

**Sistema para el apoyo en la rehabilitación de pacientes con problemas de movilidad y motricidad en las manos basado en un ambiente de realidad virtual utilizando *leap-motion*.**

**Melenje Narvárez Fanor Andrés  
Álvarez Salazar Edinson Joan**

**Director:  
MSc. Julián Fernando Muñoz Ordóñez**

**Co-Director  
Ft. Manuel Olave**



**Corporación Universitaria De Comfacauca  
Facultad De Ingenierías  
Ingeniería De Sistemas  
Popayán Cauca  
2020**



	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 3 de 108

<b>DATOS GENERALES DEL PROYECTO DE GRADO</b>	
<b>Facultad:</b>	Ingenierías
<b>Programa Académico:</b>	Ingeniería de Sistemas
<b>Título del proyecto:</b>	Sistema para el apoyo en la rehabilitación de pacientes con problemas de movilidad y motricidad en las manos basado en un ambiente de realidad virtual utilizando <i>leap-motion</i> .
<b>Grupo Investigación:</b>	MIND
<b>Línea de Investigación:</b>	Desarrollo de software
<b>Proyecto institucional asociado:</b>	
<b>Fecha de aprobación del perfil:</b>	
<b>Fecha de elaboración de la propuesta:</b>	11-febrero-2019
<b>Fecha de radicación:</b>	

<b>Datos Estudiante(s)</b>			
<b>Nombres y apellidos</b>	<b>Cédula de Ciudadanía</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Número de celular</b>
Fanor Andrés Melenje Narváez	1061754788	fanormelenje@unicomfacauca.edu.co	3217769031
Edinson Joan Álvarez Salazar	1061768099	edisonalvares@unicomfacauca.edu.co	3148792384

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 4 de 108

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	6
1 CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	7
<b>1.1 PLANTEAMIENTO, DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ....</b>	<b>7</b>
<b>1.2 JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>1.3 OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>9</b>
1.4 MARCO TEÓRICO .....	9
<b>1.4.1 ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>9</b>
<b>1.4.2 Marco teórico.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4.3 Marco contextual.....</b>	<b>29</b>
<b>1.5 METODOLOGÍA A IMPLEMENTAR.....</b>	<b>31</b>
<b>1.5.1 Tipo de investigación.....</b>	<b>31</b>
<b>1.5.2 ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA.....</b>	<b>32</b>
CAPITULO 2: DISEÑO DE ENTORNOS VIRTUALES.....	35
<b>2.1 DISEÑO DE OBJETOS INTERACTIVOS PARA EL ENTORNO .....</b>	<b>35</b>
<b>2.1.1 Diseñar objetos físicos .....</b>	<b>35</b>
<b>2.1.2 Transformación de un objeto.....</b>	<b>35</b>
<b>2.1.3 Texturizado de objetos .....</b>	<b>39</b>
<b>2.1.4 Renderizado de objetos.....</b>	<b>40</b>
<b>2.2 DISEÑO DE INTERACCIONES ENTRE OBJETOS Y ENTORNO VIRTUAL</b>	<b>41</b>
<b>2.2.1 Leap-Motion: Drivers y funciones:.....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.2 Conexión entre Leap Motion y Unity .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.3 Funcionamiento de los paquetes de Leap Motion.....</b>	<b>48</b>
<b>2.2.4 Desarrollo de los escenarios oficiales del proyecto .....</b>	<b>50</b>
CAPITULO 3: RESULTADOS Y ANALISIS.....	56
<b>3.1 APLICACIÓN DEL SOFTWARE SOBRE PACIENTES .....</b>	<b>56</b>
<b>3.2 ADQUISICIÓN DE DATOS DE TERAPIAS CON EL SOFTWARE.....</b>	<b>59</b>

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 5 de 108

<b>3.2.1 Gráficas y análisis de resultados.....</b>	61
<b>3.3 RECUPERACIÓN DE PACIENTES UTILIZANDO AMBIENTES VIRTUALES</b> .....	70
<b>3.3.1 Gráficas y análisis de recuperación de pacientes.....</b>	70
<b>3.4 APLICACIÓN DE ENCUESTAS SOBRE PACIENTES.....</b>	75
<b>4. CONCLUSIONES.....</b>	81
<b>5.1 Anexo tabla de actividades. ....</b>	83
<b>6.BIBLIOGRAFIA .....</b>	94

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 6 de 108

## RESUMEN

El avance tecnológico ha permitido importantes desarrollos en el campo de la fisioterapia y ha brindado nuevas alternativas para pacientes con problemas de motricidad y movilidad en las manos, mejorando de manera significativa el bienestar y calidad de vida de las personas. Sin embargo, aunque existan proyectos e investigaciones enfocados en la rehabilitación activa y el apoyo de los procesos terapéuticos, la mayoría se orientan en la implementación de juegos interactivos donde no tienen un aporte importante en la recuperación de las manos, debido a que no están enfocadas en actividades que el paciente realiza en su vida cotidiana. De acuerdo con lo mencionado anteriormente, en este proyecto de investigación se desarrolla un sistema de apoyo para el proceso de rehabilitación de los pacientes con problemas de motricidad y movilidad en las manos, y se pretende que el sistema sea adoptado por el personal terapéutico como parte de los métodos fisioterapéuticos existentes.

## ABSTRACT

*Technological advancement has enabled significant developments in the field of physiotherapy and has provided new alternatives for patients with problems of motor skills and hand mobility, significantly improving the well-being and quality of life of the People. However, although there are projects and research focused on active rehabilitation and support of therapeutic processes, most are oriented in the implementation of interactive games where they do not have a significant contribution in the recovery of hands, because they are not focused on activities that the patient performs in their daily life. As mentioned above, this research project develops a support system for the rehabilitation process of patients with motor skills and hand mobility problems, and is intended to have the system adopted by staff therapeutic as part of existing physiotherapeutic methods*

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 7 de 108

## CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO, DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Las manos son miembros del cuerpo humano que desempeñan un papel importante en la capacidad de una persona para interactuar con el medio ambiente a través de diferentes actividades físicas presentes en las rutinas y/o situaciones cotidianas [1]. Esta constante actividad que involucra la intervención de la mano, genera sobre ella que existan diferentes tipos de riesgos físicos y al desgaste por las malas prácticas en las actividades cotidianas: Actividades básicas, instrumentales, educación, trabajo, tiempo libre, participación social, juego. Además, otros motivos que conllevan a la disminución de su motricidad y movilidad están relacionados con los procesos naturales asociados al envejecimiento [2], lesiones traumáticas tales como, amputación de los dedos, enfermedades en el sistema nervioso: síndrome del túnel carpiano, movimiento y enfermedad del Parkinson [3]. Otras enfermedades que impactan en el buen funcionamiento de la mano están relacionadas con procesos que afectan directamente los músculos, por ejemplo, los traumas neuromusculares [4], que suelen llevar a procesos neurodegenerativos de empeoramiento constante. El desgaste de la función de la mano puede restringir la independencia de la persona afectada, ocasionando limitaciones y perjudicando su calidad de vida [5] [6].

Según las estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en un informe presentado para el año 2014, las empresas prestadoras de salud no han brindado suficiente atención a la rehabilitación y a los cuidados paliativos de los pacientes con problemas de movilidad y motricidad de las manos. Además, se ha verificado que los equipos básicos esenciales para la rehabilitación de los pacientes todavía no están disponibles en todas las instituciones y centros de salud, no sólo en la mayoría de los países en desarrollo, sino también en algunos países desarrollados. [7]. Por otra parte, el problema de los ejercicios terapéuticos destinados a la rehabilitación de las manos suele ser en muchos casos monótonos haciendo que el paciente pierda interés rápidamente en realizarlos, mostrando desinterés en la mayoría de los tratamientos. De igual manera otras causas por las cuales los pacientes ven un retroceso en sus terapias es la falta de disponibilidad y supervisión constante del terapeuta o profesional de la salud, que generalmente tiene un tiempo limitado de atención médica en cada sesión de ejercicios [8].

Por otra parte, la rehabilitación tradicional requiere por obligación la constante presencia del profesional terapéutico en las sesiones de ejercicios, donde la efectividad del procedimiento se evalúa de manera subjetiva por el terapeuta [9] y está restringida por el número de terapias asignadas por el médico general o de atención primaria, dichos dictámenes en muchos casos no están soportados por un examen especializado generando diagnósticos no acertados en términos de recuperación total del paciente. La rehabilitación del paciente depende en gran

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 8 de 108

medida del método utilizado por el fisioterapeuta basado en un entrenamiento pasivo debido a las limitaciones iniciales causadas por la lesión [10]. El paciente en su etapa de rehabilitación no asistida debe aplicar un entrenamiento activo que consiste en ejercitarse utilizando su propia fuerza [11], dicho entrenamiento al no ser supervisado podría ocasionar consecuencias que perjudican el proceso de recuperación, por tal motivo y teniendo como base que en la actualidad existen diversos métodos de rehabilitación pasivos tales como masoterapia, electroterapia, termoterapia e hidroterapia, entre otras [12], se están implementando nuevas maneras de fortalecer la recuperación no asistida del paciente generándose alta demanda en nuevas tecnologías [13] en dicho campo. Este proyecto se enfoca en proporcionar una alternativa a la recuperación del paciente de forma no asistida y plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo apoyar los procesos terapéuticos para la rehabilitación de pacientes con problemas de motricidad y/o movilidad en las manos, aplicando nuevas tecnologías que faciliten el proceso de rehabilitación y logren estimular al paciente en sus terapias no asistidas?

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El uso de las tecnologías en el campo de la salud, ha tenido un papel importante, mejorando de manera significativa el bienestar y calidad de vida de las personas. Una de las especialidades en la que se está realizando importantes aportes tecnológicas, es la rehabilitación motriz de afectaciones en las manos [14], dichos problemas requieren de una rutina constante de ejercicios que deben realizarse por fuera de las sesiones fisioterapéuticas, para obtener mejores resultados en el proceso de rehabilitación [15], ofreciendo una alternativa para que los pacientes cumplan exitosamente con los tratamientos físicos.

Actualmente la realidad virtual es altamente empleada en procesos de rehabilitación neurológicos [16], osteomusculares [17] y específicamente rehabilitación de manos [18], [19]. Sin embargo, muchas aplicaciones están enfocadas en presentar al paciente juegos que carecen de un contexto relacionado con la vida cotidiana [20], por lo que la conexión cerebro/mano no está siendo estimulada y por ende no se aprovechan de forma completa los ejercicios de rehabilitación [21]. La propuesta de investigación que aquí se detalla pretende utilizar la realidad virtual en un contexto funcional, concreto y estimulante para los pacientes enfocada en actividades cotidianas, trayendo un beneficio directo tanto al paciente en su rehabilitación como al terapeuta generando un dictamen médico más preciso.

Los procedimientos tradicionales en la rehabilitación de problemas de movilidad no han sufrido cambios a lo largo del tiempo por falta de uso de tecnologías, prototipos o modelos virtuales para apoyar los procesos de recuperación [22], por tal motivo este proyecto proporcionará una nueva herramienta con aplicaciones de la vida cotidiana.

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 9 de 108

Por otra parte, el desarrollo del proyecto apoyará a los médicos especialistas y/o fisioterapeutas en el seguimiento de los pacientes a través de la generación de reportes del proceso de rehabilitación, permitiéndoles complementar su evaluación basada en mediciones específicas de la evolución de las manos, esta propuesta de investigación pretende contribuir en la rama de la medicina como una herramienta de apoyo aportando nuevas alternativas de ayuda para los pacientes en su proceso terapéutico alcanzando un gran impacto en un tema clave como la rehabilitación de las manos proponiendo nueva información para futuros estudios que complementen el protocolo de evaluación clínica que actualmente existe.

### **1.3 OBJETIVO GENERAL**

Implementar un sistema para el apoyo en la rehabilitación de pacientes con problemas de movilidad y motricidad en las manos basado en un ambiente de realidad virtual mediante el diseño de entornos relacionados con actividades cotidianas utilizando el controlador Leap-motion.

#### **1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los principales ejercicios y movimientos que el paciente debe realizar en su proceso de rehabilitación activa relacionándolos con las actividades cotidianas con el fin de diseñar los entornos para el entrenamiento virtual.
- Construir el sistema de apoyo a la rehabilitación del paciente con problemas de motricidad y movilidad en las manos utilizando entornos virtuales relacionados con actividades cotidianas que refuercen los procesos terapéuticos activos.
- Evaluar la efectividad del sistema de apoyo a la recuperación de las manos del paciente basado en entornos de realidad virtual mediante la aplicación de encuestas apoyadas por el criterio médico, mediciones de fuerza y datos capturados por el sistema relacionados con el desempeño del paciente en las aplicaciones virtuales desarrolladas.

### **1.4 MARCO TEÓRICO**

#### **1.4.1 ESTADO DEL ARTE**

La mano es un órgano que permite la interacción del ser humano con su entorno, está compuesta por 27 huesos conformados en 3 grupos (carpo, metacarpos y falanges), 39 músculos, 36 articulaciones y ligamentos, que al trabajar conjuntamente permiten al ser humano ejercer movimientos con destreza para realizar actividades rutinarias. Cada dedo que conforma la mano está compuesto por tres falanges: Proximal, medial y distal; y las falanges constan de tres partes:

una cabeza redondeada distal, un cuerpo (diáfisis), y una base expandida [14]. La región de la mano está configurada por dos articulaciones: la articulación carpometacarpiana de los dedos trifalángicos, la cual realiza los movimientos de los huesos; y la articulación carpometacarpiana del pulgar, realiza los movimientos de flexión/extensión, generados por el eje transversal, en esta misma articulación los movimientos de abducción del pulgar son permitidos por el eje anteroposterior [15]. Las articulaciones que permiten la unión de los cinco metacarpianos con la primera falange de los dedos son las metacarpofalángicas, las cuales tienen dos ejes de movimiento funcional: flexión/extensión y separación/aproximación [16]. La abducción y la aducción de los dedos se definen respecto al eje longitudinal que pasa por el dedo medio. La singularidad de la mano humana, en comparación con los animales está dada por el hecho de que todos los dedos son independientes uno del otro y el pulgar puede ponerse en contacto con cada dedo [17]. Los movimientos de la muñeca permiten los cambios de localización y orientación de la mano, realizando movimiento de flexión y extensión en relación con el eje transversal, así como la abducción radial y la abducción cubital en relación con el eje anteroposterior [18]. Articulación de la muñeca (mano) basado en [19].

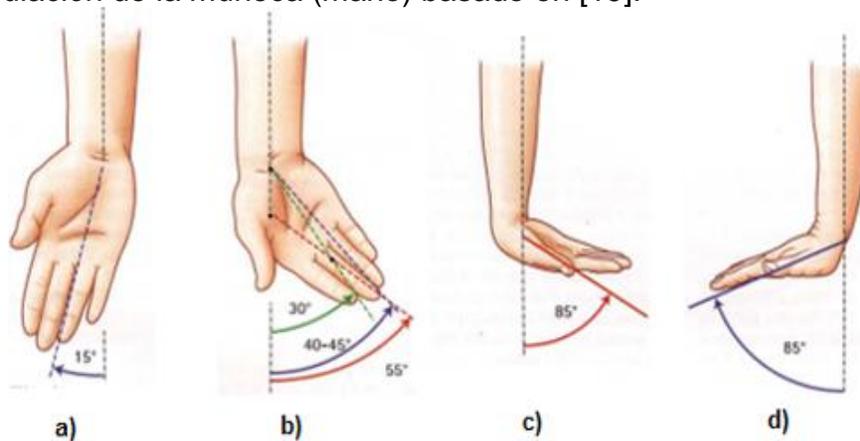


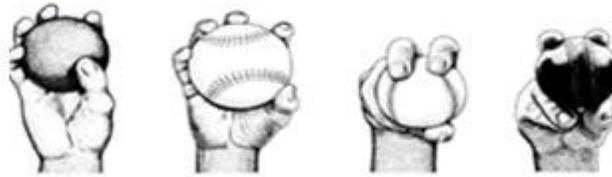
Figura 1: Movimiento de la muñeca: a) abducción, b) aducción, c) flexión, d) extensión.

### **Prensión de la mano.**

La forma en que se emplea la mano depende de varios factores entre los que se destacan el tamaño, la forma y peso del objeto, así como el uso que se haga del mismo. La prensión puede ser clasificada como de precisión o de fuerza [19]. Un requisito fundamental de la prensión es que el objeto, fijo o de libre movimiento, debe ser mantenido de forma segura y estable [20].

Tipos de prensión: [20].

#### Prensión de Precisión



#### Prensión de Fuerza



Figura 2: Diferentes clases de prensión de la mano

#### Prensión de precisión:

Es utilizada para la manipulación de pequeños objetos. Ocurren entre los pulpejos de los dedos (carnosidad en la punta de los dedos), que se pegan al objeto y se adaptan a su forma. Los músculos que intervienen en la prensión de precisión son todos los músculos pequeños de la mano, así como los flexores profundos y superficiales de los dedos y el flexor largo del pulgar [19].

#### Prensión de fuerza:

Dentro de la prensión de fuerza se identifican 4 tipos [21]:

- **Oposición terminal (prensión en pinza):** las puntas de los pulpejos se emplean para coger objetos delicados. De acuerdo a las falanges utilizadas para soportar el objeto que se está manipulando se puede subclasificar, así: pinza terminal, pinza palmar, pinza lateral o llave, pinza de pulpejo o cubital.
- **Oposición subterminal:** las superficies palmares del pulgar y el índice u otro dedo entran en contacto.
- **Oposición Subterminolateral:** la yema del pulgar hace presión sobre el lado de cualquiera de las falanges del dedo.

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 12 de 108

- **Abducción entre los dedos**, por lo general se da entre los dedos índice y corazón, siendo débil y de poca precisión.

Las fracturas de las falanges y metacarpianos no son comunes y debilitantes. Estas afectan en gran medida la capacidad de la mano, su vulnerabilidad y resistencia. La mayoría de las fracturas de la mano no siempre es necesario ser tratadas con operaciones, sino con terapias que requieran ejercicios con cuidado, una mayor habilidad y atención sostenida [22]. En las fracturas de la mano, la fisioterapia tiene diferentes tipos de modalidades aplicadas para acelerar el estado de recuperación del paciente; este trabajo tiene que ser multidisciplinario, teniendo en cuenta los cuidados que se deben tener en la rehabilitación [23]. Los metacarpianos primero y quinto son los más comúnmente afectados en las fracturas de la mano, por la relación que existe en el esqueleto de la misma, como consecuencia es probable que se altere la función al sufrir una lesión [24].

El tratamiento de las fracturas de mano no es siempre óptimo. Potencialmente está comprometido por las lesiones abiertas; los enfoques quirúrgicos violan los planos tisulares, producen cicatrices y adherencias, con déficits de movimiento [25]. En la evaluación del resultado del tratamiento de las fracturas se tiene en cuenta los parámetros del objetivo clínico (la fuerza de agarre y la amplitud del movimiento de la muñeca) [26].

En la literatura existen trabajos que analizan las fuerzas de contacto en los dedos durante la realización de agarres bidigitales [27] [28] o multidigitales [29] [30] que involucran únicamente agarre con las falanges distales (agarre tipo pinza). Los sistemas de medida empleados en estos trabajos son dispositivos incluidos en el propio objeto agarrado, que están diseñados específicamente para medir la fuerza total de una serie de sensores sobre los que apoyan los dedos durante el agarre. En estos trabajos se estudia el agarre en pinza con sensores de presión colocados sobre los dedos principales [31], lo que permite analizar el agarre en objetos variados. Sin embargo, este tipo de montajes no permite estudiar el agarre clínico o agarres más complejos con zonas de contacto en partes de la mano diferentes de las falanges distales.

Para el estudio de la distribución de presiones en agarres complejos debe recurrirse al uso de sensores de presión en forma de láminas flexibles de pequeño espesor, bien colocados en el objeto o en la mano, abarcando diversas zonas de la misma [32].

El agarre de potencia clínico es uno de los más empleados durante la realización de actividades diaria como coger una botella para servir agua o agarrar el volante de un vehículo durante su conducción [33]. Se trata de un agarre de contacto en una superficie elevada de la mano y con la que pueden conseguirse fuerzas elevadas de agarre. La caracterización biométrica de este agarre es de gran interés,

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 13 de 108

ya que la funcionalidad de la mano humana radica en que dicho agarre pueda ser realizado [34].

La rehabilitación de la mano se enfoca en la recuperación de la fuerza, movilidad y motricidad [2], razón por la cual existe una alta demanda de profesionales expertos en el área de la fisioterapia para atender los diversos problemas que diariamente se presentan [10]. La mayoría de los pacientes solo pueden pagar uno o dos tratamientos por semana, lo que se considera insuficiente para el proceso de rehabilitación [11]. Por este motivo, es importante mejorar la eficiencia del auto ejercicio de los pacientes en sus hogares y de esta manera mejorar el proceso de rehabilitación.

Diversas investigaciones se han realizado en la comunidad de interacción humano-computadora donde se ha visto los intentos por mejorar la rehabilitación de manos con tecnologías HCI. Khademi, M. et al. [4] modificó el juego "Fruit Ninja" con el controlador *Leap Motion* para pacientes con accidente cerebrovascular para ejercitar el brazo y la mano. Bohlander et al. [5] también construyó un juego, usando la posición de la mano de Microsoft Surface. Los juegos mencionados son producto de investigaciones que involucran juegos nuevos o ya existentes que son modificados o adaptados para fomentar la rehabilitación. Otro ejemplo de rehabilitación es el propuesto por Liu Zhe [6] el cual consiste en un sistema interactivo *online* basado en *Leap Motion* que procesa los datos en tiempo real mostrando en pantalla la reconstrucción de las manos al utilizar el controlador *Leap Motion*. Volkman en colaboración con Regazzoni [7] presentaron un enfoque para monitorear los ejercicios de rehabilitación de manos para pacientes con accidente cerebrovascular, de esta manera se genera un sistema como soporte a esta problemática mediante la ayuda del sensor *Leap Motion*, para el rastreo manual y así evaluar con exactitud el conjunto de ejercicios de rehabilitación realizados con una sola mano, al cabo del tiempo esta propuesta fue incorporando más datos para el soporte inicial de la investigación agregando nuevas funcionalidades como el reconocimiento de gestos y la normalización de ángulos, el resultado final fue un sistema que proporcionó un conjunto de correcciones de ejercicio y orientación para la rehabilitación.

El diseño de sistemas interactivos HCI, adquiere cada vez mayor importancia en la ayuda y soporte en los procesos de rehabilitación [8]. Por eso en los últimos años en este campo se ha avanzado con propuestas para el apoyo en la rehabilitación de pacientes[9].

Los sistemas existentes de rehabilitación de manos siempre se diseñan con el propósito de adaptarse de acuerdo con las necesidades de los pacientes [10]. El gran problema que presentan estos tipos de sistemas es la complejidad de sus programas, la idea que plantea Xue Y. y Zhao [11], con la ayuda de la interacción mediante gestos utilizando realidad aumentada, es un diseño amigable y

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 14 de 108

complementario a la rehabilitación de manera muy simple. Además, es de bajo costo en la elaboración y utiliza *Leap Motion* como dispositivo de entrada para un conjunto con Unity 3D como motor de desarrollo. Este sistema propone 3 módulos funcionales: entrenamiento convencional, entrenamiento de juegos AR y funciones auxiliares, con el objetivo de ayudar con la actividad de rehabilitación de la mano en los pacientes y de esta manera mejorar la movilidad.

A lo largo de los últimos años, se han desarrollado nuevas técnicas que permiten el análisis del movimiento de las manos para su respectiva rehabilitación, donde tales técnicas pueden tener un potencial para la evaluación clínica de manos y dedos [12]. Los dispositivos de seguimiento pueden medir parámetros a través de cámaras, guantes o al colocar sensores en la piel del usuario [13]. Sin embargo, la mayoría de estos instrumentos son costosos, requieren mucho tiempo para su instalación, por lo tanto, se desarrolló un sistema basado en una cámara sin contacto muy prometedor para la ayuda de la rehabilitación de los pacientes, pero el precio resulta muy costoso y no asequible comercialmente [14]. Por lo tanto, el estudio realizado en Amsterdam, Países Bajos propuesto por los investigadores Nizamis. K y Noortje H.M, surgió una nueva configuración y protocolo para medir el rango de movimiento de la muñeca y la mano [14]. Donde el objetivo es evaluar la precisión del movimiento de manera confiable con ayuda del sensor *Lep Motion* para evaluar el proceso y seguimiento de los pacientes que padecen problemas de movimiento de la muñeca y de la mano.

Es fundamental la terapia de rehabilitación para llevar a cabo el proceso de recuperación para los pacientes que han sufrido casos de lesiones por accidentes y de otros trastornos exteriores como los postquirúrgicos, el cual requiere una debida atención presencial de un terapeuta durante las sesiones [15]. Investigaciones realizadas en la universidad de L´ Aquila en Italia, Polsinelli Mt. Y Banchetti P.A, diseñaron un sistema de guantes virtuales para el tratamiento y seguimiento del proceso de rehabilitación de las articulaciones de la mano basado en el uso simultáneo de controladores *Leap Motion*, el cual les permitió calcular los movimientos de la mano y emularlos. El resultado que se obtuvo fue lograr recopilar los datos de movimiento para que de esta manera, el equipo médico pudiera comparar las diferentes sesiones del paciente y poder tener un reporte de su estado de rehabilitación como una evaluación más objetiva en los análisis de las articulaciones de la mano [16].

La realidad virtual es una representación de las cosas a través de medios electrónicos que proporciona la sensación de estar en una situación real en la que se puede interactuar con el entorno, generando una experiencia que haga sentir a la persona en un mundo real mediante graficas computarizadas en 3D más otros elementos [17].

Actualmente la realidad virtual es empleada en rehabilitación, generando

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 15 de 108

investigaciones y aplicaciones que contribuyen en esta rama de la medicina [18]. La terapia basada en realidad virtual cuenta con un contexto funcional, concreto y estimulante para los pacientes, trayendo un beneficio directo tanto al paciente como al terapeuta por la adaptabilidad que tienen estos sistemas [19]. Los dispositivos visuales como monitores y lentes, dispositivos ópticos, hardware para el seguimiento corporal, entre otros, son introducidos para sumergir al paciente en un entorno virtual en función de metas a cumplir dentro de su diagnóstico médico [20].

Actualmente, la mayoría de las aplicaciones que involucran la rehabilitación sirven como herramientas de apoyo para el ejercicio motriz y cognitivo [20]. Esta conclusión fue obtenida de diferentes investigaciones [21][22] que demostraron una recuperación satisfactoria de los pacientes, demostrando que la terapia con realidad virtual produce cambios en la corteza sensorial motora del cerebro, las cuales se relacionan con la mejora de las habilidades motrices de las extremidades afectadas por enfermedades causantes de la discapacidad [23]. Algunas aplicaciones que implementan la rehabilitación virtual empleando interfaces naturales son los siguientes: una interfaz natural basada en la interpretación de secuencias de movimientos del usuario por comandos de interacción utilizando el sensor Kinect, Qt y diversas bibliotecas de desarrollo y el ambiente GNU/Linux es presentado en [24]. Una propuesta de un *framework* para la rehabilitación física de miembros superiores en pacientes entre 6 y 12 años de edad basado en realidad virtual y que induce a actividades físicas particulares con el acompañamiento de personal especializado es presentado en [25], dicha propuesta se fundamenta en la creación de una arquitectura de hardware y software que ejecuta un conjunto de videojuegos para la rehabilitación de pacientes. En los casos anteriores, se contempla el uso de interfaces naturales ya que permite que el usuario interactúe con la aplicación de forma más intuitiva.

#### **1.4.2 Marco teórico**

Las practicas asociadas a la fisioterapia tradicional se clasifica en muchas técnicas, entre ellas una de las mas importantes la masoterapia, en términos más simples “amasar” se utiliza para denominar las manipulaciones de los tejidos blandos corporales que se tratan mejor con las manos [26]. Es importante tener en cuenta que los requisitos básicos de este tipo de masaje terapéutico son las cuestiones éticas, el conocimiento de la anatomía de superficie del cuerpo, la preparación de las manos y por último el equipamiento terapéutico para que estos métodos sean cómodos y relajantes para el paciente [27].

La rehabilitación es una de las principales formas de tratamiento para mejorar los déficits motores y las actividades de la vida diaria. La investigación en los últimos años ha puesto el potencial de la robótica en la rehabilitación del miembro superior mostrando con éxito los resultados mediante estudios [35]. Plataformas de juego en particular, han sido ampliamente estudiados, tales como el Nintendo Wii. Sin

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 16 de 108

embargo, su adecuación para personas con impedimentos motrices, se argumentó que no son suficiente material de apoyo para la rehabilitación, ya que los pacientes se sienten desmotivados al manipular dichas herramientas [36]. Sistemas de captura de movimiento son un desarrollo reciente en esta área de investigación. A pesar de que la tecnología no es muy precisa con seguimiento, existen otras múltiples ventajas que brinda al paciente cuando manipula dicho sistema; se argumenta que ofrece beneficios para el usuario, incluyendo un entorno inmersivo, pero seguro; refuerzos positivos utilizando realimentación; experiencia atractiva y agradable; y esto se cree que son importantes para el cumplimiento y la recuperación del paciente [37].

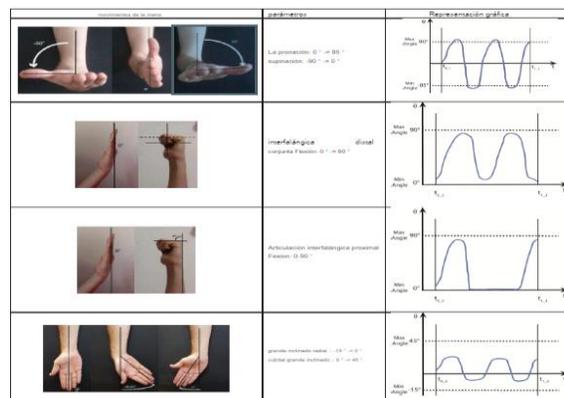
Los entornos virtuales están aumentando en popularidad, pero la investigación en términos de entornos virtuales es aún poco frecuente en la rehabilitación, tanto para las extremidades superiores e inferiores en las personas que sufren de problemas en sus movimientos motrices. Es por ello que se elabora un proyecto donde el objetivo principal era crear una colección de fácil uso de ejercicios de rehabilitación para facilitar la mejora de la destreza manual en pacientes, este estudio utilizó un enfoque de co-creación en el desarrollo de los ejercicios de rehabilitación. Esto implicó la entrada del usuario desde el principio del desarrollo y la evaluación después de la primera etapa de desarrollo. Para ejecutar este proyecto hubo la necesidad de utilizar el sensor Leap Motion conectado a un PC, los materiales adicionales requeridos para la etapa de evaluación fue un dispositivo de video para grabar los movimientos de las manos de los participantes durante el uso de los ejercicios y un grabador de audio digital para grabar la interacción de grupos focales. En cuanto a los ejercicios de rehabilitación gamified, los modelos gráficos de varios objetos fueron creados con Autodesk 3ds Max, una poderosa plataforma de modelado por ordenador en 3D. El motor de juego de la Unidad se realizó para construir los ejercicios de rehabilitación actuales [38].

Se han creado sistemas motionsensing markerless que han sido comercializados para los jugadores y aficionados, uno de ellos es el sensor Leap Motion que está diseñado principalmente para cuantificar movimientos de la mano y los gestos. Es por ello que este sensor recientemente se ha utilizado con éxito en combinación con juegos digitales como una herramienta para la telerehabilitación [39]. Los sistemas de captura de movimientos basados en marcadores se han centrado en la tecnología de captura de movimientos [40], que son utilizados en todas las disciplinas para obtener las medidas más fiables, no invasivos que describen el movimiento humano. Los datos de estos sistemas, junto con estimaciones establecidos por el uso de algoritmos cinemáticos validados permiten el cálculo de movimiento de la articulación a un alto grado de precisión [41]. Teniendo en cuenta la información anterior, se evidencia que, en el departamento de telemedicinas y rehabilitación, junto al City College de New York, utilizó la tecnología de captura de movimiento patrón de referencia para cuantificar la precisión con la que el Controlador de Movimiento Salto (LMC) registra ángulos de las articulaciones de la muñeca y el antebrazo, en condiciones que fueron diseñados para ser reproducible

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 17 de 108

en un entorno clínico supervisado. El objetivo principal de este proyecto fue evaluar los estudios que tiene la LMC para rastrear con precisión los movimientos de la muñeca y el antebrazo mediante un entorno clínico. Los criterios que se estipularon era primero hacer el estudio con personas que debían ser neurológicamente sanos y posteriormente realizar el estudio con personas que sufrieran con movilidad motriz. Tras la captura de la imagen, el software utiliza una variación de propiedad de estereofotogrametría para la eficacia del movimiento de la articulación. Finalmente, todas las prácticas experimentales se llevaron a cabo con plena aprobación del comité del hospital de rehabilitación Burke para los Derechos Humanos en investigación [42].

En el 2018, en Roma Italia se estableció un nuevo parámetro para el cálculo del movimiento de la mano mediante la ayuda del controlador Leap Motion, en conjunto con un guante de interacción de realidad virtual, todo fue posible por la colaboración de varios estudiantes e investigadores encabezado por el Dr. Matteo Spezialetti, donde la función principal de este proyecto era la recuperación de las manos por problemas articulares, en donde el proceso de recuperación de los pacientes tenía altos costos por cada sesión de terapia y el constante acompañamiento del cuerpo médico asignado a los tratamientos, aparte que se empleaban métodos tradicionales que hacen que el proceso de recuperación sea más lento. El sistema se basa en un enfoque multisensorial (2 sensores), acoplado con el guante de Realidad virtual (VG), donde los controladores siguen el movimiento de la mano y reconstruye un modelo numérico en tiempo real en donde se toman muestras, con ello para evaluar los rangos de movimiento de la mano, clasificados como dinámicos y estáticos enfocados en las articulaciones la cual es la base objetiva para la rehabilitación. Los resultados de esta investigación fueron satisfactorios, determinando que mediante el Leap Motion se obtuvo un aumento de satisfacción de los pacientes puesto que experimentaron un avance dentro de sus tratamientos. Además, el personal fisioterapeuta tomó los resultados arrojados por el sistema comparándolos con las sesiones iniciales; dictaminando un gran rendimiento de los pacientes intervenidos [42].



	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 18 de 108

*Figura 3: medición de parámetros del movimiento de la mano*

Todas estas mediciones fueron guardadas en una base de datos para tener mediciones fijas para ser más precisos en futuros pacientes que se requiera aplicar dichos parámetros [43]. Los datos de estos sistemas, junto con estimaciones establecidos por el uso de algoritmos cinemáticos validados permiten el cálculo de movimiento de la mano.

Los sistemas de realidad virtual se han vuelto un punto importante para la colaboración y soporte de tratamientos y ejercicios fisioterapéuticos [44], como es el caso de la investigación que se llevó a cabo en el Departamento de desarrollo y rehabilitación de la universidad de New Jersey el cual diseñaron un sistema de ejercicios de la mano usando realidad virtual para pacientes que sufrieron accidentes cerebrovasculares, que consiste en un guante virtual donde está acoplado en un sistema que mide los rangos de movimiento como el rango de flexión, velocidad como también la independencia y la fuerza de los dedos mediante ejercicios de simulación de realidad virtual [45].

De igual manera en el 2018, se realizó con el fin de monitorizar las habilidades manipulativas de la mano para su posterior rehabilitación de la función de la extremidad, ya que anteriores sistemas existentes solo se centraban en la función del codo-hombro [46]. Es por ese motivo en otras investigaciones complementarias para esta temática, se lleva a cabo el diseño del proyecto de terapias mediante realidad virtual, donde ha sido en principio algo desafiante técnicamente ya que se debería de enfocar especialmente en las funciones de la mano, para que de esta manera tener un mejor enfoque a la hora de monitorizar los problemas que esta extremidad presenta en cada paciente. El funcionamiento del sistema está compuesto por guantes instrumentados, uno de ellos va conectado a un sensor de respuesta a la fuerza, donde le da un aspecto único para ser utilizado en las terapias basadas en realidad virtual, la interfaz de usuario se compone de un ambiente amigable e interactivo en lugar de ser simples gráficos 2D. Se ha demostrado que este sistema es atractivo para los pacientes además motiva su uso y se convierte en una herramienta adaptable que proporciona a los pacientes una experiencia diferente de realizar sus trabajos de rehabilitación motora de las manos causadas por accidentes cerebro-vasculares y que también es una herramienta que adicionalmente proporciona opciones de obtener nuevas habilidades adquiridas de manera repetitiva a medida que el usuario vaya utilizando el entorno virtual [47].

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 19 de 108

El controlador *Leap Motion* es un dispositivo pequeño que se puede conectar a un a un computador mediante USB (Bus serial universal), el cual detecta los movimientos de la mano en el aire que se realizan sobre el dispositivo y se traducen en acciones para que la computadora realice y se despliegue en pantalla [28]. El controlador es altamente sensible a movimientos muy pequeños, es capaz de mapear movimientos de toda la mano sobre él [29]. Ahora bien, las ventajas que destaca frente a otros sensores de realidad virtual es la precisión submilimétrica [30], aún no se ha analizado totalmente esas capacidades en entornos reales, sin embargo, la detección de gestos en el Leap-motion es mejor ya que posee 4 sensores de seguimiento mediante luz infrarroja frente al *HTC VIVE*, que posee 2 sensores de posición y los *Oculus Rift* que son pesados provocando cansancio en los usuarios después de un tiempo de uso, además ambos dispositivos son costosos [31]. Por otro lado, Google está apostando en el diseño de un nuevo dispositivo de realidad virtual el cual llamarán *Google Daydream view* [32], que tendrá materiales más livianos, hasta el momento no se tiene en venta el primer modelo.

En el 2013, Frank Weichert, Daniel Bachmann y Bartholomäus Rudak, como parte de un grupo de investigadores del Departamento de las ciencias de computación en Dortmund (Alemania), presentaron un estudio del controlador *Leap Motion*, donde el principal foco de atención fue la evaluación de la precisión y la repetibilidad, es decir, cuántas veces puede hacer cierto movimiento manteniendo la misma precisión [33]. Encontraron que la posición 3D deseada obtuvo resultados por debajo de los 0.2mm utilizando un robot con lápiz de referencia para el movimiento, concluyendo que la precisión de detección de movimientos del dispositivo es adecuada para cualquier uso y desarrollo de aplicaciones en el campo de la interacción persona-computadora [34].

El funcionamiento del controlador *Leap Motion* está dado por las posiciones en el espacio cartesiano de objetos predefinidos como puntas de los dedos, puntas de lápiz, etc. [35]. El dispositivo posee un sistema central de emisores infrarrojos, 2 pequeñas cámaras IR (Luz infrarroja). Por lo tanto, *Leap Motion* se clasifica en sistemas de seguimiento óptico basados en visión estéreo, sin embargo, se necesita un sistema preciso de referencia para evaluar la repetibilidad del controlador *Leap Motion* [36].

Teniendo en cuenta que la mayoría de las aplicaciones para el controlador *Leap Motion* son interfaces de usuario basadas en gestos, la precisión alcanzable de la medición de movimiento de una mano humana es el factor más relevante que está esencialmente afectado por el llamado temblor [37]. El cual se define como un movimiento involuntario y aproximadamente rítmico de los músculos, dependiendo de la edad humana, la amplitud del temblor varía entre 0.4 mm, 0.2 mm para individuos jóvenes entre los 0.6mm y 1.1mm para individuos de la tercera edad [38]. Por esta razón, para evaluar el controlador *Leap Motion* con respecto a las interfaces

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 20 de 108

de usuario basadas en gestos humanos, se debe calibrar el dispositivo por debajo de 0.2mm para una precisión sin fallos al temblor de la mano. Por lo tanto, Leap Motion facilita la captura de movimientos de la mano del paciente, pero las aplicaciones requeridas para el sistema de apoyo en la recuperación no pueden ser creadas únicamente con el controlador, por tal motivo en este proyecto se utilizará un IDE de desarrollo para aplicaciones de realidad virtual que permitan al paciente la interacción simulada de actividades cotidianas, dicha herramienta se conoce como Unity 3D.

En los últimos años se han desarrollado diferentes sensores ópticos que permiten la adquisición de objetos 3D. simultáneamente con la aparición de los nuevos sensores, el número de aplicaciones potenciales aumenta enormemente. Las aplicaciones se benefician especialmente de la creciente precisión y robustez de los sensores 3D [43].

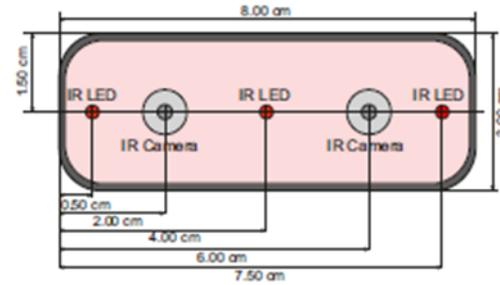
Las aplicaciones de los sensores 3D incluyen tareas industriales, seguimientos de personas y objetos, análisis de movimientos, animación de personajes, reconstrucción de escenas 3D e interfaces de usuario basadas en gestos [44]. Estas aplicaciones tienen requisitos diferentes en cuanto a resolución, velocidad, distancia y características del objeto. Particularmente con respecto a las interfaces de usuario basadas en gestos, la precisión del sensor es una tarea difícil. Los sensores de consumo solo ofrecen una precisión de posicionamiento limitada. Un análisis del controlador Kinect muestra una desviación estándar en la precisión de la profundidad de aproximadamente 1.5cm [43]. La evaluación de la precisión de los sensores ópticos es el tema de investigación y discusión científica actual [45].

El Controlador de Movimiento Salto (Leap Motion) introduce un nuevo sistema de seguimiento de gestos y posiciones con una precisión submilimétrica. A diferencia de las soluciones multitáctiles estándar, este sensor de superficie se discute para su uso en sistemas de interacción estéreo 3D realistas [46], especialmente en lo que respecta a la selección directa de objetos visualizados estereoscópicamente [47].

El principio de funcionamiento de la medición de los sensores ópticos tridimensionales puede en principio, dividirse en los siguientes mecanismos: Luz estructurada, tiempo de vuelo y visión estéreo. Los sensores de luz analizan la deformación de un patrón conocido en una superficie desconocida para determinar la forma tridimensional [48] – ejemplos claros representativos incluyen el Kinect de Microsoft y Asus Xtion Live [49]. Las cámaras 3D de Tiempo de Vuelo (TOF) se basan en el conocido principio de tiempos de vuelo [49].



a)



b)

Figura 4: a) Visualización de un Leap Motion real y b) vista esquemática del Controlador de Movimiento de Salto

- El controlador de Leap Motion es un sensor de consumo desarrollado que está diseñado principalmente para el gesto de la mano y la detección de la posición de los dedos en aplicaciones de software interactivo. La figura 4 muestra una vista esquemática de la configuración del hardware del controlador. Además de tres emisores de infrarrojos, el dispositivo incorpora dos cámaras de formato de dispositivo de carga acoplada (CCD, *Charge Coupled Device*). Según el fabricante, la precisión del sensor en la detección de la posición de la punta del dedo es de aproximadamente 0:01mm. Al diseñar una nueva configuración de medición basada en un robot industrial, se revisa y evalúa la repetibilidad y la precisión del controlador con respecto a las capacidades de gesto y detección de movimiento del controlador de movimiento bisiesto.

El controlador de Leap Motion junto con la actual API (*Application Programmer Interface*) proporciona posiciones en el espacio cartesiano de objetos predefinidos como las puntas de los dedos, la punta del bolígrafo, etc. Las posiciones entregadas son relativas al punto central del Controlador de Movimiento Saltarín, que se encuentra en la posición del segundo emisor de infrarrojos centrado. Como se ilustra en la figura 4, el controlador consta de tres emisores de IR (luz infrarroja) y dos cámaras IR. Por lo tanto, el Leap Motion puede ser clasificado en sistemas de rastreo óptico basados en Visión Estéreo. Debido a la nube de puntos que falta en la escena y a los dos objetos detectables predefinidos, las técnicas tradicionales de calibración no son adecuadas para el Leap Motion. No obstante, se necesita un sistema de referencia preciso para evaluar la precisión y la repetibilidad del controlador de movimiento brusco. Los robots industriales apoyan la capacidad de fijar diferentes herramientas a su TCP (*Tool Control Point*) y exhiben una alta precisión en el rango submilimétrico. Por consiguiente, los robots industriales pueden actuar como sistemas de referencia de alta precisión durante la evaluación del Leap Motion. Teniendo en cuenta que la mayoría de las aplicaciones del controlador de movimiento brusco son interfaces de usuario basadas en gestos, la precisión alcanzable en la medición del movimiento de una mano humana es el

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 22 de 108

factor más relevante, que se ve afectado esencialmente por el llamado temblor [50].

### Unity 3D

Unity (comúnmente conocido como Unity 3D) es un motor de juego de entorno de desarrollo integrado (IDE) para crear medios interactivos, esta tecnología ejecuta gráficos, el audio, la física, las interacciones que son utilizados para la construcción de videojuego. Unity es famoso por su capacidad de creación de prototipos rápidos y un gran número de objetivos de publicación. La primera versión de Unity (1.0.0) fue creada por David Helgason, Joachim Ante y Nicolas Francis en Dinamarca [51].

El producto inicial se lanzó el 6 de junio de 2005 [52]. El objetivo era crear un motor de juego asequible con herramientas profesionales para los desarrolladores de juegos aficionados y al mismo tiempo, democratizar la industria del desarrollo de juegos [53]. Los tres se inspiraron en el fácil flujo de trabajo, sencilla canalización de activos y la interfaz de arrastrar y soltar el producto final [51]. Cuando se lanzó originalmente Unity, estaba disponible únicamente para Mac OS X y los desarrolladores solo podían desplegar sus creaciones en unas pocas plataformas. La versión 4.3.1. es compatible con Windows y Mac OS X y ofrece al menos una docena de plataformas de destino. La publicación de ejecutables de 64 bits ha sido compatible en Unity durante mucho tiempo, pero todavía no se dispone de una versión de 64 bits del editor, aunque se espera con gran interés por parte de la comunidad de desarrollo.

Un sombreador es lo que da a un objeto 3D su aspecto y sensación. Unas horas más tarde, Joachim Ante, que vivía en Alemania, en ese momento, respondió a al correo de Nicolás. Sus conversaciones dieron como resultado que los dos desarrolladores colaboraran para crear un sistema de sombreado que funcionara para sus dos motores separados [54].

Al principio, querían desarrollar juegos para ganarse la vida, pero vieron la necesidad de una mejor tecnología. Los dos siempre pensaron que harían un juego y luego licenciarían la tecnología y que un juego era necesario para probar la tecnología [54]. Al final, terminaron no haciendo juegos, sino haciendo una herramienta para hacer juegos [54].

Una de las razones del éxito de Unity fue el apoyo a los desarrolladores independientes que no disponían de los recursos necesarios para licenciar la costosa tecnología de desarrollo de juegos. Ellos querían contribuir algún tipo de tecnología de juego, pero no sabían que medio utilizar. Dos años más tarde, el dúo encontró su misión: crear una herramienta definitiva para la 3D en la Web. Con este factor impulsor, el grupo sacó importantes préstamos para abrir una oficina y contratar a algunos ingenieros. El grupo buscaba un director general, e inicialmente pensó que se turnarían para cumplir con este rol. Rápidamente se dieron cuenta que esto no funcionaría si quería tener éxito. Dentro del grupo de trabajo estaba

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 23 de 108

Helgason quien era el más social, así que el puesto de director general recayó en él. En este punto, el grupo se incorporó bajo el nombre de **Over the Edge Entertainment (OTEE)** y comenzó a formar un plan de negocios. Su empresa se inspiró en la empresa británica de desarrollo de juegos Cristerion, que estaba teniendo mucho éxito en el mercado de middleware para PlayStation 2 [54]. El modelo de Cristerion no sólo era tener una buena tecnología subyacente, sino también tener múltiples títulos grandes que usaran la tecnología. Se pensaba que los consumidores no se sentirían lo suficientemente cómodos como para licenciar un costoso motor sin ver a los principales desarrolladores de juegos usándolo primero.

OTEE pasó cinco meses creando un juego llamado Gooball usando el nuevo motor, que aún estaba en beta. Gooball fue publicado en marzo de 2005 por Ambrosia Software [56]. El equipo de Unity aprovechó esta oportunidad para destrozarse su motor para encontrar bugs, eliminar molestias y arreglar la interfaz antes de su lanzamiento oficial [55]. Usando las ganancias de Gooball, OTEE contrató más desarrolladores para refinar Unity antes de su lanzamiento inicial 1.0 en junio de 2005. Querían dar a Unity la mejor oportunidad posible de tener éxito, así que allanaron todas las asperezas y también proporcionaron amplia documentación y apoyo a los usuarios. Después de su lanzamiento, la compañía comenzó inmediatamente a trabajar en la siguiente iteración de Unity [51]. En ese momento, Unity era un bebé para la industria de los videojuegos. La mayoría de los usuarios eran aficionados y desarrolladores independientes. Muchas empresas de desarrollo de juegos de la época hacían un juego que no se vendía muy bien, y posteriormente trataban de “volcar”; su tecnología de motores. A los clientes potenciales les preocupaba que esto pudiera pasar con Unity. Pasarían dos años más antes de que la OTEE demostrara que la Unidad estaría debidamente apoyada y actualizada [51].

El soporte del navegador llegó justo cuando la escena del juego casual explotó. Anteriormente, el Flash de Adobe, con su torpe sistema basado en vectores, era una de las pocas opciones para los desarrolladores que buscaban publicar en la web. Unity llevó los gráficos 3D acelerados por hardware a la industria de los juegos de navegador. La versión 1.1 también añadió soporte para plugins externos de C/C++, permitiendo a los desarrolladores extender el motor para usar hardware y software no soportado por Unity desde el principio. Fue por esta época que los tres cofundadores sintieron que su producto estaba a la altura de los estándares proyectados [51]. El equipo pasó los siguientes tres meses depurando, optimizando y creando soluciones para los PCs más antiguos que estaban plagados de errores en las tarjetas gráficas y problemas con los controladores. Estos se integraron en el lanzamiento de Unity 1.5. [57].

Inmediatamente después del lanzamiento inicial de Unity, las características de Unity 2.0 se estaban desarrollando en el lateral [55]. Dos años de desarrollo más tarde, el “mayor paso de la historia”; de Unity, versión 2.0, fue lanzado. El objetivo

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 24 de 108

de este lanzamiento fue solidificar el soporte de Windows y mejorar la compatibilidad del reproductor web en todas las plataformas. Para ello, el equipo añadió soporte para Microsoft DirectX, que estaba preinstalado en los sistemas Windows Vista, como en el caso de OpenGL, que tenía que ser descargado por separado [55]. DirectX añadió alrededor de un 30 por ciento de aumento de velocidad en los sistemas Windows, además de las optimizaciones generales de rendimiento que ofrece Unity 2.0 [55]. Otras características importantes incluidas en este lanzamiento fueron: transmisión por Internet, sombras suaves en tiempo real, redes, un motor de terreno, el Servidor de Activos de la Unidad, y un nuevo sistema GUI basado en código [55]. Unity 2.0 fue lanzado durante la Conferencia de Desarrolladores Unidos de 2007 [55]. Con el auge de las aplicaciones para teléfonos inteligentes, y el lanzamiento del iPhone de Apple y por consiguiente de la AppStore, Unity Technologies decidió desarrollar una versión de Unity que permitiera la publicación para el iPhone. Comercializado como un producto separado, el iPhone Unity fue lanzado en diciembre de 2008 y estaba disponible en las versiones Basic y Pro, similar al producto Unity básico [58].

Unity Technologies lanzó la primera versión de Unity con soporte para Windows (Unity 2.5) en la Conferencia de Desarrolladores de Juegos de 2009. El siguiente gran lanzamiento fue la versión 3.0 el 27 de septiembre de 2010 [59]. Esta actualización trajo muchas características deseadas, incluyendo la unificación del editor, el mapa de luz de la bestia, la renderización diferida, la selección de la oclusión de la Umbra, la depuración de bajo nivel y los filtros de audio FMOD [59]. Para unificar el editor, el equipo de Unity tomó todas las plataformas de publicación que requerían un editor externo diferente (por ejemplo, Unity iPhone, Wii) y las incorporó en un único editor junto con las opciones de publicación existentes. En el momento del lanzamiento de Unity 3.0 había más de 200.000 desarrolladores registrados de Unity. La unidad se convirtió en el motor número uno para fines educativos, y la tecnología más utilizada en las plataformas móviles [59]. El 22 de diciembre de 2011 Unity Technologies comenzó la primera beta abierta pública para Unity 3.5. Este lanzamiento incluía soporte para la tan esperada opción de despliegue de Flash [60]. La última publicación de Unity 3.5 se publicó el 14 de febrero de 2012 [58].

Unity Technologies abrió el pre-pedido para Unity 4 el 18 de junio de 2012. La siguiente versión del ciclo de Unity trajo de nuevo muchas novedades, incluyendo la tecnología de animación Mecanim, el despliegue de Flash, el avance de la publicación de Linux y el sistema de partículas Shuriken. Los clientes que hicieron un pedido previo también recibieron un acceso temprano a la lista beta [61]. El revolucionario sistema de animación y las implementaciones adicionales de Adobe Flash y Linux son algunas de las características críticas introducidas en Unity 4, que juntas mantienen a Unity como la plataforma de desarrollo de juegos modernos más fuerte y de más rápida evolución disponible [61]. La versión final de Unity 4.0 se puso a disposición de los desarrolladores para su descarga el 13 de noviembre de

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 25 de 108

2012. La siguiente versión de Unity, 4.3, incluía soporte para sprites y desarrollo de juegos en 2D. Los desarrolladores pudieron empezar a crear juegos 2D el 12 de noviembre de 2013 cuando Unity 4.3 fue lanzado al público [62].

- **Editor de Unity**

El editor de la Unidad está compuesto por muchas sub-ventanas. Los más utilizados son: Navegador del proyecto, inspector, vista del juego, vista de la escena y jerarquía [66].

El navegador de proyectos es la ventana que contiene todos los bienes que se han importado a Unity y que están disponibles para su uso. La disposición es casi idéntica a la del Finder en Mac OS X, y al Explorer en Windows. Esto hace que los desarrolladores se sientan más familiarizados y cómodos al proporcionar una interfaz que ya utilizan a diario.

La ventana del Inspector es donde se ven y modifican los detalles de cada GameObject. Aquí es donde el desarrollador puede ajustar los valores para obtener la sensación adecuada para su juego. El Inspector muestra todos los Componentes que están unidos a un objeto (por ejemplo, Guiones, Física, Colisionadores, Sonido). Aquí también es donde se pueden asignar o cambiar las variables expuestas de los guiones.

La vista del juego proporciona al usuario una vista previa WYSIWYG (lo que ves es lo que obtienes) de cómo será su juego cuando lo construya. Incluye una entrada completa y permite al desarrollador probar sus cambios sin tener que esperar a que su proyecto sea compilado y desplegado en la plataforma objetivo.

La vista de la escena es donde se construye el juego. El desarrollador puede arrastrar y soltar los activos de la vista del proyecto. Los familiares controles de manejo en 3D y el ajuste de la cuadrícula permiten al usuario colocar sus objetos en la posición perfecta, hasta el píxel. La ventana de la Jerarquía contiene una lista de todos los objetos que están en la escena actual [54].

### **Asset Pipeline and Workflow Unity**

Es líder en el sector en cuanto a facilidad de uso y compatibilidad con el software actual de desarrollo de activos. Para importar un activo a Unity, el usuario sólo tiene que arrastrarlo a la ventana de proyecto y Unity se encarga del resto. Al editar un activo, Unity actualiza automáticamente el activo con las últimas modificaciones y las distribuye por todo el proyecto [67].

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 26 de 108

Unity admite la importación desde muchas aplicaciones, pero sólo admite de forma nativa Autodesk FBX y COLLADA para los modelos con huesos o animaciones. Al importar la mayoría de los modelos de este tipo, Unity abre el programa original que creó el modelo y lo exporta a un archivo FBX que Unity puede utilizar [67]. Esto se realiza automáticamente y está completamente entre bastidores. Ahorra el tiempo que los desarrolladores gastarían de otra manera tratando de convertir los activos en el formato adecuado. Si el desarrollador del juego necesita un control aún más preciso sobre la configuración de la importación, puede ampliar el editor para que se ajuste a sus necesidades utilizando el espacio de nombres de la API de Unity Editor [67]. El flujo de trabajo de Unity también permite a los desarrolladores, que se dirigen a múltiples plataformas, utilizar los mismos archivos de origen permitiendo al usuario anular la configuración de importación de cada plataforma a la que se dirige [67]. Si el promotor está trabajando en un proyecto masivo con muchos activos, puede tener problemas para localizar el correcto de manera oportuna.

### **Multiplataforma**

Otra razón por la que Unity se ha hecho tan popular es su capacidad de desplegarse en una amplia variedad de plataformas de destino, utilizando el mismo código y los mismos activos [68]. En el escritorio, se pueden crear ejecutables para Windows, Windows Store, Mac OS X y Linux (explícitamente soportados en Ubuntu, pero se sabe que funcionan bien en otras distribuciones). Para los ordenadores de sobremesa, los desarrolladores pueden elegir entre binarios de 64 y 32 bits. En Mac OS X también tienen la opción de crear una construcción Universal (incluye tanto ejecutables de 32 como de 64 bits). Para la orientación basada en la web, Unity admite tres opciones basadas en el navegador: Unity Web Player, Google Native Client y Flash (ya no son compatibles con Unity 4) [68] [69].

### **Scripting Languages:**

Unity ofrece a sus desarrolladores tres formas de programar su aplicación integrada en el IDE: Unity JavaScript (comúnmente conocido como UnityScript), C# y Boo. Se supone que cada uno de estos lenguajes de programación permite a los desarrolladores implementar el mismo contenido independientemente de sus preferencias de idioma. En realidad, esto demuestra no ser 100% exacto. Estos lenguajes se ejecutan en Mono y tienen tiempos de compilación rápidos. Mono es una versión de código abierto de la plataforma .NET de Microsoft que permite la compatibilidad cruzada en diferentes plataformas [70].

Una característica de la escritura que es única de Unity son las propiedades visuales. Las propiedades visuales permiten que las variables públicas de los scripts se modifiquen directamente en el editor sin tocar el código [70]. Esto es útil porque permite una rápida sintonización del juego para obtener el valor justo. Esta herramienta también permite a los diseñadores de juegos, que no están

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 27 de 108

familiarizados con el código, modificar la sensación del proyecto [71].

- **Unity Script**

UnityScript es un lenguaje similar a JavaScript, y la mejor opción para los usuarios novatos. La mayoría de los desarrolladores de Unity utilizan UnityScript, por lo que hay más ejemplos, y es más fácil obtener asistencia en IRQ o en el foro de Unity. UnityScript es fácil de aprender y rápido de escribir. Se encarga de un montón de casting de tipos entre bastidores y permite al usuario cambiar entre la escritura dinámica o estricta. JavaScript es un lenguaje prototípico, mientras que UnityScript es un lenguaje clásico, y por lo tanto recibe el beneficio de las clases y la herencia [72]. Aunque UnityScript soporta la escritura dinámica, puede ser más ineficiente que C# porque el compilador tiene que tener en cuenta que el tipo de un objeto puede cambiar. La privacidad y la creación de variables privadas funcionan de la misma manera que en C#: todo lo que el programador tiene que hacer es poner la palabra clave "private"; antes de declarar algo. Aunque generalmente se considera el lenguaje de los principiantes, hay algunos desarrolladores muy conocidos que prefieren UnityScript incluso después de aprender los otros idiomas disponibles [71].

**Ejemplo [73]:**

```
function Update() {
// Move the object forward along its z axis 1 unit/sec
transform.Translate(Vector3.forward * Time.deltaTime);
// Move the object upward in world space 1 unit/sec
transform.Translate(Vector3.up * Time.deltaTime, Space.World);
}
```

**C#:**

C# (pronunciado C-Sharp) es moderadamente más difícil de aprender (y mucho más de escribir) que UnityScript, pero permite al programador tener un control completo y preciso. C# requiere que el desarrollador maneje la mayoría de los componentes manualmente [71].

**Ejemplo [73]:**

```
using UnityEngine;
using System.Collections;
public class Example : MonoBehaviour {
```

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 28 de 108

```
void Update() {
// Move the object forward along its z axis 1 unit/sec
transform.Translate(Vector3.forward * Time.deltaTime);
// Move the object upward in world space 1 unit/sec
transform.Translate(Vector3.up * Time.deltaTime, Space.World);
}
}
```

### Boo:

Boo tiene una sintaxis parecida a la de Python y una estructura similar a la de UnityScript. Muy poca gente usa Boo, así que, si estás solucionando problemas con el código, puede ser difícil encontrar a alguien que realmente pueda ayudarte [71].

### Ejemplo [73]:

```
import UnityEngine
import System.Collections
public class Example(MonoBehaviour):
def Update() as void:
// Move the object forward along its z axis 1 unit/second.
transform.Translate((Vector3.forward * Time.deltaTime))
// Move the object upward in world space 1 unit/second.
```

- **UNITY GAMES**

El objetivo principal de Unity Games es permitir a los desarrolladores independientes “concentrar más energía en la creación de grandes juegos en lugar de preocuparse por cómo ganar dinero”; según Seyler, director general de Unity Games [74]. Unity Games se estableció principalmente como una herramienta para ayudar a los desarrolladores de conceptos de juegos prometedores a dirigirse a plataformas que normalmente no estarían disponibles para ellos debido a los altos costos de las licencias, u otros requisitos previos [75]. Después de que un juego es enviado a Unity Games y pasa el proceso inicial de revisión y selección, comienza la transferencia a la plataforma no disponible. Si se elige un juego y se porta con éxito, Unity Technologies se lleva el 20% de los ingresos y regalías. El desarrollador original que envió su juego obtiene el 80% restante [74]

### UNITY CLOUD.

Unity Cloud es un próximo conjunto de herramientas diseñadas para que los desarrolladores de Unity “construyan, comercialicen y operen atractivos juegos multiplataforma sin una gran inversión en la infraestructura de la nube” [76]. Los desarrolladores podrán seleccionar tantas o tan pocas herramientas de la nube

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 29 de 108

como deseen. La primera versión del servicio Nube de Unity supuestamente apoyará: localización de jugadores, promoción de títulos y anuncios en plataformas cruzadas. Todas estas características serán incorporadas, sin necesidad de una biblioteca de terceros (por ejemplo, Admob, Mobclix) [76]. Los desarrolladores podrán utilizar el servicio de anuncios de Unity Cloud para obtener ingresos adicionales, o para hacer una promoción cruzada de sus otras aplicaciones [76].

## **UNITY.**

Unity es un evento anual para desarrolladores, editores y concedores por igual. Estas conferencias ofrecen a las personas la oportunidad de conectarse con otros miembros de la comunidad, compartir conocimientos y utilizar recursos. El primer Unity tuvo lugar en San Francisco, California, y duró tres días. Unite "ofrece a los asistentes la oportunidad de aprender más sobre Unity y el Unity Web Player, para ampliar sus horizontes y explorar lo que es posible" [55].

Unity es una herramienta que ayuda a desarrollar aplicaciones para diversas plataformas, mediante un editor y scripting que sirve para crear videojuegos y ambientes de realidad virtual con un acabado profesional [39].

Unity se caracteriza por su potencia tanto en entornos 2D como entornos 3D, cuenta con una interfaz sencilla que ayuda a las personas a probar sus creaciones directamente en el engine, observando el resultado final en el juego y modificarlo en el propio motor [41]. Existe suficiente documentación ya sean manuales y tutoriales que se pueden encontrar en su página oficial como en otras páginas de internet, es una herramienta muy versátil para el prototipado y además tiene una curva de aprendizaje muy fácil para la estructura de su editor, maneja lenguaje de programación más comunes por ejemplo C#, JavaScript, C++ [42]. Los proyectos creados en Unity se expanden, especialmente si se usan assets complejos o modelos 3D de alta resolución, para la ejecución del programa se requiere por lo menos un hardware con buenas especificaciones como la RAM y tarjeta gráfica [43]

En esta investigación se pretende realizar un sistema de apoyo al fisioterapeuta que le brinde información sobre el estado de mejoría del paciente, además, busca fortalecer el área de las prácticas de rehabilitación pasiva a través del uso de leap Motion, un sistema no invasivo sobre el paciente y la implementación de entornos virtuales relacionados con la vida cotidiana con el fin de propiciar un estado de recuperación más adecuado que estimule la conexión cerebro/manos buscando una mejora del paciente.

### **1.4.3 Marco contextual**

Según la organización mundial de la salud, se calcula que más de mil millones de personas, es decir, un 15% de la población mundial están aquejadas por algún

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 30 de 108

problema físico que afecta la movilidad de las manos. Además, las tasas de discapacidad siguen en aumento debido al envejecimiento de la población y las enfermedades relacionadas con temas relacionados con la salud ocupacional [79].

Según el DANE cerca del 56.3% de las personas con dificultades para usar los brazos o manos han perdido el movimiento voluntario de ellos. Las cifras mencionadas dan conocimiento que los procesos terapéuticos conocidos no son lo suficientes para incrementar el proceso de rehabilitación [77].

La rehabilitación y la habilitación son procesos destinados para permitir que las personas con discapacidad alcancen un nivel óptimo de desempeño físico, intelectual, sensorial y/o social [77]. En el mundo hay aproximadamente mil millones de personas con discapacidad, de las que la mayoría carece de atención médica adecuada y a servicios de rehabilitación apropiados, especialmente en países de ingresos bajos y medianos [78].

Los dispositivos y tecnologías de apoyo como equipos de ayuda de rehabilitación y programas informáticos especializados son importantes para aumentar la movilidad de los usuarios [79]. Con la ayuda de estas tecnologías, las personas con discapacidad pueden mejorar sus habilidades y, por tanto, están más capacitados para vivir de forma autónoma y participar en la sociedad de manera correcta [78].

Según la organización mundial de la salud (OMS), solo entre el 5% y el 15% de las personas que necesitan dispositivos y tecnologías de apoyo se encuentran ubicadas en países de ingresos bajos o medios, por lo que el acceso a la tecnología es escaso y con frecuencia de mala calidad. La escasez de estos recursos tecnológicos se observa especialmente a nivel provincial y distrital [79].

Con respecto a las dificultades físicas de las personas, a nivel regional según el Departamento Nacional de Estadísticas (DANE), en julio de 2015 se indicó que cerca del 33.5% de la población tiene alguna discapacidad permanente en el movimiento del cuerpo, manos, brazos y piernas, y el 50.2 % de la población sufre dificultades de movimiento en actividades diarias las cuales son: caminar, correr, saltar. Cabe resaltar que una persona puede presentar más de una alteración y más de una dificultad [80].

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 31 de 108

## **1.5 METODOLOGÍA A IMPLEMENTAR**

### **1.5.1 Tipo de investigación.**

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se seguirán los pasos metodológicos definidos para una investigación aplicada: idealización y conceptualización, ejecución, resultados de investigación y transferencia, con el fin de implementar un sistema para el apoyo en la rehabilitación de pacientes con problemas de movilidad y motricidad en las manos basado en un ambiente de realidad virtual mediante el diseño de entornos relacionados con actividades cotidianas. A continuación, se define cada una de las fases que se llevarán a cabo.

#### **Fase 1. Exploración tecnológica y estado de arte (idealización y conceptualización):**

En esta fase se revisará la literatura y artículos relacionados para identificar y seleccionar las características de los principales ejercicios y movimientos que el paciente debe realizar en su proceso de rehabilitación activa relacionándolos con las actividades cotidianas. En esta etapa se contará con el apoyo del fisioterapeuta que guiará el diseño de las actividades y ayudará a la conceptualización de las aplicaciones más relevantes del diario vivir para maximizar la funcionalidad y proporcionar un mayor beneficio de recuperación al paciente.

#### **Fase 2. Implementación del sistema de apoyo (ejecución):**

En esta fase, se desarrollará un sistema de apoyo para la rehabilitación del paciente con problemas de motricidad y movilidad en las manos utilizando entornos virtuales relacionados con actividades cotidianas que refuercen los procesos terapéuticos activos, teniendo en cuenta las características seleccionadas en la fase anterior. En esta fase, se utilizará el lenguaje de programación C# y como motor de desarrollo Unity para la creación de los ambientes de realidad virtual.

#### **Fase 3. Evaluación del impacto del sistema de apoyo (resultados de investigación):**

En esta fase se evaluará el impacto del sistema de apoyo (desde el concepto de la efectividad de la recuperación de los pacientes) mediante la aplicación de un test de fuerza. Además, se realizarán encuestas al personal terapéutico para que evalúen desde su punto de vista la efectividad del sistema de apoyo para los pacientes con problemas de movilidad y motricidad en las manos. Se obtendrá retroalimentación para hacer correcciones, mejoras y ajustes al sistema mediante las evaluaciones: encuesta paciente, encuesta fisioterapeuta y análisis de datos capturados de la fase de recuperación o terapia activa del paciente utilizando el sistema de desarrollo.

### Procedimientos para recolección, análisis y sistematización de información:

La recolección de los datos se realizará directamente con los pacientes que utilicen el sistema de apoyo en sus procesos de rehabilitación, estos datos serán recolectados a través de la evaluación de los resultados arrojados por el sistema, observación directa de los pacientes y entrevista con el personal terapéutico. Los datos recopilados serán analizados y posteriormente tabulados para evaluar la efectividad de la herramienta y de esta manera tomar decisiones respecto al impacto del proyecto en los procesos de rehabilitación de los pacientes con problemas de movilidad y motricidad en las manos.

#### 1.5.2 ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA

No	Actividad	Meses								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<b>Fase 1.</b> Exploración tecnológica y definición del estado del arte									
3	<b>Fase 2.</b> Implementación del sistema de apoyo									
4	<b>Fase 3.</b> Evaluación del impacto del sistema de apoyo									
5	Realimentación por parte del profesional médico									
6	Documentación									

*Tabla 2: Cronograma de actividades*

RUBROS	JUSTIFICACIÓN	FUENTES			
		Recursos propios	Convocatoria interna	Convocatoria externa	Total
Personal	Asesorías del director y co-director	\$10.200.000			\$10.200.000
Materiales y suministros	Computador, Leap-Motion, Papelería	\$2.100.000			\$2.100.000
Salidas de campo	Gastos de medios de transporte	\$20.000			\$20.000
<b>TOTAL</b>					<b>\$12.320.000</b>

Tabla 3: Presupuesto

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 34 de 108

Clasificación	Descripción	Producto	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Productos de Generación de Nuevo Conocimiento</b>	Son aquellos aportes significativos al estado del arte de un área de conocimiento, que han sido discutidos, validados que lleguen a ser incorporados a la discusión científica, al desarrollo de las actividades investigativas, académicas y a la práctica tecnológica	Artículos A	<input type="checkbox"/>
		Artículos B	<input type="checkbox"/>
		Artículos C	<input checked="" type="checkbox"/>
		Capítulos en Libros	<input type="checkbox"/>
		Artículos de circulación regional y/o nacional	<input type="checkbox"/>
		Patentes	<input type="checkbox"/>
		Variedad vegetal	<input type="checkbox"/>
<b>Productos de Apropiación Social del Conocimiento</b>	La apropiación social del conocimiento se entiende como un proceso y práctica social de construcción colectiva, donde actores que pueden ser individuos, organizaciones o comunidades, se involucran en interacciones que les permiten intercambiar saberes y experiencias, donde el conocimiento circula, es discutido, puesto a prueba, usado y llevado a la cotidianidad.	Programas o proyectos de extensión universitaria o de Responsabilidad social	<input type="checkbox"/>
		Proyecto de comunicación del conocimiento	<input type="checkbox"/>
		Generación de contenidos (documentos)	<input type="checkbox"/>
		Generación de contenidos (multimedia)	<input type="checkbox"/>
		Participación Eventos Científicos	<input type="checkbox"/>
		Participación Redes de Conocimiento	<input type="checkbox"/>
		Participación Redes de Conocimiento	<input type="checkbox"/>
<b>Otros</b>	Aportes del trabajo realizado en la modalidad de opción de grado: "Proyecto de grado"	Documento entregado	<input checked="" type="checkbox"/>

*Tabla 4: Productos y resultados esperados*

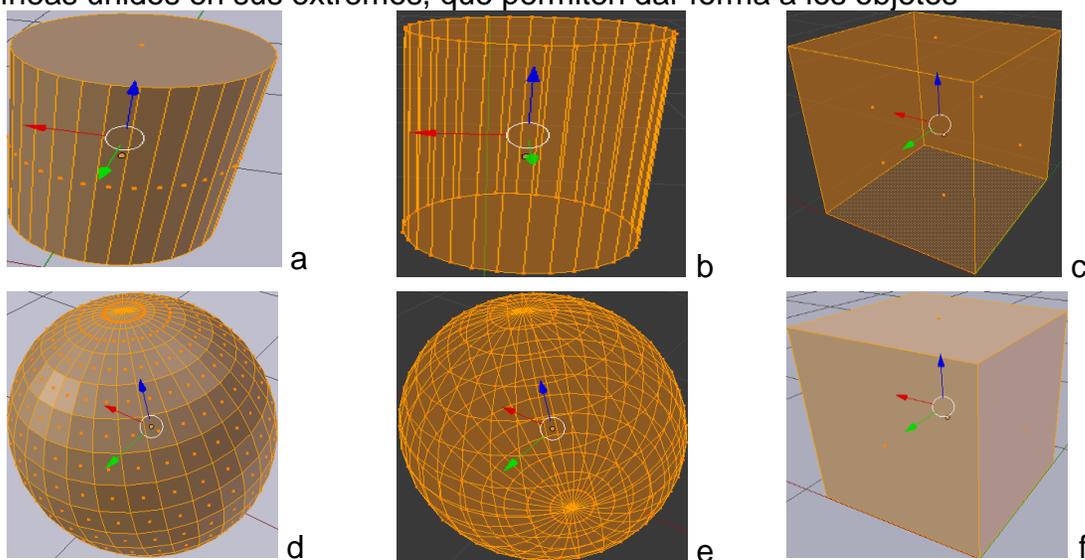
	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 35 de 108

## CAPITULO 2: DISEÑO DE ENTORNOS VIRTUALES

### 2.1 DISEÑO DE OBJETOS INTERACTIVOS PARA EL ENTORNO

#### 2.1.1 Diseñar objetos físicos

Para construir los elementos en Blender se hizo uso de figuras geométricas tales como: cilindros, cubos, esferas, que a su vez están formadas por polígonos, el cual se definen como figuras planas y cerradas formadas por tres o más segmentos de líneas unidos en sus extremos, que permiten dar forma a los objetos



*Figura 5: Figuras geométricas utilizadas en el diseño de objetos: 1.a cilindro, 1.b polígonos del cilindro, 1.c Cubo, 1. d esfera 1.e polígonos de esfera, 1.f cubo*

#### 2.1.2 Transformación de un objeto.

Blender cuenta con herramientas que brinda y facilita al usuario realizar modelados, que consiste en dar forma a objetos individuales que luego serán usados en escenarios. A continuación, se muestra la elaboración del diseño de elementos que serán manipulados por el paciente en los niveles que llevará la aplicación de apoyo para la rehabilitación de movilidad y motricidad de la mano. Para hacer el proceso de estructurado de objetos, se da a conocer algunas opciones que se utilizaron para llevar a cabo el proceso de diseño.

- **Atributos de un objeto (*Object Attributes*):**

Cada vez que se crea un objeto primitivo en Blender, se puede manipular sus atributos en el panel de herramientas que se encuentra en la parte izquierda del software. Las opciones varían dependiendo de cada objeto, se puede aumentar o disminuir el número de fragmentos, mover el objeto en el espacio 3D o rotarlo, escoger el tipo de figura geométrica que se va usar para hacer el modelado del material, adicionar animaciones al elemento, entre otros. Algunas de estas opciones se tuvieron en cuenta para la elaboración de los implementos con que contara la aplicación, específicamente los ítems herramientas y agregar primitivos.

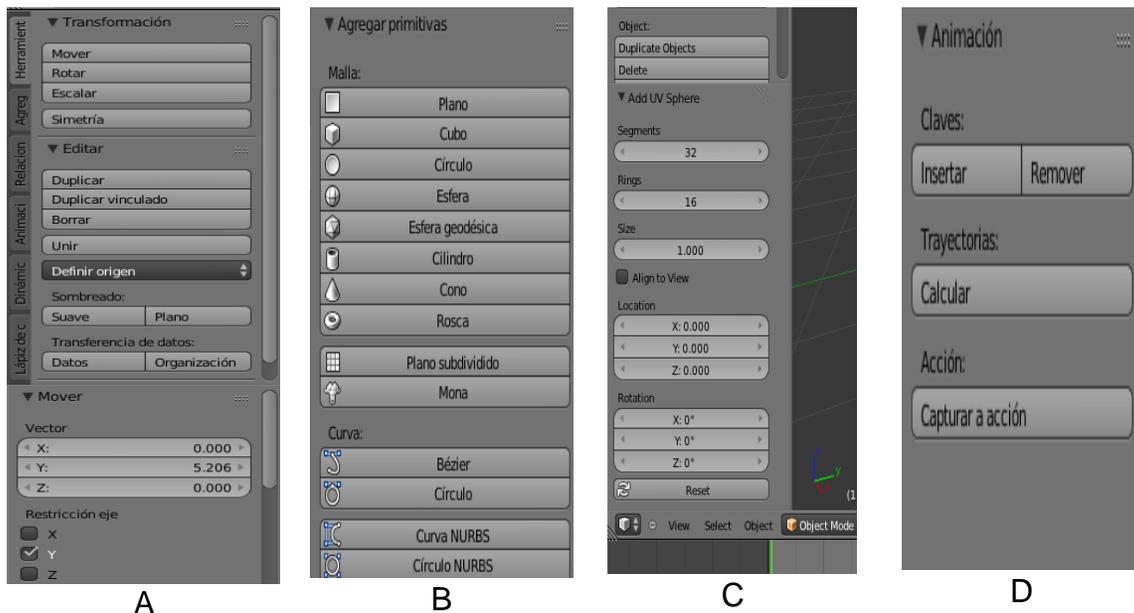


Figura 6: panel de herramientas atributos del objeto: 1.a Transformación, 1.b Agregar figura geométrica, 1.c Duplicar objetos, 1.d Animaciones

- **Extruir un objeto (*Extrude object*):**

Mediante la manipulación de polígonos que cada figura geométrica tiene, se procede a realizar el diseño de objetos, para esto se utiliza la opción *Extrude object* que permite agregar, quitar o modificar las caras de cada figura, dando así la forma deseada por el usuario.

Antes de extruir el segmento de un objeto, es muy importante seleccionar primero la cara, el borde o los vértices de la figura que se desea editar, para ello existe un panel de herramientas en la parte inferior del software que brinda las opciones de edición y los ítems vista, seleccionar, agregar y malla.



Figura 7: Panel de edición de objetos.

Una vez se seleccione el lado de la figura se presiona la tecla E, de inmediato se entra en el modo mover el segmento que se va extruir sobre su normal. Si se presiona la tecla Escape se cancela la opción. La ventaja de esta herramienta es que se puede extruir el segmento a cualquier dirección de su eje permitiendo así la forma deseada por el usuario.

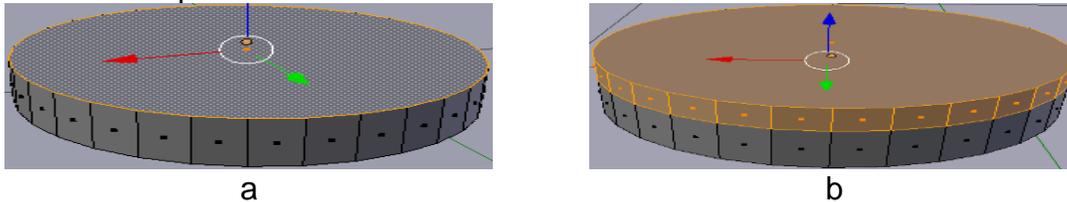


Figura 8: ejemplo opción extrude object: 1.a Extruir hacia el centro, 1.b Extruir hacia segmento hacia arriba

A continuación, se muestra algunos procesos que se desarrollaron utilizando esta herramienta, como ejemplo se ilustra el diseño de un vaso, una jarra, cubiertos (cuchara, tenedor, cuchillo) donde se manipula los polígonos de un cilindro y una esfera. Usando la opción selección de caras, se procede a extruir los segmentos de la figura, buscando la forma de los objetos anteriormente mencionados.

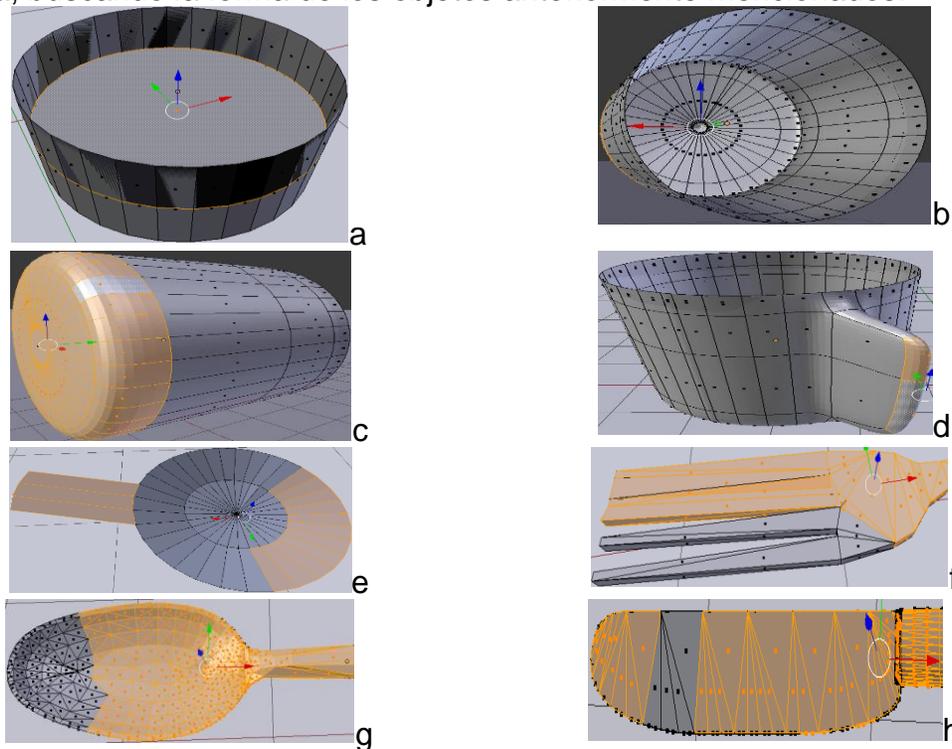
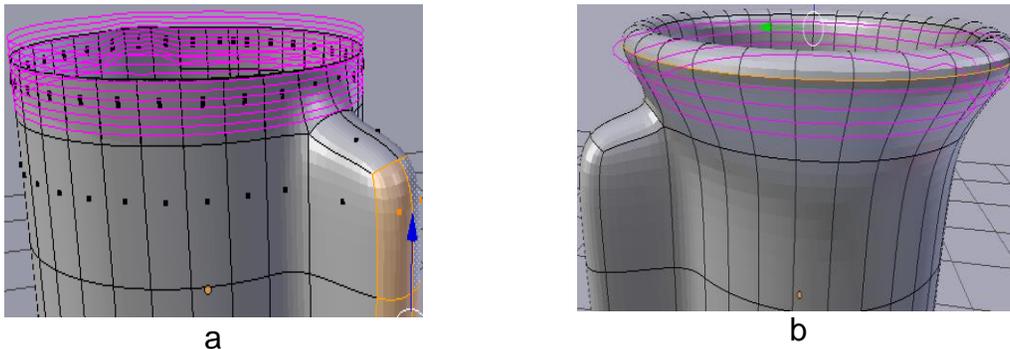


Figura 9: Proceso de modelado utilizando la herramienta extrude object: 1.a manipulación de polígonos del vaso, 1.b extrusión de la base de polígonos faltantes, 1.c eliminación de exceso de polígonos, 1.d extrusión de líneas laterales, 1.e polígonos segmentados mediante extrusión interna, 1.f creación de nuevo segmento para un tenedor, 1.g Moldeado de una cuchara, 1.h extrusión diagonal para un cuchillo

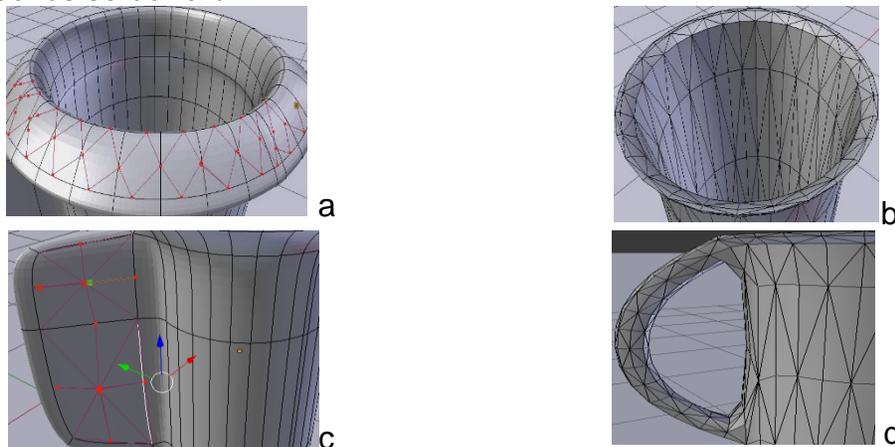
- Herramienta Cuchillo:**

Dentro de la herramienta cuchillo existe la opción “Loop Cut and Slide”, el cual se activa presionando las teclas Ctrl+R. Esta no solo permite hacer recortes en el sentido deseado, sino también da la facilidad de ajustar polígonos en cualquier parte del objeto, usando la rueda del mouse se puede aumentar o disminuir el rango que se desea modificar.



*Figura 10: Ajuste de la jarra usando la opción Loop Cut and Slide: 1.a Ajuste de polígonos en la parte superior de la jarra, 1.b Direccionamiento lateral del rango del polígono superior*

La herramienta cuchillo se ha ido mejorando en cada versión de blender. Para activarla se presiona la tecla K, enseguida aparece un cursor con forma de cuchilla que indica que se puede empezar a cortar. En este modo se puede realizar cortes de vértice a vértice y también se puede hacer agujeros dentro de un polígono. Solo se da clic hasta tener el corte sobre el modelo, presionando la tecla escape los cortes hechos se borrarán.



*Figura 11: Ejemplo de la herramienta cuchillo modificando la jarra: 1.a Superficie de la jarra antes del corte, 1.b Superficie de la jarra después de utilizar la herramienta de corte, 1.c Extrusión lateral para la parte del agarre, 1.d Aplicación de la herramienta de corte*

Las opciones, selección de bordes y vértices, también facilita al usuario ir estructurando los elementos que se encuentran en proceso de edición, teniendo en cuenta la magnitud que se quiere tener en cada objeto, para esto es necesario tener presente en que eje (X, Y, Z) se desea ajustar dicha magnitud.

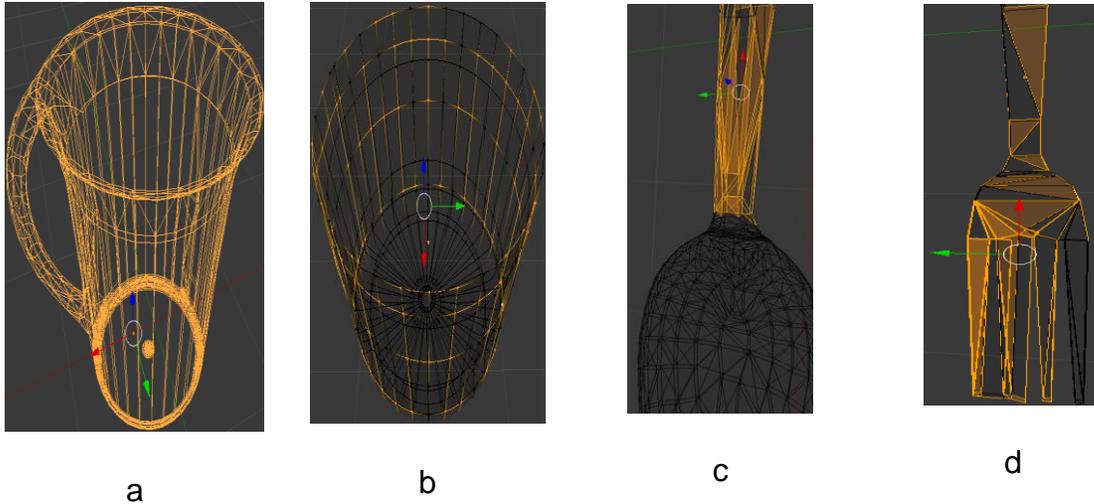


Figura 11: selección de bordes y vértices en un objeto: 1.a Polígonos de la jarra con selección de vértices, 1.b Selección de vértices de la parte inferior, 1.c Selección de vértices en la parte superior de la cuchara, 1.d Selección parcial de vértices de un tenedor

### 2.1.3 Texturizado de objetos

Luego de terminar los diseños de los modelos, se procede a colocar el sombreado a los objetos, esta técnica se define como se comportarán las caras de un polígono cuando es iluminado por una fuente de luz. Para realizar esta actividad, el software tiene las opciones de sombreado y texturizado en el panel de herramientas que se encuentra en la parte derecha del programa.

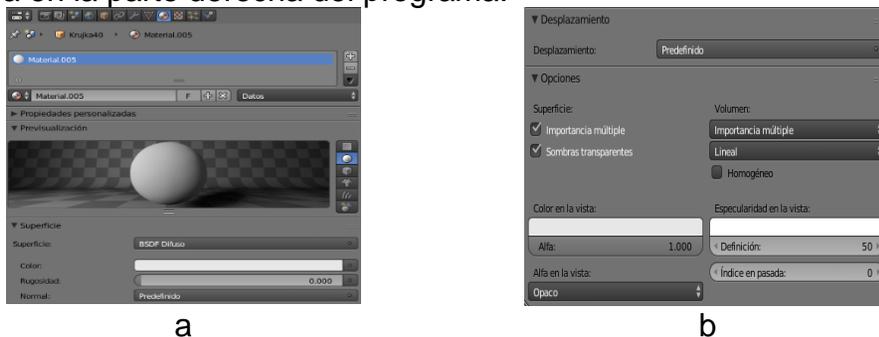


Figura 12: panel de herramientas sombreado y texturizado: 1.a Panel de opciones de texturizado, 1.b Panel de herramientas de texturas

Usando las opciones anteriormente mostradas, se adecua los polígonos de cada objeto, buscando un mejor aspecto a cada material. Para incrementar el detalle y el realismo de los modelos creados, también se pueden añadir texturas. Se trata de colocar imágenes que se sitúan en las caras de los polígonos.

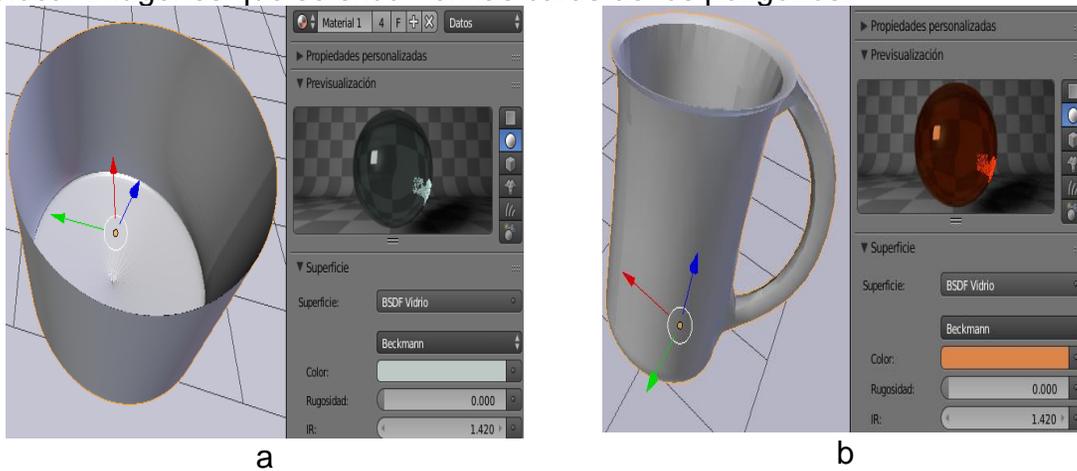


Figura 13: sombreado y texturizado de objetos: 1.a Propiedades de texturas, 1.b Ajustes de texturas finalizado

## 2.1.4 Renderizado de objetos.

Blender ofrece un motor de procesamiento de alta calidad para ofrecer el mejor renderizado posible según la capacidad de los equipos para dar resultados realmente sorprendentes a la hora de crear objetos en 3D, Siguiendo con la creación de los objetos, se muestra como ejemplo algunos elementos renderizados y listos para ser importados al escenario de la aplicación.

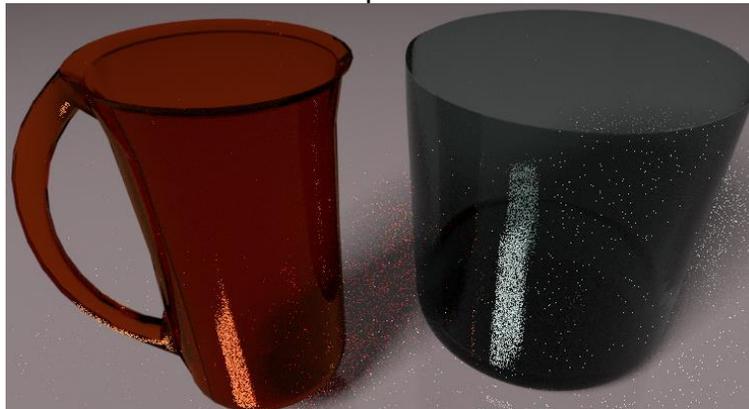


Figura 14: Renderizado de objetos de la aplicación.

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 41 de 108

- **Instalación de Blender.**

Blender es un software libre para diseño y animación 3D completo, entre sus características están: el modelado, texturizado aplicados a diversos elementos (color, reflejo, transparencia, etc.), sistemas de nodos para las texturas y materiales para mayor complejidad y profesionalismo, motor de Render, animación no linear, sistema de partículas, edición de video entre otros. Este programa maneja varias versiones, como ejemplo se toma la versión 2.82 para realizar la instalación del programa, descargando el instalador desde la página oficial. Una vez realizada la descarga, se procede hacer la ejecución del programa teniendo en cuenta los pasos requeridos de la instalación.



Figura 15: Proceso de instalación de Blender: a Página oficial de descarga de Blender, .b Proceso de descarga del instalador de Blender, .c Proceso de descarga de Blender

Cuando se habla de diseño 3D se hace referencia a la creación tridimensional de piezas, objetos o estructuras, empleado generalmente en ingeniería y arquitectura, o a la generación de imágenes en 3D relacionadas con el mundo multimedia y la animación 3D.

## 2.2 DISEÑO DE INTERACCIONES ENTRE OBJETOS Y ENTORNO VIRTUAL

### 2.2.1 Leap-Motion: Drivers y funciones:

Una vez se tiene instalado el motor grafico se procede a descargar los drivers del sensor Leap Motion para su correcto funcionamiento cuando se conecta al equipo y de esta manera hacer interacción con el IDE de Unity, los drivers contienen paquetes de instalación, librerías y assets de ejemplo como guía para el desarrollo de propias aplicaciones, A continuación, se describirá el proceso de la descarga:

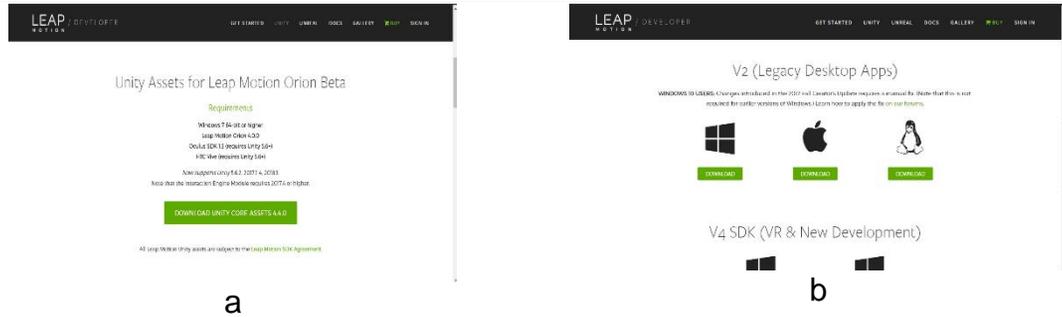


Figura 16: Pagina oficial de descarga de paquetes de Leap Motion, 1.a Link de descarga de Leap Motion Assets, 1.b Link de descarga del centro de control y apps de Leap Motion

En la página oficial de Leap Motion descargamos los Unity Core así es como se llama el paquete de assets y librerías para desarrolladores para la creación de escenarios y aplicaciones ligadas a la realidad virtual para luego empezar el proceso de instalación del cliente que permite la conexión entre el equipo y el dispositivo Leap Motion.

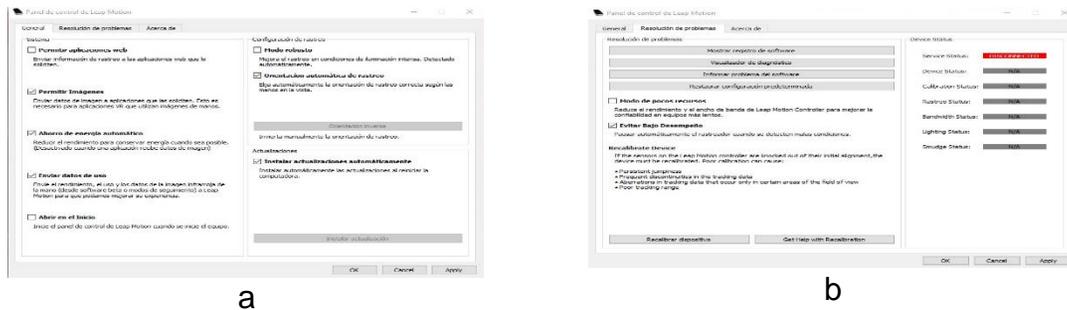


Figura 17: Centro de control de Leap Motion, 1.a Ajustes por defecto de los controladores, 1, b Ajustes principales del sensor y estado actual de conexión

Esta es la interfaz del centro de control de Unity el cual podrá servir como cliente intermediario para la comunicación del sensor con el PC, ofrece muchas funciones útiles para sacar al máximo provecho del dispositivo, entre ellas se encuentra la opción de calibración para un mejor desempeño en la hora de la ejecución que de esta manera pueda ser más eficiente durante el trabajo, además un centro de notificaciones en donde avisa al usuario si hay manchas en el sensor en caso que accidentalmente sea manipulado de forma incorrecta.

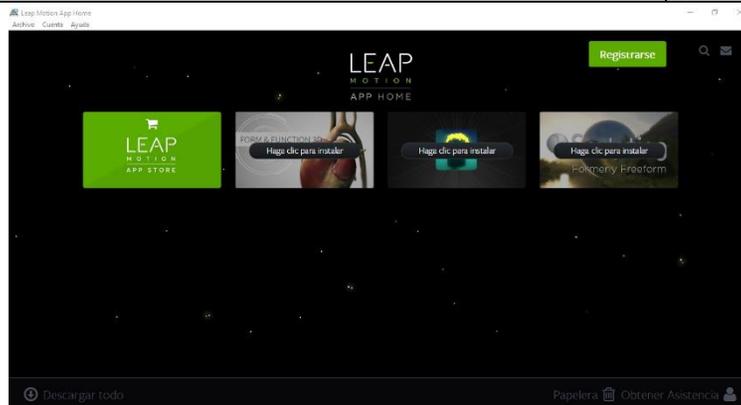


Figura 18: Centro de control de Leap Motion

Leap Motion en su paquete de instalación también posee esta tienda donde vienen preinstaladas varias aplicaciones como juegos y simuladores de manera interactiva poder ser usadas de manera de entreteniendo para el público en general dejando a un lado el modo desarrollador.

### 2.2.2 Conexión entre Leap Motion y Unity

Para poder realizar este procedimiento se debe empezar por la descarga e instalación de Unity descrita a continuación

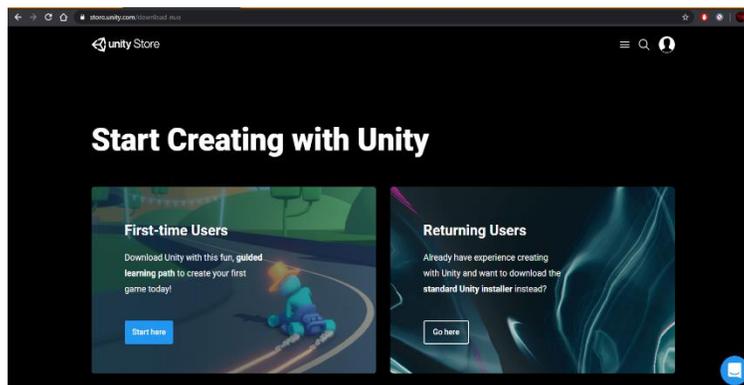


Figura 19: Cliente de descarga de Leap Motion

Después de realizar la descarga del programa, se procede hacer la ejecución del programa teniendo en cuenta los pasos requeridos de la instalación. A continuación, se muestra la instalación del asistente para descargar Unity 3D.

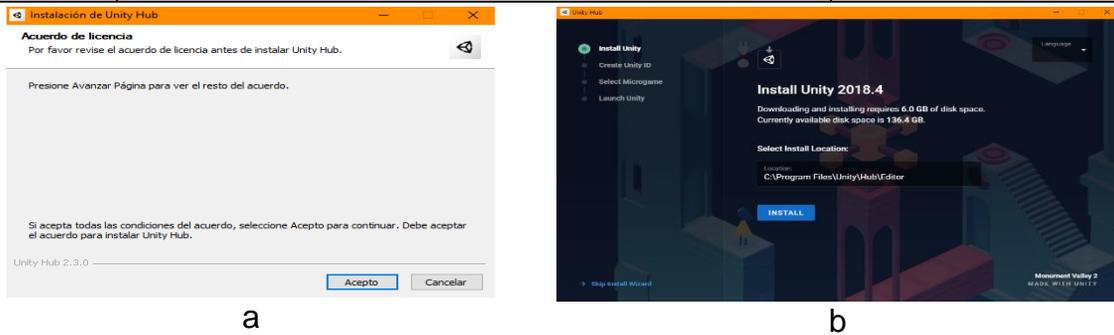


Figura 20: Instalación del asistente de Unity, 1.a Inicio de la instalación del asistente, 1.b Proceso de descarga del instalador de Unity

Luego de esto esperamos a que la interfaz principal de Unity 3D cargue para estar lista para su posterior uso.

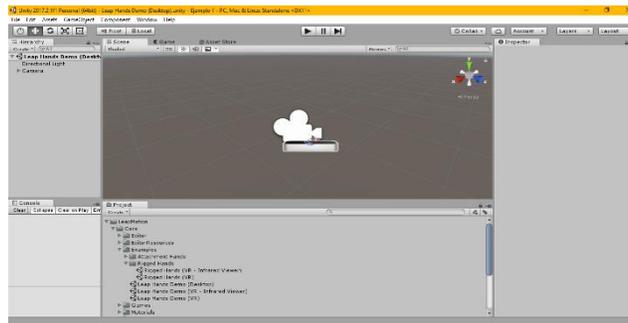


Figura 21: Interfaz principal de Unity

- **Integración y puesta en marcha de los archivos de Leap Motion**

Una vez teniendo listo los drivers del sensor instalado en el equipo se procede a importar los assets que contienen las librerías y proyectos de ejemplo en Unity, los cuales constan de 2 los cuales son **Leap Motion Core Assets** y **Leap Motion Interaction Engine**, se hará una breve descripción de estos paquetes con más detalle más adelante.

Estos archivos son importantes a la hora de desarrollar aplicaciones de realidad virtual en conjunto con el sensor y para poder usar estos paquetes primero que todo se debe crear un proyecto nuevo en Unity para ello hay que dirigirse a la ventana principal del IDE.

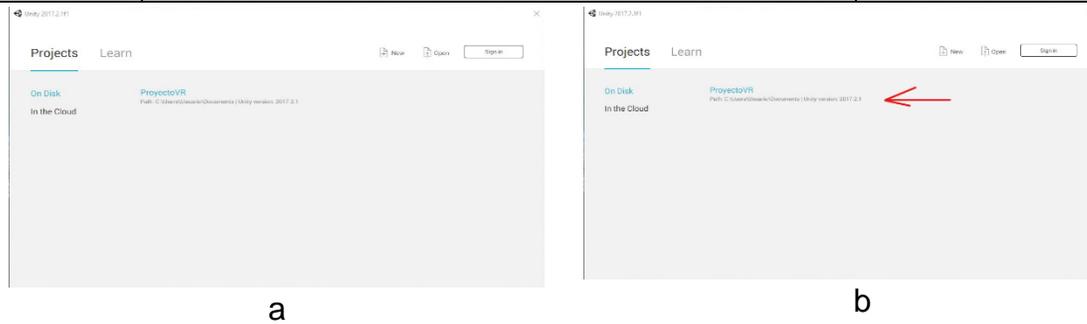


Figura 22: Panel principal de Unity: 1.a Creación de un proyecto nuevo, 1.b Proyecto recién creado

En esta parte se crea un proyecto nuevo para poder empezar a trabajar en el desarrollo de los escenarios, para proceder a importar los paquetes anteriormente mencionados.

A continuación, se verá la interfaz principal de Unity, mostrando diferentes opciones para comenzar a desarrollar varias aplicaciones (juegos), pero se va a adecuar para integrar el sensor con sus respectivas librerías para ello se debe importar **Leap Motion Core Assets**, este paquete contiene todos los proyectos de ejemplo para entender la estructura y el funcionamiento entre la relación del sensor y Unity, además que posee varios scripts predeterminados como guía para realizar aplicaciones desde 0 y ver lo que es capaz de hacer si se aprovecha al máximo estos archivos.

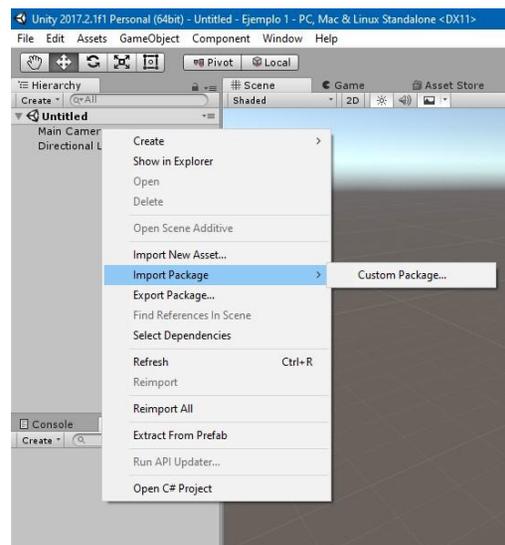


Figura 23: Importar paquetes de Leap Motion a Unity

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 46 de 108

Para importar este paquete hay que dirigirse en la carpeta principal de Unity, clic derecho y seleccionar *Import Package*, por consiguiente, *custom package* y se busca la ruta donde haya quedado el archivo y este empezará a descomprimir todo el contenido que contiene.

Cuando finalice la descompresión de dichos archivos se despliega una ventana mostrando todo el contenido el cual se quiere para poder trabajar, es opcional no escoger todo lo que hay allí, pero lo más recomendable es dejarlo, así como se muestra para tener todas las opciones a la disposición. Una vez se dé por finalizado la importación se tiene una carpeta con muchos archivos destinados a desarrolladores.

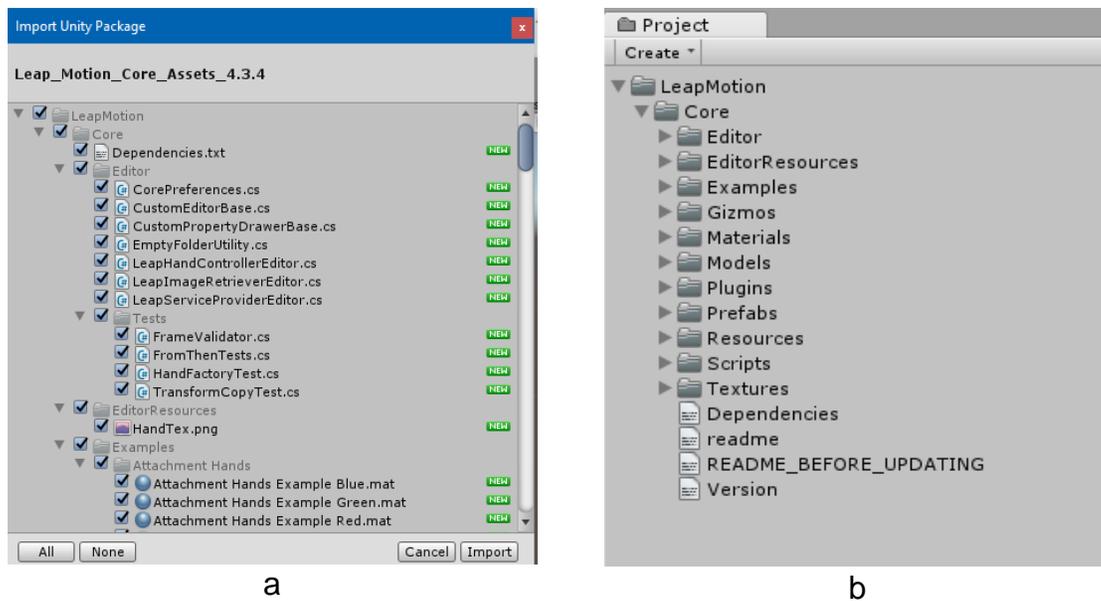


Figura 24: Lista de archivos de Core Assets de Leap Motion: 1.a Paquetes de archivos disponibles del Core Assets, 1.b Listado de carpetas importadas de Core Assets

Adicionalmente es opcional poder explorar el contenido de cada una de las carpetas así poder familiarizarse con estos archivos y usarlas al gusto ya que se encuentra scripts y demás modelos base como ejemplo y entender como es el funcionamiento y la interacción de los ambientes virtuales, como ejemplo se verá algunos de estos modelos a continuación.

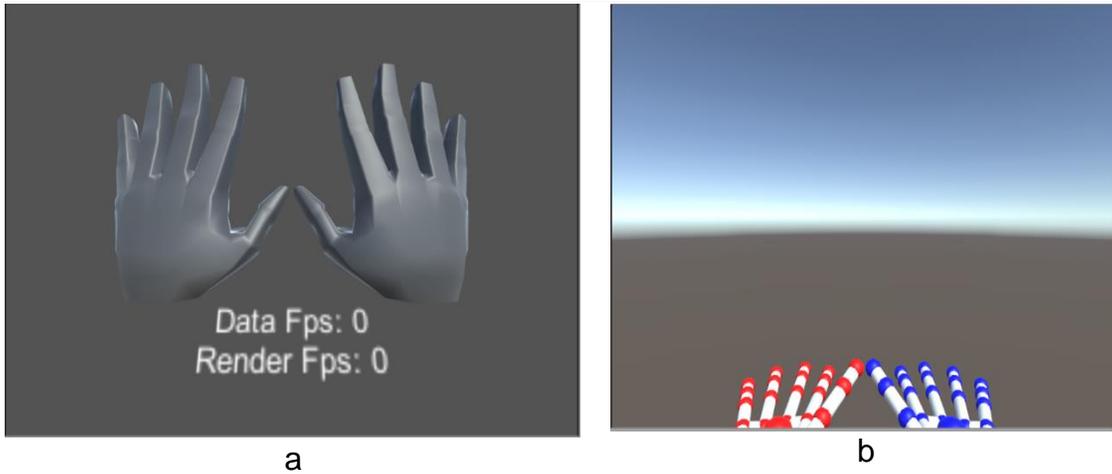


Figura 25: Algunos modelos de manos disponibles en el paquete de ejemplos: 1.a Modelo 1 para Leap Motion vinculado con Oculus Rift , 1. b Modelo 2 para realidad virtual estándar

Se muestran en la figura 25, las diferentes opciones de modelo de manos que pueden ser usadas para diferentes tipos de ambientes VR. Posteriormente, se importa el paquete **Leap Motion Interaction Engine** encargado de seguir los movimientos de las manos en tiempo real para la manipulación de los objetos en pantalla, el paso a paso se muestra en la figura 26.

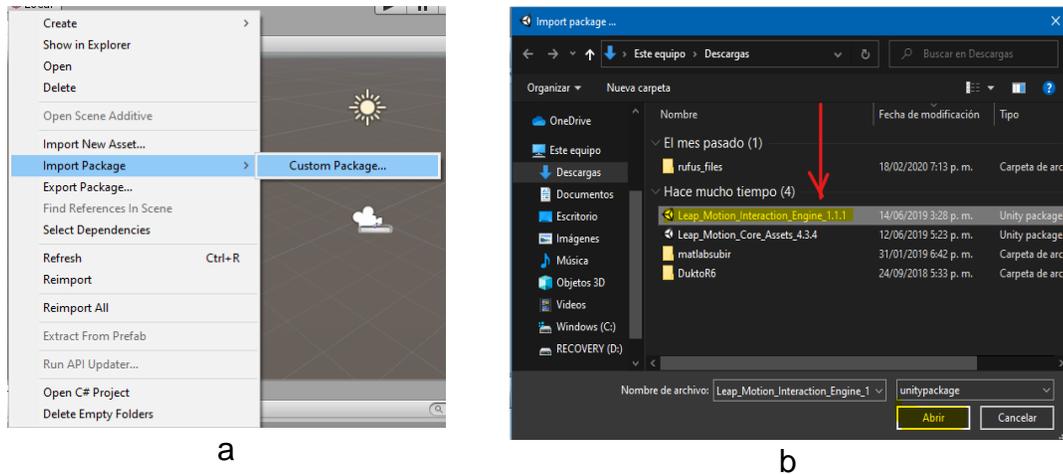


Figura 26: Importar paquetes de Leap Motion Engine: a Opción de Unity para importar paquetes por defecto, b Selección de Leap Motion Interaction Engine

Dentro de la carpeta que se importó anteriormente se debe seleccionar de nuevo la opción de *Import Package* y dentro de esta misma finalizando con *Custom Package*

inmediatamente se abrirá una ventana la cual se selecciona **Leap Motion Interaction Engine**.

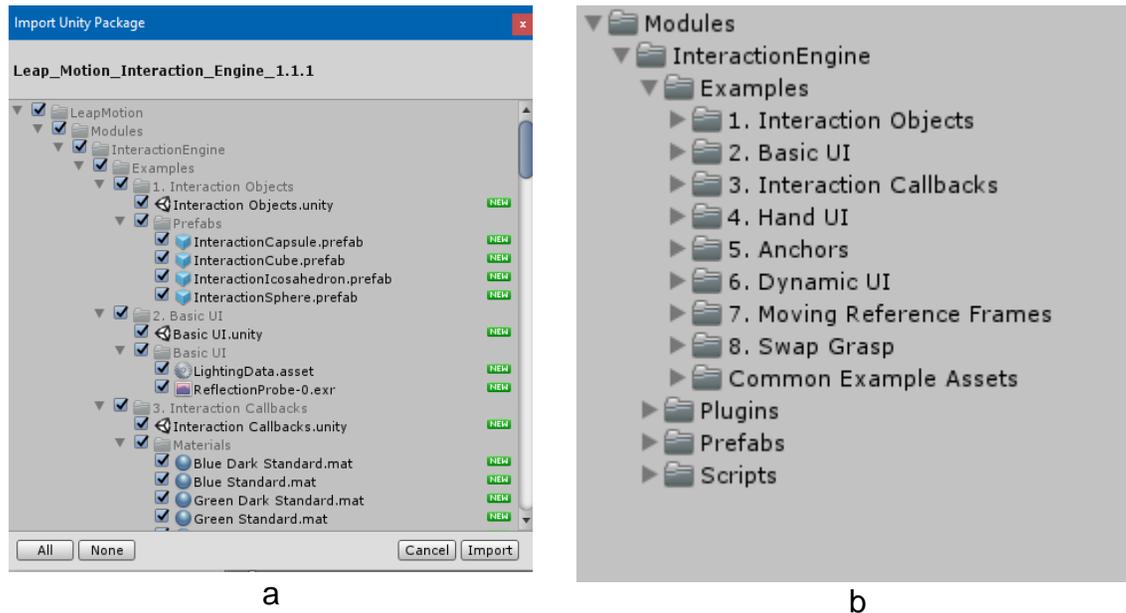


Figura 27: Importar paquetes Leap Motion Interaction Engine: a Contenido disponible del paquete de Interaction Engine, b Carpetas y archivos importados correctamente en Unity

### 2.2.3 Funcionamiento de los paquetes de Leap Motion

Finalmente se obtiene una nueva carpeta llamada *Modules*, la cual contiene más archivos que se componen de una serie de prefabs o modelos base de ejemplo y guías para el uso e interacción con el resto de archivos y librerías, cuando se refiere a un prefab se está mencionando a una instancia de un objeto dentro de una escena el cual puede ser almacenado en un *GameObject*, es decir el elemento que se quiere tener interacción en ese instante, con la posibilidad de ser ajustada por cada instancia individualmente. Poniendo de ejemplo estos 2 componentes a la realidad virtual, un prefab sería el modelo de manos el cual entraría en contacto con un *GameObject* en este caso una cuchara, por ejemplo.

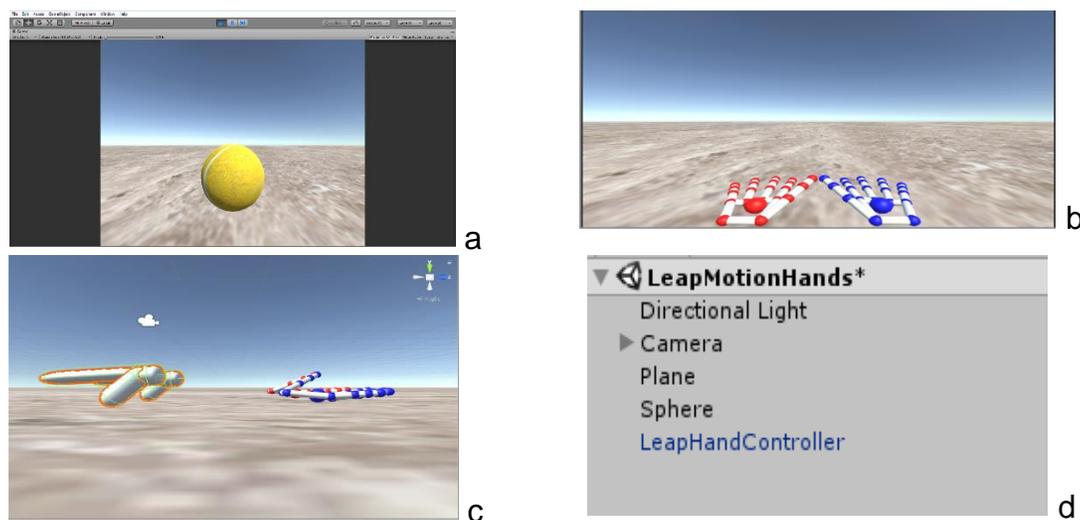


	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 49 de 108

a b

*Figura 28: Prefabs en forma de figuras geométricas; a Listado de prefabs disponibles, b Prefab en forma de cubo para ser añadido a un objeto interactivo*

Mencionado lo anterior se puede apreciar los distintos prefabs que existen y sus respectivos GameObject para la interacción con el usuario, en este caso tomando de base un prefab de un cubo para que elementos con esta forma geométrica puedan ser manipulados de manera correcta, pero la desventaja es que no podrá reconocer otro tipo de elementos si no tienen esta misma forma, para ello existe otro tipo de prefab más avanzado el cual se **explicará** con más detalle en la sección de desarrollo.



*Figura 29: Proyecto ejemplo y guía para el proyecto principal.: a Escenario de realidad virtual con una pelota de tenis, b Manos interactivas estándar, c Interaction manager, d Esquema de un proyecto VR con los elementos utilizados*

Este es un claro ejemplo de cómo trabajan en conjunto todos los módulos, archivos, scripts y paquetes de Leap Motion en Unity en un proyecto sencillo de realidad virtual. En la parte arriba a la izquierda se muestra un escenario con un *GameObject* de interacción en este caso es una pelota de tenis la cual realiza una acción, en la imagen de arriba a la derecha se muestra un tipo de modelo de manos adecuado para este tipo de escena es la cual entra en participación al actuar con el elemento descrito anteriormente donde a su vez tiene un *Interaction Manager* para que las acciones realizadas por el usuario sean totalmente independientes de ambas manos, mostrado en la imagen inferior izquierda, por último los archivos que fueron necesarios para llevar a cabo este mini proyecto de ejemplo para poder tener una idea base de cómo funciona este conjunto de archivos para uso de realidad virtual.

## 2.2.4 Desarrollo de los escenarios oficiales del proyecto

En esta sección se inicia el proceso de desarrollo de los escenarios propuestos en el proyecto los cuales se dividen en 2 ambientes con sus respectivos niveles y un menú principal de inicio de sesión de usuario y registro de datos de los pacientes, el desarrollo de estos escenarios será explicado en el orden en que fueron planteados.

- **Escenario doméstico interactivo ambientado en una cocina:**

Para iniciar con la creación de esta escena se debe crear un proyecto nuevo y posteriormente un *Escene Manager* donde se guarda con el nombre correspondiente al escenario en este caso a la Cocina.

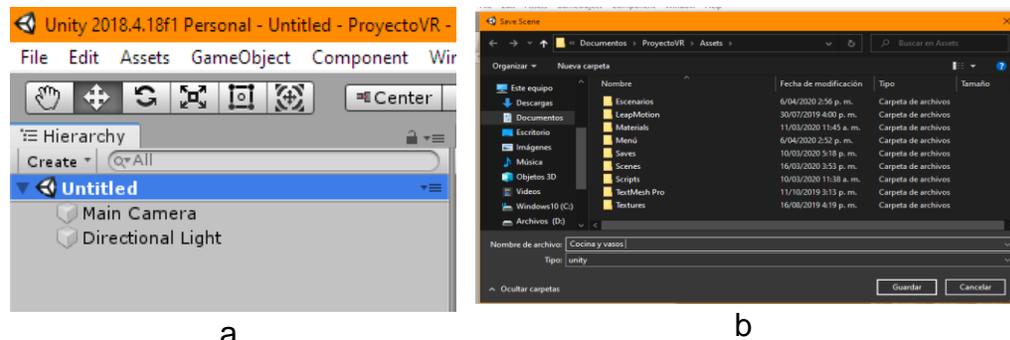


Figura 30: Creación del Escene manager del proyecto: 1.a Escene manager con sus elementos por defecto, 1.b Renombrar y guardado de la escena

Una vez se tenga guardada la escena se empieza a la creación de los *GameObjects*, el cual como ya se explicó anteriormente, se trata de cada uno de los elementos por defecto que interactúan entre sí o con otros elementos que se agregue a la escena. Ya teniendo en cuenta lo mencionado primero que todo se crea un *GameObject* de un plano que va ser la base o el suelo en donde estará situada la cocina.

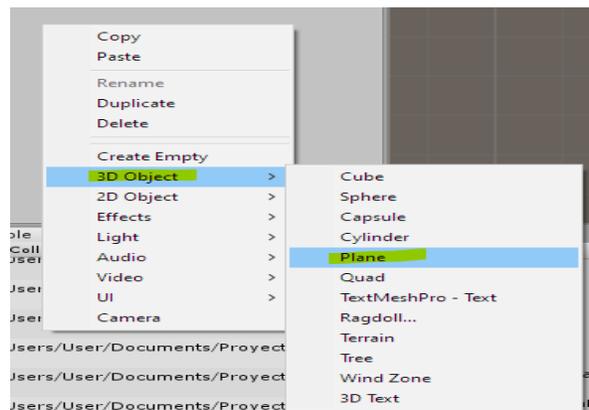


Figura 31: Creación de un 3D object en forma de esfera

Ahora se tiene un plano sin texturas, pero para ello se debe crear un prefab de material para poder establecer la textura correspondiente, en este caso será un modelo de piso de cerámica.

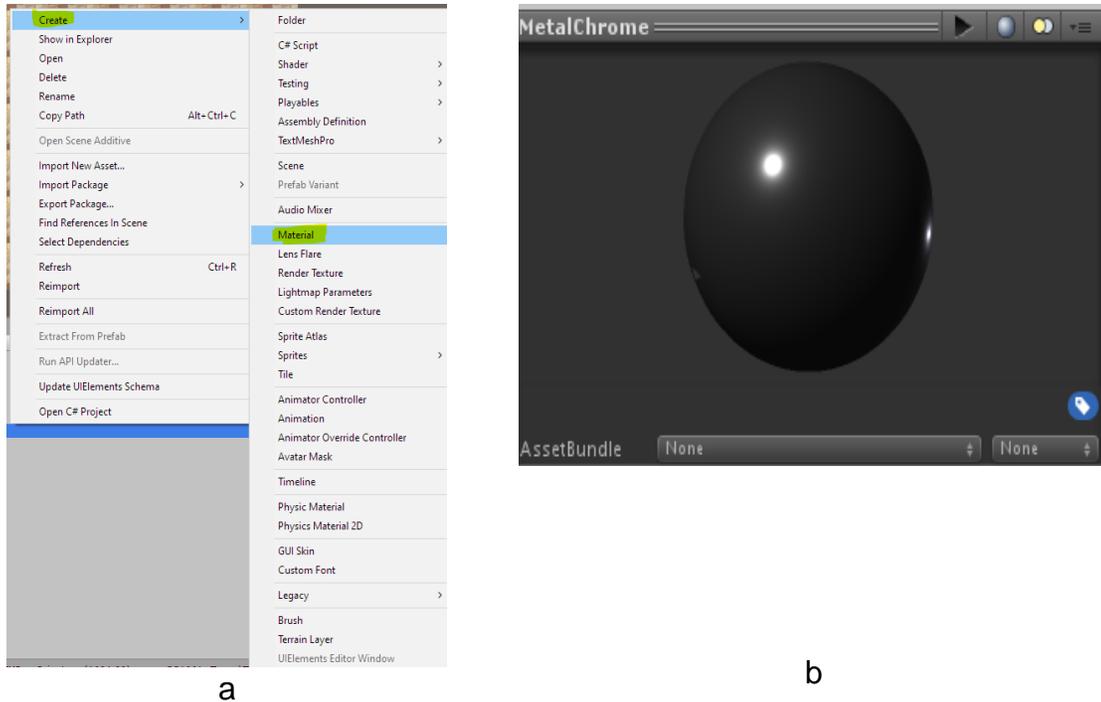


Figura 32: Creación de material de texturas: 1.a Selección de la opción de texturas en Unity, 1.b Material de texturas creado

Ya teniendo listo y creado el material para la textura se empieza a buscar la imagen de un piso de cerámica para poder ser aplicada al material recién creado para esto se crea una carpeta donde se alojarán las demás imágenes de las demás texturas, para poder tener un mayor orden separando los materiales en otro archivo aparte.



Figura 33: Propiedades de texturas: 1.a Imagen para texturizado del material, 1.b Carpetas ordenadas por categoría por tipo de archivo

Ahora solamente queda es arrastrar el material hacia el plano el cual este de manera automática detecta el material y se aplica la textura al mismo, en conjunto con una serie de ajustes en la sección de materiales para darle un aspecto más realista el resultado es el siguiente.

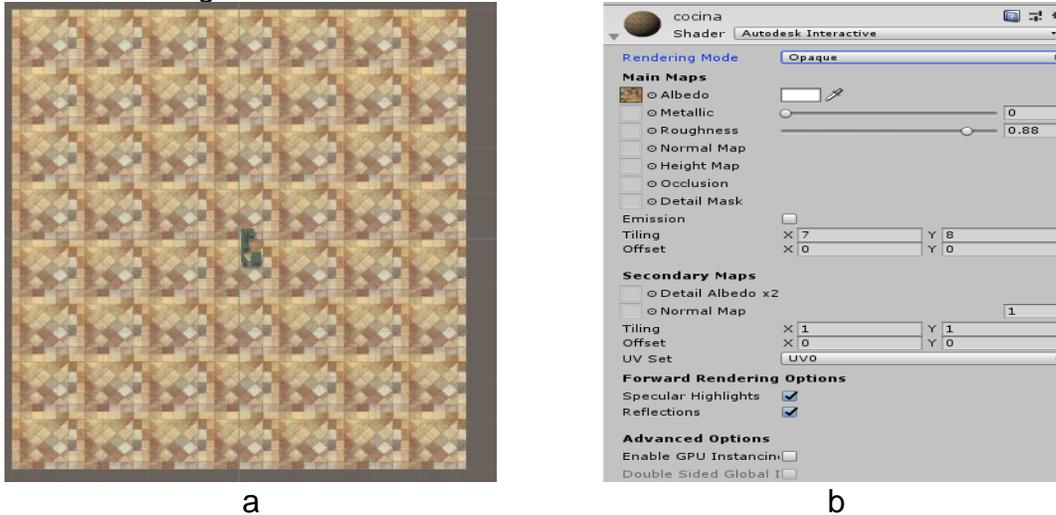


Figura 34: 1.a Vista superior del plano con la textura aplicada, 1.b Propiedades y ajustes de texturas

Ya teniendo listo el terreno el cual se va a situar la cocina, se inicia a importar el modelo 3D diseñado previamente en Blender, este modelo posee la extensión de archivo fbx o 3ds los cuales son compatibles con el motor gráfico de Unity.

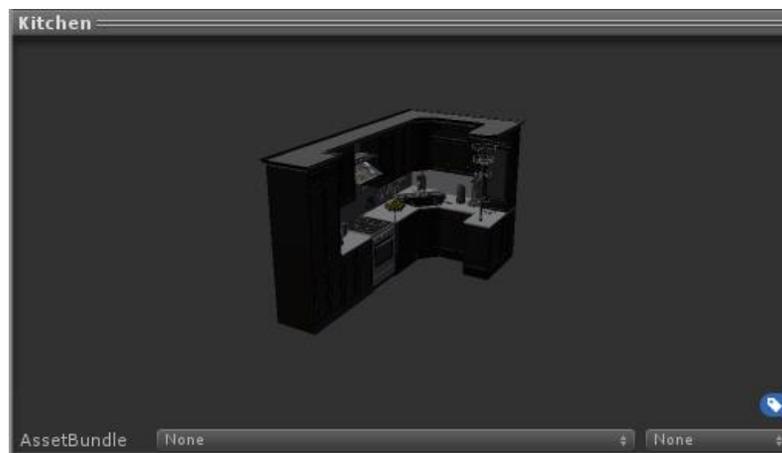


Figura 35: Modelo 3D importado en Unity

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 53 de 108

Luego de que se tiene el modelo listo simplemente se arrastra en el *SceneManager* y se hace el mismo proceso de texturizado como en el plano anterior



Figura 36: Vista del modelo 3D de la cocina desde la escena de Unity

Dado de que es un objeto más complejo en cuanto texturas este proceso conlleva a crear más *Prefabs* de materiales y de este mismo modo hay más archivos creados para este modelo. Aquí se puede observar el número de materiales creados para cada parte que se compone la cocina todos respectivamente ordenados en carpetas.

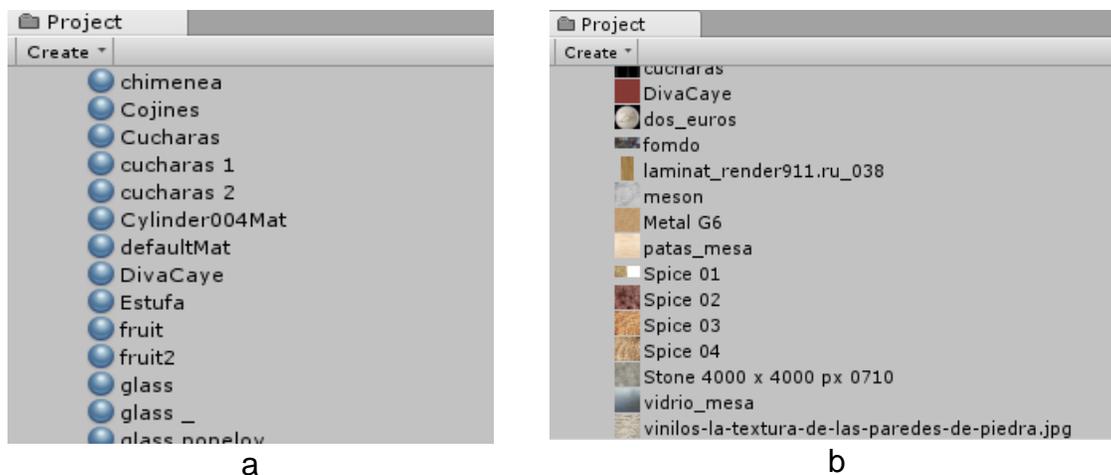


Figura 37: 1.a Materiales empleados para el texturizado de la cocina, 1. b Imágenes de las texturas usadas para la aplicación de los materiales

En esta sección se inicia el proceso de desarrollo de los escenarios propuestos en el proyecto los cuales se dividen en 2 ambientes con sus respectivos niveles y un menú principal de inicio de sesión de usuario y registro de datos de los pacientes,

el desarrollo de estos escenarios será explicado en el orden en que fueron planteados.

- Escenario doméstico interactivo ambientado en una cocina:** Luego de tener en cuenta las fases iniciales de diseño e importación de librerías esenciales para su desarrollo, en esta sección se describe a detalle el proceso final de los objetos, también se aprecia el área el cual los pacientes en realidad podrán observar para su respectiva interacción con este ambiente virtual.



Figura 38: Escenario final de la cocina: 1.a Escenario final, 1.b Campo de visión para el usuario

Los diferentes elementos de interacción que compone este ambiente también han pasado por el mismo proceso de diseño, texturizado y renderizado para tener un aspecto más realista descrito anteriormente, en este escenario virtual se destacan 2 elementos para su uso (vasos y jarra), para realizar las actividades correspondientes hechas por los pacientes.

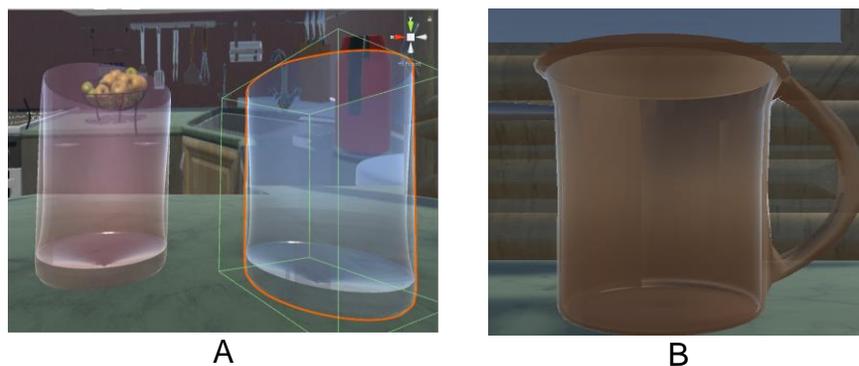


Figura 39: Elementos de interacción, a Vasos con textura de vidrio, b Jarra con textura de vidrio semi transparente

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 55 de 108

Otros elementos que se encuentran en este escenario es en el siguiente nivel que se trata de una actividad en el mismo escenario, pero con la finalidad de simular de acomodar utensilios de cocina, también con el mismo proceso de los elementos anteriores fueron sometidos estos objetos (cuchara, vaso, cuchillo, tenedor, plato), todos ellos sobre la parte superior de la cocina.



Figura 40: Actividad de organizar utensilios de cocina

En general el proyecto se organiza en carpetas con sus respectivos escenarios por separado en este caso los dos principales y del menú de inicio de registro de pacientes también se aprecian los elementos y librerías utilizadas para el desarrollo de los escenarios en su totalidad.

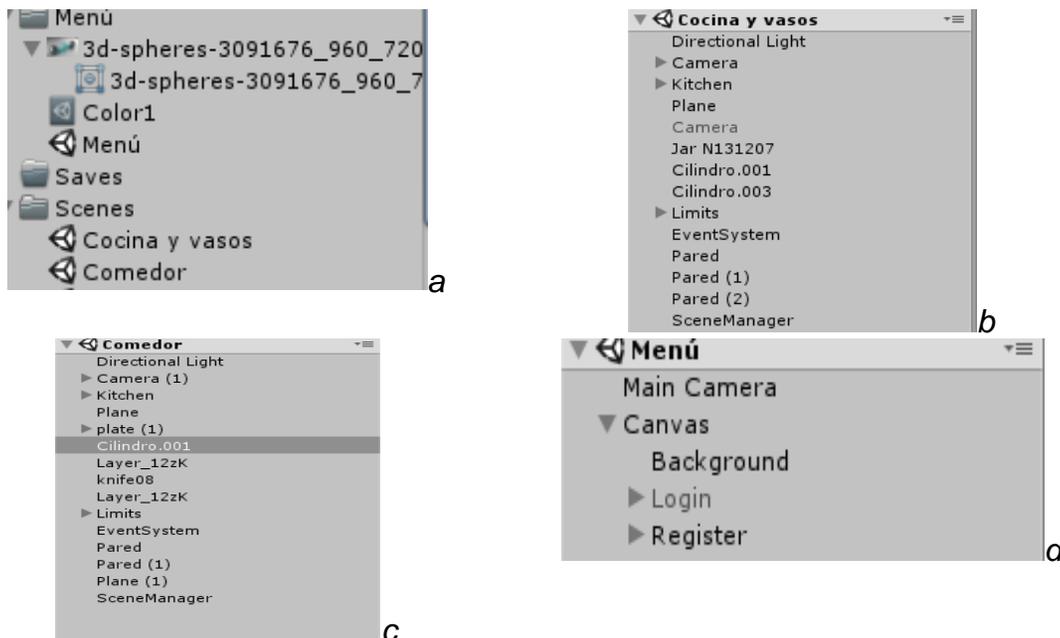


Figura 41 Estructura del proyecto: 1.a Carpeta de contenido del menú de inicio, 1.b librerías de Unity utilizadas, 1.c Scene Manager de la primera actividad del proyecto. 1.d Scene Manager de la segunda actividad del proyecto

Cada elemento interactivo para poder llevar a cabo este proceso también fue sometidos a otros ajustes los cuales se verán en la sección de **interacción y codificación de objetos**, donde se incluyeron más librerías y ajustes propios de Unity y Leap Motion.

### CAPITULO 3: RESULTADOS Y ANALISIS

En este capítulo se evidencia la evaluación y los resultados que se obtuvieron en la manipulación de los entornos virtuales para la rehabilitación de la movilidad y motricidad en las manos de los pacientes, dentro de la evaluación se tuvieron en cuenta 4 categorías las cuales consistieron en la aplicación del software sobre los pacientes, la adquisición de datos de terapias con el software, la recuperación de pacientes utilizando ambientes virtuales y por último la aplicación de encuestas sobre pacientes y el fisioterapeuta.

Teniendo en cuenta lo anterior estos procesos fueron enfocados y adecuados para la rehabilitación con problemas de movilidad y motricidad en las manos donde los ambientes virtuales fueron construidos a partir de escenarios y actividades de la vida cotidiana, con el objetivo de que los pacientes tengan un mejor desempeño en cuanto al apoyo a las sesiones terapéuticas y de esta manera se determinaron los resultados de la evolución de cada paciente los cuales fueron sometidos a dichas sesiones terapéuticas con los ambientes virtuales.

#### 3.1 APLICACIÓN DEL SOFTWARE SOBRE PACIENTES

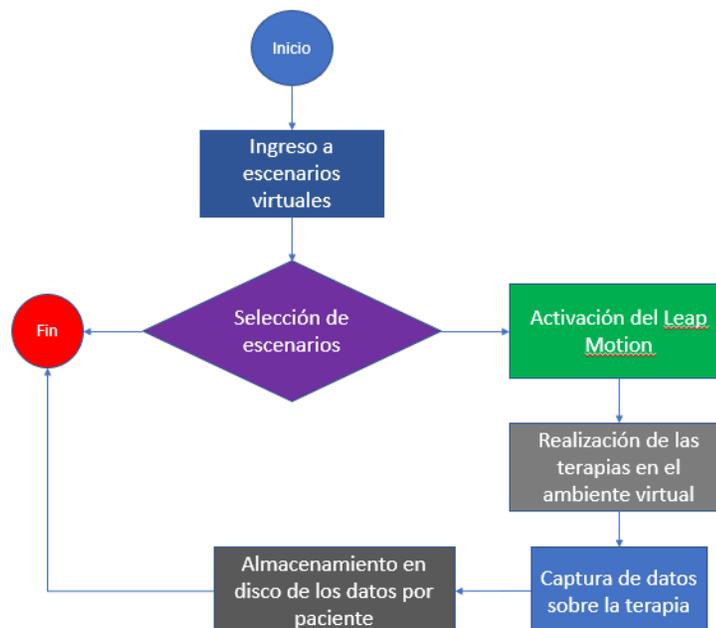


Figura 42. Diagrama general de la aplicación

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 57 de 108

El usuario ingresa a la aplicación, sitúa sus manos en la parte superior del sensor Leap Motion, se ubica en la selección de los ambientes el cual se compone por la actividad del escenario 1 correspondiente a la cocina y el escenario 2 al comedor, luego de terminada la sesión la aplicación procede a guardar los datos en formato de archivo de texto en la ruta correspondiente generada por el ambiente virtual.

A continuación, se observan los scripts que se utilizaron dentro del desarrollo del ambiente virtual para el apoyo de la rehabilitación para pacientes con problemas de movilidad y motricidad en las manos vinculado con el sensor Leap Motion, para dar inicio a los procesos de rehabilitación interactuando con los ambientes virtuales basados en actividades de la vida cotidiana.

- **Librerías de Unity y parámetros utilizados en el ambiente virtual.**

Las librerías utilizadas para la interacción de los elementos virtuales fueron seleccionadas para cumplir la función de poder capturar el tiempo y generar un puntaje (*score*) por cada interacción, por consiguiente, se asignan parámetros para cumplir la función de **Score** y **time** para capturar los datos producto de las interacciones del paciente el cual ve la clase nombrada como *terapiafecha*. La clase guarda en un parámetro los datos en una ruta específica de las carpetas del prototipo, identificando este parámetro como el *Path* contenido en la carpeta llamada *saves*. El siguiente parámetro *datapath* corresponde al nombre y el tipo de archivo generado, en este caso en formato de texto plano.

```

1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4 using System.IO;
5 using System;
6 using TMPro;
-
public class Score : MonoBehaviour {
    //public TextMeshProUGUI scoreTxt;
    //public TextMeshProUGUI timeTxt;

    private int score;
    private bool isActive;
    private float time;
    private bool terapiafecha;

    //Parametros para guardar
    public string path = "/Saves/";
    public string fileName = "score.txt";
    public string datapath = "";
    //Fin parametros para guardar

```

Figura 43. Librerías de Unity de interacción con el entorno y script de parámetros de guardado de archivos generados

En la figura 44, la función *void Start*, es la encargada de iniciar el conteo del *Score* por cada ejecución, cuando del escenario *isActive*, *score* empieza a contar desde cero. Por otro lado, en el método *update* se encuentran los parámetros del conteo del tiempo definidos en *time += Time.deltaTime*, se actualiza por cada *frame* de la escena en ejecución. En la siguiente función se asigna mediante un *Script AddScore*, el incremento del número de veces del *Score* y el *StartTime* para iniciar el conteo por cada interacción con el objeto.

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 58 de 108

```

void Start () {
    datapath = Application.dataPath + path;

    isActive = false;
    score =0;
}

//Actualiza por cada frame
void Update () {

    if (isActive) {

        time += Time.deltaTime; // Parametros de conteo del tiempo
    }
}

public void AddScore()
{
    score++; // Incremento del numero de veces del Score
}

public void StartTime()
{
    isActive = true;
}

public void EndTime()
{
    isActive = false;
    time =10;
}

```

a b

Figura 44. a: Script conteo del tiempo, b: Script del incremento de veces del Score

El método *String Load*, es el encargado de cargar el archivo de texto en la ruta del directorio contenido en la carpeta Saves, además, usa el parámetro *SaveString* encargado de guardar los datos capturados por el escenario en un archivo de texto.

```

public string Load(string datapath) {
    if (File.Exists(datapath + fileName)) {
        string saveString = File.ReadAllText(datapath + fileName);
        return saveString;
    } else {
        return "";
    }
}

```

Figura 45. Script de cargar y guardar archivos

- **Componentes de interacción de objetos.**

Por medio del Script *InteractionBehavior*, se comunica con los movimientos que se hace con el sensor los cuales se ven en pantalla además el componente *BoxCollider* para activar eventos por medio de colisiones entre objetos, cuando el objeto es trasladado mediante el Leap Motion se activa este evento para que los objetos puedan ser trasladados de manera independiente y de esta manera tener una experiencia inmersiva con las capacidades brindadas por el sensor.

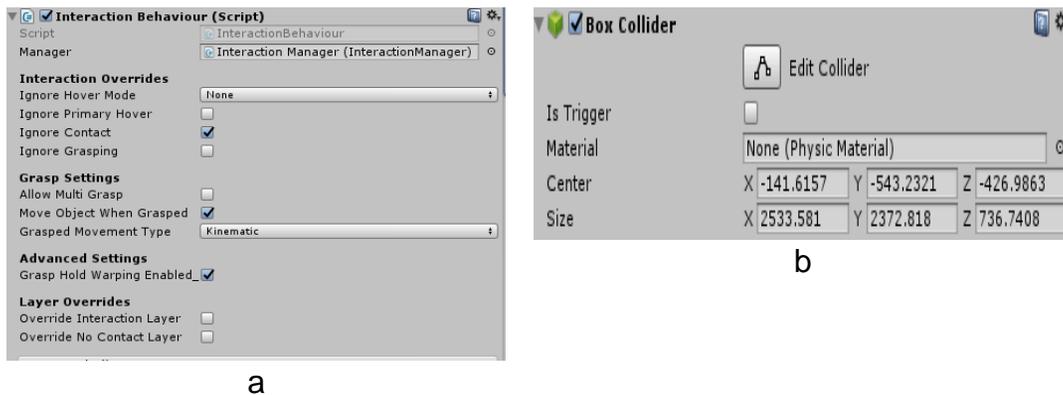


Figura 46. Scripts de interacción de objetos: a. *Interaction Behaviour*, b. *BoxCollider*

Leap Motion utiliza sus propios *Scripts* para realizar ciertas acciones por cada gesto que se realiza con un objeto, dichas acciones se denominan como *Event Type*, utilizando los eventos *GraspBegin* para dar inicio al conteo del tiempo y las veces que el objeto interactúa con el sensor, acompañado con el *Script SceneManager* y el *Script Simple Renderer útil*, donde su función es colorear el objeto cuando es manipulado para servir como guía de movimiento, *Grasp End* realiza las mismas funciones pero con la diferencia que al soltar los objetos se activa el *Script* del *Scene Manager* con la variable *SaveLog* encargada de guardar los archivos de texto.

### 3.2 ADQUISICIÓN DE DATOS DE TERAPIAS CON EL SOFTWARE

Los datos obtenidos de la aplicación se obtuvieron mediante el proceso de sesiones de rehabilitación realizadas a 14 pacientes que fueron sometidos a la manipulación del ambiente virtual con un proceso de 15 días, donde se generaron archivos en formato de texto los cuales se visualizan a continuación:

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
13/10/2020	14/10/2020	15/10/2020	16/10/2020	17/10/2020	18/10/2020	19/10/2020	20/10/2020								
1	14	1	12	1	10	1	18	1	18	1	16	1	21	1	21
2	10	2	15	2	17	2	21	2	10	2	19	2	17	2	18
3	15	3	18	3	18	3	17	3	16	3	21	3	10	3	17
4	11	4	11	4	18	4	26	4	19	4	16	4	21	4	18
5	18	5	17	5	10	5	20	5	13	5	10	5	18	5	21
6	20	6	20	6	15	6	15	6	18	6	19	6	27	6	12
7	18	7	22	7	13	7	14	7	21	7	27	7	13	7	17
8	10	8	19	8	10	8	10	8	27	8	12	8	22	8	13
9	13	9	10	9	11	9	22	9	16	9	19	9	18	9	15
10	17	10	13	10	17	10	19	10	18	10	21	10	14	10	21
11	12	11	15	11	18	11	18	11	15	11	17	11	21	11	15
12	16	12	17	12	10	12	15	12	17	12	25	12	17	12	19
13	15	13	14	13	15	13	17	13	15	13	20	13	15	13	14
14	21	14	17	14	16	14	19	14	19	14	18	14	19	14	17
15	23	15	10	15	13	15	21	15	12	15	16	15	22	15	18
16	11	16	20	16	19	16	19	16	20	16	21	16	18	16	20
17	17	17	11	17	13	17	22	17	15	17	19	17	12	17	15
18	10	18	13	18	19	18	13	18	22	18	12	18	19	18	12
19	11	19	10	19	14	19	16	19	19	19	14	19	21	19	13
20	13	20	15	20	19	20	18	20	16	20	22	20	16	20	11
21	16	21	14	21	15	21	19	21	13	21	14	21	14	21	17

Figura 47: Datos obtenidos de las sesiones del ambiente virtual basado en el escenario cocina (Escenario 1: Simulación de proceso de agarre de un objeto: Jarra).

En este apartado en la figura 47, se visualiza el listado de los datos obtenidos de los pacientes que intervinieron e hicieron uso del escenario 1, realizando como actividad la manipulación de una jarra durante 5 minutos, haciendo uso del agarre tipo puño cerrado donde las personas simulaban el gesto de servir líquido a un vaso que se encuentra en la parte izquierda del mesón. El objetivo de esta actividad era realizar la acción en un tiempo determinado incentivando a los pacientes de forma voluntaria, ejercer los movimientos que son necesarios para cumplir con el propósito expuesto en el escenario, buscando finalmente poder efectuar el desarrollo de la terapia y el tiempo estipulado por el cuerpo terapéutico. El resultado es la captura de datos, que se refiere a las interacciones del paciente durante la duración del tratamiento y ayudar a evaluar el proceso de recuperación.

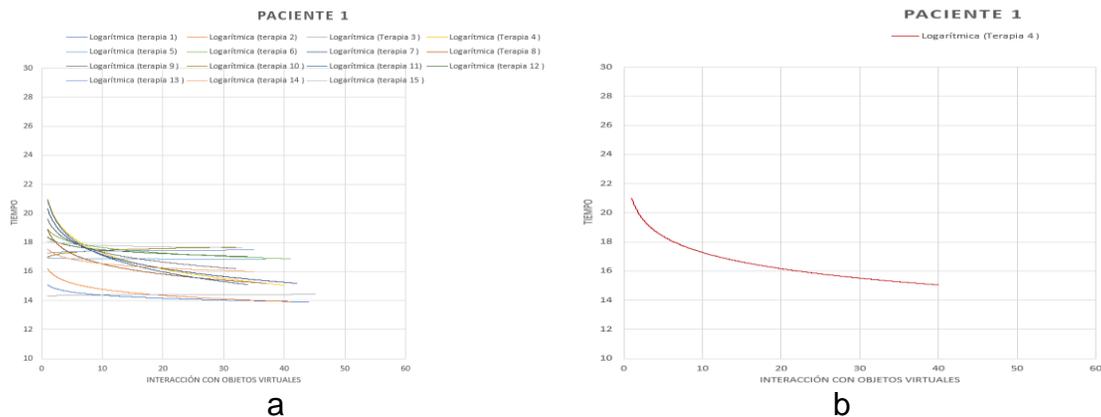
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	27	13	27	11	27	10	27	10	27	11	27	10	27	18	27	1
	28	10	28	10	28	15	28	16	28	18	28	13	28	12	28	1
	29	16	29	18	29	18	29	12	29	10	29	18	29	10	29	1
	30	12	30	12	30	10	30	13	30	14	30	15	30	16	30	1
	31	18	31	20	31	12	31	18	31	16	31	11	31	13	31	1
	32	20	32	26	32	17	32	10	32	12	32	17	32	18	32	1
	33	27	33	21	33	14	33	14	33	19	33	14	33	20	33	1
	34	22	34	14	34	13	34	17	34	10	34	18	34	18	34	1
	35	18	35	10	35	11	35	13	35	12	35	13	35	35	35	1
	36	11	36	10	36	18			36	17						
	37	10	37	16	37	14										
	38	10	38	13	38	25										
	39	16	39	10	39	10										
	40	18	40	10	40	16										
	41	21			41	10										
	42	26														
	43	17														
	44	15														
	45	10														
	46	10														
	47	17														
PROMEDIO		18.38298		16.65		16.02439		16.14286		14.72222		15.02857		15.15152		15.0571
TIEMPO TOTAL (Seg)		664		666		657		565		530		526		500		52

Figura 48: Datos obtenidos de las sesiones del ambiente virtual basado en el escenario cocina (Escenario 2: Simulación de un proceso de ordenar los cubiertos en un comedor)

En la figura 48, se evidencia los datos guardados del escenario 2 realizando como actividad la manipulación de utensilios de cocina tales como: cuchillo, tenedor, vaso y una cuchara donde el paciente hace la actividad en un tiempo de 5 minutos haciendo el uso del movimiento de manos tipo pinza y puño realizando como actividad, organizar los utensilios haciendo los gestos simulando la organización de los mismos ya que en principio estos se encuentran desorganizados dentro del ambiente virtual. El propósito de esta actividad es poder organizar cada elemento y colocarlo en la guía de sombra en la parte inferior del escenario, para que el paciente pueda asumir la tarea de verificar que efectivamente están organizados, cuando los utensilios se organizan con éxito en el área marcada, la actividad finaliza y los datos capturados se guardan en un archivo correspondiente al entorno virtual, esta actividad se seguirá realizando, de esta forma se determina si el paciente es adaptable, y se pueden organizar los elementos en un menor tiempo y con menos intentos. Estas prácticas inciden directamente en la rehabilitación del paciente, por ser la adecuada. para rehabilitación de manos relacionada con este tipo de patología, los datos obtenidos de este escenario se interpretaron como el número de interacciones con los utensilios de cocina en conjunto con el tiempo que llevó realizando estas interacciones, los datos capturados se sacó el promedio resultante de interacciones y el tiempo total de la actividad.

### 3.2.1 Gráficas y análisis de resultados

En este apartado se mostrará de manera detallada las gráficas y resultados obtenidos cuando el paciente interactúa con los escenarios virtuales, para comprobar el proceso de evolución y su influencia en la fase de recuperación, haciendo relación a las actividades exhibidas en los escenarios 1 y 2.



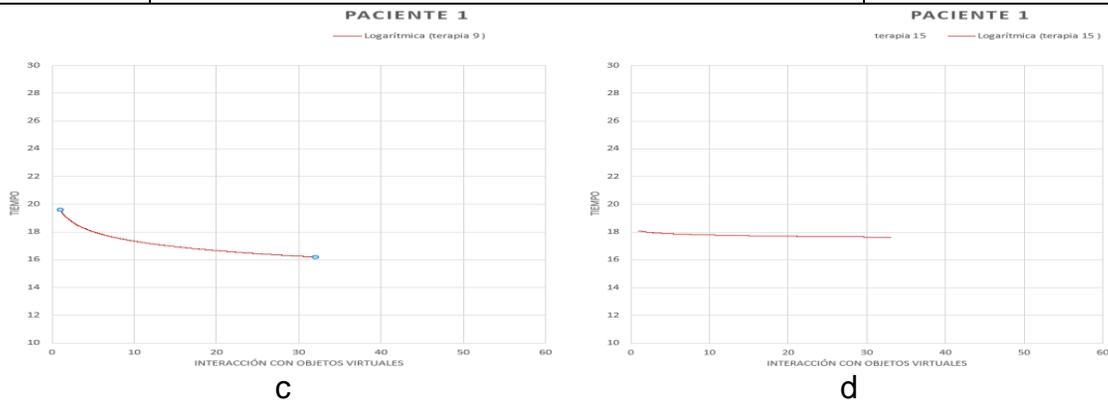


Figura 49. Muestra de resultados del paciente en el escenario 1: a. Gráfica que consolida las interacciones de un paciente durante las 15 sesiones de terapia. b, c y d graficas de interacción del usuario con el ambiente virtual durante los días 4, 9, 15.

En la figura 49, se muestra en detalle el proceso que se obtuvo con el paciente 1, en la gráfica 49a se ilustra el proceso total del paciente durante un periodo de 15 días de terapia, los datos incluidos son los datos obtenidos los cuales se dividieron en 2 dimensiones, en el eje X se encuentra los datos de **Interacción con el ambiente** es decir las veces en que el paciente hace contacto con los elementos del escenario 1 en este caso hace referencia a una jarra la cual el paciente hace interacción realizando los gestos y las terapias correspondientes al escenario ( agarre tipo puño) donde esta actividad se completa en el tiempo determinado y en el eje Y los datos correspondientes al **Tiempo** el cual corresponde a las veces en que el paciente tuvo sostenido los elemento del escenario donde ya empieza a transcurrir el tiempo y al momento en que suelta dicho elemento deja de correr el tiempo, estos datos fueron representados en líneas de tendencia en escala logarítmica para tener mayor detalle para el análisis de los resultados de los avances del paciente en los días estipulados de terapia.

En la gráfica 49b corresponde a la terapia del día 4 donde se observa que el paciente hizo muchos intentos de manipulación del objeto en tiempo promedio de 25 segundos donde se puede concluir que el paciente en esta etapa apenas estaba en proceso de adaptación con el ambiente haciendo que en algunos intentos haya tenido algunas mejoras considerables en cada transcurso conforme transcurría el tiempo asignado teniendo en cuenta que las veces de interacciones eran cada vez menores, en la gráfica 49c corresponde a la terapia del día 9 donde se ve un progreso satisfactorio por parte del paciente intervenido, lo cual el número de intentos en comparación con el día 4 fueron los mismos pero con diferencia que los realizó en menor tiempo promedio de 20 segundos viendo un progreso considerable respecto al día 4 los tiempos de agarre mejoraron haciendo que la cantidad de intentos hayan disminuido igualmente, en esta etapa se consideró que el paciente ya estaba en una etapa de adaptación al ambiente realizando la actividad con el menor esfuerzo, y en la gráfica 49d corresponde al último día de terapia la cual

demuestra que este paciente tuvo un progreso muy satisfactorio respecto al cuarto día y al noveno día , adaptándose a la actividad del escenario de manera eficiente, lo cual se dice que tuvo un proceso de rehabilitación exitosa durante todo el transcurso de la sesión.

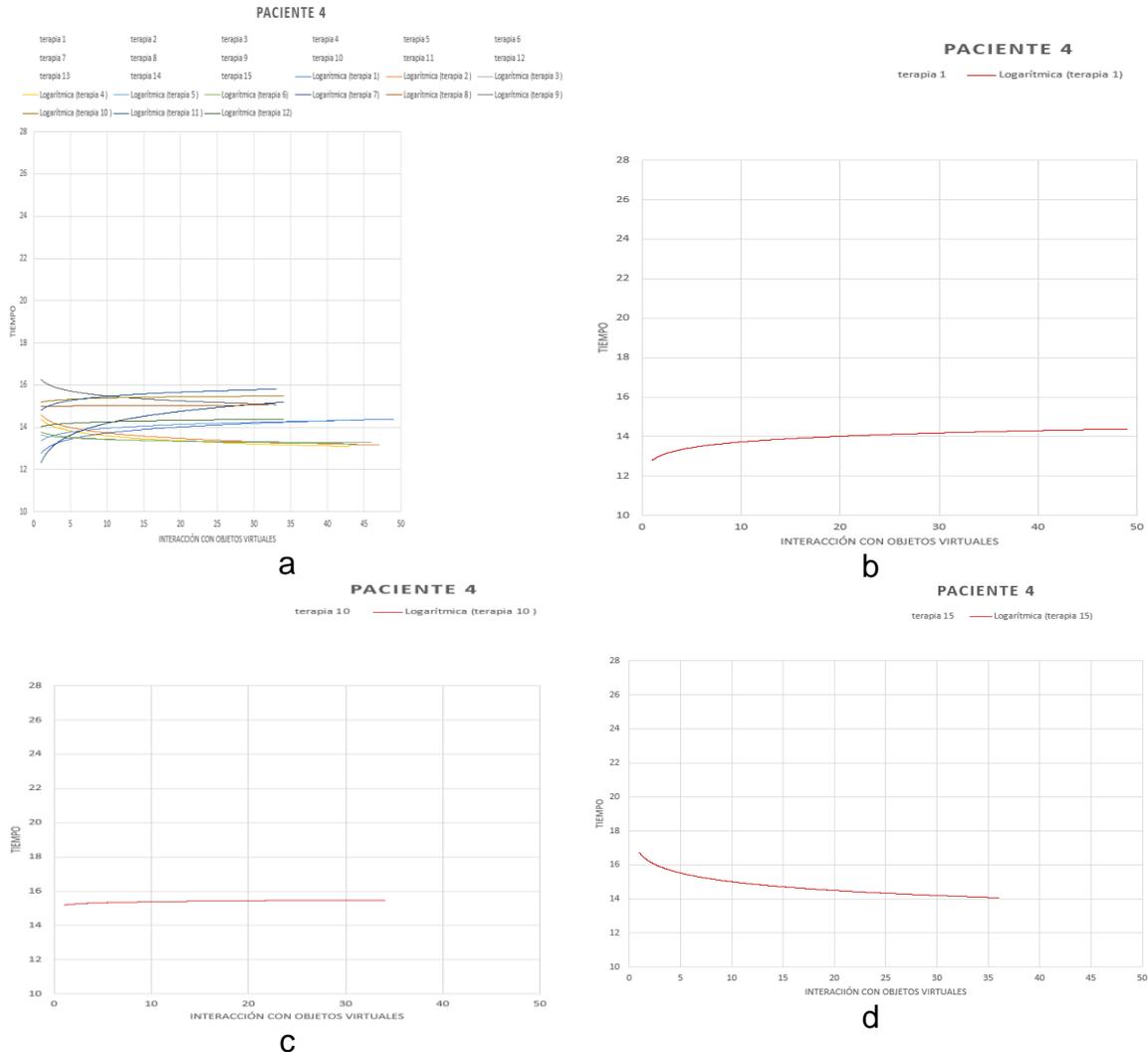
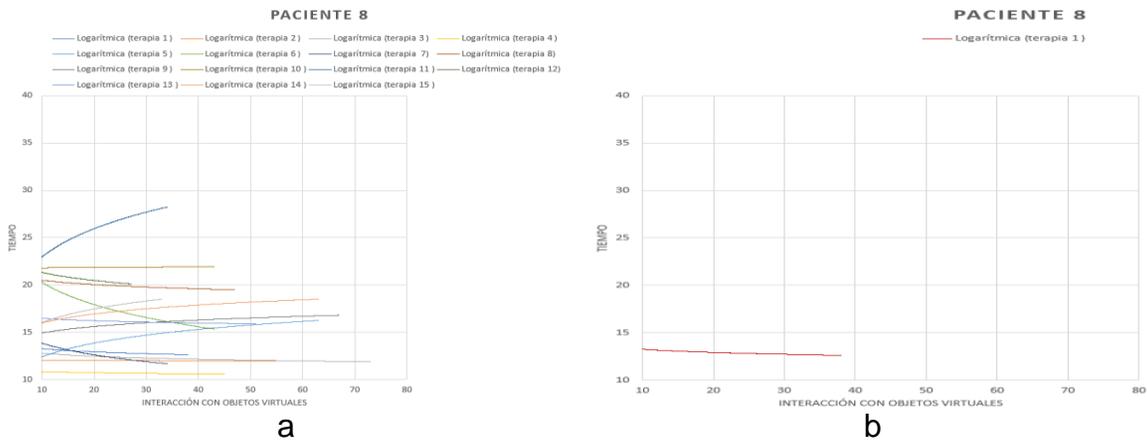


Figura 50. Muestra de resultados del paciente en el escenario 1: a. Gráfica que consolida las interacciones de un paciente durante las 15 sesiones de terapia. b, c y d gráficas de interacción del usuario con el ambiente virtual durante los días 1, 10, 15.

La Figura 50 muestra el progreso logrado por el paciente 4, en la Figura 50a se muestra el curso completo del tratamiento dentro de los 15 días. Además, la figura también resalta los tratamientos en los días 1, 10 y 15 y se seleccionó estas terapias como las más relevantes en estos días. La figura 40b muestra el principio de tratamiento y la interacción con el entorno correspondiente al primer día, muestra que le cuesta adaptarse a la actividad, indicando que a medida que pasa el tiempo de interacción, el número de contactos con el sujeto ha aumentado, pero el tiempo es cada vez más corto, se entiende que en este caso le cuesta captar los elementos del escenario, con el paso del tiempo hizo muchos intentos, pero todos los intentos fueron de forma negativa, Es decir, en este día de tratamiento, el paciente tuvo dificultad para sostener el objeto y tuvo que volver a repetirse, por lo que se hicieron muchos intentos al interactuar con la actividad.

En el gráfico 50c, se relaciona con el tratamiento en el día 10. En este caso, considerando que el paciente sigue practicando y puede adaptarse al entorno, se pueden observar cambios significativos en el paciente. En la gráfica 50d la cual hace referencia al último día de terapia, se observa Intentando mantener la jarra con el menor intento, de manera que se haya considerado favorablemente el margen de error del primer día, y se pueda determinar que el paciente en este día mostró gran interés en el apoyo a través del entorno virtual (tiempo promedio) experimentó unos 15 segundos en menos de 35 interacciones al completar la actividad correctamente y cuando el diagnóstico sea aceptable, el paciente mostrará signos de mejoría, en este caso el paciente inicialmente se sentirá incómodo por no adaptarse al entorno virtual e incapaz de adaptarse a la actividad correspondiente. Por lo tanto, en la mitad del proceso de tratamiento, los cambios y signos físicos del paciente son evidentes, lo que indica que el ejercicio del paciente en el último día de tratamiento ha mejorado y su progreso ha mostrado con éxito una respuesta positiva a la actividad.



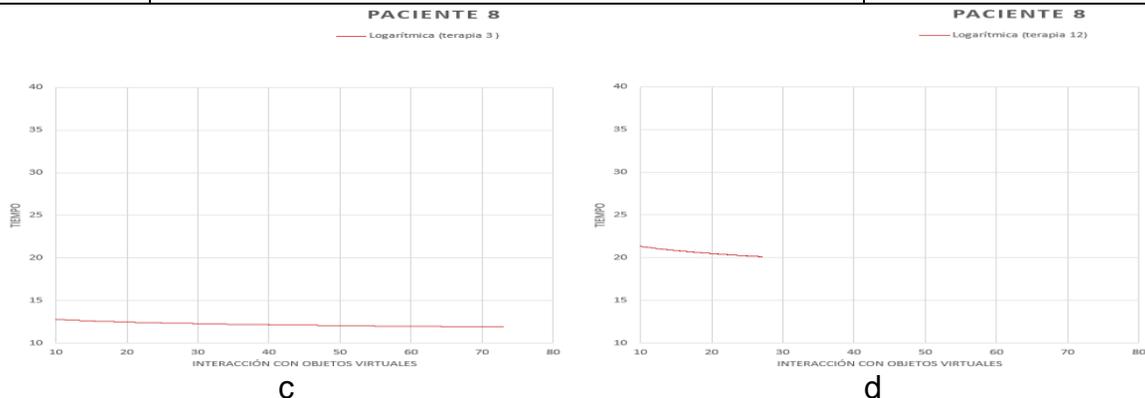


Figura 51. Muestra de resultados del paciente en el escenario 1: a. Gráfica que consolida las interacciones de un paciente durante las 15 sesiones de terapia. b, c y d graficas de interacción del usuario con el ambiente virtual durante los días 1, 3 y 12.

En la figura 51, el gráfico 51a muestra el número total de sesiones del paciente 8 en un período de 15 días, y muestra la interacción con el entorno en el eje X, que se refiere al número de veces que el paciente ha contactado con el objeto, En esta actividad, la jarra es la principal interacción de la actividad correspondiente al tiempo, ubicado en el eje Y, En esta actividad, la jarra es la principal relación de interacción de la actividad correspondiente al tiempo, ubicado en el eje Y. El gráfico 51b muestra el progreso del tratamiento del paciente con relación al día 1, en el que se especifica el tiempo de interacción, y este tiempo es más corto que el tiempo determinado, En este caso, el paciente rara vez realiza operaciones de interacción de objetos, en resumen, es difícil para el paciente sostener estos objetos durante este día, por lo que se han realizado muchos intentos.

En el gráfico 51c el tiempo ha disminuido, pero la diferencia es que el número de interacciones ha aumentado de manera aceptable, en este momento se puede decir que tiene una respuesta positiva al entorno en términos de tiempo, en esta etapa del tercer día, el paciente ha realizado demasiados intentos para lograr el propósito de la actividad, cabe señalar que en este caso, el proceso evolutivo es de carácter aceptable, pues si bien el número de interacciones ha aumentado parcialmente adaptado para tratar con objetos en el entorno virtual en menos tiempo.

En la Figura 51d, se refiere al día 12. La razón por la que se debe considerar el tratamiento en este día es porque el paciente realiza movimientos y gestos precisos al operar el tanque de agua para lograr un estado de interacción adaptativa con el entorno virtual. Los ejercicios necesarios para servir, manipular y mover correctamente la jarra en diferentes lugares del entorno, lo que hace que los ejercicios de puño cerrado necesarios para restaurar la jarra con esta solución hayan superado las condiciones que presenta, aunque existe un cierto pero muy pequeño error de agarre, los datos de la figura muestran un movimiento corto dentro de un tiempo apropiado y no exceden el número de interacciones de agarre, Se determina que en esta fase de tratamiento, incluso antes de los 15 días prescritos,

es posible adaptarse de manera más rápida. Cada agarre tiene una media de unas 29 interacciones en 22 segundos. Por tanto, se concluye que después del tratamiento en este día, el paciente completó con éxito la actividad.

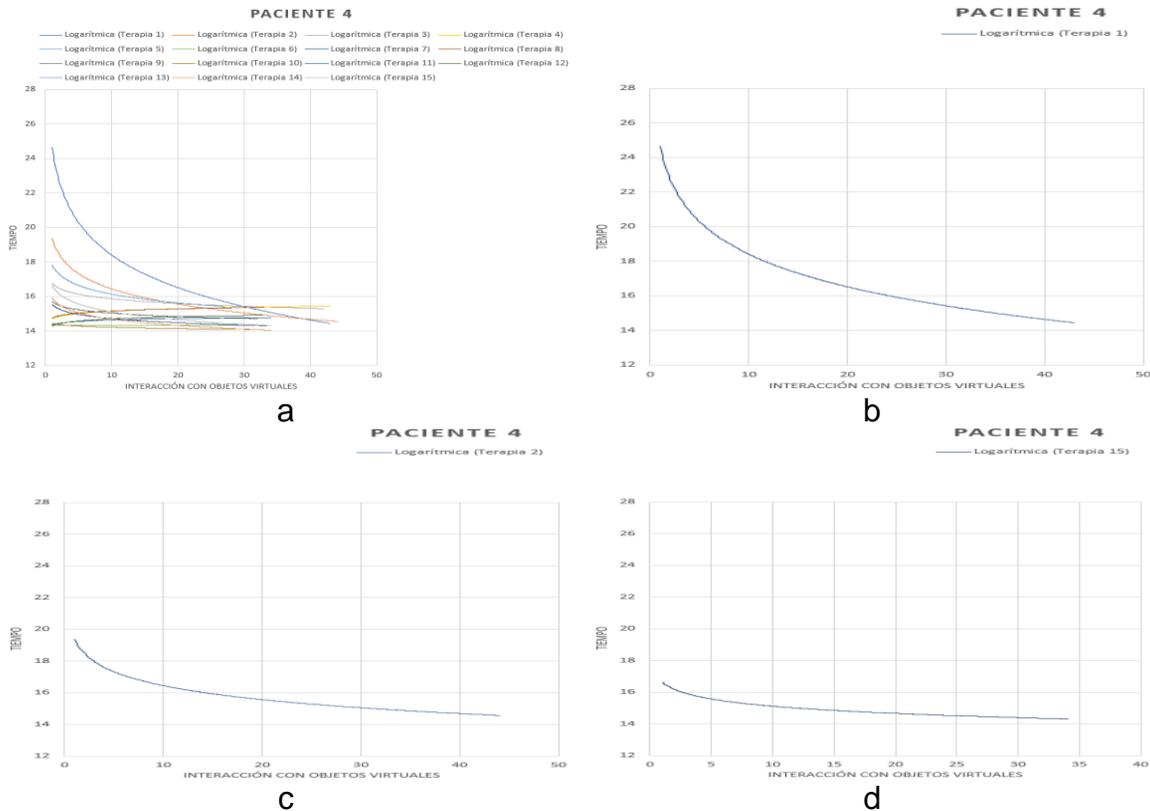
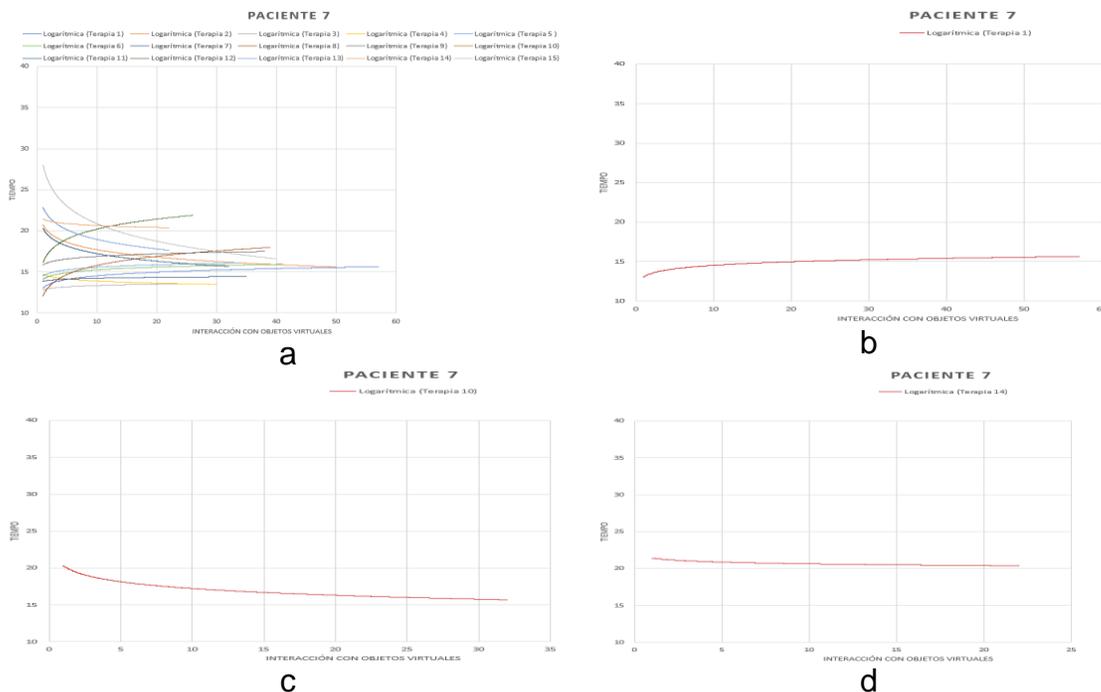


Figura 52. Muestra de resultados del paciente en el escenario 2: a. Gráfica que consolida las interacciones de un paciente durante las 15 sesiones de terapia. b, c y d gráficas de interacción del usuario con el ambiente virtual durante los días 1, 2 y 15.

En la Figura 52, se muestra la información sobre la sesión completada del plan relacionado con el paciente 2, la información que proporciona el gráfico muestra el número de interacciones con el entorno en detalle en el eje X. En este caso, las interacciones del paciente, los objetos incluidos en la escena incluyendo cuchillos, tenedores, tazas y cucharas, el propósito de esta actividad es organizarlos correctamente y colocarlos en las sombras en la parte superior del mesón y en el eje Y se captura el tiempo en el cual el paciente se tardó en completar dicha tarea, para finalmente sumar los datos arrojados por el ambiente virtual y el tiempo total de las terapias generados y el promedio mostrándose en la gráfica 52a. En la Figura 52b, se comprende el avance del tratamiento con respecto al primer día. Se observa que se han producido demasiadas interacciones durante un largo período de tiempo, en este día de tratamiento se dice que el paciente tiene dificultad para sostener los utensilios, resultando que cada pieza de utensilios se usa más de lo normal, lo que lleva a demasiados intentos, como no pudo completar la actividad correctamente, el tiempo total fue mayor de lo habitual.

En la Figura 52c se refiere al segundo día de tratamiento, se observa que en comparación con el primer día, ha avanzado mucho porque se ha reducido el número de interacciones y el tiempo de organización de los utensilios de cocina, reduciendo así el tiempo promedio 19 segundos, un total de 45 interacciones, se confirmó que el paciente completó la actividad, lo que redujo el tiempo, pero a medida que aumentaba el número de interacciones, se concluyó que los utensilios aún no se podía colocar correctamente en las áreas de guía ubicados en la zona sombreada inferior.

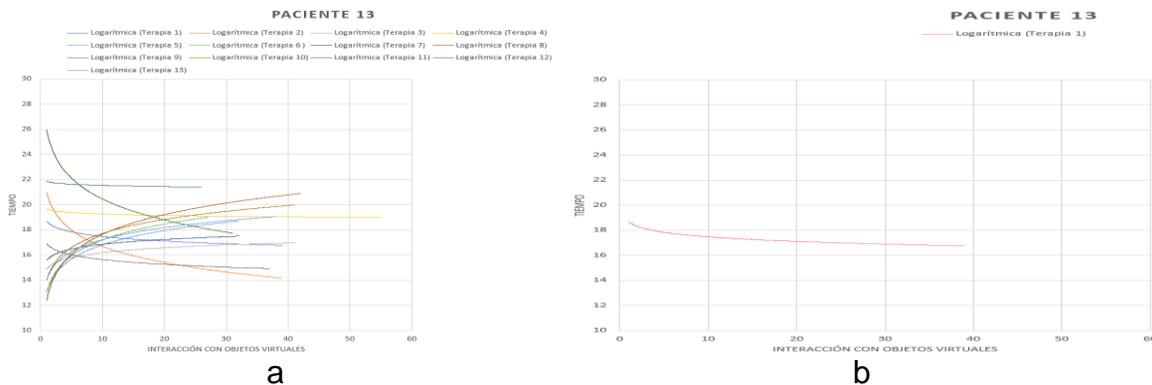
En el gráfico 52d se observa el último día de tratamiento correspondiente al día 15, el cual muestra un avance eficiente ya que ha adquirido la capacidad de organizar los utensilios en un menor tiempo colocando los cubiertos en la zona sombreada, de esta forma, se realiza el movimiento más preciso al agarrar e interactuar con cada objeto integrado en el entorno, al poner en práctica la pinza de agarre y el puño cerrado utilizados en esta situación, el paciente no mostrará ninguna dificultad en esta etapa para realizar esta actividad requerida. Determinando que el paciente 4, tuvo una mejora con una gran diferencia respecto al día 1.



**Figura 53.** Muestra de resultados del paciente en el escenario 2: a. Gráfica que consolida las interacciones de un paciente durante las 15 sesiones de terapia. b, c y d graficas de interacción del usuario con el ambiente virtual durante los días 1, 10 y 14.

La Figura 53 muestra todos los datos obtenidos del paciente 7 durante un período de 15 días, en el cuadro 53a se muestran los datos capturados en el entorno virtual, observando el progreso del paciente interactuando con el entorno y realizando actividades del comedor, La Figura 53b muestra los intentos excesivos del paciente en el día 5, este día se incluyó, debido al hecho de que se obtuvo una gran cantidad de intentos de interactuar con los utensilios de la cocina. Además, se enfatizó que el tiempo de cada interacción aumentó, y el paciente tardó más en realizar la actividad, partiendo de unos 11 segundos, pero lamentablemente aumentó hasta un máximo de 17 segundos, resultó difícil para él colocar los componentes de la plataforma en el área designada de los componentes de agarre del paciente, pero sostenerlos durante mucho tiempo evitará que la actividad se complete correctamente.

En la Figura 53c, en el día 10 la interacción disminuye, pero a diferencia del día 5, el progreso es un desarrollo positivo, refiriéndose al tiempo de ejecución de la actividad, los tiempos fueron adecuados mientras se organiza los objetos teniendo un mejor agarre y soltándolos en el tiempo correcto, situándolos en las áreas sombreadas, se puede considerar que el tiempo de interacción con los objetos en esta etapa es aceptable, pues aún existen problemas de precisión a la hora de colocar los utensilios como cuchillos, pero a pesar de ello, el diagnóstico en esta etapa sigue siendo positivo. En la Figura 53d, se refiere al tratamiento en el día 14, donde se detalla la evolución del paciente, se realizaron menos movimientos e interacciones durante un período de tiempo considerable, ya que fueron unos 20 segundos, y un total de 22 interacciones, completando así con éxito la actividad, pudo lograr la habilidad de organizar los utensilios en las áreas sombreadas en la posición correcta con un margen mínimo de error refiriéndose a que los objetos fueron situados correctamente. El paciente pudo completar con éxito la actividad, se dice que, aunque el paciente tuvo dificultades en los primeros 5 días, logró buenos resultados, sin embargo, cabe señalar que el paciente se adapta al entorno utilizando los gestos de pinza y puños rápidamente en la actividad, los va aplicando gradualmente hasta que puede manipular y organizar los elementos a través de esta situación para apoyar su recuperación.



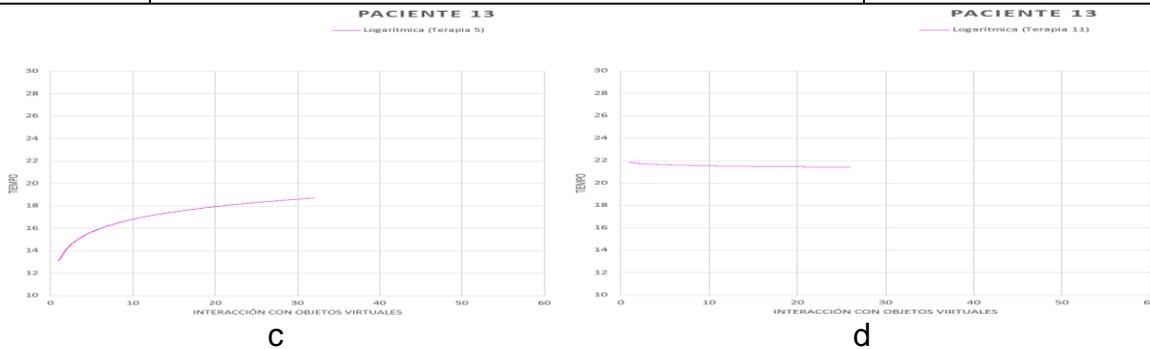


Figura 54. Muestra de resultados del paciente en el escenario 2: a. Gráfica que consolida las interacciones de un paciente durante las 15 sesiones de terapia. b, c y d gráficas de interacción del usuario con el ambiente virtual durante los días 1, 5 y 11.

En la Figura 54, se muestra en detalle el progreso del paciente 13 y los resultados de las actividades en el transcurso de 15 días, la información detallada se muestra en la Figura 54a. La Figura 54b muestra los resultados de la evolución el día 1, mostrando un gran número de interacciones que duran aproximadamente 19 segundos, en este caso, el paciente tiene una adaptabilidad aceptable al entorno virtual, por lo que los utensilios de cocina pudiéndose mantener durante un tiempo prolongado, pero le resulta difícil organizarlos en las áreas sombreadas del escenario, lo cual por cada intento aumentaba el número de interacciones, a pesar que los tiempos fueron menores, presentó estas dificultades en poder organizarlos en el tiempo a causa de no poder realizar el agarre tipo pinza. En la Figura 54c, referente al tratamiento el día 5, se muestra el progreso correspondiente de la actividad del escenario 2, que muestra la información que especifica que el progreso del paciente es un aumento negativo en términos del tiempo promedio y el número de interacciones que han hecho gradualmente, en esta etapa de la fase de tratamiento, hay un promedio de 51 intentos al mismo tiempo para aumentar el tiempo inicial, y un promedio de 12 segundos alcanza el valor máximo del tiempo final capturado por el entorno virtual, es decir, el valor de 18 segundos, se concluyó en esta etapa que la actividad no se llevó a cabo con éxito porque era difícil agarrar los utensilios; el motivo del aumento de tiempo durante la actividad fue la falta de precisión en el agarre durante un tiempo prolongado y no se llevó a cabo el aumento de la interacción y el aumento del tiempo de actividad resultando que la reanudación del movimiento correspondiente del paciente no haya sido favorable.

En la Figura 54d se muestra el avance al día 11, destacando que en esta etapa el paciente se está adaptando a las actividades del escenario virtual durante la práctica continua en el tiempo promedio con el escenarios de 21 segundos y 25 interacciones con el escenario virtual, mejorando la capacidad del agarre para lograr el propósito de organizar los utensilios en la zona sombreada correspondiente, reduciendo el equilibrio entre el tiempo y el número de interacciones, como resultado de la actividad se ha realizado con éxito y obteniendo la capacidad de organización de los utensilios en esta sesión de terapia, el paciente logró superar las dificultades

de agarre que provocaban el problema de la excesiva interacción con el entorno, considerando que ha estado en práctica interactuando con el entorno virtual y logrando su recuperación de forma adecuada.

### 3.3 RECUPERACIÓN DE PACIENTES UTILIZANDO AMBIENTES VIRTUALES

A continuación, se muestran los datos que se capturaron en el proceso de rehabilitación de los pacientes, el cual hacen referencia al escenario 1. En la figura 55, se observa los datos totales de las interacciones que cada paciente hizo por día en el entorno, éstos cuentan con una valoración numérica que hace relación al progreso general de rehabilitación después de haber interactuado con la herramienta tecnológica durante un periodo de 15 días.

DÍA TERAPIA	EVOLUCION PACIENTES ESCENARIO DE LA COCINA													
	Paciente 1	Paciente 2	Paciente 3	Paciente 4	Paciente 5	Paciente 6	Paciente 7	Paciente 8	Paciente 9	Paciente 10	Paciente 11	Paciente 12	Paciente 13	Paciente 14
1	44	42	43	49	48	42	42	38	85	73	55	73	85	44
2	41	42	42	47	48	38	61	55	78	83	55	83	95	74
3	45	37	39	46	41	38	66	73	89	90	44	67	86	53
4	40	44	37	43	41	38	75	45	79	73	67	42	80	45
5	37	41	39	43	38	38	68	63	32	38	43	53	64	36
6	41	38	39	44	40	41	69	43	39	44	45	57	79	41
7	42	37	38	34	41	39	36	34	38	38	40	41	64	38
8	37	38	38	32	40	39	39	47	35	40	35	40	69	42
9	32	38	36	33	38	39	50	67	42	32	36	38	42	42
10	32	37	40	34	39	40	31	43	31	33	53	46	44	42
11	34	38	38	33	38	40	66	34	37	33	60	46	42	46
12	34	38	38	34	38	38	35	27	37	33	37	59	46	42
13	35	37	36	35	39	38	32	51	37	47	32	56	51	45
14	35	36	35	36	38	40	35	63	38	35	42	43	58	49
15	33	37	33	36	38	38	32	33	34	29	54	40	44	45

Figura 55: Datos de evolución de pacientes en el ambiente virtual basado en el escenario cocina (Escenario 1: Simulación de proceso de agarre de un objeto: Jarra).

Así mismo en la figura 56, se muestra la lista de los datos totales que fueron capturados en el escenario 2, dichos datos hacen referencia al número total de interacciones que tuvo cada paciente por día de terapia con el entorno virtual.

DÍA TERAPIA	EVOLUCION PACIENTES ESCENARIO DEL COMEDOR													
	Paciente 1	Paciente 2	Paciente 3	Paciente 4	Paciente 5	Paciente 6	Paciente 7	Paciente 8	Paciente 9	Paciente 10	Paciente 11	Paciente 12	Paciente 13	Paciente 14
1	30	47	42	43	44	46	57	37	79	86	43	87	39	52
2	32	40	35	44	44	41	50	50	34	62	43	62	39	35
3	31	41	40	42	44	42	25	48	35	53	45	46	41	37
4	33	35	42	43	41	40	30	43	37	38	30	43	55	70
5	42	36	34	44	33	41	34	30	37	34	30	40	32	44
6	35	35	32	42	38	44	41	22	34	37	36	42	27	37
7	36	33	31	43	34	42	35	36	38	38	38	43	32	42
8	38	35	31	27	36	43	39	35	35	32	41	38	42	36
9	33	35	31	32	33	38	38	25	41	32	30	38	37	37
10	32	32	32	34	35	34	32	40	40	33	38	39	41	42
11	32	33	32	33	36	40	26	33	37	32	33	36	26	43
12	34	32	32	32	34	35	26	29	37	33	30	39	31	48
13	32	34	32	32	36	34	22	25	37	38	31	43	38	47
14	33	33	32	34	33	37	22	25	38	26	40	36	24	47
15	35	32	32	33	38	34	40	30	34	26	38	44	40	44

Figura 56: Datos de evolución de pacientes en el ambiente virtual basado en el escenario cocina (Escenario 2: Simulación de un proceso de ordenar los cubiertos en un comedor).

#### 3.3.1 Gráficas y análisis de recuperación de pacientes.

En la figura 57, se evidencia la gráfica de resultados de los 14 pacientes que interactuaron con el entorno virtual, el cual pertenecen al escenario 1, dicha gráfica está relacionada al número de interacciones totales que el paciente realizó por día. La gráfica está compuesta por el número de interacciones que tuvo los pacientes (eje Y) y los días que realizaron las sesiones de recuperación (eje X).

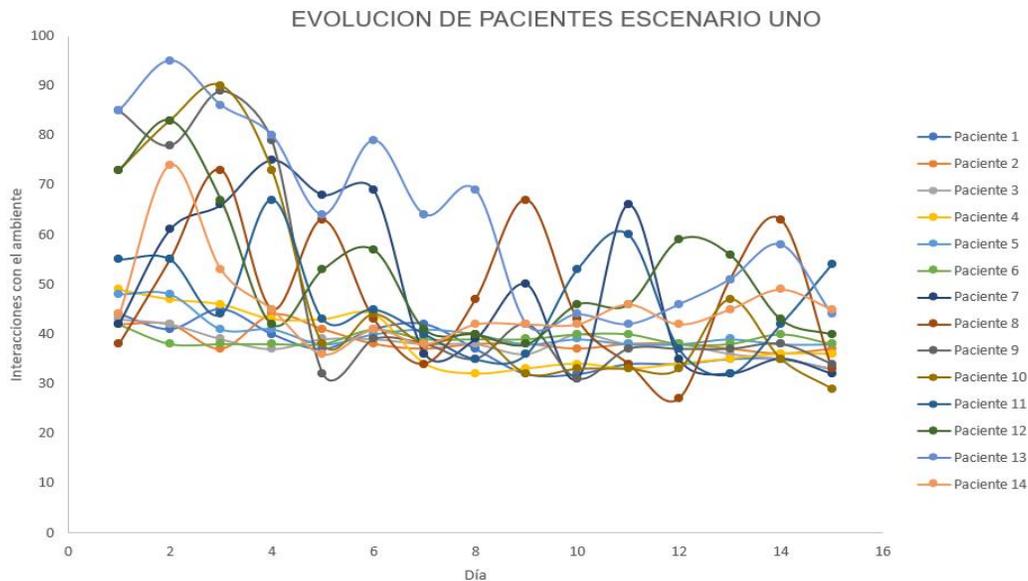


Figura 57. Muestra de resultados de los pacientes en el escenario 1: Gráfica que consolida La evolución de los pacientes durante las 15 sesiones terapéuticas.

Igualmente, en la gráfica figura 58, se evidencia el número de interacciones que los pacientes realizaron por día en el escenario 2, mostrando los valores que el entorno virtual capturó al momento de que dichos pacientes realizaron la actividad.

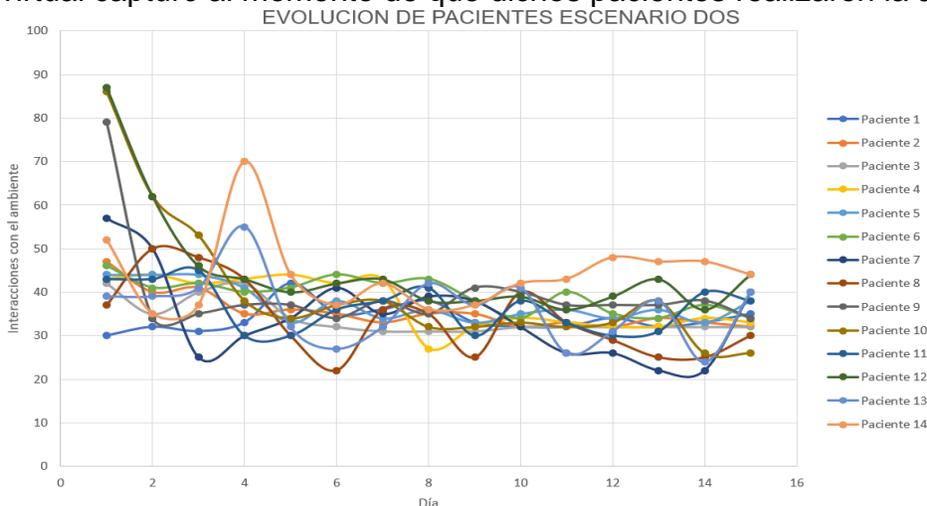


Figura 58. Muestra de resultados de los pacientes en el escenario 2: Gráfica que consolida La evolución de los pacientes durante las 15 sesiones terapéuticas.

En la figura 59, se observa el comportamiento que tuvo un paciente de una edad de 23 años, donde se muestra el proceso de rehabilitación que hizo por día en el escenario 1, en el eje vertical se presenta la cantidad de interacciones que realizó con el entorno virtual, por el eje horizontal se presenta los días de terapia. La curvatura del proceso de rehabilitación describe la efectividad obtenida en un determinado tiempo donde se observa que el nivel del paciente está en un promedio

de 48 a 38 interacciones con el entorno.

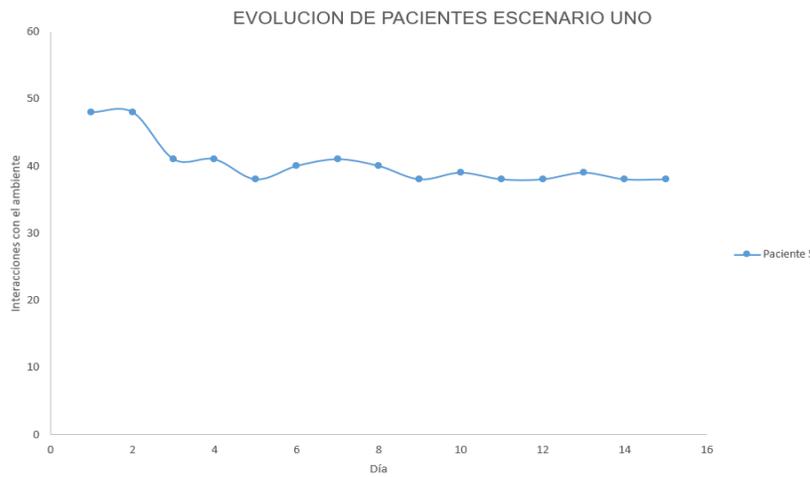


Figura 59. Progreso de evolución del paciente 5 en el escenario 1.

En la figura 60, se evidencia el comportamiento de un paciente con una edad de 52 años, donde se observa el proceso de rehabilitación que practicó por día en el escenario 1. La curvatura de seguimiento de la evolución del paciente describe la efectividad obtenida durante el periodo de prueba. Se puede observar que el nivel del paciente está en un promedio de 85 a 44 interacciones con el sistema de rehabilitación.

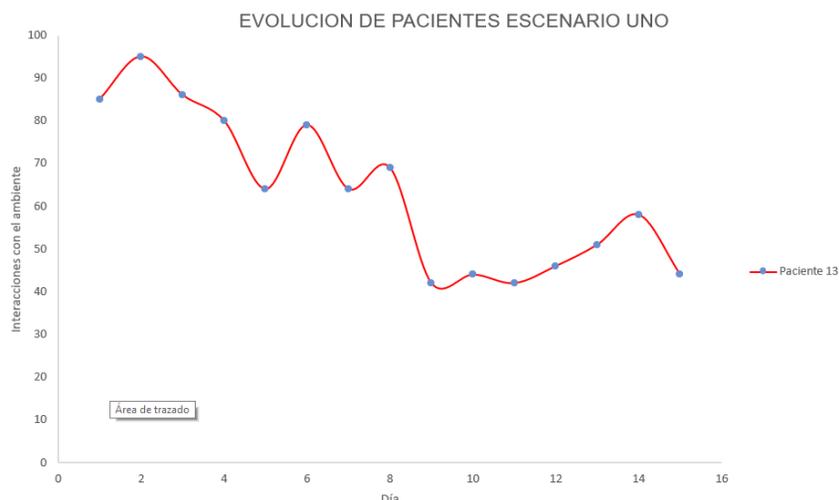


Figura 60. Progreso de evolución del paciente 13 en el escenario 1.

Se presenta en la figura 61, a través de la curvatura de recuperación una comparación como ejemplo del paciente 5 y el paciente 13 que se mencionan anteriormente, el cual se determina que el entorno virtual aporta a la recuperación de movilidad de las manos. En la gráfica 61 se observa la comparación entre el paciente 5 y el paciente 13 donde la línea azul, hace referencia al paciente 5 que

muestra el comportamiento que tuvo durante las sesiones terapéuticas, evidenciando que dicho paciente tuvo un gran porcentaje de adaptabilidad al prototipo y el margen de error en cuanto a la recuperación fue más rápido esto pudo haber sido porque el paciente no presentaba gravedad en sus lesiones. La línea roja, hace referencia al paciente 13, en donde se observa que dicho paciente tuvo una complejidad alta al momento de realizar las sesiones terapéuticas, esto debido a que no se adaptó fácilmente a las actividades expuestas por el entorno o la gravedad de lesión era mayor a la del paciente 5.

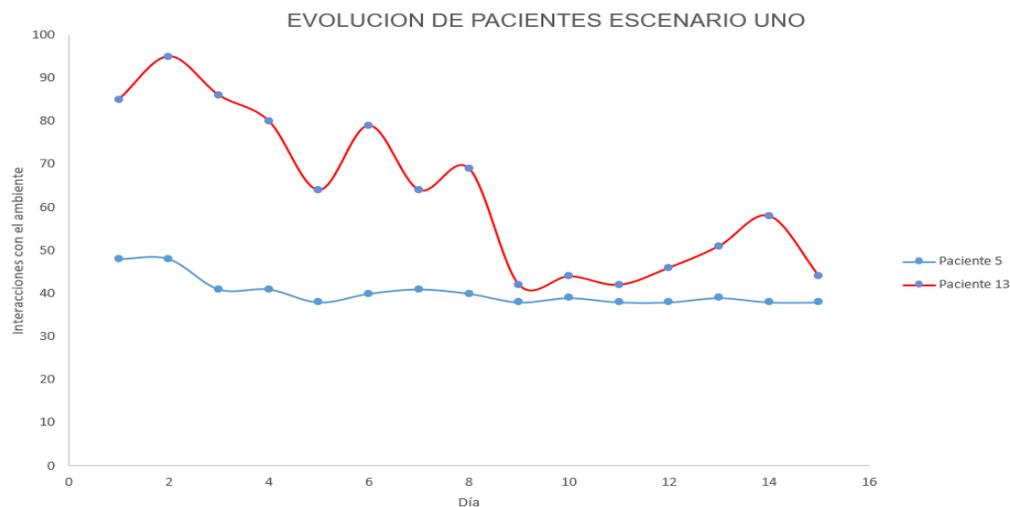


Figura 61. Comparación proceso de rehabilitación del paciente 5 y 13 en el escenario 1.

Una vez evidenciado el progreso que se tuvo en el escenario 1, se procede a documentar y explicar los resultados que se obtuvieron en el escenario 2, analizando el comportamiento de dos pacientes que se tomaran como ejemplo para realizar el análisis de datos, detallando la facultad de interacción que se adquirió con el entorno virtual.

En la figura 62, se contempla la práctica que sostuvo un paciente de una edad de 27 años, el cual se muestra el proceso de rehabilitación que elaboró por día en el escenario 2, en el eje Y se encuentra la cantidad de interacciones que realizó con el entorno virtual, en el eje X se presenta los días de terapia haciendo referencia al tiempo total de las rehabilitaciones que consta de 15 días.

La ondulación gráfica del proceso de rehabilitación determina el progreso obtenido en un determinado periodo, donde se observa que el nivel del paciente está en un promedio de 42 a 32 interacciones por día con el sistema de apoyo a la rehabilitación haciendo énfasis al periodo total de mejoría.

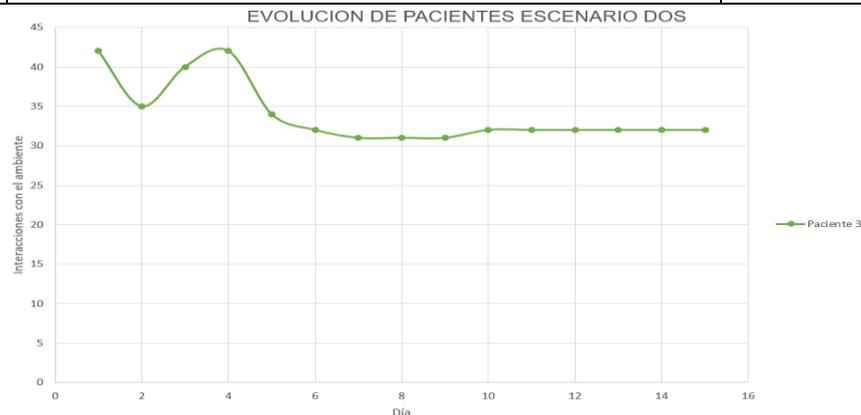


Figura 62. Progreso de evolución del paciente 3 en el escenario 2.

En la figura 63, se toma los datos del paciente 4 que tiene una edad de 48 años, evidenciando el comportamiento que tuvo durante el proceso y manipulación de las actividades ejercidas con los elementos del escenario 2 que ejerció por día. La curvatura de seguimiento de recuperación del paciente especifica los diferentes comportamientos obtenidos en el periodo de prueba, donde se observa que el nivel de recuperación del paciente en términos generales está en un promedio de 43 a 33 interacciones con el ambiente virtual.



Figura 63. Progreso de evolución del paciente 4 en el escenario 2.

A continuación, en la figura 64, se presenta una comparación del comportamiento, el proceso de rehabilitación y la adaptabilidad con el sistema virtual de los pacientes 3 y 4, donde se puede afirmar que el sistema de apoyo a la rehabilitación de movilidad de manos tiene un alto porcentaje de favorabilidad al momento de ser utilizado por pacientes con dicha problemática.

Teniendo en cuenta los datos anteriores se describe la figura 64, resaltando que la curvatura del proceso de recuperación de la línea color verde hace referencia al paciente 3, donde se observa que, al inicio de las sesiones terapéuticas, el paciente

presentó dificultad al momento de interactuar con el escenario 2, haciendo que el progreso fuera lento e inestable durante los días 1 y 6, a partir del día 7 se observa que el comportamiento del paciente con el entorno virtual fue más efectivo, esto debido a que la persona realizó la actividad con un tiempo menor en comparación a los días 1 y 6 hasta lograr una familiarización con las actividades expuestas por el escenario 2. La línea café pertenece al paciente 4 y se cree que presenta múltiples comportamientos durante el tratamiento, porque el acoplamiento con el sistema del entorno virtual trae complicaciones durante el proceso.

De manera general, se puede afirmar que los procesos de rehabilitación de los pacientes 3 y 4 tuvieron comportamientos diferentes, debido a la adaptabilidad con las actividades del escenario 2 y el grado de lesión que presentaba cada paciente.

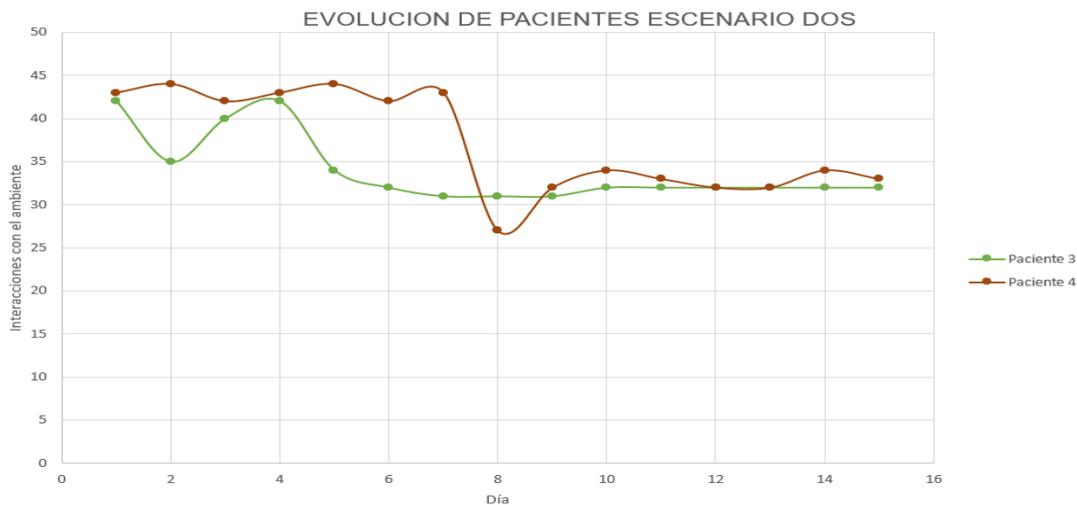


Figura 64. Comparación proceso de rehabilitación del paciente 3 y 4 en el escenario 2.

### 3.4 APLICACIÓN DE ENCUESTAS SOBRE PACIENTES.

La encuesta fue concretada mediante un formulario de Google Forms, el cual fue enviado a los pacientes que realizaron las sesiones de terapia con un entorno, el formulario estuvo compuesto por 8 preguntas con diversas opciones de respuesta. A continuación, se presenta las respectivas gráficas y análisis de los resultados obtenidos.

- **¿Cómo califica usted la implementación de escenarios virtuales en la rehabilitación de pacientes con problemas de movilidad de las manos?**

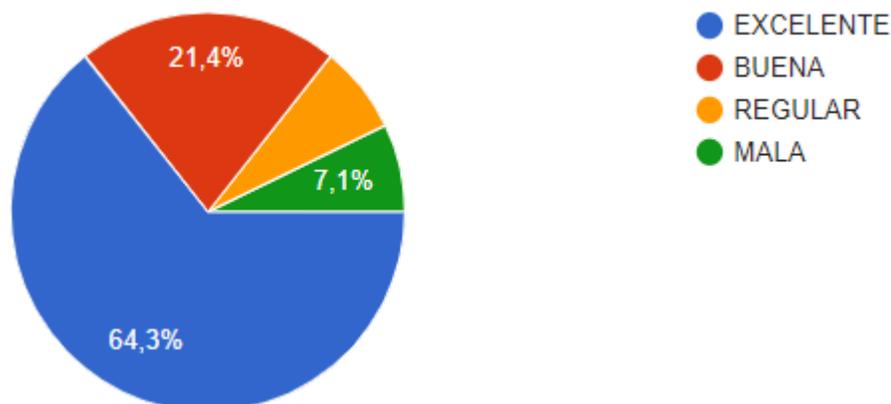


Figura 65. Implementación de escenarios virtuales en la rehabilitación

En la figura 65, se observa que el 64.3% de los evaluadores calificaron como “excelente” la implementación de los entornos virtuales en la rehabilitación del paciente, el 21.4% de los evaluadores la calificó como una opción “buena”, el 7.1% lo evaluaron como una opción “regular” y “mala”. Esto muestra que, en el campo de la fisioterapia, la implementación de escenarios virtuales ha sido aceptada con éxito como herramienta de recuperación por la mayoría de las personas que manipulan el sistema y lo utilizan como prueba de evaluación.

- **En el momento de simular las actividades en los escenarios virtuales ¿Qué tan satisfactoria fue la experiencia?**

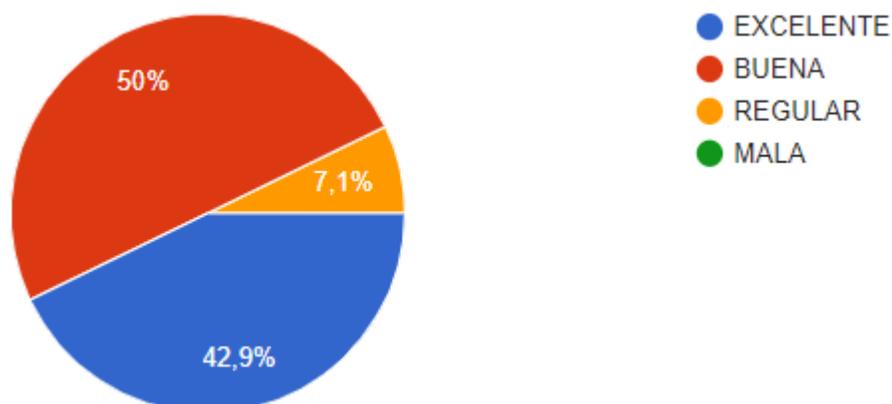


Figura 66. Experiencia con el entorno virtual

En la Figura 66, al evaluar la experiencia de los pacientes en el entorno virtual, el 50% de las personas confirmó que el sistema cumplió con las expectativas de satisfacción y dio una buena evaluación, el 42,9% de las personas opinan que el sistema es muy bueno y el 7,1% de los pacientes consideran que esto es justo. Con base en estos resultados, se puede determinar que el prototipo satisface la demanda con un porcentaje satisfactorio.

- **¿Qué opinión tiene sobre el modelo y el funcionamiento del entorno virtual?**

El tercer punto de la encuesta se relaciona con las opiniones sobre el modelo y funcionamiento del entorno virtual, estas opiniones son evaluadas por el paciente y consideradas dentro del ámbito de ventajas o desventajas. En base a todas las opiniones generales recogidas, se otorga un valor promedio favorable, indicando el grado de cumplimiento de los servicios prestados por el entorno virtual.

- **De 1 a 5 califique la evaluación y pertinencia que puede brindar los entornos virtuales en la rama de la fisioterapia.**

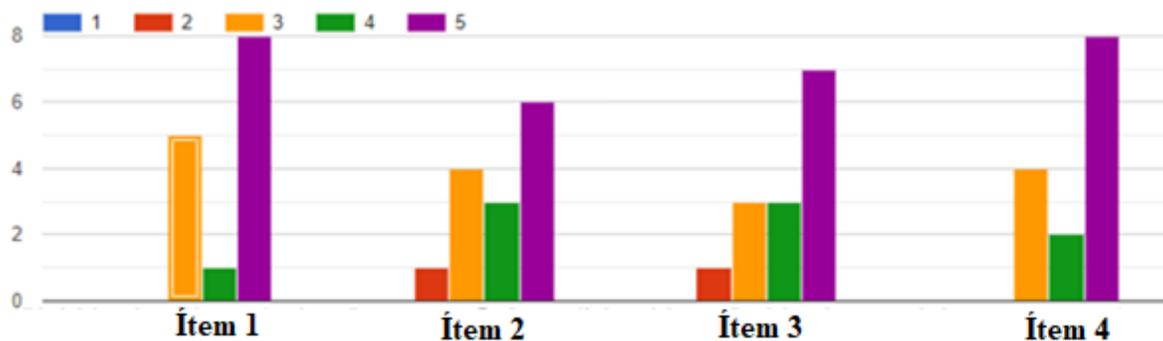


Figura 67. Entornos en la rama de la fisioterapia

- ✓ **Ítem 1:** Comodidad del paciente al momento de realizar las sesiones de terapia: entre las opciones relacionadas con la comodidad del paciente durante el tratamiento, cinco pacientes tienen una puntuación de 3, un paciente tiene una puntuación de 4 y ocho pacientes tienen una puntuación de 5.
- ✓ **Ítem 2:** Entendimiento del entorno virtual al momento de realizar las actividades de recuperación: al evaluar la comprensión del entorno virtual durante las actividades de mejora, una persona da un valor de 2, cuatro personas dan un valor de 3, tres personas dan un valor de 4 y seis personas dan un valor de 5.

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 78 de 108

- ✓ **Ítem 3:** Datos estadísticos del progreso del paciente guardados por la aplicación: En el ítem 3, la evaluación involucra sus puntos de vista sobre los datos guardados por el sistema al usar el entorno virtual durante el proceso de recuperación, y se otorgan las siguientes calificaciones: un paciente dio una calificación de 2, dos pacientes una calificación de 3, tres pacientes una calificación de 4 y siete pacientes una calificación de 5.
- ✓ **ítem 4:** Finalmente, en el ítem 4, involucra la evaluación de las opiniones de los encuestados sobre la implementación de las actividades diarias de las personas en un entorno virtual. Las respuestas de los pacientes son las siguientes: cuatro usuarios dieron una calificación de 3, dos usuarios una calificación de 4 y ocho usuarios una calificación de 5. Con base en estos resultados, se puede determinar que el entorno virtual tiene un porcentaje favorable al momento de implementarlo en las sesiones de terapia.

- **¿Qué ventajas y desventajas pueden traer los entornos virtuales en la rehabilitación de pacientes? (desde su experiencia con el entorno probado)**

En el sexto punto de la encuesta se recolectó las diferentes opiniones que dieron los pacientes acerca de las ventajas y desventajas que pueden dar los sistemas de realidad virtual en relación con la rehabilitación de movilidad de las manos, destacando que los entornos virtuales ambientados a actividades de la vida cotidiana brindan al paciente y al fisioterapeuta un apoyo para evaluar el progreso médico referente a las terapias. Sin embargo, algunas opiniones fueron negativas, destacando la falta de supervisión por parte del personal capacitado para asesorar sobre el funcionamiento del prototipo en ejecución.

- **¿Está usted de acuerdo que la realidad virtual sea una herramienta de apoyo para la recuperación de movilidad de las manos de los pacientes?**

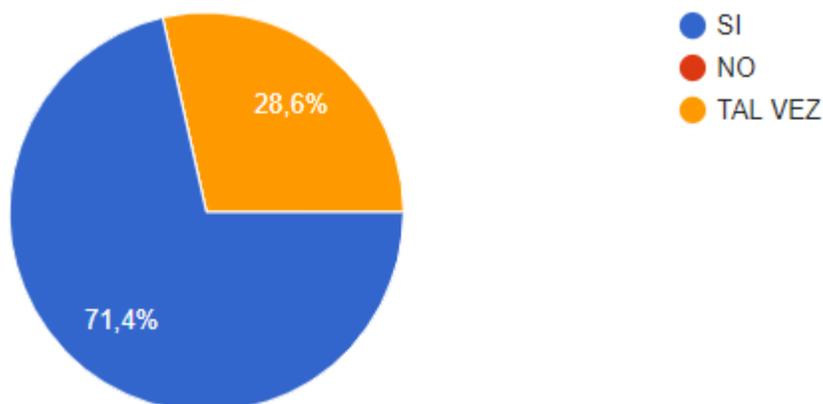
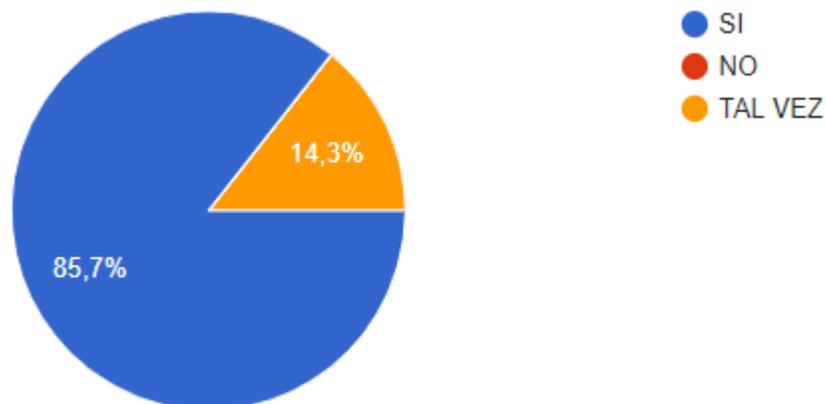


Figura 68. Realidad virtual como herramienta de apoyo a la recuperación de movilidad en las manos de pacientes

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 79 de 108

Los resultados de la figura 68 muestra que, el 71.4% de los pacientes confirmaron que la aplicación de realidad virtual es una herramienta de apoyo para las sesiones de terapia mientras que el 28.6% de los encuestados afirmaron tener imparcialidad en cuanto al manejo de las herramientas en conjunto con las terapias, de acuerdo al resultado se determina que los pacientes aceptaron en su mayoría de manera positiva la integración con el ambiente, sintiéndose satisfechos con los progresos de recuperación en sus sesiones terapéuticas.

- **Los datos obtenidos durante las sesiones terapéuticas realizadas en el entorno virtual ¿las considera importantes para dictaminar o estimar su mejoría?**



*Figura 69. Importancia de las sesiones terapéuticas mediante el entorno virtual*

Los resultados de la Figura 69 muestran que el 87,7% de las personas confirman que el sistema de entorno virtual es importante para evaluar el proceso de recuperación, mientras que el 14,3% piensa que el prototipo no es tan importante. Considerando los datos estadísticos, se puede determinar que el entrevistado acepta considerar el entorno virtual. Al evaluar las opiniones médicas, los datos proporcionados se categorizarán de manera útil.

- **En el momento de interactuar con el entorno virtual ¿cuáles de las siguientes opciones experimentó afectando las sesiones terapéuticas?**

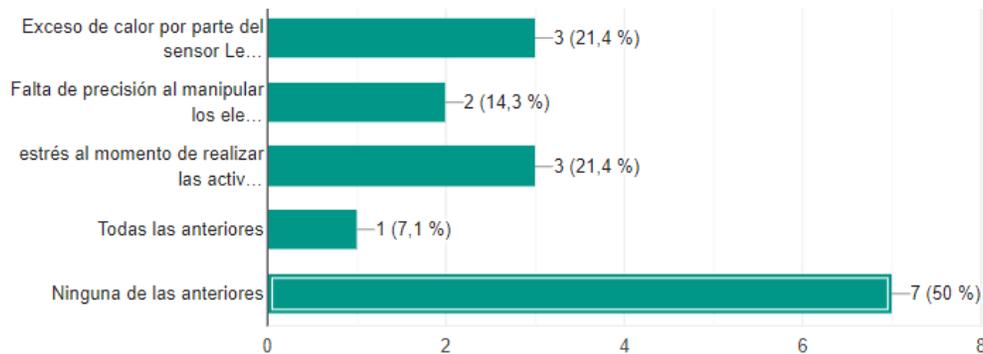


Figura 70. Dificultades al momento de interacción con el entorno virtual

Debido al rendimiento del sensor Leap Motion o al diseño del entorno virtual, inicialmente se han identificado algunas condiciones que hacen que los pacientes se sientan incómodos. Por estas razones, se consulta a los pacientes sobre situaciones que pueden mejorar el funcionamiento del sistema o planificar opciones de tratamiento para fisioterapeutas.

Por tales motivos se consulta a los paciente las situaciones que permitirían mejorar el funcionamiento del sistema o brindarle al fisioterapeuta la posibilidad de planear una sesión de terapia. Por tanto, el 21,4% de los usuarios dijo que sentiría el calor del sensor al interactuar con el entorno virtual, el 14,3% de los usuarios enfatizó que ocurren irregularidades precisas al manipular elementos del entorno virtual, el 21.4% opinaron presentar estrés al momento de realizar las actividades, 7.1% tomaron como dificultad las opciones anteriores y el 50 % destacaron que ninguna de las anteriores problemáticas fueron impedimento para el desarrollo de las sesiones terapéuticas.

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 81 de 108

#### 4. CONCLUSIONES.

1. Se realiza un análisis de las rutinas de la vida cotidiana para la implementación de escenarios virtuales, en el proceso de investigación se encontró ausencia de este tipo de actividades relacionadas con el apoyo de los procesos terapéuticos de rehabilitación. La tendencia en las aplicaciones están centradas en videojuegos adaptados para brindar apoyo a los pacientes de manera interactiva. Los movimientos considerados en los videojuegos no son los adecuados ni apropiados para ejercicios terapéuticos, por lo que en este trabajo se construyen ambientes de realidad virtual basados en la vida cotidiana.
2. Se construyeron los escenarios virtuales, eligiendo actividades de la vida cotidiana, ambientadas en una cocina practicando los tipos de agarre terminal y subterminal (puño y pinza) brindando al paciente de manera óptima, una favorabilidad en las sesiones terapéuticas practicando dichos movimientos con los objetos que se encuentran en el diario vivir.
3. El uso de escenarios virtuales basados en actividades de la vida cotidiana, obtuvo resultados positivos en cada sesión terapéutica, así mismo, la construcción del sistema de apoyo a la rehabilitación, fue exitoso al momento de ser implementado con pacientes reales, siguiendo los parámetros establecidos y propuestos teniendo como resultado mejoras más evidentes, puesto que los pacientes se encontraron con ambientes típicos del diario vivir y de esta manera adaptarse a los ejercicios de las actividades de los escenarios proporcionando resultados positivos en su rehabilitación.
4. Se tuvo en cuenta que el uso del entorno virtual es importante para los procesos de rehabilitación terapéuticos, generando resultados de mejora más evidentes en cada sesión de terapia, esto debido a que el sistema guarda datos específicos de cada actividad y así facilitar el dictamen médico por parte del fisioterapeuta es por eso que el uso de estas tecnologías de interacción en conjunto con el Leap Motion es de útil aplicación para diferentes campos de la salud en especial la rehabilitación de pacientes y de esta manera facilitar estos procesos y mejorar el bienestar de los pacientes

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 82 de 108

5. Los pacientes de mayor edad, tienen un proceso de adaptación más lento porque no tienen una experiencia previa en el uso de tecnología de realidad virtual, pero a medida que han ido avanzando en los tratamientos terapéuticos, han progresado satisfactoriamente. Los pacientes jóvenes se han adaptado realizando actividades en el entorno virtual en un periodo de tiempo más corto, lo que lleva a la conclusión de que, junto con los datos obtenidos en los resultados dados en los escenarios virtuales, los pacientes jóvenes tienden a tener un proceso de recuperación más rápido durante los 15 días del periodo de tratamiento.
  
6. La encuesta realizada incluyó siete preguntas. En general, el 92,3% de los encuestados estuvo de acuerdo en implementar herramientas para apoyar la rehabilitación de los pacientes. Además, el 94,4% de los pacientes encuestados también manifestó que el entorno virtual basado en la vida diaria debería implementarse en un centro de rehabilitación de fisioterapia como una herramienta adicional para estimular la rehabilitación de los pacientes para que su tratamiento intensivo sea más interactivo y adecuado.

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 83 de 108

#### 4. ANEXOS

##### 5.1 Anexo tabla de actividades.

OBJETIVO	ACTIVIDAD	INSTRUMENTO	PRODUCTO A OBTENER
Identificar los principales ejercicios y movimientos que el paciente debe realizar en su proceso de rehabilitación activa relacionándolos con las actividades cotidianas con el fin de diseñar los entornos para el entrenamiento virtual.	Búsqueda de artículos, proyectos de investigación, que brinden información importante como apoyo a la elaboración del estado del arte del proyecto.	Computador, fuentes bibliográficas (Investigaciones realizadas)	Informe que consigna los principales ejercicios requeridos para la recuperación del paciente en la terapia activa y requisitos de implementación y funcionamiento de las aplicaciones de realidad virtual basadas en actividades cotidianas.
Construir el sistema de apoyo a la rehabilitación del paciente con problemas de motricidad y movilidad en las manos utilizando entornos virtuales relacionados con actividades cotidianas que refuercen los procesos terapéuticos activos.	Desarrollar un sistema de realidad virtual como apoyo para la rehabilitación de pacientes con problemas de movilidad y motricidad de las manos, utilizar la metodología de desarrollo ágil XP.	Computador, herramientas de desarrollo (Unity, lenguaje C#, Controlador Leap-motion)	Sistema de realidad virtual para el apoyo de rehabilitación de pacientes con problemas de movilidad y motricidad de las manos utilizando el controlador leap-motion.
Evaluar la efectividad del sistema de apoyo a la recuperación	Recolectar datos estadísticos de evaluación del sistema durante el	Computador, conocimientos sobre métodos de evaluación	Documentos que relacionen los resultados obtenidos de la

de las manos del paciente basado en entornos de realidad virtual mediante la aplicación de encuestas apoyadas por el criterio médico, mediciones de fuerza y datos capturados por el sistema relacionados con el desempeño del paciente en las aplicaciones virtuales desarrolladas.	entrenamiento de rehabilitación del paciente.	(encuestas, análisis de datos capturados de la terapia activa del paciente)	evaluación del sistema durante el proceso de rehabilitación de los pacientes.
--	---	---	---

*Tabla 1: Descripción de las fases y actividades del proyecto*

**a. Anexo archivos datos de terapia**

Muestreo de 14 pacientes

	Paciente 1-Concepcion Ledesma	06/11/2020 04:58 p. m.	Carpeta de archivos
	Paciente 2-Dayanna Valentina	06/11/2020 04:58 p. m.	Carpeta de archivos
	Paciente 3-Duvan Andres	06/11/2020 04:58 p. m.	Carpeta de archivos
	Paciente 4-Edgar Ovidio	06/11/2020 04:58 p. m.	Carpeta de archivos
	Paciente 5-Karen Johana	06/11/2020 04:58 p. m.	Carpeta de archivos
	Paciente 6-Edinson Joan	06/11/2020 04:58 p. m.	Carpeta de archivos
	Paciente 7-Juan David	06/11/2020 04:58 p. m.	Carpeta de archivos
	Paciente 8-Darllyn Centeno Peña	06/11/2020 04:58 p. m.	Carpeta de archivos
	Paciente 9-Brayan Chilito	06/11/2020 04:58 p. m.	Carpeta de archivos
	Paciente 10-Danna Vanesa Iglesias	06/11/2020 04:58 p. m.	Carpeta de archivos
	Paciente 11- Angie alexandra melenje	06/11/2020 04:58 p. m.	Carpeta de archivos
	Paciente 12-Allison Melenje Narvaez	06/11/2020 04:58 p. m.	Carpeta de archivos
	Paciente 13-Flor Delia Salazar	06/11/2020 04:58 p. m.	Carpeta de archivos
	Paciente 14-Michelle Alejandra Melenje ...	06/11/2020 04:58 p. m.	Carpeta de archivos

*Ilustración 1. Muestreo*

### Archivos generados mediante el escenario

2020-10-13 Comedor	22/10/2020 11:37 a. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-13 escenario cocina	24/10/2020 11:46 a. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-14 Comedor	22/10/2020 11:43 a. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-14 escenario cocina	24/10/2020 11:50 a. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-15 Comedor	22/10/2020 12:01 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-15 escenario cocina	26/10/2020 02:56 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-16 Comedor	22/10/2020 12:07 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-16 escenario cocina	24/10/2020 11:58 a. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-17 Comedor	22/10/2020 05:30 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-17 escenario cocina	24/10/2020 12:02 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-18 Comedor	22/10/2020 05:36 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-18 escenario cocina	24/10/2020 12:07 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-19 Comedor	22/10/2020 05:41 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-19 escenario cocina	24/10/2020 12:12 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-20 Comedor	24/10/2020 05:25 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-20 escenario cocina	24/10/2020 12:16 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-21 Comedor	22/10/2020 05:50 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-21 escenario cocina	24/10/2020 12:19 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-22 Comedor	22/10/2020 05:54 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-22 escenario cocina	24/10/2020 12:23 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-23 Comedor	22/10/2020 05:58 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-23 escenario cocina	24/10/2020 12:27 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-24 Comedor	22/10/2020 06:04 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-24 escenario cocina	24/10/2020 12:32 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-25 Comedor	22/10/2020 06:09 p. m.	Documento de te...	1 KB
2020-10-25 escenario cocina	24/10/2020 12:36 p. m.	Documento de te...	1 KB

Ilustración 2. Archivos generados por el entorno virtual

5.2.1 Formularios de participación de pacientes en las sesiones terapéuticas

**FORMULARIO**  
SEGUIMIENTO DE RECUPERACION DEL PACIENTE EN LA  
REHABILITACION DE MOVILIDAD DE LA MANO.



**Nombres:** Juan David  
**Fecha de nacimiento:** 26-12-19  
**Dirección:** Carrera 29#66

**Apellidos:** Zúñiga Gutiérrez  
**Edad:** 29 años  
**Diagnóstico:**

FECHA TERAPIA	FIRMA DEL PACIENTE
13 de octubre de 2020	Juan David Zúñiga
14 de octubre de 2020	Juan David Zúñiga
15 de octubre de 2020	Juan David Zúñiga
16 de octubre de 2020	Juan David Zúñiga
17 de octubre de 2020	Juan David Zúñiga
18 de octubre de 2020	Juan David Zúñiga
19 de octubre de 2020	Juan David Zúñiga
20 de octubre de 2020	Juan David Zúñiga
21 de octubre de 2020	Juan David Zúñiga
22 de octubre de 2020	Juan David Zúñiga
23 de octubre de 2020	Juan David Zúñiga
24 de octubre de 2020	Juan David Zúñiga
25 de octubre de 2020	Juan David Zúñiga
26 de octubre de 2020	Juan David Zúñiga
27 de octubre de 2020	Juan David Zúñiga

**Nombres:** Darlyn  
**Fecha de nacimiento:** 05-08-2001  
**Dirección:** Calle 62#27N-35

**Apellidos:** Centeno Peña  
**Edad:** 19 años.  
**Diagnóstico:**

FECHA TERAPIA	FIRMA DEL PACIENTE
13 de octubre de 2020	Darlyn centeno Peña
14 de octubre de 2020	Darlyn centeno Peña
15 de octubre de 2020	Darlyn centeno Peña
16 de octubre de 2020	Darlyn centeno Peña
17 de octubre de 2020	Darlyn centeno Peña
18 de octubre de 2020	Darlyn centeno Peña
19 de octubre de 2020	Darlyn centeno Peña
20 de octubre de 2020	Darlyn centeno Peña
21 de octubre de 2020	Darlyn centeno Peña
22 de octubre de 2020	Darlyn centeno Peña
23 de octubre de 2020	Darlyn centeno Peña
24 de octubre de 2020	Darlyn centeno Peña
25 de octubre de 2020	Darlyn centeno Peña
26 de octubre de 2020	Darlyn centeno Peña
27 de octubre de 2020	Darlyn centeno Peña

Ilustración 3. Formulario de evidencia de sesiones terapéuticas

**FORMULARIO**  
**SEGUIMIENTO DE RECUPERACION DEL PACIENTE EN LA**  
**REHABILITACION DE MOVILIDAD DE LA MANO.**



**Nombres:** Karen Johana  
**Fecha de nacimiento:** 28-02-1990  
**Dirección:** calle 53N 13-32

**Apellidos:** Hidalgo Salazar  
**Edad:** 30 años.  
**Diagnóstico:**

FECHA TERAPIA	FIRMA DEL PACIENTE
13 de octubre de 2020	Karen Johana Hidalgo Salazar
14 de octubre de 2020	Karen Johana Hidalgo Salazar
15 de octubre de 2020	Karen Johana Hidalgo Salazar
16 de octubre de 2020	Karen Johana Hidalgo Salazar
17 de octubre de 2020	Karen Johana Hidalgo Salazar
18 de octubre de 2020	Karen Johana Hidalgo Salazar
19 de octubre de 2020	Karen Johana Hidalgo Salazar
20 de octubre de 2020	Karen Johana Hidalgo Salazar
21 de octubre de 2020	Karen Johana Hidalgo Salazar
22 de octubre de 2020	Karen Johana Hidalgo Salazar
23 de octubre de 2020	Karen Johana Hidalgo Salazar
24 de octubre de 2020	Karen Johana Hidalgo Salazar
25 de octubre de 2020	Karen Johana Hidalgo Salazar
26 de octubre de 2020	Karen Johana Hidalgo Salazar
27 de octubre de 2020	Karen Johana Hidalgo Salazar

**Nombres:** Edinson Joan  
**Fecha de nacimiento:** 09-01-94  
**Dirección:** carrera45#5A20

**Apellidos:** Álvarez Salazar  
**Edad:** 26 años.  
**Diagnóstico:**

FECHA TERAPIA	FIRMA DEL PACIENTE
13 de octubre de 2020	Edinson Álvarez
14 de octubre de 2020	Edinson Álvarez
15 de octubre de 2020	Edinson Álvarez
16 de octubre de 2020	Edinson Álvarez
17 de octubre de 2020	Edinson Álvarez
18 de octubre de 2020	Edinson Álvarez
19 de octubre de 2020	Edinson Álvarez
20 de octubre de 2020	Edinson Álvarez
21 de octubre de 2020	Edinson Álvarez
22 de octubre de 2020	Edinson Álvarez
23 de octubre de 2020	Edinson Álvarez
24 de octubre de 2020	Edinson Álvarez
25 de octubre de 2020	Edinson Álvarez
26 de octubre de 2020	Edinson Álvarez
27 de octubre de 2020	Edinson Álvarez

Ilustración 4. Formulario de evidencia de sesiones terapéuticas

<b>FORMULARIO</b> <b>SEGUIMIENTO DE RECUPERACION DEL PACIENTE EN LA</b> <b>REHABILITACION DE MOVILIDAD DE LA MANO.</b>	 Corporación Universitaria Comfacauca Unicomfacauca
--	--

**Nombres:** Angie Alexandra  
**Fecha de nacimiento:** 24-08-1995  
**Dirección:** calle 13#9-10

**Apellidos:** Melenje  
**Edad:** 25 años.  
**Diagnóstico:**

FECHA TERAPIA	FIRMA DEL PACIENTE
13 de octubre de 2020	Angie Alexandra Melenje
14 de octubre de 2020	Angie Alexandra Melenje
15 de octubre de 2020	Angie Alexandra Melenje
16 de octubre de 2020	Angie Alexandra Melenje
17 de octubre de 2020	Angie Alexandra Melenje
18 de octubre de 2020	Angie Alexandra Melenje
19 de octubre de 2020	Angie Alexandra Melenje
20 de octubre de 2020	Angie Alexandra Melenje
21 de octubre de 2020	Angie Alexandra Melenje
22 de octubre de 2020	Angie Alexandra Melenje
23 de octubre de 2020	Angie Alexandra Melenje
24 de octubre de 2020	Angie Alexandra Melenje
25 de octubre de 2020	Angie Alexandra Melenje
26 de octubre de 2020	Angie Alexandra Melenje
27 de octubre de 2020	Angie Alexandra Melenje

**Nombres:** Allison  
**Fecha de nacimiento:** 10-04-1997  
**Dirección:** calle 137e 22

**Apellidos:** Melenje Narváez  
**Edad:** 23 años.  
**Diagnóstico:**

FECHA TERAPIA	FIRMA DEL PACIENTE
13 de octubre de 2020	Allison Melenje Narváez
14 de octubre de 2020	Allison Melenje Narváez
15 de octubre de 2020	Allison Melenje Narváez
16 de octubre de 2020	Allison Melenje Narváez
17 de octubre de 2020	Allison Melenje Narváez
18 de octubre de 2020	Allison Melenje Narváez
19 de octubre de 2020	Allison Melenje Narváez
20 de octubre de 2020	Allison Melenje Narváez
21 de octubre de 2020	Allison Melenje Narváez
22 de octubre de 2020	Allison Melenje Narváez
23 de octubre de 2020	Allison Melenje Narváez
24 de octubre de 2020	Allison Melenje Narváez
25 de octubre de 2020	Allison Melenje Narváez
26 de octubre de 2020	Allison Melenje Narváez
27 de octubre de 2020	Allison Melenje Narváez

Ilustración 5. Formulario de evidencia de sesiones terapéuticas

**FORMULARIO**  
**SEGUIMIENTO DE RECUPERACION DEL PACIENTE EN LA**  
**REHABILITACION DE MOVILIDAD DE LA MANO.**



**Nombres:** Brayan Alejandro  
**Fecha de nacimiento:** 06-07-1993  
**Dirección:** carrera 13#67N27

**Apellidos:** Chilito  
**Edad:** 27 años.  
**Diagnóstico:**

FECHA TERAPIA	FIRMA DEL PACIENTE
13 de octubre de 2020	Brayan Alejandro Chilito
14 de octubre de 2020	Brayan Alejandro Chilito
15 de octubre de 2020	Brayan Alejandro Chilito
16 de octubre de 2020	Brayan Alejandro Chilito
17 de octubre de 2020	Brayan Alejandro Chilito
18 de octubre de 2020	Brayan Alejandro Chilito
19 de octubre de 2020	Brayan Alejandro Chilito
20 de octubre de 2020	Brayan Alejandro Chilito
21 de octubre de 2020	Brayan Alejandro Chilito
22 de octubre de 2020	Brayan Alejandro Chilito
23 de octubre de 2020	Brayan Alejandro Chilito
24 de octubre de 2020	Brayan Alejandro Chilito
25 de octubre de 2020	Brayan Alejandro Chilito
26 de octubre de 2020	Brayan Alejandro Chilito
27 de octubre de 2020	Brayan Alejandro Chilito

**Nombres:** Danna Vanesa  
**Fecha de nacimiento:** 06-07-1993  
**Dirección:** calle 9#18-55

**Apellidos:** Iglesias Botina  
**Edad:** 18 años.  
**Diagnóstico:**

FECHA TERAPIA	FIRMA DEL PACIENTE
13 de octubre de 2020	Danna Vanesa Iglesias
14 de octubre de 2020	Danna Vanesa Iglesias
15 de octubre de 2020	Danna Vanesa Iglesias
16 de octubre de 2020	Danna Vanesa Iglesias
17 de octubre de 2020	Danna Vanesa Iglesias
18 de octubre de 2020	Danna Vanesa Iglesias
19 de octubre de 2020	Danna Vanesa Iglesias
20 de octubre de 2020	Danna Vanesa Iglesias
21 de octubre de 2020	Danna Vanesa Iglesias
22 de octubre de 2020	Danna Vanesa Iglesias
23 de octubre de 2020	Danna Vanesa Iglesias
24 de octubre de 2020	Danna Vanesa Iglesias
25 de octubre de 2020	Danna Vanesa Iglesias
26 de octubre de 2020	Danna Vanesa Iglesias
27 de octubre de 2020	Danna Vanesa Iglesias

Ilustración 6. Formulario de evidencias de sesiones terapéuticas

<b>FORMULARIO</b> <b>SEGUIMIENTO DE RECUPERACION DEL PACIENTE EN LA</b> <b>REHABILITACION DE MOVILIDAD DE LA MANO.</b>	 Corporación Universitaria Comfacauca <b>Unicomfacauca</b>
--	---

**Nombres:** Flor Delia  
**Fecha de nacimiento:** 13-12-1969  
**Dirección:** carrera 45#5-20

**Apellidos:** Salazar Bolívar  
**Edad:** 51 años.  
**Diagnóstico:**

FECHA TERAPIA	FIRMA DEL PACIENTE
13 de octubre de 2020	Flor Delia Salazar
14 de octubre de 2020	Flor Delia Salazar
15 de octubre de 2020	Flor Delia Salazar
16 de octubre de 2020	Flor Delia Salazar
17 de octubre de 2020	Flor Delia Salazar
18 de octubre de 2020	Flor Delia Salazar
19 de octubre de 2020	Flor Delia Salazar
20 de octubre de 2020	Flor Delia Salazar
21 de octubre de 2020	Flor Delia Salazar
22 de octubre de 2020	Flor Delia Salazar
23 de octubre de 2020	Flor Delia Salazar
24 de octubre de 2020	Flor Delia Salazar
25 de octubre de 2020	Flor Delia Salazar
26 de octubre de 2020	Flor Delia Salazar
27 de octubre de 2020	Flor Delia Salazar

**Nombres:** Michelle Alejandra  
**Fecha de nacimiento:** 10-04-1997  
**Dirección:** calle 137e 22

**Apellidos:** Melenje Narváez  
**Edad:** 23 años.  
**Diagnóstico:**

FECHA TERAPIA	FIRMA DEL PACIENTE
13 de octubre de 2020	Michelle Alejandra Melenje N.
14 de octubre de 2020	Michelle Alejandra Melenje N.
15 de octubre de 2020	Michelle Alejandra Melenje N.
16 de octubre de 2020	Michelle Alejandra Melenje N.
17 de octubre de 2020	Michelle Alejandra Melenje N.
18 de octubre de 2020	Michelle Alejandra Melenje N.
19 de octubre de 2020	Michelle Alejandra Melenje N.
20 de octubre de 2020	Michelle Alejandra Melenje N.
21 de octubre de 2020	Michelle Alejandra Melenje N.
22 de octubre de 2020	Michelle Alejandra Melenje N.
23 de octubre de 2020	Michelle Alejandra Melenje N.
24 de octubre de 2020	Michelle Alejandra Melenje N.
25 de octubre de 2020	Michelle Alejandra Melenje N.
26 de octubre de 2020	Michelle Alejandra Melenje N.
27 de octubre de 2020	Michelle Alejandra Melenje N.

Ilustración 7. Formulario de evidencias de sesiones terapéuticas

<b>FORMULARIO</b> <b>SEGUIMIENTO DE RECUPERACION DEL PACIENTE EN LA</b> <b>REHABILITACION DE MOVILIDAD DE LA MANO.</b>	 Corporación Universitaria Comfacauca Unicomfacauca
--	--

**Nombres:** Concepción  
**Fecha de nacimiento:** 24-06-74  
**Dirección:** carrera 10A#62n41

**Apellidos:** Ledesma  
**Edad:** 46 años.  
**Diagnóstico:**

FECHA TERAPIA	FIRMA DEL PACIENTE
13 de octubre de 2020	Concepción Ledesma.
14 de octubre de 2020	Concepción Ledesma
15 de octubre de 2020	Concepción Ledesma
16 de octubre de 2020	Concepción Ledesma
17 de octubre de 2020	Concepción Ledesma
18 de octubre de 2020	Concepción Ledesma
19 de octubre de 2020	Concepción Ledesma
20 de octubre de 2020	Concepción Ledesma
21 de octubre de 2020	Concepción Ledesma
22 de octubre de 2020	Concepción Ledesma
23 de octubre de 2020	Concepción Ledesma
24 de octubre de 2020	Concepción Ledesma
25 de octubre de 2020	Concepción Ledesma
26 de octubre de 2020	Concepción Ledesma
27 de octubre de 2020	Concepción Ledesma.

**Nombres:** Dayanna Valentina  
**Fecha de nacimiento:** 13-05-1988  
**Dirección:** calle 53N 13-32

**Apellidos:** Hidalgo Salazar  
**Edad:** 32 años.  
**Diagnóstico:**

FECHA TERAPIA	FIRMA DEL PACIENTE
13 de octubre de 2020	Dayanna Valentina
14 de octubre de 2020	Dayanna Valentina
15 de octubre de 2020	Dayanna Valentina
16 de octubre de 2020	Dayanna Valentina
17 de octubre de 2020	Dayanna Valentina
18 de octubre de 2020	Dayanna Valentina
19 de octubre de 2020	Dayanna Valentina
20 de octubre de 2020	Dayanna Valentina
21 de octubre de 2020	Dayanna Valentina
22 de octubre de 2020	Dayanna Valentina
23 de octubre de 2020	Dayanna Valentina
24 de octubre de 2020	Dayanna Valentina
25 de octubre de 2020	Dayanna Valentina
26 de octubre de 2020	Dayanna Valentina
27 de octubre de 2020	Dayanna Valentina

Ilustración 8. Formulario de evidencias de sesiones terapéuticas

<b>FORMULARIO</b> <b>SEGUIMIENTO DE RECUPERACION DEL PACIENTE EN LA</b> <b>REHABILITACION DE MOVILIDAD DE LA MANO.</b>	 <b>Unicomfacauca</b>
--	---

**Nombres:** Duván Andrés  
**Fecha de nacimiento:** 01-05-1992  
**Dirección:** calle 53N 13-32

**Apellidos:** Medina Salazar  
**Edad:** 28 años.  
**Diagnóstico:**

FECHA TERAPIA	FIRMA DEL PACIENTE
13 de octubre de 2020	Duvan andres Medina
14 de octubre de 2020	Duvan andres Medina
15 de octubre de 2020	Duvan andres Medina
16 de octubre de 2020	Duvan andres Medina
17 de octubre de 2020	Duvan andres Medina
18 de octubre de 2020	Duvan andres Medina
19 de octubre de 2020	Duvan andres Medina
20 de octubre de 2020	Duvan andres Medina
21 de octubre de 2020	Duvan andres Medina
22 de octubre de 2020	Duvan andres Medina
23 de octubre de 2020	Duvan andres Medina
24 de octubre de 2020	Duvan andres Medina
25 de octubre de 2020	Duvan andres Medina
26 de octubre de 2020	Duvan andres Medina
27 de octubre de 2020	Duvan andres Medina

**Nombres:** Edgar Ovidio  
**Fecha de nacimiento:** 03-02-1971  
**Dirección:** carrera45#5A20

**Apellidos:** Álvarez Orozco  
**Edad:** 49 años.  
**Diagnóstico:**

FECHA TERAPIA	FIRMA DEL PACIENTE
13 de octubre de 2020	Edgar ovidio Alvarez
14 de octubre de 2020	Edgar ovidio Alvarez
15 de octubre de 2020	Edgar ovidio Alvarez
16 de octubre de 2020	Edgar ovidio Alvarez
17 de octubre de 2020	Edgar ovidio Alvarez
18 de octubre de 2020	Edgar ovidio Alvarez
19 de octubre de 2020	Edgar ovidio Alvarez
20 de octubre de 2020	Edgar ovidio Alvarez
21 de octubre de 2020	Edgar ovidio Alvarez
22 de octubre de 2020	Edgar ovidio Alvarez
23 de octubre de 2020	Edgar ovidio Alvarez
24 de octubre de 2020	Edgar ovidio Alvarez
25 de octubre de 2020	Edgar ovidio Alvarez
26 de octubre de 2020	Edgar ovidio Alvarez
27 de octubre de 2020	Edgar ovidio Alvarez

Ilustración 9. Formulario de evidencias de sesiones terapéuticas

## 5.2.2 CERTIFICADO DE REGISTRO DE SOFTWARE

Se logró conseguir el registro del sistema de realidad virtual ante la Dirección nacional de derechos de autor, el cual hace constancia que es un material inédito y fue registrado el día 13 de noviembre del año 2020

	<b>MINISTERIO DEL INTERIOR</b> <b>DIRECCION NACIONAL DE DERECHO DE AUTOR</b> <b>UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL</b> <b>OFICINA DE REGISTRO</b>		Libro - Tomo - Partida <b>13-82-215</b> Fecha Registro <b>13-nov.-2020</b>
	<u><b>CERTIFICADO DE REGISTRO DE SOPORTE LOGICO - SOFTWARE</b></u>		
Page 1 of 2			
<b><u>1. DATOS DE LAS PERSONAS</u></b>			
<b>AUTOR</b>			
Nombres y Apellidos	EDINSON ALVAREZ SALAZAR	No de Identificación CC	1061768099
Nacional de	COLOMBIA		
Dirección	KR 45-5A20 PALMAS 2	Ciudad:	POPAYAN
<hr style="border-top: 1px dashed green;"/>			
<b>AUTOR</b>			
Nombres y Apellidos	FANOR ANDRÉS MELENJE NARVAEZ	No de Identificación CC	1061754788
Nacional de	--		
Dirección	--	Ciudad:	POPAYAN
<hr style="border-top: 1px dashed green;"/>			
<b>AUTOR</b>			
Nombres y Apellidos	JULIAN FERNANDO MUÑOZ ORDOÑEZ	No de Identificación CC	1061695926
Nacional de	COLOMBIA		
Dirección	CARRERA 6D 31N-39	Ciudad:	POPAYAN
<hr style="border-top: 1px dashed green;"/>			
<b>PRODUCTOR</b>			
Nombres y Apellidos	EDINSON ALVAREZ SALAZAR	No de Identificación CC	1061768099
Nacional de	COLOMBIA		
Dirección	KR 45-5A20 PALMAS 2	Ciudad:	POPAYAN
<hr style="border-top: 1px dashed green;"/>			
<b>PRODUCTOR</b>			
Nombres y Apellidos	FANOR ANDRÉS MELENJE NARVAEZ	No de Identificación CC	1061754788
Nacional de	--		
Dirección	--	Ciudad:	POPAYAN
<hr style="border-top: 1px dashed green;"/>			
<b><u>2. DATOS DE LA OBRA</u></b>			
Título Original	SISTEMA PARA EL APOYO EN LA REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON PROBLEMAS DE MOVILIDAD Y MOTRICIDAD EN LAS MANOS BASADO EN UN AMBIENTE DE REALIDAD VIRTUAL UTILIZANDO LEAP-MOTION		
Año de Creación	2020	País de Origen	COLOMBIA
		Año Edición	

Ilustración 10. Certificado registro de software

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 94 de 108

## 6.BIBLIOGRAFIA

- [1] J. Mendoza, J. Marquez. Dominguez, “DESARROLLO DE UNA INTERFAZ NATURAL DE USUARIO PARA REHABILITACION MOTIRZ.pdf.” Vol. 1, Septiembre, pp 3-15, 2014.
- [2] H. C. L. Hsieh and C. Y. Hwang, “Cross-Cultural Design Applications in Mobile Interaction, Education, Health, Transport and Cultural Heritage,” *Int. Conf. Cross-Cultural Des.*, vol. 9181, pp. 113–120, 2015.
- [3] M. A. Zantua and V. Popovsky, *Learning and Collaboration Technologies. Learning and Teaching*, vol. 10925. Springer International Publishing, 2018.
- [4] M. P. Velarde, E. Perugachi, D. Romero, A. D. Sappa, and B. X. Vintimilla, “Análisis del movimiento de las extremidades superiores aplicado a la rehabilitación física de una persona usando técnicas de visión artificial,” *Rev. Tecnológica ESPOL-RTE*, vol. 28, no. Agosto, pp. 1–7, 2015.
- [5] M. Alimanova *et al.*, “Gamification of hand rehabilitation process using virtual reality tools: Using leap motion for hand rehabilitation,” *Proc. - 2017 1st IEEE Int. Conf. Robot. Comput. IRC 2017*, pp. 336–339, 2017.
- [6] G. Placidi, L. Cinque, M. Polsinelli, and M. Spezialetti, “Forces Calculation Module for the Leap-Based Virtual Glove,” pp. 67–72, 2018.
- [7] G. C. Burdea and K. Polistico, “A review of integrative virtual reality games for rehabilitation,” *2017 E-Health Bioeng. Conf. EHB 2017*, pp. 733–736, 2017.
- [8] Z. M. Aghajan, J. J. Moore, J. D. Cushman, L. Acharya, M. R. Mehta, and C. Vuong, “Impaired spatial selectivity and intact phase precession in two-dimensional virtual reality,” *Nat. Neurosci.*, vol. 18, no. 1, pp. 121–128, 2014.
- [9] H. K. Tang, Z. Q. Feng, T. Xu, and X. H. Yang, “VR system for active hand rehabilitation training,” *ICCSS 2017 - 2017 Int. Conf. Information, Cybern. Comput. Soc. Syst.*, pp. 316–320, 2017.
- [10] H. C. L. Hsieh and C. Y. Hwang, “Cross-Cultural Design Applications in Mobile Interaction, Education, Health, Transport and Cultural Heritage,” *Int. Conf. Cross-Cultural Des.*, vol. 9181, no. February 2016, pp. 113–120, 2015.
- [11] A. Elnaggar and D. Reichardt, “Digitizing the hand rehabilitation using serious games methodology with user-centered design approach,” *Proc. - 2016 Int.*

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 95 de 108

*Conf. Comput. Sci. Comput. Intell. CSCI 2016*, pp. 13–22, 2017.

- [12] M. W. Cohen, I. Voldman, D. Regazzoni, and A. Vitali, “Hand rehabilitation via gesture recognition using leap motion controller,” *Proc. - 2018 11th Int. Conf. Hum. Syst. Interact. HSI 2018*, pp. 404–410, 2018.
- [13] Y. Lin, J. Breugelmans, M. Iversen, and D. Schmidt, “An Adaptive Interface Design (AID) for enhanced computer accessibility and rehabilitation,” *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 98, pp. 14–23, 2017.
- [14] M. Khademi, H. M. Hondori, A. Mckenzie, L. Dodakian, C. V Lopes, and S. C. Cramer, “Free-Hand Interaction with Leap Motion Controller for Stroke Rehabilitation Work-in-Progress CHI 2014, One of a CHIInd,” pp. 1663–1668, 2014.
- [15] Y. Xue, L. Zhao, M. Xue, and J. Fu, “Gesture Interaction and Augmented Reality based Hand Rehabilitation Supplementary System,” *Proc. 2018 IEEE 3rd Adv. Inf. Technol. Electron. Autom. Control Conf. IAEAC 2018*, no. laeac, pp. 2572–2576, 2018.
- [16] K. Nizamis, N. H. M. Rijken, A. Mendes, M. M. H. P. Janssen, A. Bergsma, and B. F. J. M. Koopman, “A novel setup and protocol to measure the range of motion of the wrist and the hand,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 10, pp. 1–14, 2018.
- [17] D. Charles, K. Pedlow, S. McDonough, K. Shek, and T. Charles, “Close range depth sensing cameras for virtual reality based hand rehabilitation,” *J. Assist. Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 138–149, 2014.
- [18] M. Polsinelli *et al.*, “Hand movement parameters calculated by the LEAP based Virtual Glove,” *MeMeA 2018 - 2018 IEEE Int. Symp. Med. Meas. Appl. Proc.*, vol. 3528725544, pp. 1–6, 2018.
- [19] M. Domingues, «Rehabilitación virtual mediante interfaces naturales de usuario,» 2015.
- [20] J. R. Hilera, «Aplicación de la Realidad Virtual en la enseñanza a través de Internet.,» Departamento de Ciencias de la Computación. Universidad de Alcalá., 2009.
- [21] F. Moreno y O. Jordan, «Un framework para la rehabilitación física en Miembros superiores,» Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela Caracas. Venezuela., 2013.

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 96 de 108

[22] M. C. Ramírez J. Es Mitt, «*framework* para la rehabilitación física en Miembros superiores,» Primera Conferencia Nacional de Computación, Informática y sistemas, 2013.

[23] R. J. Rodríguez Omaira, «rehabilitación física en Miembros superiores con realidad virtual,» escuela de computación grafica Universidad Central de Caracas.

[24] Á. Silvio, «Rehabilitación con realidad virtual,» Facultad de ciencias Universidad de Caracas Venezuela, 2013.

[25] M. P. Webster J, Paul, M. Royade, «*Computer-assisted training for improving wheelchair mobility in unilateral neglect patients,* » *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* Vol. 82. Núm. 6. Pp. 769-775., 2001.

[26] Marians A, «*Sensorimotor training in a virtual reality environment,* » *Neurorehabilitation and Neural Repair* Vol. 20. Núm. 2. Pp. 252-67., 2006.

[27] H.Sveistrup, «*Cortical reorganization induced by virtual reality therapy in a child with hemiparetic cerebral palsy,* » *Developmental Medicine & Child Neurology* Vol. 47. Núm. 1. Pp. 628-635., 2005.

[28] A. Sabino, «Rehabilitación virtual mediante interfaces naturales de usuario,» Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, 2015.

[29] A. Márquez, «Rehabilitación virtual mediante interfaces naturales,» Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo - Universidad de la Cañada, 2015.

[30] C. Doldan, «Masoterapia,» Kinesioterapia moderna, 2008.

[31] V. Barton, «Movilizaciones terapéuticas,» Kinesiología, 2008.

[32] «Leap Motion, » 2019. Available: <https://www.leapmotion.com/>.

[33] L. Ellen Potter, «*The Leap Motion Controller,* » de *A view on sign language, Australia, 2014.*

[34] VisualtechLab, «*Visual Technology,* ». Available: <https://www.vt-lab.com/leap-motion-la-realidad-virtual-para-las-manos/>.

[35] Baboonlab, «La realidad virtual, la tecnología del presente y del futuro,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.baboonlab.com/blog/noticias-de-marketing-inmobiliario-y-tecnologia-1/post/la-realidad-virtual-la-tecnologia-del-presente-y-del-futuro-26>.

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 97 de 108

[36] G. VR, «*Day dream view,* » 2019. Available: <https://vr.google.com/daydream/developers/>.

[37] F. Weichert, «*Analysis of the Accuracy and Robustness of the Leap,* » de *Department of Computer Science VII, Dortmund, Technical University Dortmund,* 2013.

[38] K. Khoshelham y Elberink, «*Accuracy and resolution of Kinect depth data for indoor mapping,* » de *Department of Computer Science VII, München,* 2012.

[39] K. Biswas y S. Basu, «*Gesture Recognition using Microsoft Kinect,* » de *IEEE International Conference on Automation, Robotics and Applications, Delhi,* 2012.

[40] T. Stoyanov, A. Louloudi, H. Andreasson y A. Lilienthal, «*Comparative Evaluation of Range,* » de *European Conference on Mobile Robots, Örebro,* 2011.

[41] M. Sturman, D. Vaillancourt y D. Corcos, «*Effects of aging on the regularity of physiological,* » de *J. Neurophysiology,* 2005.

[42] P. Burkhard, J. Langston y J. Tetrud, «*Voluntarily simulated tremor in normal subjects.,* » de *Neurophysiology. Clin,* 2012.

[43] C. Livingstone, *The Physiology of the Joints «Annotated Diagrams of the Mechanics of the Human Joints.,* » London. UK , *Kapandji, I.A.,* 1987.

[44] W. Lutz, W. Sanderson and Scherbov «*The coming acceleration of global population ageing Nature.,* » .*Moscú ,* 2008.

[45] J. Schaechter, C. Stokes, B. Connell, K. Perdue and G «*Bonmassar Fingermotion sensors for fMRImotor studies .,* » *Neural image,* 2006.

[46] P. Romitti, Y. Zhu, S. Puzhankara, K. James, S. Nabukera, G. Zamba, E. Ciafaloni and C. Cunniff «*Prevalence of Duchenne and Becker Muscular Dystrophies in the United States .,* » . *Pediatrics ,*2015.

[47] R. Bos, C. Haarman, T. Stortelder, K. Nizamis, J. Herder, A. Stienen and D.Plettenburg «*A structured overview of trends and technologies used in dynamic hand orthoses.,* » .*Rehabil,* 2016 .

[48] N. Oess, J. Wanek and Curt, A. «*Design and evaluation of a low-cost*

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 98 de 108

*instrumented glove for hand function assessment.*, » . *Rehabil*, 2012.

[49] W. H. Statistics « *Organización mundial de la salud.*, » . 2014. [Online].

Available:

[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/112738/1/9789240692671\\_](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/112738/1/9789240692671_).

[50] A. Mackin « *Rehabilitation of the Hand.*, » . Mosby, Miles, 1978, pp. 312-317.

[51] G. Placidi « *Characterization of a Virtual Glove.*, »

Department of Life, Health and Environmental Sciencee. Italy, 2016.

[52] « *Plan de ejercicios pasivos.*, » [Online].

Available

<https://es.slideshare.net/MARFOREVEN/plan-de-ejercicios-pasivos>.

[53] « SlideShare., » [Online]

Available: <https://es.slideshare.net/Neylis/ejercicio-terapeutico-998370>.

[54] J. J. Sanchez « *Técnicas y ejercicios de rehabilitación de la fisioterapia.*, »

Available: <http://www.enbuenasmanos.com/ejercicios-de-rehabilitacion>.

[55] H. Boian, « *Virtual reality-based post-stroke hand rehabilitation.*, » . *Stud. Health Technol*, 2002.

[56] B. Pedro « *The Structures Of The Hand.*, » . 2003.

[57] L. Mario « *Anatomía aplicada a la actividad física deportiva.*, » 2008.

[58] T. C. L. and R. J. Schwarz, « *The anatomy and mechanics of the human hand.*, » . *Artificial limbs Nr.2*, p.22 - 35. - ISBN 0004 - 3729.

[59] N. Palastanga, D. Field and R. Soames. « *Anatomía y Movimiento Humano. Estructura y Funcionamiento.*, »

p. - 606 .ISBN 8480195002, 2007.

[60] J. Napier « *The prehensile movements of the human hand.*, »

p. 902-913. - ISBN 0301-620X.

[61] C. Moreno. « *Desarrollo de prototipo de prótesis de mano emulada en un ambiente virtual.*, » 2016.

[62] F. Meals « *A review of current treatment strategies.*, » 2013.

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 99 de 108

[63] R. T. Hays PL, « *Rehabilitative strategies following hand fractures HandClin.*, » 2013.

[64] Ż. A. Skała K « *Health-related quality of life after in fractures of the distal radius.*, » 2013.

[65] M. AD « *Complications of hand fractures and their prevention.*, » 2013.

[66] Manuel Alejandro Morán-Castañedo, « *Fracturas de la mano en la terapia física y rehabilitación.*, » *conceptos básicos, conceptos prácticos y visión general.* 23 - 04 - 2014.

[67] J.Moore, Z.Aghajan, « *Independent Control of Human Finger Tip Forces at Individual Digits during Precision Lifting.*, » *The Journal of Physiology.*1992.

[68] M. Cadoret « *Friction, Not Texture, Dictates Grip Forces used during Object Manipulation.*, » *Journal of Neurophysiology,*" 1963 - 1969.

[69] L. Aoki « *Effects of Friction at the Digit-Object Interface on the Digit Forces in Multi-Finger Prehension.*, » *Experimental Brain Research,*" 2006.

[70] M. Budgeon « *Digit Force Adjustments during Finger addition/removal in Multi-Digit Prehension .*, » *Experimental Brain Research,*" 2008.

[71] J. Hermsdorfer «*Anticipatory Scaling of Grip Forces when Lifting Objects of Everyday Life, Experimental Brain Research.*, » *Experimentelle Hirnforschung.*Experimentation Cerebrale. 2012.

[72] E. Dong « *A New Approach to Characterize Grip Force Applied to a Cylindrical Handle.*, » *Medical Engineering & Physics.*," 2008.

[73] R. Cutkosky « *Human Grasp Choice and Robotic Grasp Análisis, in Dexterous Robot Hands.*, » Springer-Verlag.1990.

[74] M. J. Kargov « *A Comparison of the Grip Force Distribution in Natural Hands and in Prosthetic Hands.*, » *Disability and Rehabilitation,*" 2004.

[75] K. Gijbels D « *El muelle Armeo como herramienta de entrenamiento para mejorar la funcionamiento de las extremidades superiores en la esclerosis multiple.*,» 2011.

	<b>DOCUMENTO FINAL PROYECTO DE GRADO</b>	<b>EDO – 02</b>
		Versión 1
		Vigencia: 02/09/2016
		Página 100 de 108

[76] M. F. Plough M «*Un estudio cualitativo explorar la usabilidad de Nintendo Wii encaja entre las personas con esclerosis.*, » 2014.

[77] C. K. Taylor J « *Uso de movimiento salto y gamification para facilitar y fomentar la rehabilitación de lesiones en las manos: movimiento de salto para la rehabilitación.*, » .2015.

[78] Amy Webster « *A Review Of Integrative Virtual Reality Games For Rehabilitation.*, » 2018.

[79] «DANE( *Departamento Nacional de Estadísticas* »  
<http://www.discapacidadcolombia.com/index.php/estadisticas/185-estadisticas-2015>