado que durante la sesión uno, sus tiempos están entre 9 y 12 segundos dando un promedio de 10 segundos, en la sesión dos se encuentra su tiempo entre 8 y 12 segundos dando un promedio de 10.2 segundos, y, en la sesión tres sus tiempos están reflejados entre 8 y 12 segundos dando un promedio de 10.6 segundos.

A simple deducción se puede concluir que la paciente no presenta mejoría ya que los tiempos se encuentran entre 10 y 10.6 segundos demostrando que la paciente necesita de más sesiones continuas para ir mejorando en la actividad ya que comparando la primera sesión con la última en sus promedios nos indica que hay un avance de 0.6 segundos. El avance de de 0.6 segundos parece poco, pero para la condición que presenta el paciente uno es un gran logro por lo que se recomienda ejecutar más sesiones.

## **Paciente 2**

En la paciente dos al igual que la paciente uno necesita de un tiempo considerable para la asesoría de la ejecución de la actividad, y también de la presencia de una persona para que le ayude a ejecutar los movimientos necesarios para llevar a cabo la actividad.

El monitoreo que se realizó durante las tres sesiones se ve reflejado en la Tabla 25, en dicha tabla se toman los mismos datos que se mencionan en la tabla de monitoreo de la paciente uno, donde observa que en la primera sesión el tiempo promedio es de 9.4 segundos, en la segunda sesión el promedio de tiempo de 11.8 segundos, y en la tercera sesión hay un promedio de 14.4 segundos, donde refleja que la paciente ha ido mejorando con el transcurso de las sesiones ya que a comparación de la primera sesión y

la última se tiene un tiempo de diferencia de 5 segundos demostrando un avance visible en su recuperación de la movilidad de sus dedos

**Tabla 25**

*Flexo extensión de dedos por parte de Paciente 2*

	Repeticiones	Tiempo de ejecución (s)	Promedio de tiempo	Cierre de mano izquierda	Promedio Cierre de mano izquierda	Cierre de mano derecha	Promedio Cierre de mano derecha
<b>Sesión 1</b>	1	10	9,4	2	1,6	1	2
	2	7		1			
	3	8		1			
	4	10		2			
	5	12		2			
<b>Sesión 2</b>	1	9	11,8	1	2,2	2	2,2
	2	11		2			
	3	12		3			
	4	12		2			
	5	15		3			
<b>Sesión 3</b>	1	15	14,4	2	2,4	3	3
	2	16		3			
	3	14		2			
	4	14		2			
	5	13		3			

### **Paciente 3**

La paciente tres es la más joven de las pacientes y presenta mejor motricidad a comparación de la paciente uno y dos facilitando así la asesoría previa de la ejecución de la actividad ya que no requiere de ayuda para llevar a cabo la ejecución del ejercicio. El monitoreo que se realizó durante las tres sesiones en el paciente tres se ve reflejado

en la Tabla 26, en dicha tabla se toman los mismos datos que se mencionan con anterioridad.

**Tabla 26**  
*Flexo extensión de dedos por parte de Paciente 3*

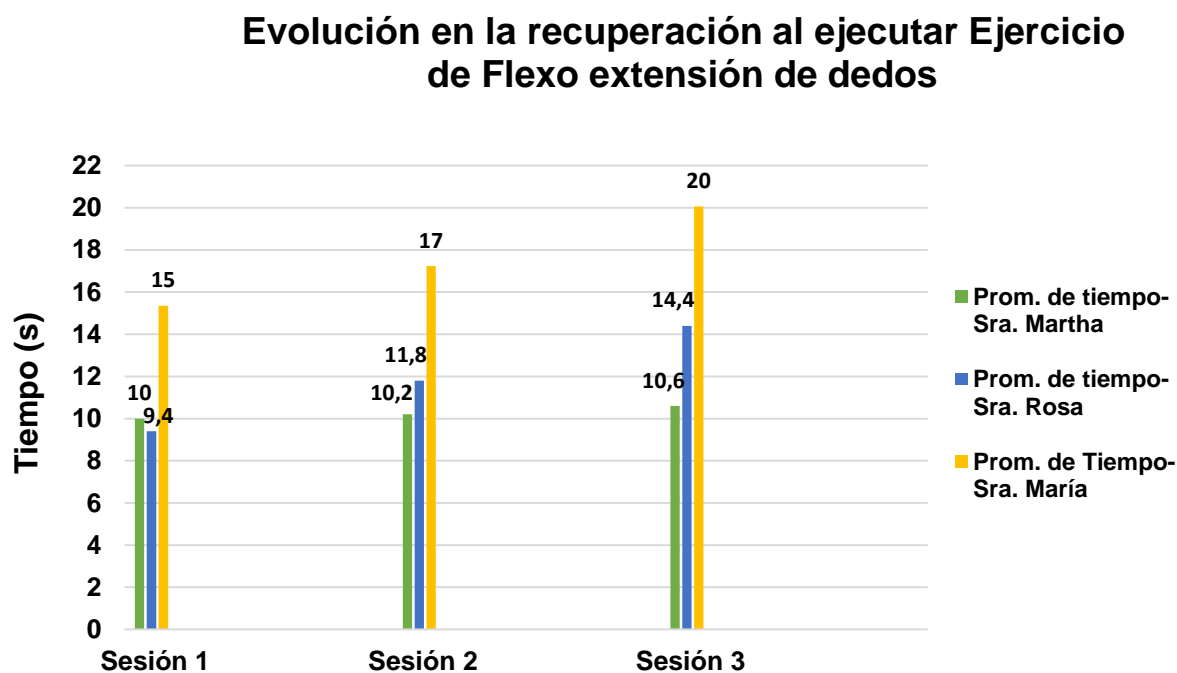
	Repeticiones	Tiempo de ejecución (s)	Promedio de tiempo	Cierre de mano izquierda	Promedio Cierre de mano izquierda	Cierre de mano derecha	Promedio Cierre de mano derecha
<b>Sesión 1</b>	1	20,51	15	4	3	3	2
	2	15,34		3		2	
	3	16,2		2		3	
	4	11,2		2		2	
	5	13,5		3		2	
<b>Sesión 2</b>	1	18,03	17	3	3	3	3
	2	17,96		3		3	
	3	15,42		2		3	
	4	16,35		3		2	
	5	18,4		3		3	
<b>Sesión 3</b>	1	20,12	20	3	3	4	3
	2	21,89		4		3	
	3	19,68		3		3	
	4	18,45		3		3	
	5	20,13		2		2	

De acuerdo a los datos reflejados en a tabla 26 se visualiza que en la sesión uno tiene un promedio de tiempo de 15 segundos, en la sesión dos se refleja un promedio de 17 segundos y en la tercera y última sesión se verifica un promedio de tiempo de 20 segundos. Se llega a concluir que la paciente tres tiene una mejoría visible ya que al

diferenciar los promedios de tiempo de la primera y última sesión da como diferencia 5 segundos.

### Análisis de comparación entre las tres pacientes

Para realizar un análisis completo se va a comparar los resultados entre las tres pacientes. Como se muestra en la Figura 129, al comparar la primera sesión se observa que el promedio más bajo de tiempo se encuentran la paciente uno y dos, demostrando que se les dificultó la ejecución del ejercicio debido a que presentan una movilidad más restringida a comparación de la paciente tres. En la sesión dos la paciente uno no muestra un cambio en el tiempo, en cambio la paciente dos y tres ha mejorado su tiempo. En la última sesión la paciente dos y tres se refleja una mejoría ya que el tiempo mejora considerablemente. Lo que se llega como conclusión es que al ejecutar más sesiones los pacientes irán mejorando su motricidad en sus dedos de la mano y muñeca.



**Figura 129.** Análisis de ejercicio de flexo extensión de dedos

### **4.3.2 Giro de muñeca**

Esta actividad tiene como objetivo recolectar la mayor cantidad de esferas en el cofre, para lograr el objetivo las manos del paciente deben ser colocadas extendidas con las palmas hacia abajo y girar la muñeca a medida que aparezcan las esferas ya que gracias a la acción del giro de la muñeca el cofre se mueve longitudinalmente para poder atrapar las esferas.

El dato a considerar para el análisis, es la cantidad de esferas recolectadas en un tiempo de 60 segundos, culminado el tiempo la actividad dejara de ejecutarse y se contabilizara las esferas recolectadas. Para la siguiente repetición de la actividad se recomienda un descanso de por lo menos unos 30 segundos para continuar.

A continuación, se realiza el monitoreo de avance para cada paciente:

#### **Paciente1**

La paciente uno presenta dificultad al momento de ejecutar la actividad por lo que es necesario un tiempo considerable para la asesoría de la ejecución de la actividad y al igual que la actividad uno la paciente necesita de la presencia de una persona que le guíe y le ayude a ejecutar el movimiento que le permitirá realizar con éxito la actividad de rehabilitación. El monitoreo que se realizó durante las tres sesiones se ve reflejado en la Tabla 27, en dicha tabla se toma datos de la cantidad de esferas, recolectadas y el promedio de las mismas, en cada repetición de la respectiva sesión.

Realizando el análisis de la tabla se observa que en cada sesión la cantidad de esferas recolectada es de una, a excepción de la última sesión que logra en la repetición número cinco recolectar dos esferas. Al analizar los promedios se observa que en la primer y segunda sesión no logra recolectar ni una esfera por lo que se llega a concluir que

necesita de más práctica y de sesiones más frecuentes para poder mejorar el desempeño de la actividad, e ir mejorando la motricidad de la mano en general ya que su movilidad es muy restringida, necesitando de mayor cantidad de tiempo para observar una mejoría considerable en su motricidad.

**Tabla 27**

*Giro de muñeca por parte del paciente 1*

	Repeticiones	Cantidad de pelotas Recogidas	Promedio de pelotas recogidas
<b>Sesión 1</b>	1	0	0.4
	2	0	
	3	0	
	4	1	
	5	1	
<b>Sesión 2</b>	1	1	0.8
	2	0	
	3	1	
	4	1	
	5	1	
<b>Sesión 3</b>	1	1	1
	2	1	
	3	0	
	4	1	
	5	2	

## **Paciente 2**

La paciente dos también presenta cierta dificultad al momento de ejecutar la actividad por lo que se hace necesario de una asesoría de un tiempo considerable para que comprenda el objetivo de la actividad, y al igual que la paciente uno esta requiere de la

presencia de una persona que le ayude y la guíe a ejecutar los movimientos necesarios que le permitirá realizar con éxito la actividad de rehabilitación.

El monitoreo que se realizó durante las tres sesiones se ve reflejado en la Tabla 28, en dicha tabla se toma datos de la cantidad de esferas, recolectadas y el promedio de las mismas, en cada repetición de la respectiva sesión.

**Tabla 28**

*Giro de muñeca por parte del paciente 2*

	Repeticiones	Cantidad de pelotas Recogidas	Promedio de pelotas recogidas
<b>Sesión 1</b>	1	0	1
	2	1	
	3	1	
	4	1	
	5	2	
<b>Sesión 2</b>	1	1	2
	2	2	
	3	2	
	4	2	
	5	3	
<b>Sesión 3</b>	1	1	1.6
	2	2	
	3	2	
	4	2	
	5	1	

Al realiza el análisis de acuerdo a los datos citados en la tabla 28 se observa que en la sesión uno el promedio de recolección de las esferas es de una, en la segunda sesión se muestra una notable mejoría ya que el promedio de las esferas recolectadas es de dos, en la tercera sesión se muestra un declinar en su recuperación ya que en su



promedio de esferas recolectadas bajo en comparación de la segunda sesión, este dato en particular lo que muestra es que no necesariamente en cada sesión tenga que ir mejorando el puntaje, ya que el declive en el puntaje de la actividad puede mostrar un retroceso en la rehabilitación por varios factores los cuales deben ser evaluados por el médico y descartar alguna otra anomalía que pueda estarse presentando en el paciente, otro motivo también puede ser por falta de sesiones frecuentes.

### Paciente 3

A la paciente tres a comparación del paciente uno y dos su asesoría es de menor tiempo ya que el aprendizaje del objetivo de la actividad lo aprende de manera rápida, para la ejecución del ejercicio no necesita la presencia de una persona para que le ayude a ejecutar los movimientos ya que posee mejor motricidad que las pacientes uno y dos.

**Tabla 29**

*Giro de muñeca por parte del paciente 3*

	Repeticiones	Cantidad de pelotas Recogidas	Promedio de pelotas recogidas
<b>Sesión 1</b>	1	0	2.8
	2	3	
	3	4	
	4	3	
	5	4	
<b>Sesión 2</b>	1	1	3
	2	3	
	3	2	
	4	4	
	5	5	
<b>Sesión 3</b>	1	3	5.2
	2	4	
	3	6	
	4	7	
	5	6	

Analizando la tabla 29, se puede observar que en cada sesión la paciente tres ha ido mejorando. En la primera sesión en el promedio de la recolección de las esferas se observa que es de 3 esferas aproximadamente, manteniéndose de igual manera en la sesión dos, en la sesión tres se nota una mejora considerable ya que el promedio de las esferas recolectadas es de 5.

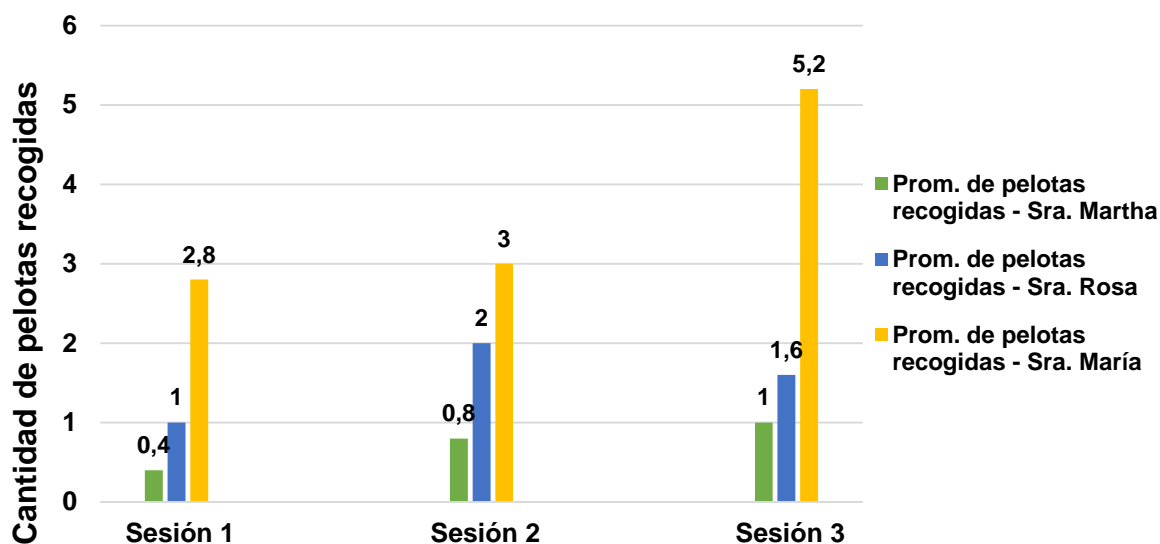
### **Análisis de comparación entre las tres pacientes**

De acuerdo a la Figura 130 se realiza el siguiente análisis de acuerdo a los resultados obtenidos por las pacientes uno, dos, y tres.

Al realizar el análisis de la ejecución del ejercicio del giro de la muñeca se puede observar que la paciente tres presenta mejores resultados que la paciente uno y dos. Esto puede ser debido a que dicha paciente muestra mejor motricidad en su mano al momento de girar la muñeca, de igual manera tiene una capacidad de entendimiento más rápido que la paciente uno y dos, lo que ayuda para que pueda ir mejorando el puntaje en la actividad al igual de mejorar cada vez más su motricidad.

Si se realiza un análisis individual de cada paciente se observa que tanto el paciente uno como el paciente dos han ido mejorando durante las sesiones, no se reflejara los mejores datos, pero tomando a consideración las dificultades que presenta para poder ejecutar la actividad de manera correcta son datos alentadores, que si se sigue con sesiones regulares pueden ir mejorando su capacidad motriz ya que las pacientes tienen su propio ritmo de recuperación.

### Evolución en la recuperación al ejecutar Ejercicio del Giro de Muñeca



**Figura 130.** Análisis de ejercicio del giro de muñeca

#### 4.3.3 Movimiento integral de brazos

Esta actividad tiene como objetivo ir ordenando una serie de dieciséis cubos divididos entre ocho, los primeros ocho cubos están numerados del uno al ocho y hay que ir apilando uno encima de otro, los siguientes ocho cubos están colocados el abecedario desde la A hasta la H, al igual que los primeros cubos estos deben ser apilados uno encima de otro, cabe mencionar que estos cubos debe estar ordenados por jerarquía, en la parte inferior deben colocarse los valores menores y en la parte superior los valores mayores, por ejemplo en los cubos numerados en la parte inferior debe ir el número uno seguido de número dos y así sucesivamente. Esto se realiza sin límite de tiempo al momento de apilar los cubos se va mostrando cuantos cubos se tiene ya apilados. Terminada la actividad se puede salir y descansar unos 30 segundos y seguir con la repetición del ejercicio hasta cumplir las cinco repeticiones.

El dato que predomina y hay que tomar en cuenta para el análisis es el tiempo que ejecuta la actividad, mientras el tiempo de ejecución sea menor esto indica que la motricidad y la parte cognitiva del paciente está mejorando.

A continuación, se realiza el monitoreo de avance para cada paciente:

### **Paciente1**

Al igual que las demás actividades antes de iniciar se ejecuta una asesoría donde se muestra el objetivo de la actividad en este ejercicio la paciente no requirió de la presencia constante de una persona que le ayude a la ejecución de ejercicio, ya que infirió de manera rápida el objetivo del ejercicio.

**Tabla 30**

*Movimiento Integral de brazo paciente 1*

	Repeticiones	Tiempo de ejecución (s)	Promedio de tiempo
<b>Sesión 1</b>	1	350	318,8
	2	320	
	3	300	
	4	325	
	5	299	
<b>Sesión 2</b>	1	360	330,8
	2	345	
	3	339	
	4	310	
	5	300	
<b>Sesión 3</b>	1	310	301,6
	2	308	
	3	299	
	4	297	
	5	294	

Al realizar el análisis de los datos recopilados en la tabla 30 se observa que en la primera sesión tiene un promedio de 318.8 segundos para culminar la actividad, en la sesión dos se ve un aumento de tiempo, quizá se debe a que entro a la fase de aprendizaje otra vez ya que, en esta sesión da un promedio de tiempo de 330.8 segundos, en la tercera y última sesión se nota una mejoría a comparación de las dos sesiones anteriores mejorando y dando como promedio de 301.6 segundos, donde se verifica que ha ido mejorando su capacidad motriz y cognitiva, además de mostrar entusiasmo por culminar la actividad de manera correcta.

## **Paciente 2**

De igual manera que las demás actividades antes de iniciar se ejecuta una asesoría donde se muestra el objetivo de la actividad en este ejercicio la paciente no requiere de la presencia constante de una persona que le ayude a la ejecución de la actividad, ya que asimila de manera rápida el objetivo del ejercicio.

Al desarrollar el análisis de los datos recopilados en la tabla 31 se observa que en la primera sesión tiene un promedio de 304.6 segundos para culminar la actividad, en la sesión dos se ve una pequeña disminución de micras de segundo es decir que se mantuvo su desempeño en las dos sesiones, dando un promedio de tiempo de 303.8 segundos, en la tercera sesión se nota una mejoría a comparación de las dos sesiones anteriores, dando como promedio de 278.6 segundos, donde se puede comprobar que ha ido mejorando su capacidad motriz y cognitiva largo de las sesiones.

**Tabla 31**  
*Movimiento Integral de brazo paciente 2*

	Repeticiones	Tiempo de ejecución (s)	Promedio de tiempo
<b>Sesión 1</b>	1	316	304,6
	2	308	
	3	298	
	4	302	
	5	299	
<b>Sesión 2</b>	1	320	303
	2	317	
	3	298	
	4	289	
	5	291	
<b>Sesión 3</b>	1	300	278,2
	2	295	
	3	270	
	4	265	
	5	261	

### **Paciente 3**

Antes de iniciar la actividad, se realiza una asesoría donde se muestra el objetivo de la actividad, la paciente tres como se ha venido observando no necesita de la presencia de otra persona para que le ayude en la ejecución de la actividad.

Al efectuar el análisis de los datos recopilados en la tabla 32 se observa que en la primera sesión tiene un promedio de 271 segundos para culminar la actividad, en la sesión dos se ve una disminución importante donde se obtuvo un promedio de tiempo de 244.4 segundos, en la tercera sesión se nota una cuantiosa mejoría a comparación de las dos sesiones anteriores, dando como promedio de 216.4 segundos, donde se puede comprobar que ha ido mejorando su capacidad motriz y cognitiva largo de las sesiones, dando pasos largos en su recuperación.

**Tabla 32**  
*Movimiento Integral de brazo paciente 3*

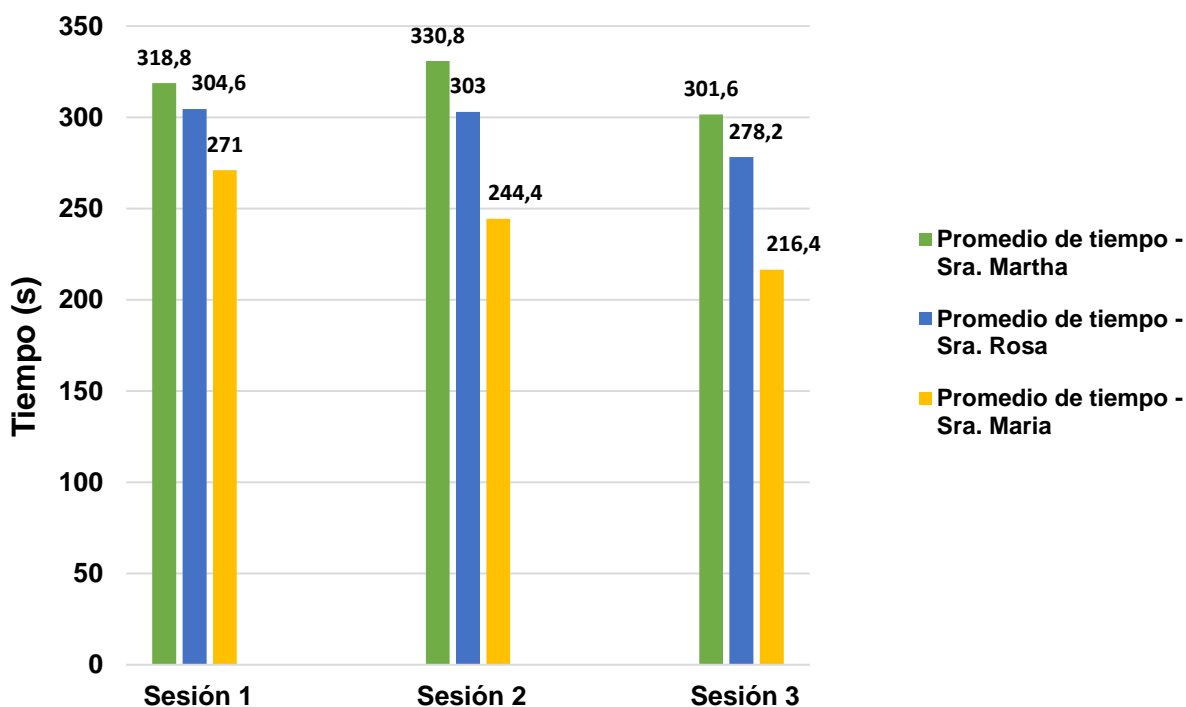
	Repeticiones	Tiempo de ejecución (s)	Promedio de tiempo
<b>Sesión 1</b>	1	273	271
	2	298	
	3	256	
	4	260	
	5	268	
<b>Sesión 2</b>	1	250	244,4
	2	247	
	3	238	
	4	242	
	5	245	
<b>Sesión 3</b>	1	230	216,4
	2	228	
	3	210	
	4	215	
	5	199	

### **Análisis de comparación entre las tres pacientes**

Al realizar el análisis riguroso de la Figura 131 se observa que este tipo ejercicio es muy aceptado por parte de los pacientes, por la facilidad de ejecución y entendimiento del objetivo de la actividad, los tiempos que se reflejan en cada sesión muestran el mejoramiento de la capacidad motriz de la extremidad ya que el ejercicio comprende del movimiento integral del brazo e incluso el desplazamiento del paciente, la actividad fue concretada por las tres pacientes en diferentes tiempos, como se ha mencionado la

paciente tres presenta menos dificultad al momento de realizar los ejercicios ya que presenta un cuadro menos crítico a comparación de la paciente uno y dos. El mayor tiempo al culminar la actividad es de 330.8 segundos cuyo tiempo pertenece al paciente uno, el menor tiempo al culminar el ejercicio es de 216.3 segundos ejecutado por parte de la paciente tres. Cada paciente trabaja a su propio ritmo y se puede verificar como mejora su motricidad con los resultados obtenidos.

### Evolución en la recuperación al ejecutar ejercicio integral de la extremidad superior



**Figura 131.** Análisis de ejercicio Integral de extremidad superior

#### 4.3.4 Flexo extensión de brazos

El objetivo que con lleva esta actividad es de extender los brazos lo más que se pueda, la distancia máxima a que llegue dependerá de la talla del paciente mientras el paciente



extienda sus brazos en la pantalla se observará un tiempo y una distancia, cuya distancia es medida en metros por los mandos inalámbricos de los oculos rift esta medida que se visualiza es real.

Cuando se extienda a lo máximo los brazos, dependiendo la distancia que se ejecutó se creara una fuerza, dando la impresión de impulso dentro del ambiente, es decir mientras más grande sea la distancia el impulso será mayor.

El dato que predomina y hay que tomar en cuenta para el análisis en esta actividad es la distancia medida en metros producida por la flexión de los brazos, mientras más grande sea la distancia el impulso será mayor y como se mencionó el valor máximo de flexo extensión del brazo depende del tamaño de la paciente, las tres pacientes oscilan entre 1.43 y 1.45 metros.

A continuación, se realiza el monitoreo de avance para cada paciente:

### **Paciente1**

La paciente uno presenta un poco de dificultad a realizar flexo-extensión del brazo por lo que para este ejercicio se requiere de la presencia de una persona que le ayude en la ejecución de la actividad y pueda lograr terminar con éxito el ejercicio.

El monitoreo que se realizó durante las tres sesiones se ve reflejado en la Tabla 33, en dicha tabla se toma datos del tiempo de ejecución de la actividad, el promedio del tiempo, la distancia al momento de abrir los brazos y el promedio de este.

El dato con el cual se realiza el análisis es la distancia, ya que representa cuanto pudo abrir los brazos, se observa que en la primera sesión presenta una distancia de 0.946, en la segunda y tercera sesión ya logra realizar un flexo extensión de un metro dando pequeños pasos a su recuperación en la motricidad de su extremidad.

**Tabla 33**  
*Flexo extensión de brazos paciente 1*

	Repeticiones	Tiempo de ejecución (s)	Promedio de tiempo (s)	Distancia (m)	Promedio de distancia (m)
<b>Sesión 1</b>	1	9,18	10,1	0,8	0,946
	2	9,65		0,95	
	3	10,65		0,98	
	4	10,82		1	
	5	10,36		1	
<b>Sesión 2</b>	1	11,62	10,8	1,08	1,054
	2	9,38		1,09	
	3	10,07		1	
	4	11,82		1	
	5	10,91		1,1	
<b>Sesión 3</b>	1	10,64	10,5	1,1	1,04
	2	11,04		1,02	
	3	11,01		1,08	
	4	10,89		1	
	5	9,11		1	

## **Paciente 2**

La paciente dos al igual que la paciente uno presenta un poco de dificultad a realizar flexo extensión del brazo por lo que para este ejercicio se requiere de la presencia de una persona que le ayude en la ejecución de la actividad y pueda lograr extender sus brazos.

El dato para el análisis es la distancia, ya que representa cuanto pudo abrir los brazos, como se observa en la tabla 34 la paciente dos en la primera sesión presenta una distancia de 1.2 metro, en la segunda de igual forma se encuentra en un rango de 1.19 metros, y en la tercera sesión logra realizar un flexo extensión de un 1.16 metros, como se analiza

la paciente dos no muestra avances durante las sesiones se mantiene en una distancia relativamente constante.

**Tabla 34**

*Flexo extensión de brazos paciente 2*

	Repeticiones	Tiempo de ejecución (s)	Promedio de tiempo (s)	Distancia	Promedio de distancia (m)
<b>Sesión 1</b>	1	12,50	11,604	1,2	1,2
	2	11,24		1,25	
	3	10,03		1,15	
	4	12,74		1,2	
	5	11,51		1,2	
<b>Sesión 2</b>	1	12,66	11,606	1,22	1,192
	2	12,19		1,2	
	3	11,73		1,24	
	4	11,06		1,2	
	5	10,39		1,1	
<b>Sesión 3</b>	1	11,43	11,086	1,2	1,158
	2	10,76		1,08	
	3	11,00		1,22	
	4	11,76		1,18	
	5	10,48		1,11	

### **Paciente 3**

La paciente tres no presenta ninguna dificultad al realizar flexo extensión del brazo por lo que después de la asesoraría de rigor la ejecución de la actividad la realiza de manera individual y sin ayuda.

El monitoreo que se realiza para la paciente tres, durante las tres sesiones se ve reflejado en la Tabla 35.

El dato con el cual se realiza el análisis es la distancia, ya que representa cuanto pudo abrir los brazos, se observa que en la primera sesión presenta una distancia de 1.44 metros, en la segunda y tercera sesión se observa que sigue mantenidos en un rango de 1.44 metros lo que se llega a la conclusión que la paciente tres puede realizar el ejercicio sin mayor dificultad ya que sus brazos extendidos a lo máximo miden 1. 47 metros aproximadamente.

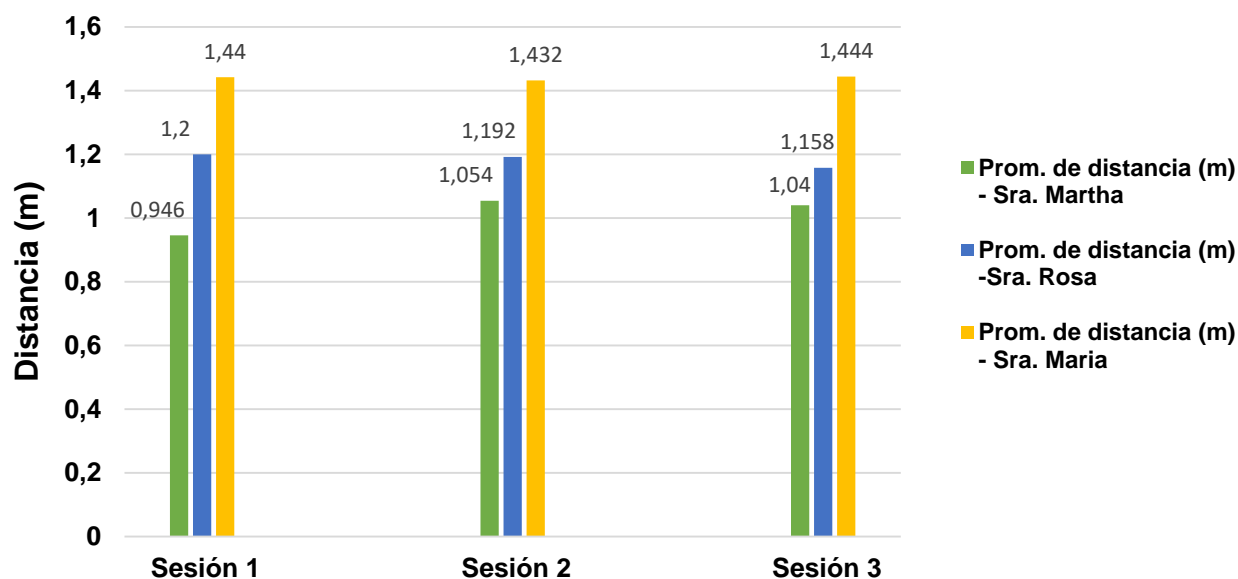
**Tabla 35**  
*Flexo extensión de brazos paciente 3*

	Repeticiones	Tiempo de ejecución (s)	Promedio de tiempo (s)	Distancia	Promedio de distancia (m)
<b>Sesión 1</b>	1	12,56	11,896	1,45	1,44
	2	11,48		1,44	
	3	12,06		1,44	
	4	11,49		1,43	
	5	11,89		1,45	
<b>Sesión 2</b>	1	12,74	11,136	1,4	1,432
	2	11,23		1,45	
	3	10,89		1,42	
	4	10,56		1,44	
	5	10,26		1,45	
<b>Sesión 3</b>	1	10,12	9,452	1,44	1,444
	2	9,86		1,46	
	3	9,45		1,45	
	4	8,26		1,43	
	5	9,57		1,44	

### Análisis de comparación entre las tres pacientes

Para realizar un análisis completo se va a comparar los resultados entre las tres pacientes, como se muestra en la Figura 132, la paciente uno y la dos no muestran mejoría durante las tres sesiones, lo que se llega a deducir que se necesita de más sesiones para observar cómo van evolucionando y durante cuánto tiempo se puede observar cambios en la motricidad de las pacientes. Por otro lado, la paciente tres demuestra que puede ejecutar la actividad a la perfección porque que da a notar que su motricidad al momento de la flexo-extensión del brazo lo puede ejecutar sin ningún problema.

### Evolución en la recuperación al ejecutar ejercicio de flexo extensión de brazos



**Figura 132.** Análisis de ejercicio de flexo- extensión de brazos

#### **4.3.5 Movimiento integral de brazos 2**

Esta actividad tiene como objetivo trabajar la parte motriz y cognitiva a través de un juego interactivo donde hay que ir buscando los bloques que se encuentren iluminados y destruirlos con solo tocarlos permitiendo así descubrir el escenario en el cual se desarrolla la actividad. La variable con la cual se trabaja es el tiempo ya que contabiliza el tiempo de demora para la ejecución de la actividad.

El dato adecuado para ejecutar el análisis es el tiempo que ejecuta la actividad, mientras el tiempo de ejecución sea menor se considera óptimo ya que demuestra que su motricidad es fluida y posee gran capacidad de concentración para buscar los bloques iluminados. A continuación, se realiza el monitoreo de avance para cada paciente:

##### **Paciente1**

En esta actividad la paciente uno logro entender el objetivo del ejercicio y lo ejecuto de manera óptima y además de no requerir ayuda para la ejecución del ejercicio. Como se observa en la tabla 36 en la sesión uno el tiempo promedio de ejecución fue de 158.4 segundos, en la segunda sesión, 154.2 segundos en la tercera sesión, un tiempo de 151.4 segundos. Como se aprecia la paciente durante las sesiones ha mejorado considerablemente, su capacidad motriz y la confianza al momento de ejecutar la actividad.

**Tabla 36***Movimiento integral de brazo 2 paciente 1*

	Repeticiones	Tiempo de ejecución (s)	Promedio de tiempo de ejecución (s)
<b>Sesión 1</b>	1	162	158,4
	2	160	
	3	158	
	4	155	
	5	157	
<b>Sesión 2</b>	1	159	154,2
	2	157	
	3	154	
	4	149	
	5	152	
<b>Sesión 3</b>	1	160	151,4
	2	155	
	3	157	
	4	140	
	5	145	

**Paciente 2**

En esta actividad la paciente dos al igual que la paciente uno logro entender el objetivo del ejercicio y lo ejecuto de manera óptima y además de no requerir ayuda para la ejecución del ejercicio.

Como se observa en la tabla 37 en la sesión uno el tiempo promedio de ejecución fue de 153.6 segundos, en la segunda sesión, 153.6 segundos en la tercera sesión, un tiempo de 150 segundos. Como se aprecia en la sesión uno y dos se mantiene constantes, esto se debe a que el ritmo de aprendizaje de cada individuo es diferente y lo que conlleva en cada sesión es realizar nuevamente el aprendizaje de la actividad, pero de igual manera

se ve una mejora notable durante las sesiones donde ha mejorado considerablemente, su capacidad motriz.

**Tabla 37**

*Movimiento integral de brazo 2 paciente 2*

	Repeticiones	Tiempo de ejecución (s)	Promedio de tiempo de ejecución (s)
<b>Sesión 1</b>	1	160	153,6
	2	158	
	3	150	
	4	145	
	5	155	
<b>Sesión 2</b>	1	158	153,6
	2	155	
	3	157	
	4	148	
	5	150	
<b>Sesión 3</b>	1	155	150
	2	149	
	3	150	
	4	156	
	5	140	

### **Paciente 3**

La paciente tres realiza la actividad sin ninguna dificultad desarrollando el ejercicio de manera óptima y precisa.

Como se visualiza en la tabla 38 en la sesión uno el tiempo promedio de ejecución fue de 146.8 segundos, en la segunda sesión, 147.8 segundos en la tercera sesión, un tiempo de 146.4 segundos. Como se aprecia la paciente tres se mantiene en un rango de 147 segundos, para poder finalizar la actividad lo cual es un tiempo aceptable considerando



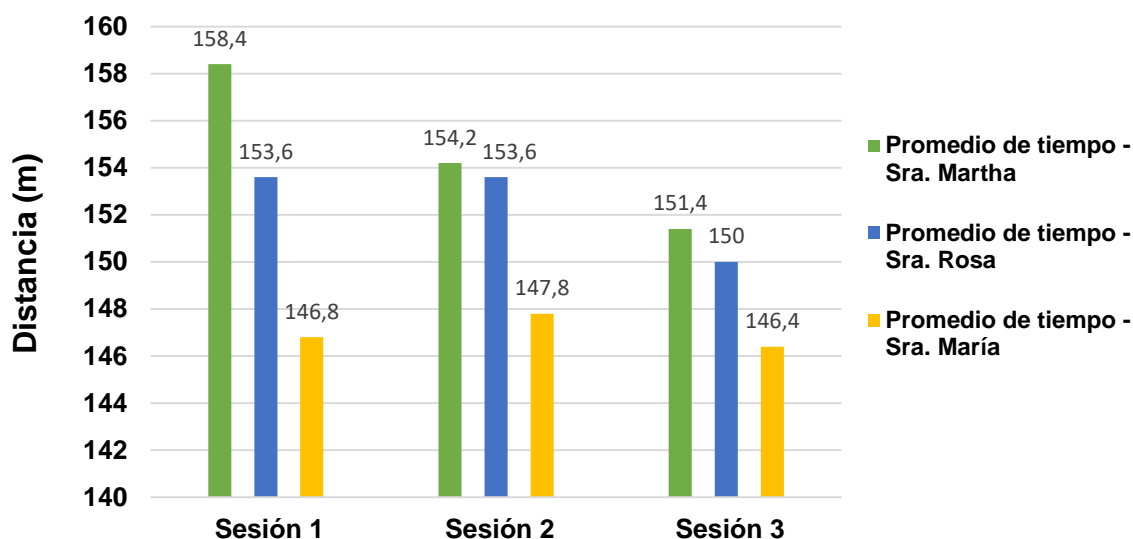
que no tiene su motricidad al 100 por ciento, demostrando así que su capacidad cognitiva y motriz están recuperándose.

**Tabla 38**  
*Movimiento integral de brazo 2 paciente 3*

	Repeticiones	Tiempo de ejecución (s)	Promedio de tiempo de ejecución (s)
<b>Sesión 1</b>	1	150	146,8
	2	148	
	3	145	
	4	149	
	5	142	
<b>Sesión 2</b>	1	148	147,8
	2	145	
	3	149	
	4	150	
	5	147	
<b>Sesión 3</b>	1	149	146,4
	2	148	
	3	144	
	4	146	
	5	145	

En base a la Figura 133 se realiza un análisis de cómo han ido evolucionando en su rehabilitación, se verifica que la paciente uno ha obtenido un tiempo óptimo en la ejecución de la actividad, ya que posee una motricidad fluida a comparación de la paciente uno y dos, la paciente uno presenta una superación en cada sesión ya que en cada sesión ha ido disminuyendo los tiempos en la ejecución de la actividad.

### Evolución en la recuperación al ejecutar ejercicio movimiento integral del brazo II



**Figura 133.** Análisis de ejercicio Integral de extremidad superior II

#### 4.4 Validación de la Hipótesis

En base a la experiencia y desempeño de los pacientes al usar el sistema de rehabilitación de realidad virtual se evidencia la efectividad de esta herramienta para complementar las técnicas clásicas de rehabilitación, incentivando el uso de movimientos libres, auto asistidos, práctica y fortaleza mental el cual involucra la estimulación neuromuscular, cognitiva, conductual o una variedad de ellas, además, se ha conseguido estimular el reaprendizaje motor orientado a tareas específicas tales como realizar la apertura y cierre de la mano de forma voluntaria, reflejo de prensión, supinación de antebrazo, extensión selectiva de hombro y codo, y la reeducación del tono muscular (capacidad de contracción y relajación); acciones que contribuyen a la ejecución de actividades de la vida diaria (AVD), los mismos que son los objetivos de la terapia.

Sin embargo, debido a que el proceso de recuperación de la extremidad afectada se torna en proceso complejo y en gran medida depende del tiempo que se le dedique, resulta necesario períodos más extensos de terapia así como de un mayor número de sesiones sin demasiado tiempo de espera entre las mismas, sin mencionar que uno de los factores para la recuperación de la limitada capacidad motriz está muy determinada por la motivación, compromiso y sentido de recompensa que el sistema puede generar en los pacientes.

**Tabla 39**

*Seguimiento de evolución en la recuperación del paciente*

ACTIVIDADES	PACIENTES		
	Sra. Martha Ortiz	Sra. Rosa Benavidez	Sra. María Catota
Flexo extensión de dedos	SIN MEJORA	LEVE MEJORA	NOTABLE MEJORA
Giro de muñeca	LEVE MEJORA	LEVE MEJORA	NOTABLE MEJORA
Movimiento integral de brazo	LEVE MEJORA	LEVE MEJORA	LEVE MEJORA
Flexo extensión de brazos	LEVE MEJORA	LEVE MEJORA	LEVE MEJORA
Movimiento integral de brazo 2	NOTABLE MEJORA	LEVE MEJORA	LEVE MEJORA

Al analizar la Tabla 39 se observa una mejora en gran parte toda la ejecución de las de las actividades del sistema, adicionalmente, junto a la valoración favorable por parte de los fisioterapeutas vinculados al proyecto quienes han sido una guía indispensable para la realización de esta investigación se da por hecho que el sistema inmersivo de reconocimiento y control de gestos en realidad virtual si ayudaría a mejorar la capacidad motriz en el proceso de rehabilitación de las extremidades superiores en pacientes con ACV.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

A lo largo de este proyecto se ha recopilado la información necesaria acerca de técnicas, la tecnología y los dispositivos que son utilizados en el mercado para la detección de gestos de las extremidades, así como la forma de representación de un modelado CAD en realidad virtual.

Se logró modelar la extremidad superior con un alto nivel de realismo utilizando el software libre Blender y exportarlo en formato compatible para ser utilizado en Unity3D, además, utilizando el software anterior se recreó de forma satisfactoria los escenarios virtuales para la realización de las actividades del sistema, así como la extracción de un modelo humanoide generado en MakeHuman y editado en Blender para crear el vestuario, las texturas y animación del avatar de bienvenida.

Se realizó de forma exitosa la integración entre el modelado de la extremidad superior y el reconocimiento gestual de los huesos que componen la mano utilizando el sensor Leap Motion, hecho que contribuye de forma sustancial a que la sensación de inmersión en los entornos virtuales se perciba de forma realista por parte del usuario.

En base a la información recopilada a lo largo de esta investigación, se ha desarrollado actividades y ejercicios a manera de videojuegos que simulen actividades de la vida diaria que puede ser utilizada en el área de la fisioterapia como un método de ayuda en la rehabilitación de la capacidad motriz del miembro superior.

Los resultados experimentales en pacientes con afección en el miembro superior muestran gran predisposición y entusiasmo al usar este tipo de herramientas para complementar el proceso de la recuperación motriz, clave de ello es el sentido de recompensa que puede generar realizar el ejercicio seleccionado.

La implementación del sistema de rehabilitación de miembro superior en realidad virtual contribuye a la demostración de que este tipo de herramientas de desarrollo de software no sirven únicamente a la creación de video juegos y que pueden ser aplicadas en múltiples áreas del saber.

## **5.2 Recomendaciones**

El computador que ejecuta la aplicación en realidad virtual debe superar los requerimientos mínimos en capacidad de procesamiento grafico (Nvidia GTX 1060 o superior) para garantizar una frecuencia de imagen mínima de 60 fps en la ejecución de la aplicación.

El usuario o paciente deberá mantenerse siempre dentro del espacio delimitado (2mx2m) en la configuración de los sensores de tracking para no deteriorar la calidad en el censado y atender en contra de su integridad.

Considerar que la incidencia directa de luz natural en los sensores afecta el tracking y el reconocimiento gestual, es por ello que se debe evitar que algún haz de luz alcance que puedan interrumpir el reconocimiento del modelo de las manos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abellán G , Hidalgo Ch. (2011). *Definiciones de discapacidad en España, Portal Mayores. Recopilación de definiciones de discapacidad utilizadas en programas nacionales de concesión de beneficios sanitarios, económicos y sociales, y aparecidas en normas jurídicas.*

Acerting Art. (22 de julio de 2012). Recuperado el 17 de febrero de 2018, de <https://www.youtube.com/watch?v=A04qP9KJfuE>

Alento. (2012). *El Ictus*. Recuperado el 25 de Junio de 2017, de [http://www.alento.org/ictus\\_es.html](http://www.alento.org/ictus_es.html)

Alvear A , Quintero G. (2012). Recuperado el 15 de Abril de 2017, de <http://www.laccei.org/LACCEI2012-Panama/RefereedPapers/no%20cw/RP060.pdf>

*Anatomía Humana*. (2016). Recuperado el 12 de Enero de 2018, de <https://bit.ly/2wmZplo>

Andreu V, Torronteras A. (16 de Septiembre de 2015). *Introducción a la Háptica. Nuevos dispositivos de entrada y Salida*. Recuperado el 06 de Mayo de 2017, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/84154/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ARQING. (26 de Junio de 2017). *ARQING*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de <https://www.arqing-mexico.com/renders/qué-es-un-render/>

Autodesk. (2017). *Maya*. Recuperado el 06 de febrero de 2018, de <https://www.autodesk.mx/education/free-software/maya>

Autodesk 3D MAX. (2018). Recuperado el 14 de abril de 2017, de <https://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2018/ENU/?guid=GUID-2569461E-C859-4D54-BAFF-C8BD078B53AC>

Cabezuelos Alba. (Mayo de 2016). Recuperado el 11 de Agosto de 2017, de [http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/3057/1/TFG%20CABEZUELO\\_GONZÁLEZ\\_ALBA.pdf](http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/3057/1/TFG%20CABEZUELO_GONZÁLEZ_ALBA.pdf)

CáceresAntonio, López Juan. (2013). Recuperado el 31 de enero de 2017, de <http://www.ardacea.es/files/A-EJERCICIOS-PARA-REALIZAR-EN-CASA-TRAS-UN-ACCIDENTE-CEREBROBASCULAR.pdf>

Casey Larijani. (1994). *Realidad Virtual*. (P. Gracia, Trad.) España: McGRAW-HILL.

Osorio Celina, Vázquez Jesús, Luna . (2011). *Análisis de Marcha mediante Plataforma Kinect*. Recuperado el 18 de enero de 2017, Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Manuel\\_Martin6/publication/235427731\\_Analisis\\_de\\_la\\_Marcha\\_mediante\\_Plataforma\\_Kinect/links/02bfe51189b05027bd000000/Analisis-de-la-Marcha-mediante-Plataforma-Kinect.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Manuel_Martin6/publication/235427731_Analisis_de_la_Marcha_mediante_Plataforma_Kinect/links/02bfe51189b05027bd000000/Analisis-de-la-Marcha-mediante-Plataforma-Kinect.pdf)

Cuadrado Ángel. (15 de Mayo de 2009). *Rehabilitation of the stroke: evaluation, prognosis and treatment*. Recuperado el 11 de Julio de 2017, de <http://galiciaclinica.info/PDF/5/81.pdf>

Helgason David. (4 de Diciembre de 2012). *Unity and Gambling*. Recuperado el 18 de enero de 2018, de <https://blogs.unity3d.com/es/2012/12/04/unity-and-gambling/>

*developers*. (02 de Febrero de 2018). Obtenido de • <https://developer.oculus.com/downloads/package/oculus-sample-framework-for-unity-5-project/>

Pardos Eduardo. (23 de Noviembre de 2016). *Unreal Engine 4, el motor gráfico que ofrece realismo al máximo*. Recuperado el 18 de enero de 2018, de <https://baboonexperience.com/es/2016/11/23/unreal-engine-4-el-motor-grafico-que-ofrece-realismo-al-maximo/>

Duque Edwin. (05 de Mayo de 2015). Recuperado el 19 de Agosto de 2017, Obtenido de Diferencias entre Kinect V1 y Kinect V2:

<https://edwinnui.wordpress.com/2015/02/05/diferencias-entre-kinect-v1-y-kinect-v2-2/>

Egido, Exuperio, Tejedor. (2003). *Ictus*. Recuperado el 19 de Agosto de 2017, de [http://gerontologia.udc.es/habitos\\_saludables/sites/default/files/images/contenido/cerebro/pdf/Ictus/Despues-del-ictus.pdf](http://gerontologia.udc.es/habitos_saludables/sites/default/files/images/contenido/cerebro/pdf/Ictus/Despues-del-ictus.pdf)

Tecayehuatl Eric. (30 de Junio de 2010). Recuperado el 12 de Agosto de 2017, Obtenido de Especificaciones técnicas de Kinect: <https://www.fayerwayer.com/2010/06/especificaciones-tecnicas-de-kinect/>

*Escuchar & Relajar*. (04 de noviembre de 2017). Recuperado el 16 de febrero de 2018, de <https://www.youtube.com/watch?v=hen7WBB0IMM>

Flórez Mariano. (2000). *Intervenciones para mejorar la función motora*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2017, de <http://files.gandi.ws/gandi50111/file/intervenciones-para-mejorar-la-funcion-motora-en-el-paciente-con-ictus.pdf>

*Freeimages*. (2016). Recuperado el 10 de noviembre de 2017, de <https://es.freeimages.com/image/textures-patterns>

*FreeStockTextures*. (2009). Recuperado el 12 de Noviembre de 2017, de <https://freestocktextures.com>

Fundacion Ictus. (2017). *Fundación Ictus*. Recuperado el 08 de Agosto de 2017, de [http://www.fundacioictus.com/?page\\_id=42&lang=es](http://www.fundacioictus.com/?page_id=42&lang=es)

Garrote Nuñez Adrián. (junio de 2016). Recuperado el 05 de Enero de 2018, de [http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/3424/1/TFG\\_Adrian\\_Garrote\\_Nuez.pdf](http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/3424/1/TFG_Adrian_Garrote_Nuez.pdf)

Gonzalez Carlos. (s.f.). *Introducción al Modelado 3D*. Recuperado el 17 de Octubre de 2017, de <http://www.esi.uclm.es/www/cglez/fundamentos3D/02.01.Introduccion.html>



*Hand Painted Nature Kit*. (2016). Recuperado el 11 de febrero de 2018, de <https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/hand-painted-nature-kit-lite-69220>

*happyVR*. (2016). Recuperado el 23 de Septiembre de 2017, de <http://happyvr.eu/review/review-vr-box-ii/>

Hearn D, Baker P. (2006). *Gráficos por computadora con Open GL* (Tercera ed.). Madrid: PRINTED IN SPAIN.

Herrera José. (Septiembre de 2015). Recuperado el 06 de enero de 2018, de <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/11567>

Hüter, Schewe, Heipertz. (2003). *Fisioterapia descripción de las técnicas y tratamientos* (Primera ed.). (E. Nieto, Trad.) Paidotrivo.

Ictus Sevilla. (2010). *Ictus Sevilla*. Recuperado el 19 de Agosto19 de 2017, de [http://www.ictussevilla.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=45&Itemid=88](http://www.ictussevilla.org/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=88)

Pascual Juan. (06 de Abril de 2016). *Gafas de realidad virtual HTC Vive, características y configuración*. Recuperado el 19 de septiembre de 2017 Obtenido de <http://computerhoy.com/noticias/zona-gaming/gafas-realidad-virtual-htc-vive-caracteristicas-configuracion-42957>

Karl Ulrich ,Steven Eppinger. (s.f.). *Diseño y Desarrollo de Productos*. Mexico, DF: Quinta Edición.

*KineQuatum*. (2018). Recuperado el 18 de Abril de 2018, de <http://www.kinequantum.com>

*LeapMotion*. (2017). Recuperado el 26 de enero de 2018, de <https://developer.leapmotion.com/unity/>

Maciques Elaime. (2016). *Plasticidad cerebral*. Recuperado el 18 de Abril de 2017, de [http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-equino/plasticidad\\_neuronal.pdf](http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-equino/plasticidad_neuronal.pdf)

- MakeHuman*. (2015). Recuperado el 04 de Noviembre de 2017, de <http://www.makehumancommunity.org/?page=1>
- Manual Blender*. (2016). Recuperado el 28 de febrero de 2018, de <https://wiki.blender.org/index.php/Doc:2.4/Manual/Introduction>
- Manuel Bastioni*. (2015). Recuperado el 02 de Noviembre de 2017, de <http://www.manuelbastioni.com>
- Juan Marín. (12 de Mayo de 2014). *Utilizamos robots en la rehabilitación del brazo y la mano tras un ictus*. Recuperado el 16 de Marzo de 2017, de <http://dañocerebral.es/utilizacion-de-robots-en-la-rehabilitacion-del-brazo-y-la-mano-tras-un-ictus/>
- Maureen Holden. (2005). *Virtual Environments for motor rehabilitation: Review*. *Cyberpsychology & Behavior* 8(3), 187- 211. España.
- Montiel, Reséndiz. (2015). Recuperado el 02 de Agosto de 2017, de <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/21861>
- Moranta Josep. (2014). *Rehabilitación Básica En Lesiones*. Recuperado el 11 de Enero de 2018, de [https://www.mc-mutual.com/export/sites/default/es/webpublica/Publicaciones/memoria\\_cientifica\\_2014/06\\_RHB\\_mano.pdf](https://www.mc-mutual.com/export/sites/default/es/webpublica/Publicaciones/memoria_cientifica_2014/06_RHB_mano.pdf)
- Naranjo V. (2015). *La realidad virtual al servicio del bienestar social*. Recuperado el 28 de Agosto de 2017, de [http://catttelefonica.webs.upv.es/documents/Informe\\_Realidad\\_Virtual.pdf](http://catttelefonica.webs.upv.es/documents/Informe_Realidad_Virtual.pdf)
- Navarrete José. (2009). *La realidad virtual como arma terapéutica en rehabilitación*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2017, de [http://www.rehabilitacionintegral.cl/wp-content/files\\_mf/5navarrete.pdf](http://www.rehabilitacionintegral.cl/wp-content/files_mf/5navarrete.pdf)
- NeuroRHB*. (Septiembre de 2012). Recuperado el 10 de Septiembre de 2017, de <https://www.neurorhb.com/blog-dano-cerebral/que-es-la-terapia-ocupacional/>

- Ozuna Laura. (19 de Marzo de 2012). Recuperado el 26 de Abril de 2017, de <https://www.onmeda.es/anatomia/esqueleto-el-brazo-15962-5.html>
- Pacheco. (2016). *Cómo funciona el Oculus Rift y todo lo que debes saber sobre este genial dispositivo*. Recuperado el 20 de diciembre de 2017, Obtenido de <http://www.vix.com/es/btg/tech/58486/como-funciona-el-oculus-rift-y-todo-lo-que-debes-saber-sobre-este-genial-dispositivo>
- Pérez Francisco. (2011). *Presente y Futuro de la Tecnología de Realidad Virtual*. Recuperado el 30 de Agosto de 2017, de <http://creatividadysociedad.com/articulos/16/4-Realidad%20Virtual.pdf>
- Pérez Claudia. (2008). *Terapia psicológica*. Recuperado el 12 de Julio de 2017, de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-48082008000200011](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-48082008000200011)
- RealoVirtual. (25 de Octubre de 2015). *RealoVirtual*. Recuperado el 14 de Febrero de 2018, de <https://www.realovirtual.com/noticias/1968/realidad-virtual-mundo-rehabilitacion>
- Red Menni. (2016). *Red Menni*. Recuperado el 30 de Julio de 2017, de <http://xn--daocerebral-2db.es/publicacion/video-rehabilitacion-de-la-hemiplejia-tras-el-ictus-el-miembro-superior-severamente-afectado/>
- Reintegra. (2014). *Daño Cerebral Adquirido*. Recuperado el 20 de Junio de 2017, de <http://reintegra-dca.es/que-es-un-ictus>
- Romero Paco. (2014). *Guía Metodológica de Modelado y Animación 3d Para Mundos*. Recuperado el 12 de Octubre de 2017, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3332>
- Rubio Belén. (09 de Julio de 2015). *Los pacientes con ictus recuperan el uso del brazo con la realidad virtual*. Recuperado el 17 de Marzo de 2017, de [https://www.upf.edu/es/web/e-noticies/home\\_upf/](https://www.upf.edu/es/web/e-noticies/home_upf/)

/asset\_publisher/8EYbnGNU3js6/content/id/2671940/maximized#.WVU4YYB\_e0  
1

Sancho. (2015). Recuperado el 28 de diciembre de 2017, Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/55862>

ShowLeap. (04 de 05 de 2015). *Leap Motion (II): principio de funcionamiento*. Recuperado el 20 de enero de 2018, de <http://blog.showleap.com/2015/05/leap-motion-ii-principio-de-funcionamiento/>

Tarantino Ruíz. (30 de junio de 2012). Recuperado el 21 de Septiembre de 2017, de <http://fisioterapia.blogspot.com/2012/06/que-es-la-propiocepcion-y-por-que.html>

Tejedor, Álvarez, Muñoz. (2001). *Sociedad Iberoamericana de Enfermedades Cerebrovasculares*. Recuperado el 13 de Junio de 2017, de [http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-logo/clasificacion\\_ave.pdf](http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-logo/clasificacion_ave.pdf)

*TextureKing*. (30 de Enero de 2018). Recuperado el 27 de febrero de 2018, de <https://www.textureking.com>

Totalpaz Carlos. (11 de febrero de 2014). Recuperado el 25 de febrero de 2018, de <https://www.youtube.com/watch?v=Qrshx8BUDjk>

*Traumatología Hellín*. (27 de Febrero de 2015). Recuperado el 11 de Enero de 2018, de <https://traumatologiahellin.wordpress.com/page/1/>

*Trome*. (22 de Agosto de 2017). Recuperado el 30 de Enero de 2018, de <https://bit.ly/2JujVGV>

*Unity Asset Store*. (s.f.). Recuperado el 12 de febrero de 2018, de <https://assetstore.unity.com/packages/3d/environments/advanced-foilage-pack-1-103151>

Ustrell Xavier, Serena Joaquín. (07 de Julio de 2007). *Ictus. Diagnóstico y tratamiento de las enfermedades cerebrovasculares*. Recuperado el 16 de Marzo de 2017, de

<http://www.revespcardiol.org/es/ictus-diagnostico-tratamiento-las-enfermedades/articulo/13108281/>

# ANEXOS



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor y señorita: Guevara Bermeo, Bryan Stefano y Martínez Navarrete, Azucena Wilma

En la ciudad de Latacunga, a los: **31 días del mes de julio del 2017.**

**Aprobado por:**

Msc. Andrés Gordón

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

Ing. Vicente Hallo

**DIRECTOR DE CARRERA**

Dr. Rodrigo Vaca

**SECRETARIO ACADÉMICO**