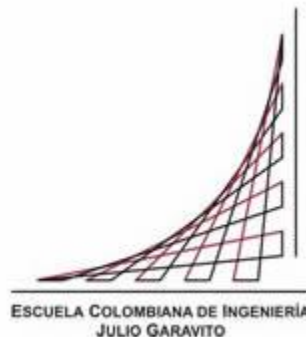


# ***Software de Realidad Virtual para rehabilitación de enfermedades neuro- musculares***

**AUTOR:** Javier León Ferro

**DIRECTOR:** Oswaldo Castillo Navetty

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito  
Decanatura de Ingeniería de Sistemas



# Contenido

## I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

- Introducción
- Objetivos

## II. ESTADO DEL ARTE

- ❖ ¿Qué son las Enfermedades Neuro-Musculares (ENM)
- ❖ Clasificación ENM
- ❖ Ataxia
  - ¿Qué es ataxia?
  - Origen
  - Ataxias más frecuentes
  - Estadísticas
  - Diagnóstico
  - Escala para la valoración de ataxia
  - Tratamiento
- ❖ Rehabilitación virtual (RHBV)
  - Definición
  - Tecnología y soporte hardware
  - Beneficios
- ❖ Técnicas de rehabilitación
  - Ejercicios de Frenkel

## III. SOFTWARE REHABILITACIÓN VIRTUAL

- RehabMaster
- Octopus (Pulpo)
- Gesture Therapy
- VirtualRehab
- Biotrack
- EVREST
- Cuadro comparativo Software de Rehabilitación Virtual

## IV. MODELOS DE ARQUITECTURA DE SISTEMAS DE REALIDAD VIRTUAL CONSULTADOS

- InTrainer: Sistema de rehabilitación cardiaca aumentado por realidad virtual
- Arquitectura interoperable de tele-rehabilitación domiciliaria

- Un Framework para la Rehabilitación Física en Miembros Superiores con Realidad Virtual
- Xilófono virtual con Kinect
- Gesture Therapy

#### V. PROPUESTA ARQUITECTURA DE SOFTWARE

- Esquema general
- Atributos de calidad
- Diagrama de la propuesta de la arquitectura de software

#### VI. CONCLUSIONES

#### VII. REFERENCIAS

## I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

- **Introducción**

Las enfermedades neuromusculares (ENM) son enfermedades de carácter genético, generalmente hereditarias que afectan los músculos o los nervios que los controlan. En su mayoría son progresivas y llevan a la discapacidad.

El objetivo de este documento es mostrar una profunda investigación realizada acerca de la rehabilitación de estas ENM (principalmente la ataxia) utilizando para esta el uso de software de Realidad Virtual, así como las escalas de clasificación de grado de avance y técnicas de rehabilitación.

- **Objetivos**

### **Objetivo general**

Realizar una propuesta de arquitectura de Software para una aplicación de Realidad Virtual para la rehabilitación de enfermedades neuro-musculares.

### **Objetivos específicos**

- Realizar el estado del arte acerca de Software de Realidad Virtual para la rehabilitación de enfermedades neuro-musculares.
- Investigar acerca de las arquitecturas de Software de aplicaciones de Realidad Virtual para la rehabilitación.
- Elaborar una propuesta de arquitectura de Software de acuerdo a las arquitecturas de aplicaciones de Realidad Virtual para la rehabilitación investigadas.

## II. ESTADO DEL ARTE

### ❖ ¿Qué son las Enfermedades Neuro-Musculares (ENM)?

La ASEM (Asociación Española de Enfermedades Neuromusculares) define como: Las enfermedades neuromusculares son un conjunto de más de 150 enfermedades neurológicas, de naturaleza progresiva, en su mayoría de origen genético y su principal característica es la pérdida de fuerza muscular. Son enfermedades crónicas que generan gran discapacidad, pérdida de la autonomía personal y cargas psicosociales. Todavía no disponen de tratamientos efectivos, ni curación. Su aparición puede producirse en cualquier etapa de la vida, pero más del 50% aparecen en la infancia. [1]

La ADM (Asociación Distrofia Muscular para las enfermedades neuromusculares) lo define como: Las enfermedades neuromusculares (ENM) son enfermedades de carácter genético, generalmente hereditarias, y afectan los músculos o los nervios que los controlan. En su mayoría son progresivas y llevan a la discapacidad. Algunas de ellas, como ciertas Distrofias Musculares, atacan a los niños conduciéndolos a la invalidez física. Algunas de ellas, particularmente severas, son de pronóstico fatal ya que afectan la musculatura respiratoria o el corazón. Otras, igualmente graves, pueden aparecer en la adolescencia o en la vida adulta, pudiendo ser de carácter familiar o aparecer esporádicamente. [2]

Pudiendo estar afectados: El músculo, la unión neuromuscular (donde se junta el nervio con el músculo), el nervio periférico (en brazos, piernas, cuello y cara), la moto-neurona espinal (células nerviosas que controlan la acción de los músculos). Su aparición puede producirse en cualquier etapa de la vida, tanto en el nacimiento, como en la adolescencia, o en la edad adulta.

Se encuentran dentro del grupo de las denominadas enfermedades raras.

Las causas de las ENM son muy diferentes. Incluso, en muchas enfermedades, no se conoce aún el origen pero se investiga activamente para determinarlo.

Algunos tipos de Ataxia tienen bastante similitud con las enfermedades neuromusculares, o incluso, pudieran considerarse como tales.

### ❖ Clasificación ENM

No existe un único criterio específico a la hora de clasificar las ENM ya que puede hacerse desde el punto de vista fisiopatológico, clínico o bien dar prioridad a otros conceptos como la forma de transmisión hereditaria. Actualmente tiene interés la clasificación basada en la biología molecular, clasificandolas dentro de un mismo conjunto de síntomas.

En la clasificación que se expone a continuación no se incluirán las enfermedades neuromusculares secundarias (tóxicas, endocrinas, infecciosas, medicamentosa, etcétera) ni las alteraciones asociadas a problemas sensitivos y/o del sistema nervioso central.

Los principales tipos de enfermedades neuromusculares son:

**1. Distrofias musculares:** Las distrofias musculares (DM) afectan predominantemente al músculo estriado y son debidas a un defecto en alguna de las proteínas que forman parte de la fibra muscular, ya sean estructurales o enzimáticas.

**2. Miopatías distales:** Son un grupo de enfermedades con patrón de herencia autosómico recesivo o dominante. La afectación es predominantemente en la musculatura distal de miembros inferiores, y según el tipo será afectará fundamentalmente al compartimento anterior o posterior de las piernas.

**3. Miopatías congénitas:** Dentro de este grupo se distinguen varios tipos de enfermedades, con patrón de herencia variable. Estas enfermedades se producen por un defecto en el desarrollo del músculo, lo cual produce unas alteraciones características en la biopsia muscular, específicas de cada uno de los tipos de miopatía congénita. Suelen diagnosticarse poco después del nacimiento (de ahí lo de congénitas) al observar que el bebé se mueve poco, está débil y adopta posiciones anormales o no se alimenta correctamente.

**4. Distrofia miotónica de Steinert:** Es la distrofia muscular más frecuente. Los síntomas suelen aparecer de forma más precoz y suelen ser más graves en generaciones sucesivas. Existen formas congénitas (muy graves y a menudo letales) y formas de inicio más tardío.

Se caracteriza por la aparición de una debilidad progresiva de los músculos faciales, elevadores de párpados, distales de extremidades rigidez miotónica. Lo que caracteriza y da nombre a esta enfermedad es la dificultad para relajar los músculos después de una contracción mantenida, lo que se denomina “fenómeno miotónico”.

**5. Miotonías congénitas:** Se manifiestan desde el nacimiento o en la infancia. Es una miotonía difusa que se agrava con el frío y mejora con el movimiento (después de una contracción, aparece una lentitud anormal de la relajación muscular referida como contractura muscular).

Se trata de enfermedades no progresivas que producen una invalidez, en general, moderada durante toda la vida.

**6. Parálisis periódicas familiares:** Se manifiesta con episodios de parálisis, con una duración y frecuencia variables. Afectan a los cuatro miembros, y son provocados por: el descanso tras el ejercicio, una comida muy salada y/o rica en azúcares, la exposición al frío, un episodio febril o un traumatismo físico o psíquico. En general, no existen molestias entre las crisis.

**7. Enfermedades musculares inflamatorias:** Se trata de un grupo de enfermedades adquiridas (no hereditarias) de causa inmunológica.

Son enfermedades inflamatorias del músculo que aparecen en la infancia o en la edad adulta. Se caracterizan por la presencia de mialgias y debilidad de los músculos predominantemente proximales (hombros, pelvis y cuello).

**8. Miositis osificante progresiva:** Es una enfermedad que se manifiesta en la infancia. Se producen crisis de osificación de los músculos que se vuelven “duros como piedras” (el hueso empieza a comer al músculo). Estas osificaciones producen limitaciones articulares y deformidades.

Su evolución se produce por brotes o por crisis a lo largo de toda la vida.

**9. Miopatías metabólicas:** Se trata de un grupo de enfermedades genéticamente determinadas, cuya base etiopatogénica es la dificultad para obtener energía por parte de la fibra muscular.

**10. Enfermedades de la unión neuromuscular:** Se caracteriza por presentar una debilidad muscular de intensidad y duración variables que pueden afectar a cualquier músculo. Esta debilidad puede aumentar con el esfuerzo y/o con la repetición del movimiento.

**11. Amiotrofias espinales:** Las Amiotrofias espinales constituyen un grupo de enfermedades caracterizadas por la pérdida o degeneración de las neuronas del asta anterior de la médula espinal. El mal funcionamiento de estas neuronas hace que el impulso nervioso no pueda transmitirse correctamente y, por tanto, los movimientos y el tono muscular se ven afectados. Inicialmente, están más afectados los músculos proximales y la debilidad en los miembros inferiores suele ser generalmente mayor que la de los miembros superiores.

**12. Neuropatías hereditarias sensitivo-motoras:** Las neuropatías hereditarias forman un grupo muy frecuente de enfermedades genéticas. Las formas más conocidas son aquellas que se heredan de forma autosómica dominante, que afectan a la mielina de los nervios y se manifiestan en la infancia.

## ❖ **Ataxia** [2]

- **¿Qué es ataxia?**

La AMA (Asociación Madrileña de Ataxias) la define como: La ataxia es, en principio, un síntoma, no es una enfermedad específica o un diagnóstico. Ataxia quiere decir torpeza o pérdida de coordinación.

La ataxia puede afectar a los dedos, manos, extremidades superiores e inferiores, al cuerpo, al habla, o a los movimientos oculares. Esta pérdida de coordinación puede ser causada por varios y diversos condicionantes médicos y neurológicos.

Por otra parte, y englobando un cierto número de cuadros clínicos definidos, estas enfermedades tienen un denominador común entre ellas, la progresiva alteración del equilibrio al ponerse de pie y caminar, junto con una falta de coordinación de las extremidades. [3]

La Asociación Sevillana de Ataxias la define como: La ataxia es un trastorno de la coordinación del movimiento que comporta una desviación del segmento corporal o segmentos corporales que lo está(n) realizando, de la línea ideal que deben seguir durante su recorrido. La coordinación se encarga de regular adecuadamente el momento de entrada y salida de los grupos musculares que intervienen en el movimiento, en función del espacio y tiempo en que se realiza; es decir, se pretende que el movimiento se realice con el máximo de precisión y con el mínimo desgaste. [4]

- **Origen**

A menudo, la ataxia es causada por la pérdida de función en la parte del sistema nervioso central que sirve como "centro de coordinación", que es el cerebelo.

El cerebelo se localiza en la parte de atrás y más baja de la cabeza. La parte derecha del cerebelo controla la coordinación en la parte derecha del cuerpo, y la parte izquierda controla la coordinación de la izquierda. La parte central del cerebelo está involucrada en coordinar los complejos movimientos de andar o caminar. Otras partes del cerebelo ayudan a coordinar los movimientos de los ojos, el hablar y el tragar.



- **Ataxias más frecuentes** [5]

- **La ataxia de Friedreich (AF)**

Es la más frecuente de las Ataxias Hereditarias (AH) y representa casi la mitad de los casos de las AH.

Los Síntomas generalmente primero comienzan a aparecer en niñez entre las edades de ocho y 15 años. Hay deformidad definitiva de los pies, tales como altos arcos o curvatura anormal de las puntas llamadas las puntas del martillo. Además la espina dorsal se puede curvar a una escoliosis llamada cara.

Hay daño al nervio óptico dando por resultado ceguera, y puede haber pérdida de oído también. Los Pacientes son a menudo diabéticos y pueden sufrir de la cardiomiopatía hipertrófica dando por resultado el espesamiento anormal de los músculos del corazón.

- **Ataxia Episódica**

Este es otro tipo raro de ataxia hereditaria. Hay combates o episodios de la ataxia entremezclados con períodos normales sin la ataxia. Los Combates pueden durar por minutos a las horas.

Los Combates vienen después de disparadores específicos tales como tensión, ejercicio o entusiasmo. Los síntomas comienzan en adolescencia y pueden desaparecer totalmente después de que la persona alcance Edad Media.

- **Ataxias Detectadas**

Los síntomas son similares a las ataxias hereditarias pero son rápidos en inicio. Además pueden resultar después de ciertas enfermedades o condiciones tales como recorridos, esclerosis múltiples, etc.

- **Ataxia cerebelosa del último inicio Idiopático (ILOA)**

Estas ataxias son raras y comienzan generalmente alrededor de la edad de 50 y después empeoran progresivamente con tiempo. Hay síntomas que afectan a recorrer, al balance, al sueño perturbado, a

la visión doble, a cambios cognoscitivos, a baja de memoria, a incontinencia urinaria, etc.

- **Estadísticas**

- En cifras globales, existen más de 60.000 afectados por enfermedad neuromuscular en toda España. [6]
- Mundialmente, la Ataxia de Friedreich (AF) afecta a una de cada 50,000 personas, haciéndola la más común en un grupo de enfermedades llamadas ataxias hereditarias. [7]
- La AF típicamente tiene su inicio en la niñez, entre los 10 y los 15 años de edad, pero ha sido diagnosticada en personas desde los 2 hasta los 50 años. Un inicio temprano generalmente se asocia con un curso más severo. [7]
- Unas dos terceras partes de las personas con AF desarrollan curvatura de la columna, o escoliosis, la que puede causar dolor y deterioro de la habilidad de respirar al distorsionar la cavidad del pecho e interferir con el funcionamiento de los pulmones. [7]
- Las anomalías cardíacas ocurren en un 75 por ciento de personas con FA, pero varían grandemente en su severidad. Algunas personas con FA tienen anomalías tan leves que solamente se notan a través de pruebas de laboratorio especializadas. Sin embargo, otros tienen problemas cardíacos que ponen en peligro la vida, haciendo de los fallos cardíacos una causa principal de muerte en la FA. [7]
- Alrededor del 10 por ciento de personas con FA tienen diabetes y otro 20 por ciento tienen una forma leve de diabetes llamada intolerancia a la glucosa. Ambas ocurren cuando el páncreas reduce su producción de insulina, la cual ayuda al cuerpo a almacenar y utilizar azúcar (glucosa). [7]
- Los estudios de las décadas de 1980 y 1990 descubrieron que la expectativa de vida promedio de personas con FA era de unos 30 a 40 años después del diagnóstico, siendo las enfermedades cardíacas y la diabetes las causantes de mayor riesgo de fallecimiento. Avances médicos recientes han hecho que estas condiciones sean menos mortales que en el pasado. [7]
- Aproximadamente 1 de cada 100 norteamericanos es portador de la FA, pero en ciertos grupos étnicos la frecuencia es mayor. [7]

- Como regla general, un niño con un hermano biológico afectado por la FA tiene una probabilidad de 25 por ciento de heredar la enfermedad. [7]
- La ataxia de Friedreich (FDRA) es la forma más común de ataxia hereditaria. En Colombia constituye un 24% del total de las ataxias degenerativas. [8]
- Alrededor de 8.000 personas sufren algún tipo de ataxia hereditaria o falta de descoordinación en el cuerpo en España. [9]
- Menos del 1% de las enfermedades raras cuentan actualmente con terapias. La mayoría de las enfermedades restantes cuentan sólo con tratamientos para atenuar los síntomas y mantener la calidad de vida del paciente. [10]

- **Diagnóstico**

Los médicos diagnostican la Ataxia realizando un cuidadoso examen clínico, que incluye un historial médico y un minucioso examen físico. [11]

Como siempre en medicina, la anamnesis (entrevista clínica realizada por el médico sobre la sintomatología del paciente) y la exploración física son una parte fundamental para orientar el diagnóstico de la ataxia. Una exploración neurológica detallada resulta imprescindible. Si se sospecha fuertemente esta patología, debe ser evaluado de forma exhaustiva por un médico especialista. [12]

Las pruebas que pueden realizarse incluyen lo siguiente:

- Electromiograma (EMG), que mide la actividad eléctrica de las células musculares.
- Estudio de conducción de los nervios, que mide la velocidad a la que los nervios transmiten los impulsos.
- Electrocardiograma (EKG), que da una presentación gráfica de la actividad eléctrica o patrón de pulsaciones del corazón.
- Ecocardiograma, que registra la posición y movimiento del músculo del corazón.
- Exploraciones de imágenes de resonancia magnética (MRI) o tomografía computarizada (CT), que proporciona una imagen del cerebro y la médula espinal, algún daño en estos pueda ser el origen de la ataxia.
- Derivación o punción espinal para evaluar el líquido cerebroespinal.

- Pruebas de sangre y orina para evaluar los niveles elevados de glucosa.
- Pruebas genéticas para identificar el gen afectado.

Dentro del examen físico de diagnóstico, encontramos la siguiente escala para determinar la complejidad de la enfermedad del paciente:

- **Scale for the Assessment of Ataxia (SARA): Escala para la valoración de ataxia**

La escala SARA se usa frecuentemente en la evaluación de pacientes con diferentes tipos de ataxias. se considera actualmente la escala más cómoda y fiable para ataxias de cualquier origen. Los resultados de la evaluación se expresa por un único número, evaluando cada uno de los ítems de la escala cuantitativamente, de acuerdo al criterio del especialista: [13]

<b>1) Andar</b>	<b>Puntuación</b>
<p>Se le pide (1) caminar paralelamente una segura por una pared que incluye un medio giro (vuelta para enfrenar el sentido contrario de la marcha) y (2) para caminar en tándem (dedos del pie a los talones) sin apoyo.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>0. Normal, no hay dificultades para caminar, girar y caminar en tándem (un máximo de un paso en falso permitido)</li> <li>1. Dificultades leves, sólo visible cuando camina 10 pasos consecutivos en tándem</li> <li>2. Claramente anormales, tándem para caminar &gt; 10 pasos no son posible</li> <li>3. Tambaleo considerable, dificultades en la media vuelta, pero sin apoyo</li> <li>4. Tambaleo marcado, apoyo intermitente de la pared requerida</li> <li>5. Tambaleo grave, apoyo permanente de un palo o apoyo ligero por un brazo requiere</li> <li>6. Andar &gt; 10 m sólo con un fuerte apoyo (dos palos especiales o cochecito o acompañante)</li> <li>7. Caminar &lt; 10 m sólo con un fuerte apoyo (dos palos especiales o cochecito o acompañante)</li> <li>8. No puede caminar, incluso con el apoyo</li> </ol>	
<p><b>2) Postura</b></p> <p>Se le pide que de pie (1) en su posición natural, (2) con pies juntos en paralelo (dedos gordos se toquen entre sí) y (3) en tándem (dos pies en una línea, sin espacio entre talón y dedo del pie). Sin usar zapatos, los ojos son abiertos. Para cada condición, se permiten tres ensayos.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>0. Normal, pudiendo figurar en tándem durante &gt; 10 s</li> <li>1. Capaz de permanecer en pie con los pies juntos y sin influencia, pero</li> </ol>	

<p>no en tándem para &gt; 10s</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Capaz de permanecer en pie con los pies juntos durante &gt; 10 s, pero sólo con dominio</li> <li>3. Capaz de soportar durante &gt; 10 s sin apoyo en física posición, pero no con los pies juntos</li> <li>4. Capaz de soportar durante &gt; 10 s en posición natural sólo con apoyo intermitente</li> <li>5. Capaz de soportar &gt; 10 s en posición natural sólo con apoyo constante de un brazo</li> <li>6. No puede permanecer en pie &gt; 10 s, incluso con el apoyo constante de un brazo.</li> </ol>	
<p><b>3) Sentarse</b>  Se le pide sentarse en una cama de examen sin apoyo de los pies, los ojos abiertos y los brazos extendidos hacia el frente.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>0. Normal, no hay dificultades sentado &gt; 10 seg</li> <li>1. Dificultades leves, balanceo intermitente</li> <li>2. Vaivén constante, pero capaz de sentarse &gt; 10 s sin apoyo</li> <li>3. Es capaz de sentarse durante &gt; 10 s sólo con el apoyo intermitente</li> <li>4. No puede sentarse durante &gt; 10 s sin el apoyo continuo</li> </ol>	
<p><b>4) Perturbación del habla</b>  El habla se evaluó durante la conversación normal.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>0. Normal</li> <li>1. Sugerencia de alteración del habla</li> <li>2. Deterioro del habla, pero fácil de entender</li> <li>3. Palabras ocasionales difícil de entender</li> <li>4. Muchas palabras difíciles de entender</li> <li>5. Sólo palabras individuales comprensibles</li> <li>6. Imposible de entender</li> </ol>	
<p><b>5) Persecución del dedo</b>  <b>Calificación por separado para cada lado</b>  Se sienta cómodamente. Si es necesario, el apoyo de los pies y del tronco son permitidos. El examinador se sienta delante y realiza 5 movimientos rápidos y repentinos apuntándolo en direcciones impredecibles en un plano frontal. Los movimientos tienen una amplitud de 30 cm y una frecuencia de 1 movimiento cada 2 segundos. Se le pide que siga los movimientos con su dedo índice, lo más rápido y preciso posible. El rendimiento promedio de los 3 últimos movimientos es evaluado.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>0. No disimetría</li> <li>1. Disimetría, bajo / excede el objetivo &lt; 5 cm</li> <li>2. Disimetría, bajo / excede el objetivo &lt;15 cm</li> <li>3. Disimetría, bajo / excede el objetivo &gt; 15 cm</li> <li>4. No se puede realizar 5 movimientos de apuntar  Promedio de los dos lados (Derecha + Izquierda) / 2</li> </ol>	

<p><b>6) Prueba de la nariz con los dedos</b>  <b>Calificación por separado para cada lado</b>  Se sienta cómodamente. Si es necesario, el apoyo de los pies y del tronco son permitidos. Se pide señalar en varias ocasiones con el dedo índice desde su nariz hasta el dedo del examinador que está en frente, aproximadamente 90% de los alcance del individuo afectado. Los movimientos se realizan con una velocidad moderada. El rendimiento promedio de los movimientos es evaluado acuerdo con la amplitud del temblor cinético.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>0. No temblor</li> <li>1. Temblor con una amplitud &lt;2 cm</li> <li>2. Temblor con una amplitud &lt;5 cm</li> <li>3. Temblor con una amplitud &gt; 5 cm</li> <li>4. No se puede realizar 5 movimientos de apuntar</li> </ol> <p>Promedio de los dos lados (Derecha + Izquierda) / 2</p>	
<p><b>7) Alternando rápido los movimientos de la mano</b>  <b>Calificación por separado para cada lado</b>  Se sienta cómodamente. Si es necesario, el apoyo de los pies y del tronco es permitido. Se le pide que realice 10 ciclos de alternar repetitivamente de supinación de la mano en su muslo lo más rápido y preciso como sea posible. El movimiento se demuestra por el examinador en una velocidad de aproximadamente 10 ciclos dentro de 7 s. Los tiempos exactos para la ejecución del movimiento tiene que ser tomados.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>0. Normal, sin irregularidades (Realiza &lt;10s)</li> <li>1. Un poco irregular (realiza &lt;10s)</li> <li>2. Movimientos individuales claramente irregulares, difícil de distinguir o interrupciones pertinentes, realiza &lt;10s</li> <li>3. Muy irregulares, movimientos individuales difícil de distinguir o interrupciones pertinentes, realiza &gt; 10s</li> <li>4. No se ha podido completar 10 ciclos</li> </ol> <p>Promedio de los dos lados (Derecha + Izquierda) / 2</p>	
<p><b>8) Deslizar Talón-Espinilla</b>  <b>Calificación por separado para cada lado</b>  Se encuentra en la cama del examen, sin ver sus piernas. Se le pide que levante una pierna, punto del talón a la rodilla opuesta, deslice hacia abajo a lo largo de la espinilla hasta el tobillo, y queda la pierna en la cama de examen. La tarea se realiza 3 veces. Los movimientos de deslizar hacia abajo deben llevarse a cabo dentro de 1 s. Si se desliza hacia abajo sin contactar la espinilla en los tres ensayos, evalúe con 4</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>0. Normal</li> <li>1. Ligeramente anormal, contacto a la espinilla se mantiene</li> <li>2. Claramente anormal, se va fuera la espinilla hasta 3 veces durante 3 ciclos</li> <li>3. Profundamente anormal, se va fuera la espinilla 4 o más veces durante 3 ciclos</li> <li>4. No se puede realizar la tarea</li> </ol> <p>Promedio de los dos lados (Derecha + Izquierda) / 2</p>	

- **Tratamiento**

Con frecuencia se confunde tratamiento con curación. Si bien muchas (no todas) las enfermedades neuromusculares no se pueden “curar” (entendiéndose por curación la restitución total de la normalidad) todas pueden y deben ser tratadas.

Debe tenerse en cuenta que no existen enfermedades intratables. No debe confundirse incurable con intratable. El tratamiento aplicado desde todos los ángulos posibles contribuye a mejorar la calidad de vida del paciente. [14]

Los síntomas como el temblor, la rigidez, la espasticidad (aumento del tono muscular que provoca que algunos músculos se mantengan permanentemente contraídos), la debilidad muscular, u otras manifestaciones, pueden necesitar tratamiento farmacológico, quirúrgico, terapia física dirigida, terapia del habla o un asesoramiento adecuado. [15]

- **Fármacos:** Existen medicamentos específicos para disminuir la repercusión clínica que producen algunos síntomas. En los casos en los que se sospeche o demuestre una causa infecciosa de origen bacteriano, deberá iniciarse la antibioterapia específica.
- **Cirugía:** En los trastornos paraneoplásicos (diferentes conjuntos de síntomas que afectan a los pacientes de cáncer), la extirpación del tumor mejora los síntomas neurológicos en algunos pacientes.
- **Controles médicos especializados,** para prevenir complicaciones específicas de cada enfermedad. (Cardiológicos, respiratorios, clínicos, neurológicos, etc.).
- **Suplementos y nutrición:** La dieta sin gluten puede mejorar la ataxia asociada. Lo mismo sucede al administrar vitamina E en pacientes con ataxia de Friedreich, o al iniciar tratamiento con vitaminas B1.
- **La terapia del habla:** Ayuda al paciente a mejorar problemas como la deglución y la dificultad para el habla y la comunicación.
- **Terapia ocupacional:** El terapeuta puede ayudar al paciente a controlar su entorno diario (hogar, trabajo) de una forma más adecuada, práctica y autónoma. Esto puede implicar adaptaciones en el hogar y en el mobiliario (mejora de instalaciones, uso de silla de ruedas, etcétera).
- **Asesoramiento:** Los pacientes con ataxia comúnmente se pueden sentir frustrados y más deprimidos, debido a los problemas de movilidad y coordinación que afectan a su rutina diaria y a sus relaciones sociales y personales. Hablar con un psicoterapeuta y personal cualificado puede ser útil a la hora de afrontar y superar estos problemas y limitaciones.

- **Terapia física y de rehabilitación:** A través del tratamiento de fisioterapia se pueden mejorar los síntomas motores, así como prevenir posibles problemas asociados. Los objetivos de tratamiento irán siempre encaminados a mantener el mayor nivel funcional de la persona, de manera que no se vea mermada su calidad de vida. En la ataxia el tratamiento de fisioterapia se basa en el estiramiento de la musculatura más rígida y espástica del tronco y de los miembros, fortaleciendo los músculos profundos estabilizadores del tronco. Así mismo, se trabaja el entrenamiento de los automatismos funcionales, la corrección postural, el equilibrio y la coordinación. Otro aspecto importante en el tratamiento es la reeducación de la marcha y el trabajo de las transferencias. [16]

Dado el origen del proyecto, nos enfocaremos en el tratamiento de terapia física y de rehabilitación. Empezaremos a dar algunas definiciones para conocer acerca de la rehabilitación en general, para después profundizar en la Rehabilitación Virtual

## ❖ **Rehabilitación virtual (RHBV)**

- **Definición**

- **Rehabilitación**

De acuerdo a la RAE (Real Academia Española) la rehabilitación se define como: Conjunto de métodos que tiene por finalidad la recuperación de una actividad o función perdida o disminuida por traumatismo o enfermedad. [17]

- **Realidad virtual**

De acuerdo a la RAE la Realidad Virtual (RV) se define como: Representación de escenas o imágenes de objetos producida por un sistema informático, que da la sensación de su existencia real. [18]

Uniando los significados, podemos deducir que la RHBV es el entrenamiento basado en ejercicios de simulación mediante tecnología de realidad virtual. [19]



- **Tecnología y soporte hardware**



- **Beneficios** [19]

- **Seguridad**

La RHBV permite crear ejercicios en entornos virtuales controlables, repetibles y seguros.

- **Adaptabilidad**

El paciente no se adapta al sistema. Es el sistema el que se adapta a la discapacidad de cada paciente.

- **Motivación**

Los sistemas de RHBV ofrecen ejercicios inmersivos y con trasfondo lúdico mejorando la motivación de los pacientes, su esfuerzo y adherencia al tratamiento.

- **Objetividad**

Los sistemas RHBV proporcionan datos objetivos y permiten valorar objetivamente el estado de los pacientes y ver su evolución temporal.

- **Tele-monitorización**

La rehabilitación puede transferirse a casa de los pacientes reduciendo costos.

## ❖ Técnicas de rehabilitación

- **Ejercicios de Frenkel:** [28]

El proceso de aprendizaje de este método alternativo de regulación es semejante al requerido para aprender cualquier nuevo ejercicio; sus principios esenciales son:

- Concentración de la atención.
- Precisión.
- Repetición.

El objetivo final es lograr la regulación del movimiento, de forma que el paciente sea capaz de realizarlo y adquiera confianza en la práctica de aquellas actividades que son esenciales para su independencia en la vida diaria.

Frenkel consideraba que a pesar de estar afectada la vía sensitiva, el paciente tabético-atáxico puede aprender a realizar un movimiento completo por medio de la repetición constante gracias a que mantiene su sentido muscular.

Los ejercicios basados en los principios de Frenkel se utilizan para la enseñanza del movimiento suave y de la precisión, destacando particularmente el objetivo primordial de ayudar al paciente a desempeñar las actividades normales de la vida diaria.

### **Progresión**

- La progresión se realiza alterando la rapidez, amplitud y complejidad del ejercicio.
- La progresión de los ejercicios debe ser en dificultad, en ningún grado en potencia.
- Bajo ningún concepto se debe realizar un trabajo extenuante o que implique una gran carga muscular. Para progresar en su ejecución, el paciente debe mostrar en el ejercicio una realización perfecta, sino no conviene empezar a hacer otro.
- La progresión debe respetar la dificultad de precisión de los ejercicios; de manera que en un principio, se realizaran aquellos movimientos

fundamentales de gran amplitud que se utilizan en las grandes articulaciones y luego se sustituyen con los movimientos más finos y precisos de las pequeñas articulaciones (prensión); además, primero se deben realizar de forma rápida y luego de forma lenta.

- La progresión se caracteriza según el grado de la incapacidad, los ejercicios de reeducación, se inician en la posición de decúbito supino, con la cabeza erecta y los miembros firmemente apoyados; progresando después a los ejercicios en posición sedente y finalmente a la bipedestación.
- Los ejercicios se ejecutarán, primero con apoyo de la visión, para posteriormente cuando se dominen realizarlo con los ojos cerrados.

## **Técnicas**

- El paciente se viste adecuadamente en forma que pueda ver sus propios miembros, en el curso de todos los ejercicios.
- Antes de intentar el movimiento, el Fisioterapeuta debe explicarle de una forma clara y concisa y debe realizar una demostración de los ejercicios para que el paciente tenga una visión clara de los mismos.
- El paciente debe prestar una completa atención a la práctica del ejercicio, para que el movimiento sea suave y adecuado de forma rítmica y precisa, para que puedan ser efectivos.
- La rapidez del movimiento es dictada por el Fisioterapeuta, por medio de numeración rítmica, por el movimiento de sus manos o por el uso de la música adecuada.
- La amplitud del movimiento debe indicarse mediante una señal o mancha en la que se coloca el pie o la mano.
- El ejercicio debe repetirse muchas veces, hasta que sea perfecto y fácil. Una vez conseguido, debe sustituirse por uno más difícil y deben realizarse alrededor de media hora por dos veces al día.
- Como, al comienzo, los ejercicios son muy fatigosos, deben permitirse frecuentes períodos de reposo. El paciente tiene muy poca capacidad para reconocer la fatiga, pero ésta se indica generalmente por una disminución en la calidad del movimiento o por un aumento en la velocidad del pulso.
- Se deben realizar constantes ejercicios del tronco, del equilibrio y respiratorios.
- Es muy importante prevenir para el paciente, el cansancio. Los signos de fatiga son: Pulso frecuente, respiración rápida y signos de distracción. Por lo tanto, es necesario el control inicial de la frecuencia

cardiaca y frecuentemente durante los ejercicios de rehabilitación. El ejercicio debe ser detenido si la frecuencia cardiaca llega a 120 pulsaciones y puede reiniciarse cuando esté próxima a la que hubo al inicio del ejercicio. No se debe repetir el ejercicio más de cuatro veces, es necesario tomarse un tiempo de descanso entre ejercicio y ejercicio.

- Es importante que el área para ejercitarse tenga una buena iluminación y un espejo para que el paciente pueda observar el movimiento de los segmentos.
- Los ejercicios deben realizarse dentro de una gama normal de movimientos para evitar el sobre estiramiento muscular.
- Ejercicios en diferentes posturas según el requerimiento del paciente.

### **Ejercicios en reposo**

En decúbito supino, el paciente debe estar en una camilla o superficie suave donde pueda mover los pies con facilidad. La cabeza debe estar levantada y apoyada en una almohada con el objetivo de poder observar los movimientos.

- El paciente debe flexionar la rodilla de una pierna deslizando el talón sobre la superficie de la camilla. Luego, debe regresar la pierna hasta la posición inicial. Se debe repetir el ejercicio con el miembro contrario.
- El paciente debe flexionar la rodilla de una pierna en la misma forma descrita en el punto anterior. Luego debe deslizar la pierna hacia el lateral, dejando el talón apoyado en la camilla. Posteriormente, deslizar la pierna hasta volver al centro, a la posición inicial. Se debe repetir este ejercicio con el miembro contrario.
- El paciente debe flexionar la rodilla de una pierna, despegando el talón de la camilla. Luego, debe llevar la pierna hasta regresar a la posición inicial y se debe repetir el movimiento con el miembro contrario.
- El paciente debe flexionar y extender la rodilla de una pierna, deslizando el talón por la camilla y deteniéndose en cualquier punto. Este ejercicio se debe repetir con el miembro contrario.
- El paciente debe flexionar la rodilla de una pierna y ubicar el talón en la rodilla de la pierna contraria. Luego, deslizar el talón hasta el tobillo y regresar con él otra vez a la rodilla. Posterior a esto, el paciente debe volver a la posición inicial y repetir el ejercicio con el miembro contrario.
- El paciente debe flexionar ambas rodillas deslizando los talones por la camilla, manteniendo juntos los tobillos. Luego de realizar el ejercicio debe llevar los miembros a la posición inicial.

- El paciente debe alternativamente flexionar la rodilla de una pierna, mientras extiende la otra pierna, simulando el movimiento de pedaleo en una bicicleta.

### **Ejercicios en posición sedente**

El paciente sedente con la planta de los pies apoyados en el suelo:

- Apoyar la punta del pie levantando únicamente el talón. Después de haberse mejorado esto, el paciente debe levantar alternativamente todo el pie, para luego, asentarlo firmemente sobre el suelo, siguiendo un trayecto grabado de una línea imaginaria con el pie.
- El paciente debe dibujar con una tiza dos cruces en el suelo. Para que así pueda deslizar alternativamente el pie sobre las cruces: adelante, atrás, izquierda y derecha.

El Fisioterapeuta debe enseñar al paciente a levantarse de una silla y a sentarse de nuevo, enumerando detenidamente los pasos:

1. Se deben flexionar las rodillas y poner los pies casi debajo de la silla.
2. Se debe flexionar el tronco hacia delante.
3. Elevarse extendiendo las piernas y el tronco.

Para sentarse de nuevo, repetir el proceso de manera inversa.

### **Ejercicios en Bipedestación**

Posición inicial: El Paciente bípedo con los pies separados entre 10 y 15 cm. entre sí.

- El paciente debe caminar hacia los costados, comenzando los pasos hacia el lado derecho. Este ejercicio debe realizarse enumerando detenidamente los pasos:

1. Se debe descansar el peso del cuerpo sobre el pie izquierdo.
2. Colocar el pie derecho a unos 30 cm. hacia el lado derecho.

3. Se debe descansar el peso del cuerpo sobre el pie derecho.
4. Colocar el pie izquierdo delante del pie derecho.

Este ejercicio debe repetirse de la misma forma hacia el lado izquierdo.

- El paciente debe caminar hacia delante entre dos líneas paralelas, debe colocar adelante el pie derecho unos 30 cm. en el interior de la línea derecha y el pie izquierdo en el interior de la línea izquierda. El fisioterapeuta, debe hacer énfasis en corregir la ubicación de los pies y posterior a 10 pasos, indicarle descanso al paciente.
- El paciente debe caminar hacia delante ubicando cada pie en una huella trazada en el suelo. Las huellas deben ser paralelas y estar a unos 5 cm. de una línea imaginaria central. El paciente debe practicar con medios pasos y pasos completos.

El paciente debe dirigirse hacia el lado derecho:

1. Levantar la punta del pie y rotar el pie derecho hacia fuera, utilizando el talón como pivote.
2. Levantar el talón izquierdo y rotar la pierna izquierda hacia adentro sobre los talones.
3. Posterior a esto, se debe completar el giro completo.

Después se debe repetir el ejercicio hacia el lado izquierdo.

- El paciente debe subir y bajar las escaleras, colocando ambos pies en cada escalón; ubicando el pie derecho en el escalón y acercar el pie izquierdo hacia él. Posteriormente, el paciente debe subir y bajar las escaleras, ubicando un único pie en cada escalón. Se debe utilizar el pasamano hasta que el equilibrio mejore.
- El paciente debe estar de pie; se realizará la oscilación del brazo hacia delante y hacia atrás (con un compañero, manteniendo dos bastones).
- El paciente de pie o marchando; debe agarrar y lanzar una pelota; si es posible la marcha se debe estimular con música.
- El paciente en bipedestación, con el dorso contra la pared, manteniendo los pies a unos 30 cm., debe flexionar las rodillas de forma que la espalda se deslice hacia abajo por la pared. También se puede tratar de

bajar hasta que los muslos queden paralelos con el suelo; sino bajar tanto como se pueda sin esforzarse demasiado. Este ejercicio se puede realizar nuevamente de una manera lenta. Además puede mantenerse abajo durante 10 seg. o más.

### **Ejercicios para Extremidades Superiores**

En el caso de que los brazos y manos se encuentren muy afectados por la ataxia, se recomienda hacer escritura en un pizarrón. Se le debe indicar al paciente realizar un signo de resta y suma y modificarlo, debe dibujar diagramas simples (líneas rectas, líneas en “zig-zag”, círculos, etc.). Este ejercicio se utiliza para mejorar la coordinación ojo- mano.

### **Ejercicios para Miembros Inferiores**

- El paciente en posición sedente en el suelo, apoyando el tronco contra la pared y las manos lateralmente; debe levantar el pie derecho unos 15 cm. del suelo, manteniendo las piernas lo más derecho posible y luego debe descender la pierna al suelo. Se debe repetir este ejercicio con el miembro contrario.
- El paciente debe flexionar la pierna derecha y mantener la pierna izquierda extendida, elevar la pierna izquierda lo más alto que se pueda manteniéndola recta. Luego, descender el miembro a la posición inicial. Se debe repetir el ejercicio con el miembro contralateral.
- El paciente en decúbito prono debe elevar el pie derecho unos 15 cm. manteniendo las piernas lo más rectas posible, para luego regresar a la posición inicial. Se debe repetir el ejercicio con el miembro contralateral.

*Al principio, el paciente debe realizar la cantidad de ejercicios que pueda sin dolor y en lo posible sin agotamiento; y posteriormente 20 repeticiones de cada ejercicio de cada pierna.*

### **Estiramiento de Gemelos y Sóleo.**

- El paciente en bipedestación debe apoyarse en un objeto fijo de 10 cm. de alto aproximadamente y con las puntas de los dedos de los pies, debe descender los talones hasta el suelo, elongando los músculos de las pantorrillas y el tendón de Aquiles (gemelos y sóleo); debe contraer dichos músculos para volver a la posición inicial, quedando sobre las puntas de los pies.

En muchos casos, cuando ya ha avanzado el progreso de la ataxia, existe cierta tendencia a tener las puntas de los pies apuntando constantemente hacia abajo (Pie Equino), por estar retraídos los músculos y tendones en la parte posterior de las piernas; por lo tanto este ejercicio va a retardar la posterior necesidad de una cirugía correctiva y se debe realizar durante 5 min. Diarios.

### **Ejercicios para los músculos de las rodillas.**

El paciente debe arrodillarse sentándose sobre los pies con el tronco erguido. Se apoya de un objeto fijo para mantener el equilibrio. Lentamente debe levantarse hasta una posición de arrodillado erguido, levantando la pelvis hacia delante, hasta una posición erguida y luego volver a la posición inicial. Posteriormente se pueden realizar los siguientes ejercicios:

1. Tratar de hacerlo sin las manos.
2. Tratar de hacerlo con las manos en la cabeza.
3. Tratar de hacerlo con pesas.
4. Cuando se descienda, tratar de oscilar a la izquierda y hacia la derecha alternativamente.

### **Haciendo Puente**

- El paciente en decúbito supino con las rodillas flexionadas y las plantas de los pies apoyadas en el suelo. Los pies deben estar aproximadamente 20 cm. separados uno del otro. Las palmas de las manos deben estar apoyadas en el suelo a cada lado del cuerpo y el paciente debe:

1. Mantener el abdomen tan horizontal como pueda.
2. Contraer con fuerza los glúteos elevándolos aproximadamente 15 cm. del suelo.
3. El paciente debe mantener esta posición durante 10 segundos.
4. Descender lentamente, manteniendo el abdomen horizontal y luego se debe repetir el ejercicio.



### III. SOFTWARE REHABILITACIÓN VIRTUAL

- **RehabMaster** [20]

Es un sistema de rehabilitación de realidad virtual basado en un juego con tareas específicas. Este proporciona un interesante entorno interactivo de rehabilitación; este sistema se representa en la (*Figura 1*).

El paciente se sienta en una silla delante de un monitor, frente a un sensor Kinect de profundidad compatible OpenNI (Sensor PrimeSense 3D, proyectores de infrarrojos combinados con el estándar RGB y sensores de imagen CMOS infrarrojos). El sensor es un dispositivo que traduce la geometría de la escena en la información de profundidad. Desde el punto en el que es situado, el sensor tiene un ángulo efectivo de 70 °, un rango de distancia de 0,8-3,5 m, y un tiempo de respuesta de 10 ms y genera imágenes del participante con una resolución de 640 × 480 a 30 fotogramas por segundo. Un equipo operado por Windows 7 con un 2.9-GHz CPU de cuatro núcleos y 4 GB de SDRAM que entrega las imágenes en un monitor de 60 pulgadas con una resolución de 1920 × 1080. El RehabMaster es operado por el equipo del terapeuta ocupacional a través de un área local red, proporcionando un control de módulos de formación del paciente y el nivel de dificultad.



**Figura 1.** El paciente se sienta en la parte frontal del monitor en el que el programa se proyecta. El participante recibe instrucciones para mover su extremidad superior y el tronco con el fin de jugar el juego. El sistema RehabMaster consta de: 1) un sensor de profundidad, 2) un monitor con un ordenador incorporado, 3) un monitor para el terapeuta y 4) el ordenador de control del sistema para el terapeuta.

La interfaz de usuario principal para la RehabMaster comprende cuatro elementos:

- Un módulo de gestión de usuarios que contiene información acerca de cada participante (por ejemplo, un registro médico abreviada, la historia de las sesiones del paciente, y las notas del terapeuta en las sesiones).
- Un módulo de evaluación que sigue el progreso de rehabilitación del paciente.
- Un programa de capacitación de rehabilitación que les pide a los pacientes imitar algunos de los 40 movimientos diferentes realizados por un avatar.
- Juegos de rehabilitación que proporcionar una forma atractiva de la rehabilitación ejercer el uso de conceptos de juego.

En detalle, la valoración consiste en evaluaciones del rango de movimiento con referencia a instrumentos de uso común como: La Evaluación de Fugl-Meyer, Prueba de alcance de acción de la mano y el Índice Motricidad. El entrenamiento de rehabilitación, simula los movimientos del brazo y del tronco, diseñado para restaurar los déficits funcionales específicos. Los



Figure 1 Bug Hunter Game

Rollercoaster Game

porados fueron sugeridos por terapeutas ocupacionales y físicos especializados en la rehabilitación y fueron lo suficientemente numerosos como para proporcionar programas adecuados para los pacientes con diversos déficits.

Los juegos de rehabilitación fueron diseñados para combinar una variedad de ejercicios de rehabilitación con elementos de juego, eliminando la monotonía, de una manera más competitiva, motivando, interesante y agradable.

**Figura 2.** Los Cuatro diferentes tipos de juegos

Cuatro diferentes tipos de juegos se sugirieron para abordar los déficit funcionales generales de la extremidades superiores (ES) en los pacientes (Figura 2):

- I. Underwater Fire Game (Fuego bajo el agua), diseñado para entrenar el movimiento del antebrazo y la coordinación ojo-mano del paciente. El paciente está pedido que usar dos armas para atacar a los peces en la pantalla mediante la realización de codo flexión / extensión y el hombro rotación interna / externa. Aquí, el número de peces en la pantalla y sus trayectorias son controlados por los terapeutas ocupacionales. Los terapeutas pueden también seleccionar un arma con el fin de obligar a los pacientes a usar sólo la ES afectada intensamente. El número de peces terminados constituía la medida de rendimiento del juego, y la dificultad del juego se determina por el

tamaño de los peces y la velocidad con la que se movían en la pantalla.

- II. Goalkeeper Game (Juego del Portero) y Bug Hunter Game (Cazador de Insectos) fueron diseñados para entrenar el control, resistencia, velocidad, precisión y rango de movimiento de la ES. El paciente controla las manos del portero (o de los cazadores) en la pantalla para atrapar una pelota de fútbol (o insecto). La velocidad, ubicación, la trayectoria de fútbol, y el patrón en el que los insectos aparecieron podría ser controlado por el terapeuta ocupacional.
- III. Rollercoaster Game (Montaña Rusa) fue diseñado para aumentar el control, la velocidad y la precisión de los movimientos de la ES y del tronco. El juego consiste en imitar las posturas mostradas por el sistema, que simulan las adoptadas durante un viaje en montaña rusa. Es decir, el paciente es instruido para colocar sus brazos y el tronco, como se muestra por el avatar. La dificultad del juego se define por el nivel de dificultad de las posturas y la velocidad de la montaña rusa.

Los movimientos reales del paciente durante toda la sesión de juego son grabados y reproducidos al final de la sesión con el fin de proporcionar información. Antes de cada sesión de intervención RehabMaster, un fisiatra esbozó la formación personalizada y tareas de juego, que luego se fueron modificando por los terapeutas ocupacionales durante las sesiones de entrenamiento reales.

## **Métodos**

Pruebas de diseño y usabilidad se llevaron a cabo para el desarrollo de RehabMaster con grupos de usuarios representativos. A continuación, se realizaron dos ensayos clínicos.

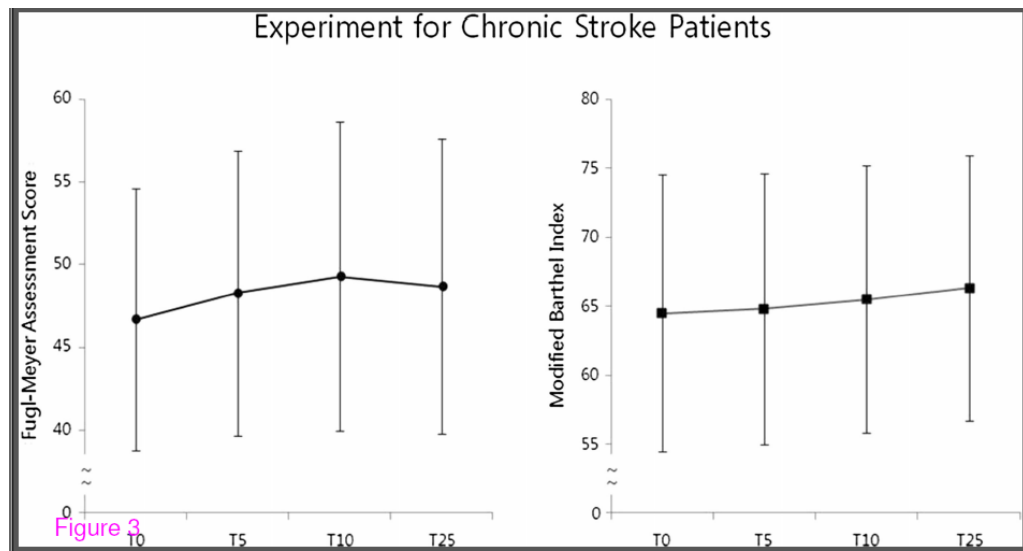
- El primero fue un estudio observacional en el que siete pacientes con accidente cerebrovascular crónica recibieron 30 minutos de intervención RehabMaster por día durante dos semanas.
- El segundo fue un estudio aleatorizado controlado de 16 pacientes con accidente cerebrovascular agudo o subagudo que recibieron 10 sesiones convencionales de terapia ocupación (TO) (grupo de solo TO) o la TO convencional más 20 minutos de intervención RehabMaster (Grupo RehabMaster + TO).

## **Resultados**

El Resultado del estudio se muestra por medio de la Evaluación Fugl-Meyer (EFM) o sus siglas en inglés Assessment Fugl-Meyer (AFM) y el Índice de Barthel Modificado (IMB) o sus siglas en inglés Modified Barthel Index (MBI).

Las ventajas reportadas de las pruebas de usabilidad demostraron que se mejoró la atención, la experiencia de flujo de inmersión, y la intervención individualizada.

- El primer ensayo clínico mostró que la intervención RehabMaster mejoró la EFM ( $P = 0,03$ ) y IMB ( $P = 0,04$ ) a través de tiempos de evaluación.



**Figura 3.** Abreviaturas: T0, la línea de base; T5, después del quinto período de sesiones de la intervención; T10, después de décimo período de sesiones de la intervención; T25, dos semanas después de la intervención.

Source	df	Sum of squares	Mean square	F value	$\eta^2$	P-value
FMA						
Time	1.335	23.167	17.348	7.092	0.586	0.029
Error	6.677	2.446				
MBI						
Time	1.470	11.792	8.020	5.145	0.507	0.047
Error	7.352	11.458	1.559			

Abbreviations: FMA, Fugl-Meyer Assessment score; MBI, modified Barthel index.

**Tabla 1.** Resultados de la Evaluación Fugl-Meyer (FMA) de miembro superior parético y el Índice de Barthel Modificado (MBI) en los pacientes con accidente cerebrovascular crónica.

- El segundo ensayo reveló que la adición de intervención RehabMaster tendido a aumentar la mejora en la FMA ( $P = 0,07$ ) pero no afectó la mejora en el MBI.

Outcome	OT-only (n = 7)	OT + RehabMaster (n = 9)	P-value
Age, years	46.6 ± 5.8	52.0 ± 11.9	0.54
Male (%)	3 (42.9)	5 (55.6)	1.00 <sup>a</sup>
Right-side lesion (%)	2 (28.6)	4 (44.4)	0.63 <sup>a</sup>
Days after onset	76.6 ± 28.5	67.1 ± 45.3	0.30
mRS	3.7 ± 0.5	3.2 ± 1.0	0.40
FMA	34.4 ± 12.4	39.4 ± 10.7	0.46
MBI	44.7 ± 9.1	59.9 ± 17.6	0.10

P-value by Mann-Whitney test, <sup>a</sup> P-value by Fisher's exact test.

Abbreviations: mRS, modified Rankin Scale; FMA, Fugl-Meyer Assessment score; MBI, modified Barthel index.

**Tabla 2.** Características de la línea base de los experimentos en pacientes con aguda y subaguda accidente cerebrovascular.

Time and group		FMA	MBI
RehabMaster + OT	T0	39.4 ± 10.7	59.9 ± 17.6
	T10	51.1 ± 7.8	71.2 ± 15.4
OT-only	T0	34.4 ± 12.4	44.7 ± 9.1
	T10	40.7 ± 9.8	51.0 ± 8.8

Abbreviations: FMA, Fugl-Meyer Assessment score; MBI, modified Barthel index; T0, before intervention; T10, after tenth session of intervention.

**Tabla 3.** Resultados de la Evaluación Fugl-Meyer (FMA) de miembro superior parético y el Índice de Barthel Modificado (MBI) en los pacientes con T y a los pacientes con TO más la intervención del RehabMaster.

Abreviaturas: T0, la línea de base y T10 al final del estudio.

- **Octopus (Pulpo)** [21]

## Métodos

El sistema de juego consistía en un Portátil Dell Precision M6500 (Intel i7 de cuatro núcleos) con un acelerador de gráficos (NvidiaQuadro FX 3800 M) integrado con un sistema de 6 cámaras de captura de movimiento (Qualisys AB [22]). La interacción del participante con el entorno virtual simulado ocurrió a través de los avatares de la mano, precisamente reproduciendo los patrones cinemáticos en tiempo real. El avatar fue creado con 3 marcadores reflectantes (12 mm de diámetro) unido a cada mano. Los movimientos de los marcadores fueron registrados por el sistema Qualisys para el análisis de movimiento. La imagen fue proyectada en formato 3D en una pantalla de 82 pulgadas (1.080 p Mitsubishi DLP Haz TV, RealD) y fue

vista por el participante en primera persona a través de las gafas (RealD Profesional CrystalEyes 5 [23]). El escenario de juego fue desarrollado utilizando el Software WorldViz Vizard (WorldViz LLC [24]) con gráficos

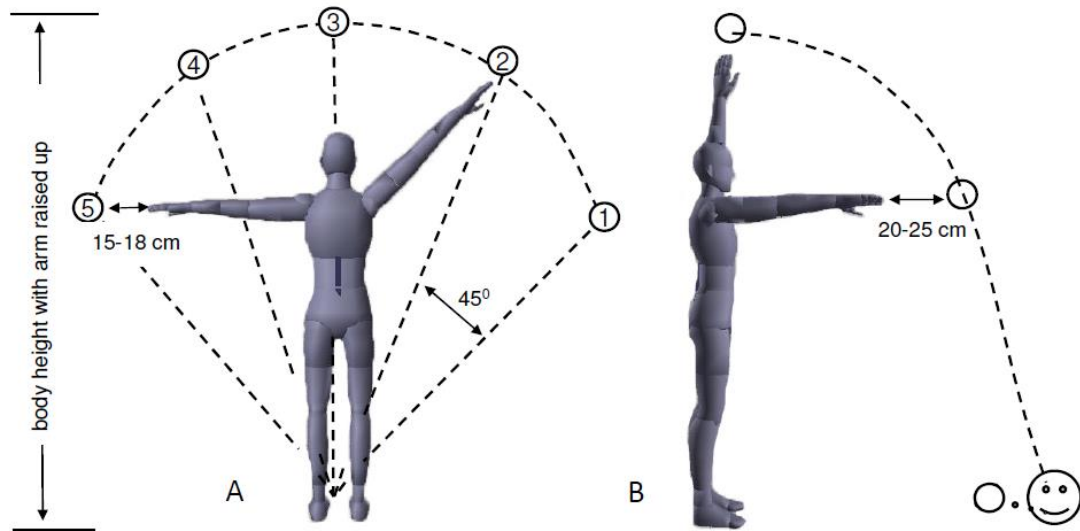


computarizados creados con el paquete Maya para animación 3D (Maya, Versión 7.0.1; Autodesk, Inc [25]).

**Figura 4.** Montaje experimental. El objeto que se coloca delante de la pantalla con el escenario de Octopus proyectada.

El juego está diseñado para desafiar la estabilidad de la postura mientras se llega a interceptar un objetivo en movimiento. En el juego, todas las acciones se producen en un mundo submarino poblado con algas y corales (*Figura 4*). El personaje principal, Octopus, está situado en el centro de la pantalla. El pulpo sopla burbujas hacia el participante, en el paisaje bajo el agua está indicada por los avatares de la mano derecha y de la mano izquierda. La tarea del juego es alcanzar y explotar muchas burbujas (blancos) como sea posible con la mano izquierda o derecha. Una vez puesto en marcha, cada objetivo sigue al azar mínimo de 1 a 5 trayectorias radiales (circulares) (*Figura 5.A*).





**Figura 5.** La calibración del espacio virtual con la burbuja en el plano frontal (A) y plano sagital (B). Las trayectorias de burbujas en el plano frontal son numeradas del 1 al 5 para simplificar la descripción en el texto; la ubicación del Pulpo está marcada por el emoticono en la figura 5B.

## Participantes

La viabilidad del juego ha sido probada en 13 pacientes con manifestaciones crónicas leve-moderadas con Traumatismo craneoencefálico. *Tabla 4* muestra los datos clínicos y demográficos de los sujetos inscritos en el estudio. Los participantes tuvieron déficits de leves a moderados en la coordinación, la marcha, el control postural y el movimiento de las extremidades superiores, con resultados de exámenes clínicos que van de la siguiente manera.

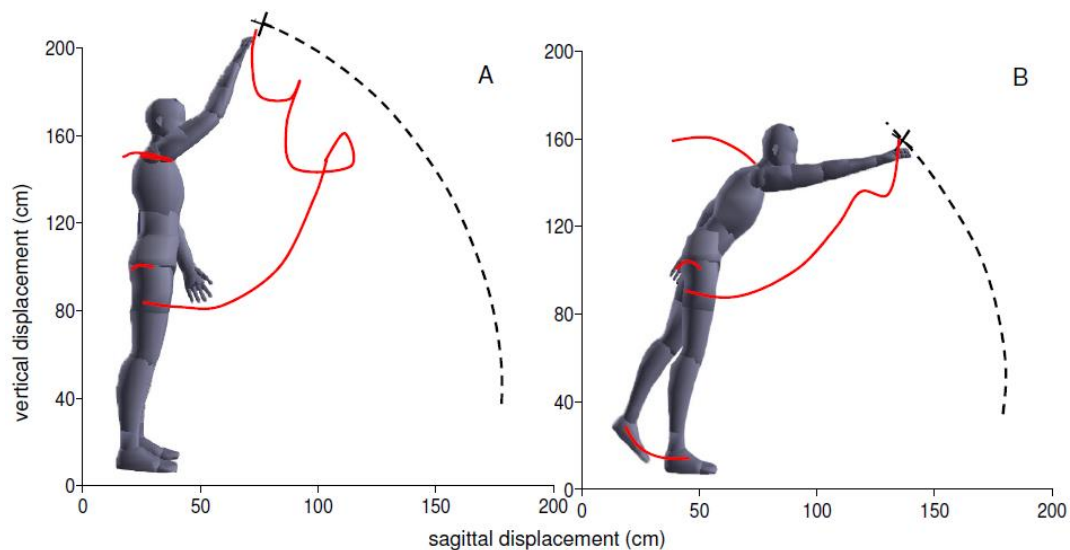
Subject	Age	Sex	Years Since TBI	Arm Dominance	FGA Score	Ataxia Score*	Berg Balance Score				
							Total	#6 Forward Reach (cm)	#12 Single Leg Stance (s)		
							Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test	
S1	41	M	4	R	24	5	45	28	29	16	19
S2	41	M	6	R	20	12	39	23	25	8	10
S3	19	M	2	R	24	11	41	21	17	> 30	> 30
S4	34	F	1.5	R	21	5	48	19	18	5	9
S5	29	F	10	R	29	3	55	24	27	15	25
S6	22	M	4	R	27	5	52	27	29	19	22
S7	38	F	10	R	21	6	55	29	31	3	7
S8	44	F	8	R	27	5	54	25	25	9	10
S9	44	F	10	R	15	9	48	19	23	5	4
S10	38	M	10	L	12	8	49	18	19	8	10
S11	38	M	5	R	27	4	44	32	34	> 30	> 30
S12	33	F	3	L	18	11	43	24	27	> 30	> 30
S13	20	F	2	R	23	9	53	19	24	22	25

**Tabla 4.** Ataxia escala cuantificando la gravedad de cada uno de los siguientes síntomas: ataxia de la marcha, postura, extremidades superior e inferior, disdiadococinesia, temblor intencional, y disartria en una escala de 6 puntos, con grado

0 (ausencia de síntomas) a 5 (no puede realizar). Todas las puntuaciones de los síntomas se suman con una puntuación total de 1 al 21 correspondiente a la ataxia leve a moderada, y la puntuación de 35 indica las manifestaciones más graves.

## Resultados

El rendimiento del juego, Si bien los participantes no eran instruidos sobre cómo moverse, atraparon las burbujas con éxito. La trayectoria de la burbuja puede ser interceptada utilizando diferentes combinaciones del brazo y colocaciones de la postura. La *Figura 6* muestra los desplazamientos sagitales de las burbujas, la mano, el tronco y las piernas (líneas rojas) en un participante durante el primer ensayo (*Figura 6A*) y el último ensayo (*Figura 6B*).



**Figura 6.** Trayectorias del brazo, mano, tronco, las piernas, cadera, en el plano sagital durante la primera (A) y último (B) ensayo del juego en un participante representativo. El modelo gris sirve como un enlace entre las trayectorias de segmento para ilustrar los movimientos del cuerpo. La trayectoria de la burbuja es marcada por una línea discontinua. La cruz indica el punto de interceptación de la trayectoria de la mano y de la burbuja.

## La valoración subjetiva

El análisis descriptivo que se ha utilizado para evaluar la usabilidad del juego con los datos del cuestionario de auto-informe. Sobre todo a los pacientes indicando niveles moderados de satisfacción con el juego. Esto parece sugerir que el juego era subjetivo, ni demasiado fácil, ni demasiado difícil en términos de los movimientos físicos necesarios de

los pacientes. Los pacientes indicaron un fuerte interés en el estilo de la interfaz del juego, pero sólo un interés moderado en la historia. Informaron que fueron capaces de comprender el juego. Los pacientes informaron igualmente agrado con las tareas, con su dificultad en la historia y satisfacción al superar las tareas.

- **Gesture Therapy** [26]

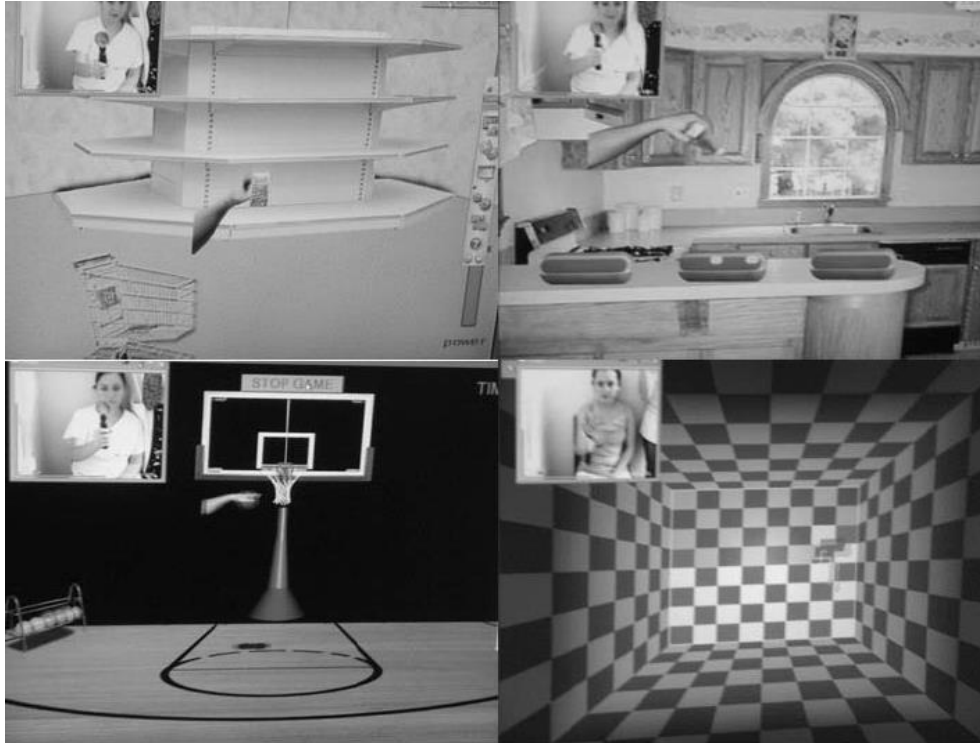
Algunos sistemas robóticos como el T-WREX complementan su funcionamiento con un ambiente de realidad virtual, permitiendo al paciente realizar simulaciones de actividades específicas del mundo real. Gestury Therapy es un software de Realidad Virtual que se adaptó a un sistema de cámaras capaz de seguir el movimiento del brazo parético, traduciendo el desplazamiento en una actividad dentro del ambiente virtual en una computadora. El objetivo fue obtener una recuperación motora superior a la registrada con la terapia convencional, valorando la recuperación motriz de los pacientes; así como la motivación al programa, posterior a las 25 sesiones de tratamiento. En un futuro se busca simplificar este sistema para que sea adaptable a los servicios de salud e incluso a un programa de telemedicina, desarrollar así tecnología de bajo costo para el manejo de pacientes con secuelas de Enfermedad Vasculat Cerebral (EVC).

Los dispositivos empleados para el grupo en estudio fueron una computadora programada con el software de Gesture Therapy y un sistema de cámaras configuradas para captar el movimiento de un joystick sujetado mediante un vendaje a la mano del brazo parético (Figura 7).



Figura 7. Sistema Gesture Therapy, la imagen muestra la colocación del paciente frente al sistema de cómputo, el diseño del joystick y cámara que realiza el seguimiento de los desplazamientos que realiza el paciente.

El movimiento realizado por el paciente refleja los desplazamientos del joystick en un ambiente virtual en donde se llevan a cabo tareas de la vida diaria de forma simulada (Figura 8).



**Figura 8.** Actividades de la vida diaria simuladas del sistema Gesture therapy. El programa permite el movimiento libre de la extremidad, permitiendo el desplazamiento en 3 planos de movimiento.

## **Métodos**

El programa se llevó a cabo para el grupo en estudio de la siguiente manera:

1. Inicio de la sesión con estiramientos musculares a trapecio, pectoral, romboides, deltoides, bíceps, pronadores, palmar mayor y flexores de los dedos del miembro parético.
2. Calibración de movimientos por sesión y forma individualizada en los planos sagital, coronal y transversal
3. Inicio del programa de actividades, cada una de duración variable, y la mayoría de ellas en contra del reloj, los juegos empleados del programa Gesture Therapy fueron:
  - a. Compras en el supermercado
  - b. Preparando el desayuno
  - c. Basquetbol
  - d. Limpiar las ventanas
  - e. Desmanchar la estufa
  - f. Pintando la habitación

- g. Preparar un perro caliente
- h. Conduciendo por la carretera

Para el estudio, se incluyeron 22 pacientes con secuelas de EVC isquémico crónico, se dividieron aleatoriamente en dos grupos aplicándose un programa por 15 sesiones, 3 veces por semana empleando el software con actividades de la vida diaria simuladas Gesture Therapy para el grupo experimental y actividades de terapia ocupacional para el grupo control.

Así mismo dentro del estudio, se incluye la encuesta de motivación intrínseca aplicada a los pacientes al término del tratamiento, que evalúo los siguientes parámetros:

- Interés y satisfacción con el tratamiento
- Percepción de competencia del paciente ante el tratamiento
- Esfuerzo e importancia del tratamiento
- Presión o tensión provocada por el tratamiento
- Valor y utilidad del tratamiento
- Dolor ante el tratamiento

## Resultados

Después de 8 semanas de tratamiento fueron aplicadas nuevamente las escalas de Fugl-Meyer e índice motor para valorar la funcionalidad de la extremidad torácica parética:

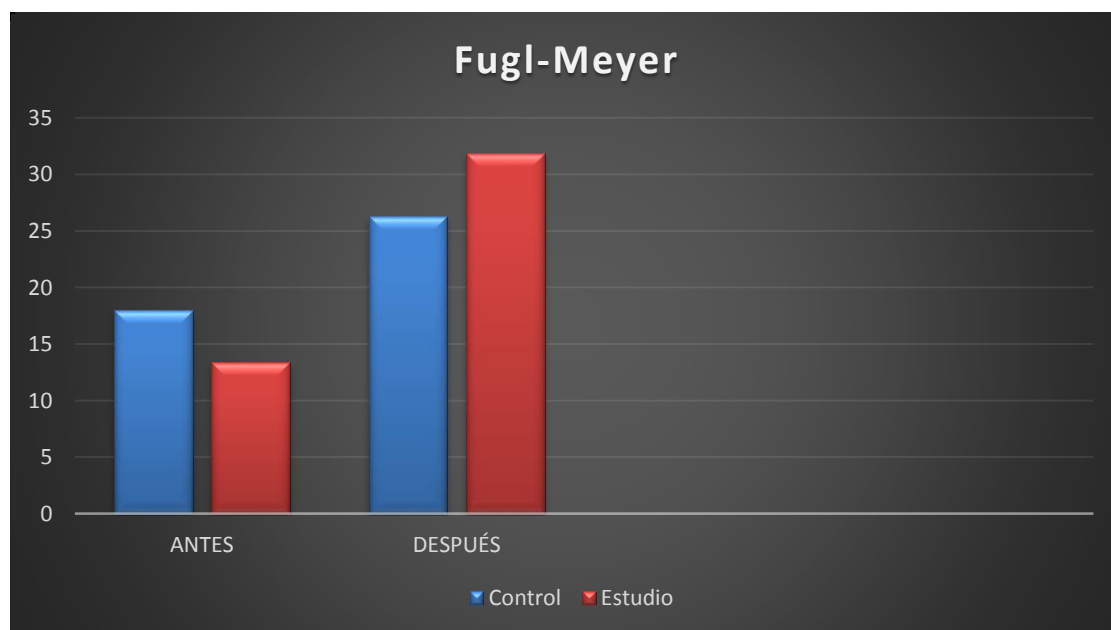


Gráfico 1. Comparativo de los resultados obtenidos en la escala de Fugl-Meyer por grupos.

La funcionalidad del miembro torácico parético fue valorada a través de la escala de Fugl Meyer, la cual mostro un incremento en el puntaje obtenido antes del tratamiento. Con un aumento significativamente mayor en el grupo de estudio, es decir, el grupo con rehabilitación a través del software (*Gráfico 1*).

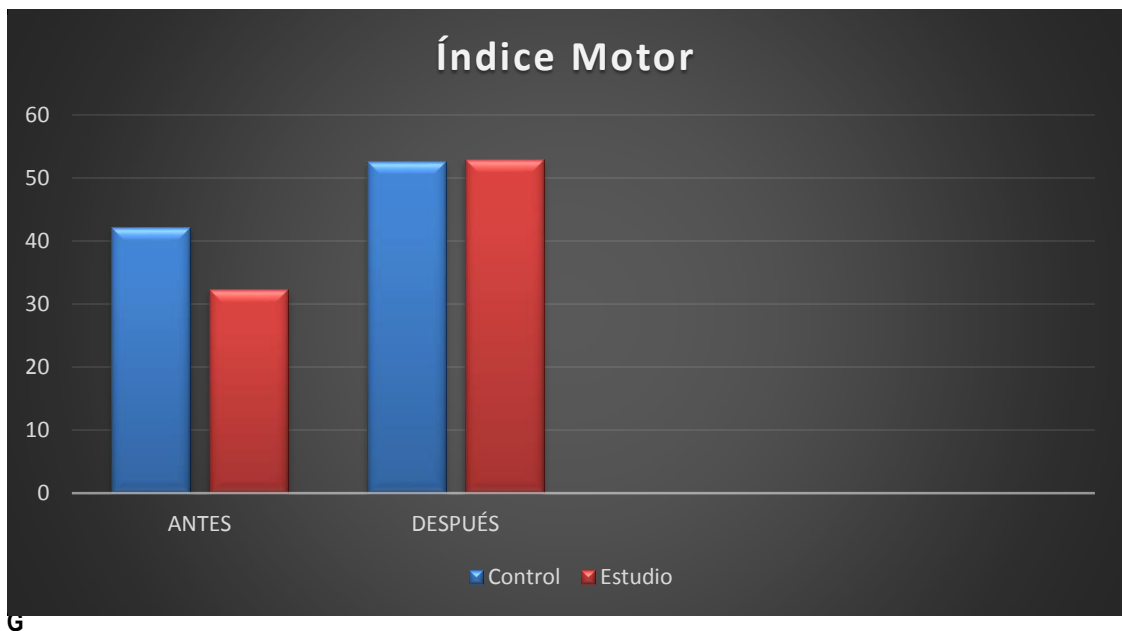


Gráfico 2. Comparativo de los resultados obtenidos en la escala de Índice Motor por grupos.

El índice motor tuvo un incremento en ambos grupos, siendo mayor la recuperación motora del grupo en estudio (*Gráfico 2*).

Los resultados obtenidos mostraron que los pacientes del grupo en estudio estuvieron más satisfechos con su desempeño durante el entrenamiento, percibiéndose mayor concentración durante la actividad; asimismo, este grupo refirió mayor interés por el sistema de realidad virtual que los pacientes a que se les realizaba el programa de terapia ocupacional en casa, surgiendo durante el estudio incumplimiento en diversas áreas por parte del grupo control para realizar el programa de casa de forma constante.

La percepción de competencia al tratamiento y utilidad del mismo obtuvieron una calificación mayor en pacientes del grupo en estudio, los rubros de presión y dolor ante el tratamiento fueron similares en ambos grupos siendo más frecuente el dolor en el hombro de los pacientes de ambos tipos de tratamiento (*Gráfica 3*).



Gráfico 3. Comparativo de los resultados obtenidos en la motivación y satisfacción de los pacientes.

- **VirtualRehab** [27]

VirtualRehab es un producto innovador para la mejora de la calidad de vida de los pacientes mediante la rehabilitación física que combina modernas técnicas de captura de movimiento a través de Microsoft Kinect con la tecnología de los videojuegos.

VirtualRehab es un producto innovador desarrollado en colaboración con la Fundación Vasca de Esclerosis Múltiple Eugenia Epalza y la Asociación de Esclerosis Múltiple de Vizcaya (ADEMBI). Virtualware ha desarrollado esta herramienta que permite trabajar distintas funciones afectadas en pacientes con alguna discapacidad física

### ¿Cómo funciona?

VirtualRehab requiere simplemente Kinect para Windows, un PC y un monitor. El paciente interactúa con el sistema en un entorno 3D donde



ejercita diferentes movimientos bien con las manos, bien con los pies o bien levantando alternativamente un pie u otro. Los pacientes pueden ejercitar diferentes movimientos sin necesidad de ningún dispositivo o controlador.

Los ejercicios han sido desarrollados por expertos en neurología y fisioterapia, diseñados para que el usuario realice esfuerzos adecuados a su nivel de discapacidad, de manera que el equilibrio, la transferencia de cargas, coordinación y la resistencia son los principales funciones que trabaja este sistema.

En función de las necesidades de cada centro, VirtualRehab está disponible en dos versiones: On Premise y SaaS.

- On Premise: Los datos están alojados en el propio centro, no requiere conexión a internet, y no permite tele-rehabilitación.
- SaaS: Los datos se alojan en la nube (Microsoft Azure), requiere conexión a internet, y permite al paciente realizar los ejercicios de fisioterapia desde su propia casa.

A continuación, una pequeña descripción de la variedad de juegos que ofrece el sistema VirtualRehab.

### **Juegos VirtualRehab:**

- **Dianas y barreras**



**Figura 9.** El usuario debe interceptar con las extremidades superiores los elementos que se le van presentando. Las barreras debe superarlas levantando los pies y las baldosas deben ser pisadas.

### **Tipo de movimiento**

- Inclinaciones laterales de tronco
- Extensión de codo y del tronco
- Alcances con el miembro superior en diferentes planos de altura y a diferentes distancias
- Cruces de piernas, extensiones de pierna

- **Coincidir silueta**



Figura 9. El usuario debe hacer coincidir su silueta con la del avatar. El sistema obliga a recuperar la verticalidad tras cada movimiento.

### Tipo de movimiento

- Inclinaciones laterales de tronco

- **Alcance globos**



**Figura 10.** El usuario debe interceptar los globos en varios planos y varias distancias. Los globos tienen un código de color que debe coincidir con el color de las manos. Se puede hacer de pie o sentado.

### **Tipo movimiento**

- Inclinaciones lateral de tronco
- Flexión de hombro
- Extensión de codo y tronco

### ○ **Alcance hombros**

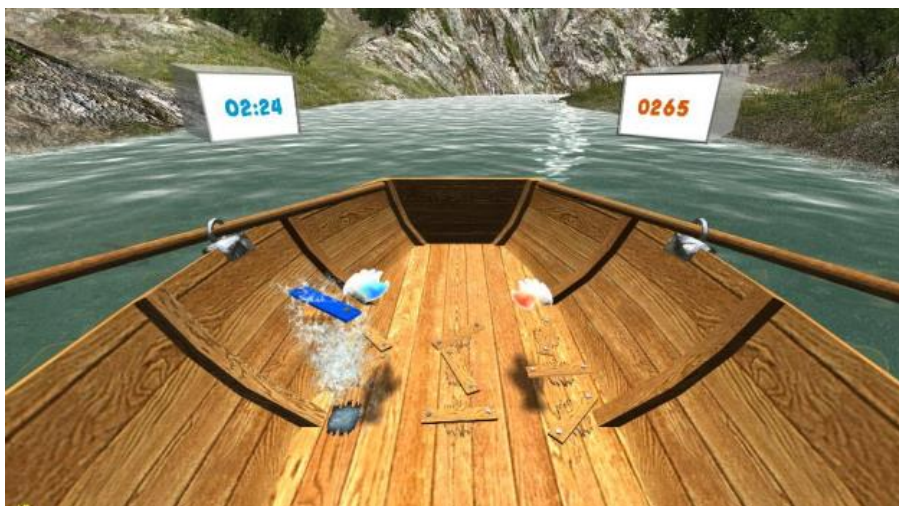


**Figura 11.** El usuario debe interceptar con los hombros los globos que aparecen. Aparecen a la derecha e izquierda en una sola posición. No hay código de color.

### **Tipo movimiento**

- Inclinaciones lateral de tronco
- Extensión del tronco

### ○ **Alcances en barco**

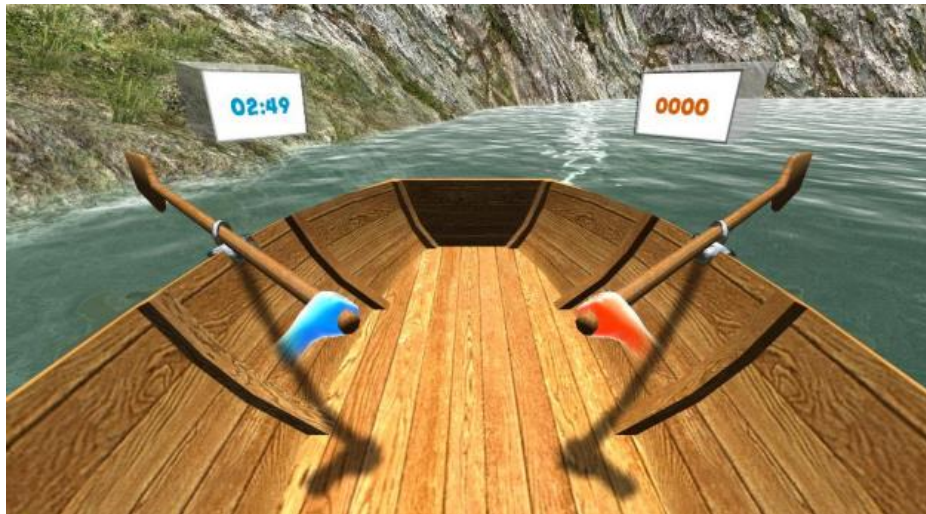


**Figura 12.** El usuario solo ve sus manos. Se trata de ir tapando los agujeros que se van abriendo en la barca. Lo movimientos de las manos son independientes. Hay código de color.

### **Tipo movimiento**

- Alcances con el miembro superior en diferentes planos de altura y a diferentes distancias del cuerpo
- Implica movimientos de flexión adicción y abducción de hombro y flexo-extensión de codo

### ○ **Remar en barco**

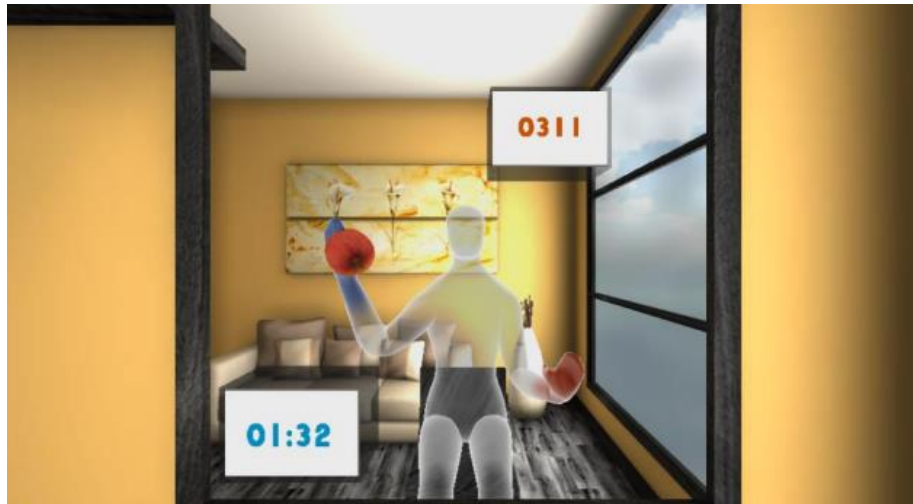


**Figura 13.** El usuario debe remar y mover las manos de manera coordinada y en párelo. No hay código de color.

### **Tipo movimiento**

- Flexión de hombro y flexo-extensión de codo en sinergia de forma sincronizada con ambas extremidades superiores

- **Llevar objetos**



**Figura 14.** El usuario se ve en el espejo y debe llevar los objetos que aparecen en su mano a los targets correctos a la altura de la cabeza.

**Tipo movimiento**

Reentrenamiento de patrones

- Mano-boca
- Mano hombro
- Mano-oreja
- Mano-cabeza

- **Pesas gimnasio**



**Figura 15.** El usuario debe hacer coincidir las pesas con las imágenes que van apareciendo, siempre respetando la horizontalidad de las manos. También hay movimiento vertical coordinado

#### **Tipo movimiento**

- Flexo extensión de hombro
- Abducción/aducción de hombro
- Rotación Externa/interna hombro
- Flexión/extensión de codo

#### **Ventajas:**

- **Seguimiento de cada usuario**
  - Análisis gráficos de progresos
  - Evolución por usuario
  - Análisis por extremidad
- **Herramienta tecnológica**
  - Captación de usuarios
  - Configuración flexible de sesiones
- **Dificultad adaptable para cada usuario**
  - Apto para distintos grados de discapacidad

- Reto/Superación por objetivos, con salto a nuevos niveles de dificultad
- **Ventajas para el paciente**
  - Válido para todos los grados de discapacidad
  - Sencillo uso
  - Componente lúdico
  - Componente de superación y competición
  - Mayor adherencia al tratamiento
  - Uso apto inclusive con silla de ruedas
- **Ventajas para el terapeuta**
  - Flexible editor de terapias
  - Terapias personalizadas por nivel de discapacidad
  - Análisis para el seguimiento de usuarios
  - Gráfico de evolución

### **Tecnología innovadora**

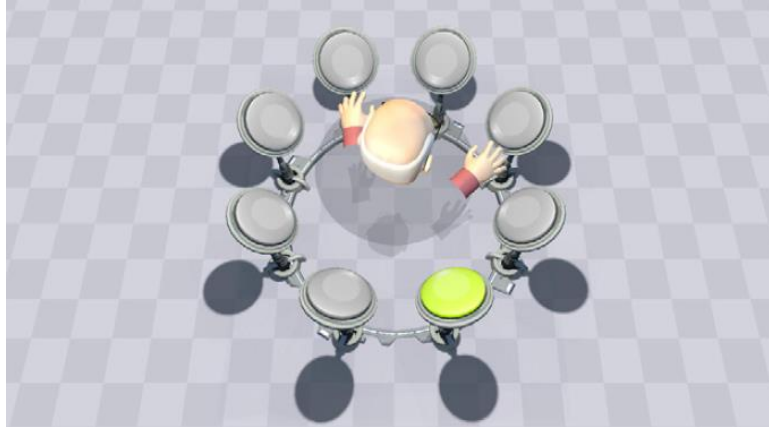
- Utiliza Microsoft Kinect que permite realizar ejercicios sin necesidad de ningún controlador o mando
- Su sencilla instalación online permite una rápida puesta en marcha en cualquier centro.
- La arquitectura basada en la tecnología Microsoft Azure (nube) permite un acceso instantáneo y un control online remoto de la aplicación.
- Garantiza una máxima seguridad y fiabilidad de servicio.

- **BioTrack** <sup>[29]</sup>

Desde el punto de vista terapéutico, existe todavía una gran necesidad de sistemas de rehabilitación virtual que puedan instalarse fácilmente en el entorno clínico y que cuenten con la suficiente flexibilidad y especificación de contenidos para abarcar los diferentes estadios clínicos de las patologías subyacentes al Daño Cerebral Adquirido (DCA). BioTrak es un sistema de RV compuesto por 3 módulos específicamente diseñados para la rehabilitación motora, cognitiva y psicosocial de pacientes con lesiones neurológicas diversas. En el módulo de rehabilitación motora del equilibrio,

BioTrak ofrece 2 enfoques terapéuticos distintos, incluyendo alcances dinámicos y transferencias de peso sobre una plataforma de presiones.

### **Dispositivo**



El dispositivo está formado por un ordenador de sobremesa, una pantalla panorámica de 47" y un sistema de tracking o seguimiento (óptico, electromagnético o mediante sensores de profundidad, como el que utiliza el dispositivo Kinect) que permite la interacción del usuario con el entorno virtual. El sistema de seguimiento óptico, consta de 3 cámaras que detectan la posición del usuario a través de unas marcas reflectantes colocadas en partes específicas de su cuerpo (tobillos, muñecas, hombros o cabeza en función de la tarea a realizar) y la transfieren al escenario virtual. Además, BioTrak cuenta con un módulo de gestión de pacientes que permite al terapeuta registrar nuevos usuarios, configurar sesiones de trabajo específicas para cada uno de ellos y comprobar su evolución a través de los resultados obtenidos. El módulo de rehabilitación del equilibrio mediante alcances de BioTrak sumerge al paciente en un escenario virtual 3D donde debe realizar una serie de movimientos para alcanzar los ítems que van apareciendo a su alrededor. El ejercicio usa una vista en tercera persona, lo que permite al usuario identificar de forma precisa su posición y los movimientos que está realizando. Con el fin de facilitar la comprensión de la tarea y la sensación de presencia en el mundo virtual, el entorno y el avatar son simples y fáciles de seguir, incluso por pacientes que puedan presentar problemas cognitivos subyacentes.

El software del sistema permite que las sesiones de entrenamiento puedan definirse de forma específica para cada usuario seleccionando diferentes ejercicios y configurando su duración, así como el tiempo de descanso y el número de repeticiones.



- **EVREST** [30]

(Efectividad de Ejercicios de Realidad Virtual en Rehabilitación de Accidente Cerebrovascular (Stroke)), por sus siglas en inglés (Effectiveness of Virtual Reality Exercises in Stroke Rehabilitation).

El EVREST es el primero estudio aleatorio sencillo con dos grupos paralelos a comparar sistemáticamente la influencia de la realidad virtual mediante Nintendo Wii y tecnología de juegos (VRWii), frente a la terapia ocupacional en la función motora de la extremidad superior entre los pacientes que experimentaron un accidente cerebrovascular dentro de 10 a 60 días antes de la inscripción, EVREST es un prueba piloto para evaluar la viabilidad y la seguridad de la amplia disponibilidad de sistemas de juegos Wii para los pacientes que recibieron la rehabilitación.

#### **Descripción tecnología Wii**

Nintendo Wii introdujo un nuevo estilo de realidad virtual (2005) mediante el uso de un mando inalámbrico que interactúa con el jugador a través de un sistema de detección de movimiento y la representación del avatar en vídeo. Los controladores utilizan sensores de aceleración embebida que pueden responder a los cambios de dirección, velocidad, y aceleración para habilitar la muñeca, brazo y movimientos de la mano del participante para interactuar con los juegos. Un sensor, montado en la parte superior de un televisor, capta y reproduce en la pantalla del movimiento del controlador interpretada por los participantes.

La retroalimentación proporcionada por la pantalla de TV genera un refuerzo positivo, lo que facilita la formación y la mejora de tareas. Los gráficos simples y posibilidad de reducir la velocidad que sea utilizable para los pacientes con deterioro cognitivo.

- Cuadro comparativo Software de Rehabilitación Virtual

<b>Sistema</b>	<b>Hardware</b>	<b>Software</b>	<b>No. Cámaras</b>
<b>RehabMaster</b>	- <b>Sensor de movimiento:</b> Microsoft Kinect	- <b>Sensor compatible con:</b> Microsoft SDK OpenNI - <b>Plataforma:</b> Windows	1
<b>Octopus</b>	- <b>Sensor de movimiento:</b> Qualisys AB - <b>Gafas 3D:</b> RealD Profesional CrystalEyes 5	- <b>Escenario de juego:</b> WorldViz Vizard - <b>Animación 3D:</b> Maya, Versión 7.0.1; Autodesk	6
<b>Gesture Therapy</b>	- <b>Sensor de movimiento:</b> Webcam	- <b>Motor:</b> Torque - <b>Base de datos:</b> Relacional, MySQL - <b>Lenguajes de programación:</b> C++/c#/Java	1
<b>VirtualRehab</b>	- <b>Sensor de movimiento:</b> Microsoft Kinect	- <b>Sensor compatible con:</b> Microsoft SDK OpenNI - <b>Plataforma:</b> Windows	1
<b>Biotrack</b>	- <b>Sensor de movimiento:</b> Como el que utiliza Kinect - <b>Ordenador de sobremesa</b>	Basado en Tecnologías de Realidad Virtual. <b>No especificada</b>	3
<b>EVREST</b>	- <b>Sensor de movimiento:</b> Tecnología Wii	Tecnología Wii	1

## VIII. MODELOS ARQUITECTURAS DE SOFTWARE CONSULTADOS

A continuación se muestran algunos modelos de arquitecturas de Software consultados, para de esta manera hacer la unificación y realizar la propuesta de arquitectura definitiva para una aplicación de Realidad Virtual para la rehabilitación de enfermedades neuro-musculares.

- **InTrainer: Sistema de rehabilitación cardiaca aumentado por realidad virtual** [31]

- **Introducción**

InTrainer es un proyecto orientado al ámbito médico, más específicamente para ser usado en el área de rehabilitación cardiaca de un hospital, que permite a los pacientes involucrarse en un mundo virtual para realizar sus tareas de entrenamiento físico, mientras son monitoreados por un sistema de adquisición de información biomédica capaz de reaccionar y actuar dependiendo de los datos de entrada. Utiliza herramientas con tecnología de punta para la creación de toda una experiencia que captive y capte la atención de los pacientes, concentrándolos en metas de corto plazo a nivel de desempeño y con mensajes e interacción adecuada para la generación de dinámica de grupo y trabajo en equipo. La información obtenida de los sensores es procesada para modificar la experiencia de forma interactiva y constante, adaptándose y mostrando comportamientos que reflejan la situación actual del paciente. Adicionalmente se generan archivos de log para su posterior estudio detallado cada vez que se participa de una experiencia virtual.

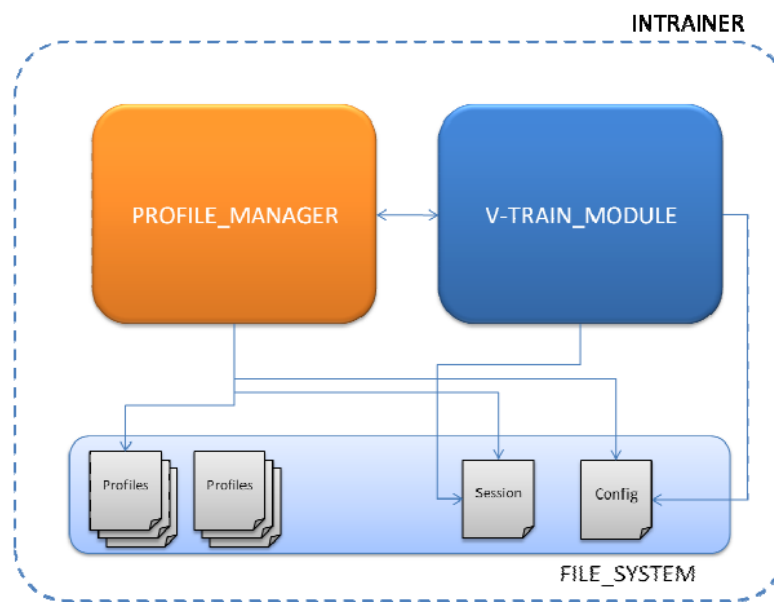
- **Arquitectura de Software**

De manera global la solución estará constituida por dos grandes módulos independientes: El primero de ellos es un sistema encargado de manejar la información del perfil de cada paciente denominado Profile Manager (PM) y el segundo de ellos se llama Virtual Train Module (VTM) y será el responsable de crear las sesiones de entrenamiento en el mundo virtual según la información que el PM suministre.

El módulo PM está en capacidad de acceder a cada uno de los perfiles creados, permitiendo así su visualización, creación, edición y eliminación. Dado que el manejo de este tipo de información requiere una interface visual rica y elaborada con el objeto de que su usabilidad sea alta, las

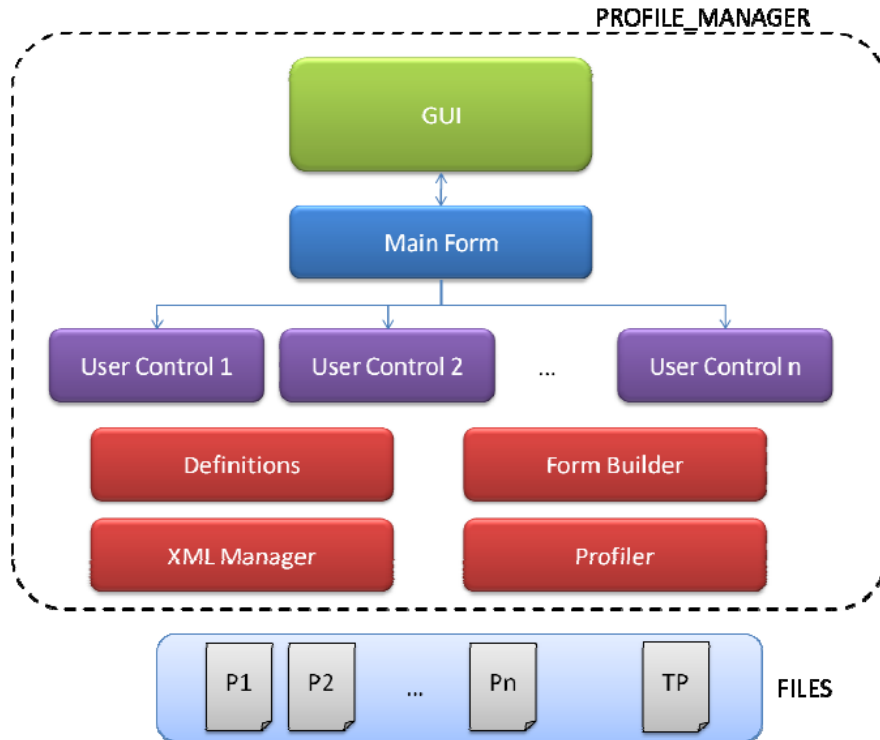
características que ofrecía Unity a nivel de GUI y manejo de formularios no eran suficientes y la tarea de transmitir la información de forma adecuada al usuario se vería comprometida. Por esto se opta por usar Windows Forms y realizar las labores de acceso a archivos a través de C# en una sección completamente independiente.

En éste módulo el usuario realiza la carga de perfiles que usará en el entrenamiento. Si es necesario realizar algún ajuste de parámetros tendrá las opciones para hacerlo de forma sencilla. La tarea principal del PM consiste en permitir la administración de la información que soporta el sistema, de modo que tanto el usuario como el módulo VTM sean capaces de acceder de forma correcta y conveniente a los datos.



- **Profile Manager (PM)**

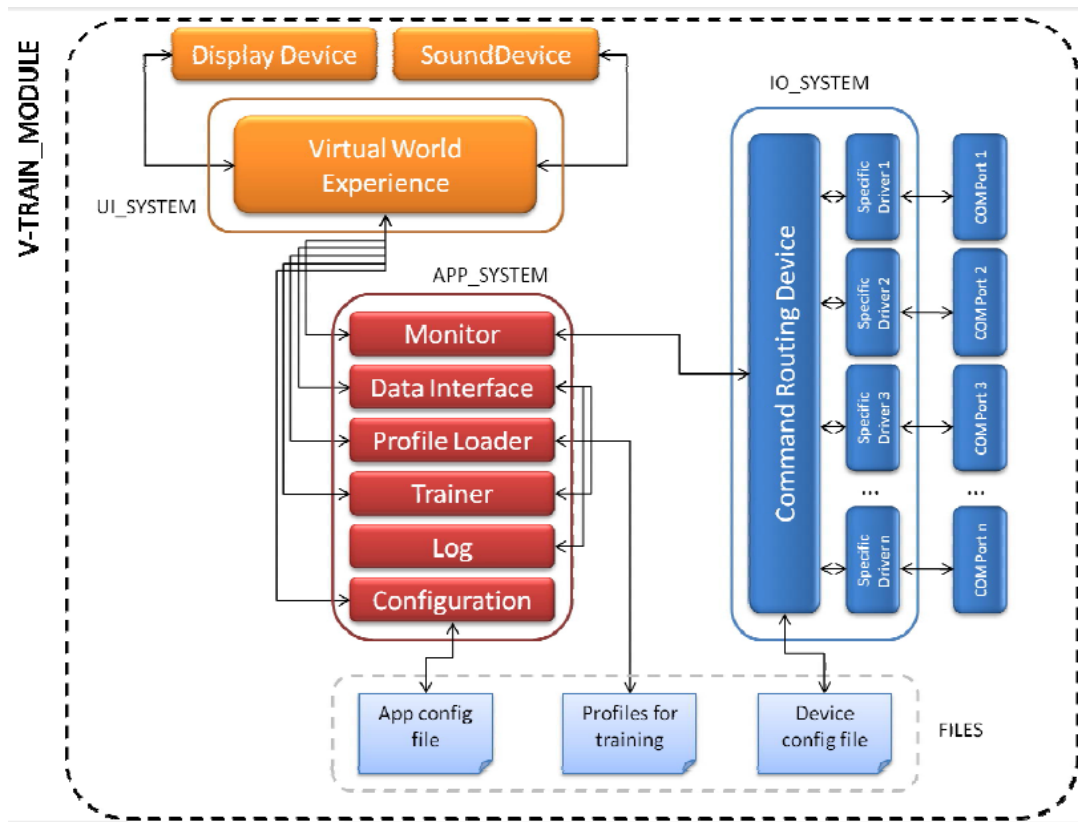
Este módulo como se ha mencionado anteriormente está a cargo de gestionar toda la información de la aplicación. A nivel estructural se compone de una interfaz gráfica de usuario, que es gestionada por el sub módulo Main Form. Dependiendo de las acciones que el usuario realice, se llamarán controles diseñados para ser mostrados por medio de Main Form que contendrán funcionalidades específicas. Los controles de usuario tendrán a su disposición diversas clases que les otorgarán las capacidades básicas necesarias para su operación.



- **Virtual Train Module (VTM)**

VTM se encarga de crear la experiencia de entrenamiento mediante el uso de un mundo virtual. En éste existirá un recorrido previamente definido en el cual, el usuario o grupo de usuarios irán avanzando a medida que se desarrolla su entrenamiento mostrando información relevante en relación con su desempeño.

Se distinguen tres sub módulos principales en su arquitectura UI System que es el encargado de hacer interface con el usuario y mostrar como tal la aplicación, App System donde reside la lógica de los procesos que se llevan a cabo y por último IO es una sección específica dedicada a controlar dispositivos por puerto serie y protocolo RS-232.



- **Arquitectura interoperable de tele-rehabilitación domiciliaria** [32]

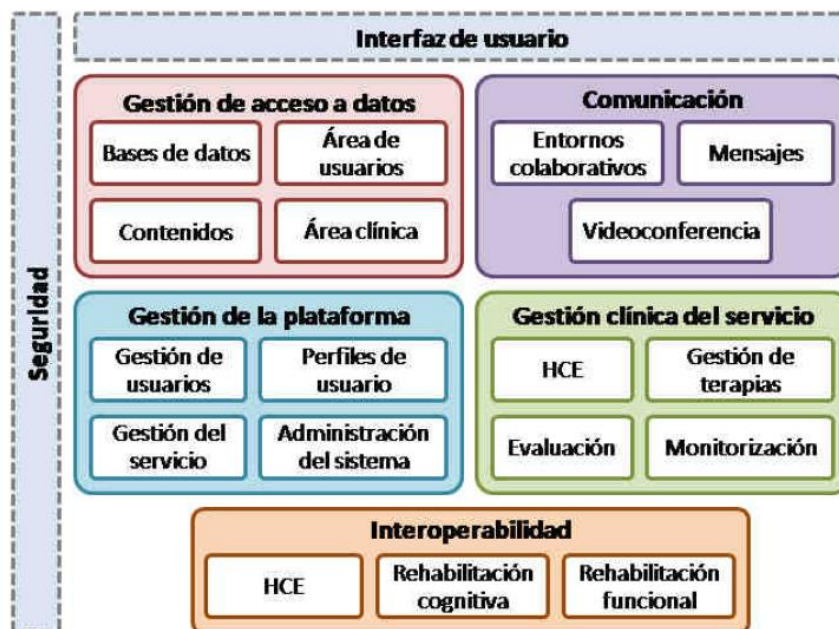
- **Introducción**

La arquitectura de tele-rehabilitación aquí presentada ofrece funcionalidades que permiten a los profesionales médicos gestionar y evaluar las sesiones de rehabilitación realizadas por los pacientes en un entorno domiciliario, además de ofrecer los medios de comunicación necesarios para realizar un seguimiento adecuado de las terapias. Habilis, la plataforma de tele-rehabilitación desarrollada bajo esta arquitectura, es una plataforma abierta y distribuida, que integra distintos módulos funcionales bajo una interfaz de usuario diseñada teniendo en cuenta los criterios de usabilidad específicos para pacientes con alguna discapacidad de origen neurológico. El trabajo también muestra las capacidades de interoperabilidad de la arquitectura mediante su integración con Previrrec, un sistema existente de rehabilitación cognitiva.

○ **Arquitectura de Software**

La arquitectura interoperable de tele-rehabilitación y tele-asistencia presentada en este trabajo está basada en tecnologías web 2.0, dividiéndose en cinco módulos principales.

Estos cinco módulos agrupan funcionalidades relacionadas entre sí, compartiendo todos ellos la interfaz de usuario (que será personalizada dependiendo del rol de cada usuario). Hay que tener en cuenta que la seguridad en este tipo de sistemas es un aspecto crítico, debido a que se maneja información confidencial de los pacientes, por lo que todas las conexiones se realizarán de manera segura. Para ello, se define un módulo de nivel superior que se encarga desde la gestión de claves al registro de accesos, que permite reproducir todas las acciones llevadas a cabo por los usuarios y realizar auditorías cuando así sea requerido.



A continuación, se describe cada uno de los cinco módulos principales más en detalle:

1. **Gestión de acceso a datos:** este módulo controla el acceso a los datos relativos a las diferentes áreas, así como la gestión de los diferentes contenidos terapéuticos y el control de acceso a las bases de datos.
2. **Comunicación:** es el módulo encargado de ofrecer servicios de comunicación entre los usuarios, asíncrona (mensajes) y síncrona (videoconferencia). Además, se define una plataforma web, formada por

áreas tanto públicas como privadas, que proporciona herramientas para compartir información entre comunidades virtuales. Esta plataforma también se utiliza para llevar a cabo la diseminación de las distintas actividades relacionadas con la estandarización de protocolos de rehabilitación y difusión del conocimiento.

3. Gestión de la plataforma: consiste en la gestión del servicio desde la perspectiva clínica y contiene a su vez cuatro módulos: 1) gestión de usuarios; 2) gestión del servicio; 3) perfiles de usuario; 4) administración del sistema.

4. Gestión clínica del servicio: es el módulo a través del cual se proporciona el tratamiento específico de tele-rehabilitación al paciente, permitiendo la planificación de sesiones y la evaluación de los resultados por parte de los terapeutas, así como la gestión de la HCE relativa a los pacientes.

5. Interoperabilidad: gestiona el flujo de información entre los sistemas informáticos del centro clínico y las diferentes plataformas de rehabilitación integradas.

La implementación y desarrollo de la plataforma se ha realizado con una filosofía de utilización de software y tecnologías de libre distribución. El entorno de desarrollo elegido es JAVA, siguiendo un patrón de diseño Modelo Vista Controlador (MVC), basado en la separación, en tres capas, de los componentes con distintas responsabilidades que forman la aplicación, como la gestión de las peticiones de usuario y la capa de presentación.

Para la gestión de la base de datos se ha utilizado MySQL, que aporta muchas ventajas al tratarse de un sistema relacional, multi-hilo y multi-usuario.

- **Un Framework para la Rehabilitación Física en Miembros Superiores con Realidad Virtual** <sup>[33]</sup>

- **Introducción**

En este trabajo se presenta un Framework para la rehabilitación física para miembros superiores en pacientes entre 6 y 12 años de edad basado en realidad virtual. Nuestra propuesta se fundamenta en la creación de una arquitectura de hardware y software, donde se ejecutan un conjunto de videojuegos que inducen actividades físicas particulares, y a la provisión de cambios neuronales mediante el empleo de la acción/observación. Además, se procura la captura de la atención del paciente empleando contenido

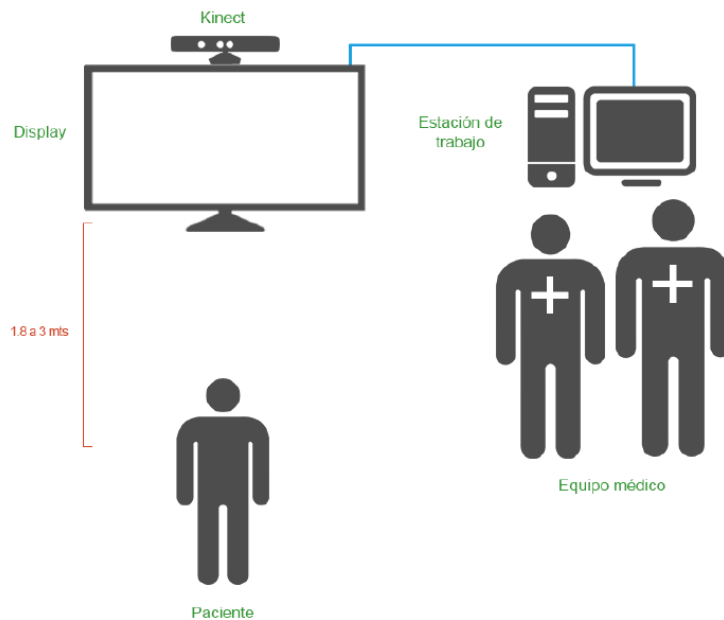


dinámico y entretenido de forma interactiva. El Framework fue diseñado en conjunto con personal especializado en terapia de rehabilitación.

### ○ **Arquitectura de Software**

Nuestra propuesta se basa en una arquitectura de hardware y software para la rehabilitación física de miembros superiores empleando realidad virtual que satisfaga un conjunto de requerimientos tales como, fácil de usar por el personal médico, intuitivo y natural para el paciente, factible y seguro para el paciente, además de *bajo costo* y *fácil de reproducir en instalaciones hospitalarias o el hogar*. Nuestra propuesta ataca las actividades terapéuticas enfocadas en los miembros superiores.

La arquitectura de hardware propuesta consiste en una estación de trabajo con una PC convencional, un Kinect y un monitor LCD (display).



El dispositivo Kinect, detecta la posición del paciente, dotando al sistema de la capacidad de reconocimiento y reacción en función a la movilidad y gestos ejecutados por parte del mismo. El paciente se debe ubicar a una distancia de 1.8 m a 3 m del receptor Kinect. Inicialmente el sistema realiza una calibración para determinar la posición y alcance de movimiento con los miembros superiores del paciente.

La arquitectura de software propuesta está conformada por dos componentes principales: uno dirigido al personal médico y, otro a los pacientes. El primero de estos se encarga de la gestión administrativa del

sistema, incluyendo el control de pacientes, sesiones y parámetros de los videojuegos. El segundo, está dedicado al despliegue del contenido gráfico con el que interactúan los pacientes, mostrando la ejecución de cada uno de los videojuegos.

- **Componentes de la arquitectura**

El componente desarrollado para el personal médico se muestra como una interfaz simple, intuitiva y fácil de usar. Ésta permite navegar e iniciar cada una de las opciones que el sistema provee. Se muestran los cuatro módulos que



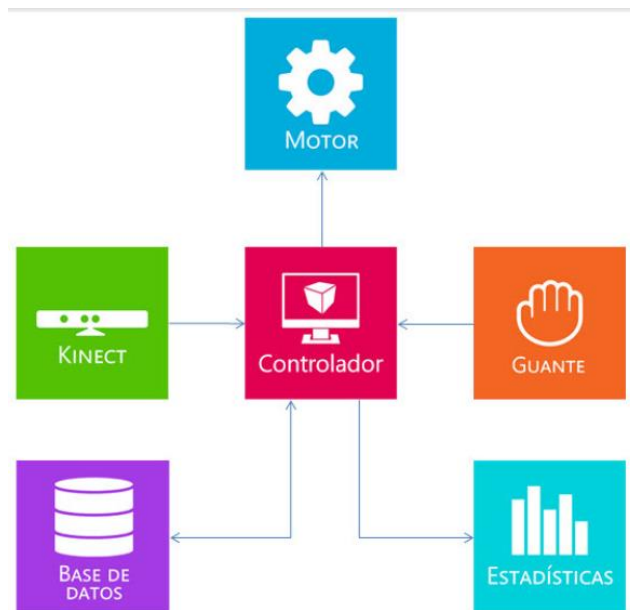
forman este componente.

El primero de ellos consiste en la **Gestión-Paciente**, donde se muestra las opciones asociadas a la gestión de pacientes en la base de datos del sistema, que consiste en añadir a un nuevo paciente para realizar una terapia con el sistema, eliminar e incluso actualizar los datos de un registro. El módulo de **Calibración** incluye las opciones relativas a la activación de los métodos de calibración para el Kinect que consiste en determinar los rangos

de alcance motor de un paciente. Luego, el módulo de **Mi Perfil** permite dar inicio a la sesión de un paciente y visualizar las estadísticas asociadas a su historial de rehabilitación durante un tiempo determinado. Por último, el módulo **Juegos** maneja la selección de videojuegos y parámetros como el tiempo y la dificultad, antes del inicio de cada uno.

- **Estructura del Framework**

La estructura del Framework desarrollado se representa en módulos funcionales.



### 1) **Controlador**

Este módulo constituye el núcleo del sistema, donde se encuentra las interfaces de programación definidas por el Framework. Un videojuego se desarrolla bajo un API que permite su interacción y definición para el Framework. Al mismo tiempo, el Controlador maneja la interacción de los otros módulos cada vez que sucede un evento que cambie entre los estados activo, pausado y cancelado.

### 2) **Motor**

El módulo de Motor agiliza y facilita la creación de los videojuegos o actividades terapéuticas al controlar los procedimientos necesarios para el despliegue gráfico. Así, es posible agrupar sus funcionalidades en: carga de modelos 3D y escenas complejas, gestor de animaciones y de iluminación.

La carga de modelos 3D realiza las operaciones requeridas para la lectura desde un archivo y el despliegue de un modelo 3D poligonal. Del mismo modo, la carga de escenas complejas, permite obtener el contenido general de una escena compleja formada por diversos modelos 3D. Particularmente, para nuestra propuesta se desarrolló un formato de escena basado en el uso de XML (Extensible Markup Language).

### **3) Guante**

Nuestro Framework está diseñado para el uso de actividades (videojuegos) empleando un guante virtual de datos para la captura del movimiento de los dedos y muñeca para el tratamiento de la motricidad fina.

El guante desarrollado por Temoche se considera para ser integrado de forma funcional y sencilla a nuestro Framework dado su simple interfaz de comunicación. Así, este módulo realiza la captura y tratamiento de imágenes desde una cámara web, a fin de detectar los datos necesarios para la interpretación de la movilidad de la mano.

### **4) Kinect**

Este hardware de bajo costo se emplea como medio de captura de movimientos de gran extensión, procurando la ejercitación de la motricidad gruesa. Con este dispositivo se aprovecha la versatilidad de la realidad virtual no-inmersiva en cuanto a la capacidad de aumentar la retroalimentación de acción-observación y así promover la activación cerebral a partir de las neuronas espejo. Nuestra solución dispone de un conjunto de videojuegos desarrollados exclusivamente para el ejercicio de terapias de rehabilitación, garantizando la especificidad de la ejercitación, la repetición y el entrenamiento cognitivo viso-espacial, aspectos que resultan fundamentales en métodos de reentrenamiento.

Igualmente, se implementan metodologías de calibración de hardware a fin de ajustar el funcionamiento de los videojuegos del sistema a las capacidades específicas de cada paciente, permitiendo que la dinámica de la rehabilitación se ajuste a los rangos alcanzables de movilidad de cada paciente.

Así, se despliegan gráficas analíticas con las cuales resulta posible establecer un seguimiento relativo a la evolución del paciente con respecto a la terapia. Además durante la ejecución de cada juego, se muestran gráficos que permiten al médico tratante evaluar el comportamiento del paciente.

Para evaluar el estado y evolución del paciente en el transcurso del tiempo, se cuenta con un conjunto de metodologías que permite la generación automática de gráficos estadísticos: general, tiempo real e histórico.

Los gráficos generales constituyen estadísticas acumulativas con las que es posible evaluar el estado actual del paciente tomando en cuenta su actuación en el sistema. Los de tiempo real resultan de evaluaciones de la movilidad cuando realiza una sesión de rehabilitación empleando algunos de los videojuegos.

Este tipo de gráficos se visualizan en tiempo de ejecución del videojuego. Por último, el histórico muestra de la actuación del paciente en cada sesión, permitiendo la evaluación de la evolución del mismo.

## **5) Base de Datos**

El módulo manejador de base de datos es el encargado de gestionar todas las operaciones que requieren el acceso a la base de datos del sistema. Permite el registro, inicio de sesión y obtención de datos de un paciente previamente registrado, actualización y eliminación de un paciente. En nuestra propuesta, se emplea SQLite.

- **Plataforma de rehabilitación**

El Framework desarrollado sobre la plataforma de rehabilitación creada ha sido implementado bajo Windows 7, con el lenguaje de programación C#, el lenguaje de shading HLSL (High-Level Shader Language) y el IDE para desarrollo Microsoft Visual Studio 2010. Además se emplea el Framework XNA en su versión 4.0. Adicionalmente se emplea un conjunto de herramientas de software como librerías y programas con los que se agilizan partes del desarrollo.

- **Xilófono virtual con Kinect** <sup>[34]</sup>

- **Introducción**

El objetivo es desarrollar una aplicación para que niños puedan tener un primer acercamiento al mundo de la creación musical y la tecnología, a través del entretenimiento. La aplicación consiste en una interfaz gráfica que permite que de un usuario interactúen con un xilófono virtual. A través de movimientos de mano capturados por el dispositivo Kinect, el sistema reconoce las teclas presionadas y genera como salida un sonido y un cambio de tonalidad de la tecla.

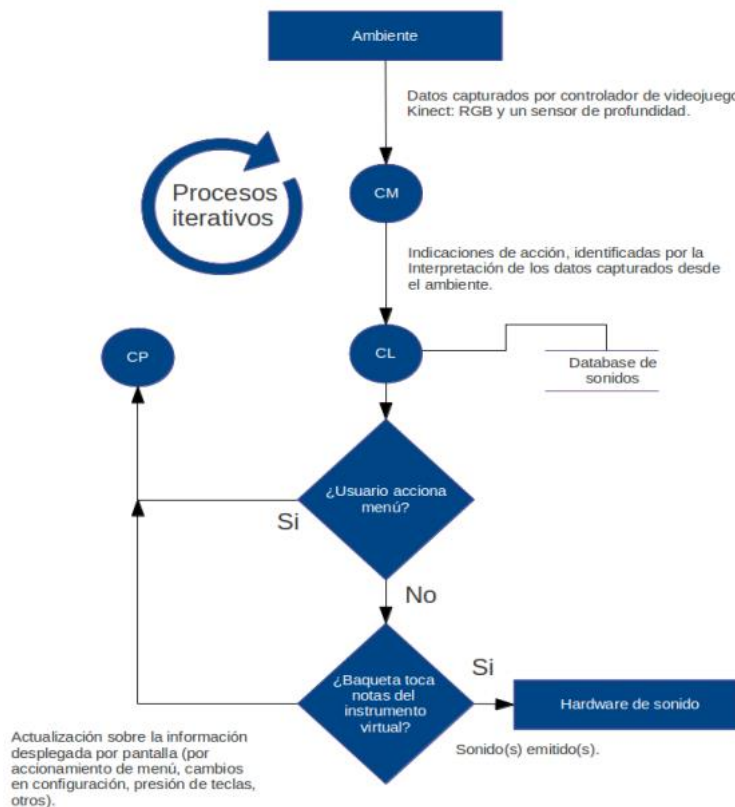
Más precisamente, el sistema es una aplicación que se compone de una interfaz gráfica y que permite que los movimientos de un usuario interactúen con un xilófono virtual. A través de movimientos de mano capturados por el dispositivo Kinect, el sistema reconoce las teclas presionadas y genera como salida un sonido y un cambio de tonalidad de la tecla.

### o **Arquitectura del sistema**

Con el sistema Kinect en mente, se necesita el siguiente software para el correcto desarrollo del proyecto:

- OpenFrameWork para Windows.
- Windows 7 Professional.
- Microsoft Visual Studio 2010 (cualquier versión).
- Software Development Kit para Windows 7.
- Microsoft .NET Framework 4.0.
- Software Development Kit de Kinect para Windows.

La siguiente figura muestra los módulos del sistema y los principales flujos de información. Los módulos aparecen indicados con su nombre corto o abreviatura.



- **Descripción de Módulos**

Las siguientes son las componentes descritas. Por cada componente se entrega un breve párrafo descriptivo de su función y sus interacciones con otras componentes y con el medio.

### **Módulo 1: Capa Presentación (CP)**

Esta capa resuelve la presentación de datos. Es decir, se encarga de "generar" las pantallas de la aplicación. Consiste en dibujar: Las teclas del Xilófono, la baqueta y el menú.

La presentación de la aplicación involucra dibujar el xilófono de manera tal que éste se visualice desde la perspectiva de quien toca el instrumento y dando la sensación de profundidad, para simular como se ve en la realidad. La forma en que se simula la presión de las teclas consiste en observar en la pantalla una baqueta en la parte inferior de ésta, nuevamente con la misma perspectiva, que tendrá su único extremo visible posicionado encima de las teclas.

El diseño del menú se realizará en otra pantalla.

### **Módulo 2: Captura de movimiento (CM)**

Esta capa contiene los algoritmos que interpretan los movimientos específicos capturados por la Kinect que realizarán una determinada acción.

En este módulo se reciben los movimientos de las manos desde Kinect para luego interpretar estos movimientos, de manera de identificar qué acción quiere ejecutar el usuario. La salida de este módulo entrega el evento a realizar por la capa lógica.

### **Módulo 3: Capa Lógica (CL)**

Esta capa contiene los algoritmos, validaciones y coordinación necesaria para ejecutar la respuesta de los eventos. Entre ellos, como respuesta a la captura de movimiento se tendrá:

1. Reproducción de sonidos de las teclas.

2. Cambio de tonalidad de las teclas.
3. Acceso al menú y sus opciones.
4. Actualización de la posición de la baqueta.

Esta capa recibe como entrada lo que entrega el módulo 2, ya que los gatilladores de la capa lógica son generados por los algoritmos de reconocimiento de movimientos. Además la salida de este módulo es entregada al módulo 1, que se encarga de dibujar todos los elementos en la aplicación.

- **Gesture Therapy** <sup>[35]</sup>

- **Introducción**

Anteriormente ya se mencionó como se desarrolla este sistema, los estudios realizados y los resultados correspondientes obtenidos. Nos enfocaremos en los módulos y la arquitectura del sistema.

- **Modulos**

### **Hardware**

Abarca la plataforma de hardware que incorpora una PC, una cámara web y la empuñadura.

### **Visual Tracking**

El bit de software responsable para el seguimiento de la empuñadura, delegación de los movimientos del brazo. El algoritmo básico basado en los filtros de partículas.

### **Simulación de Medio**

Ambiente el encargado de presentar el juego y la interacción con el usuario

### **Detector de Compensación del tronco**

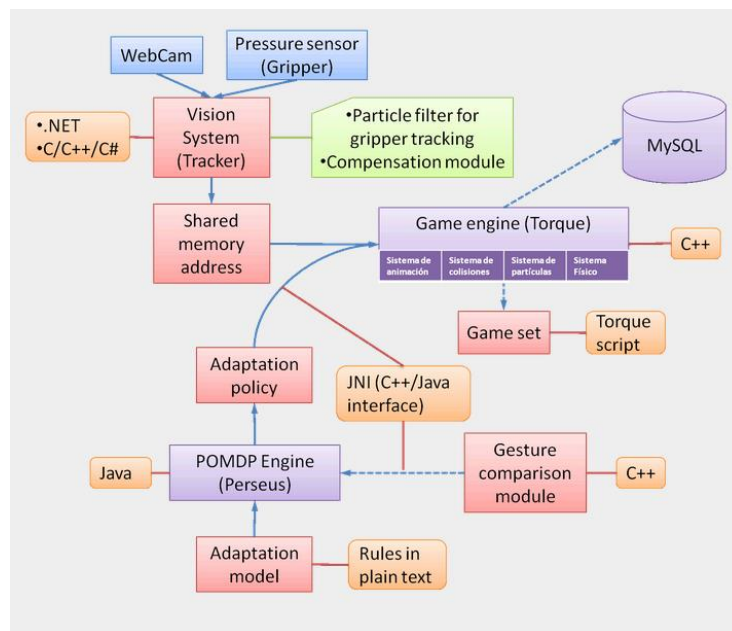


Permite la detección de los movimientos de compensación del tronco mediante el seguimiento de la cabeza del usuario. Después se produce movimiento de compensación tronco, el sistema puede proporcionar una alarma o bloquear el juego.

### Sistema de adaptación

Capaz de ajustar el espacio 3D en el que se produce el ejercicio de Adaptación. Permite ajustar la dificultad de la tarea y dar retroalimentación al usuario.

#### o Arquitectura del sistema



Un PostgreSQL soporta las capacidades de usuario de perfiles. La base de datos permite el seguimiento de la actividad del usuario. Desde el punto de vista del paciente hace un seguimiento de tiempos gastado en la terapia, y en cada juego en particular de forma individual. Mantiene además un registro de las huellas del avatar del usuario en todo momento y registra las marcas de tiempo y actuaciones asociadas.

Las terapias pueden ser entregadas siguiendo la selección de juegos dados por el terapeuta o un plan de pre-dictado. El terapeuta puede añadir anotaciones clínicas para cada sesión jugado por el paciente.

#### **IV. PROPUESTA ARQUITECTURA DE SOFTWARE**

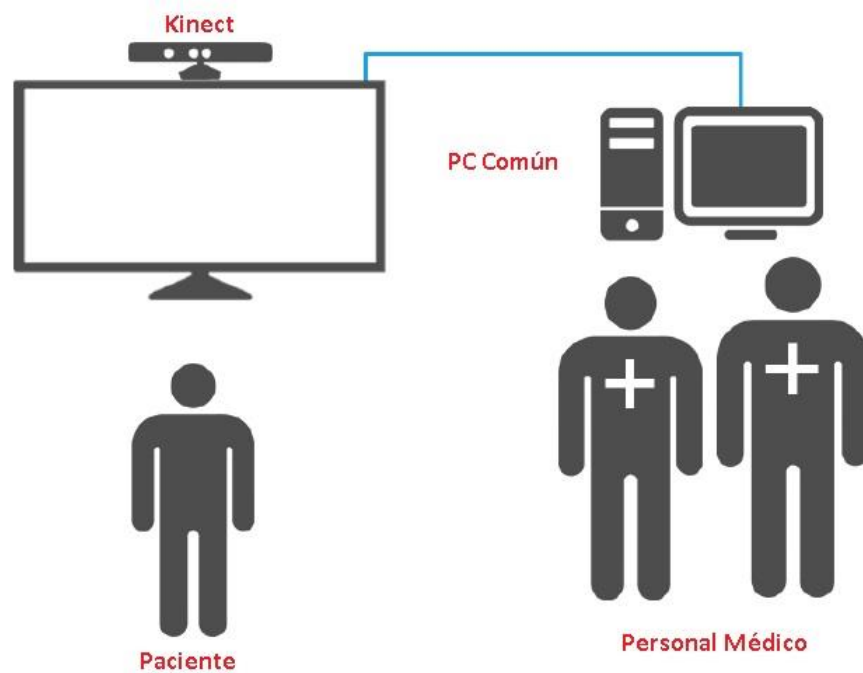
Entendiendo las dificultades que traen estas enfermedades en la vida de los pacientes con alguna de las enfermedades neuro-musculares mencionadas en el estado del arte y como el tratamiento más efectivo para estas, es la rehabilitación para frenar los síntomas producidos. Realizada de igual forma la investigación acerca de las aplicaciones existentes acerca de Realidad Virtual para rehabilitación, al igual que las arquitecturas de Software de muchas de ellas, se continuó con la propuesta de arquitectura de Software que soporte una aplicación de Realidad Virtual para la rehabilitación de enfermedades neuro-musculares.

- **Esquema general**

A continuación se describen varias de las razones para la elaboración de la propuesta de la arquitectura de software, donde se decide elegir el **Kinect** como herramienta para la captura de los movimientos y se descartan otros sensores de movimientos más complejos y de mayor costo:

- **Comodidad:** La propuesta está pensado en una fácil implementación, ya sea en una institución prestadora de salud (IPS) o en cualquier lugar donde está alojado el paciente que necesita la rehabilitación para tratar la enfermedad neuro-muscular, pensando en la dificultad que poseen los pacientes para desplazarse.

- **Precio:** El precio del Kinect oscila alrededor de los \$150.000 pesos en el mercado colombiano, lo que lo hace accesible a los pacientes y a los centros de salud que deseen implementar el sistema, si es comparado con otras tecnologías de captura de movimiento para la Realidad Virtual existentes actualmente, donde además de contar con mayor número de cámaras, lo que incrementa significativamente el precio, lo hace menos eficiente al requerir más espacio para su implementación.
- **Tiempo:** Muy ligado a la comodidad de los pacientes, si el sistema se encuentra alojado en la residencia del paciente.
- **Objetividad:** Al tener el registro de las actividades de los pacientes y los reportes generados se puede hacer una evaluación y un seguimiento completo del paciente a través de las diferentes sesiones de rehabilitación.
- **Movilidad:** Esto permite tener toda la información pertinente (historia clínica, información del paciente, registros, etcétera) a disposición en cualquier momento.



- **Atributos de calidad**

- **Seguridad:** Propiedad del sistema contra el acceso, modificación o destrucción no autorizada de información, donde se incluyen otros atributos de calidad como la disponibilidad, integridad y confidencialidad de la información de los pacientes: Historias clínicas, resultados, estadísticas, etcétera.

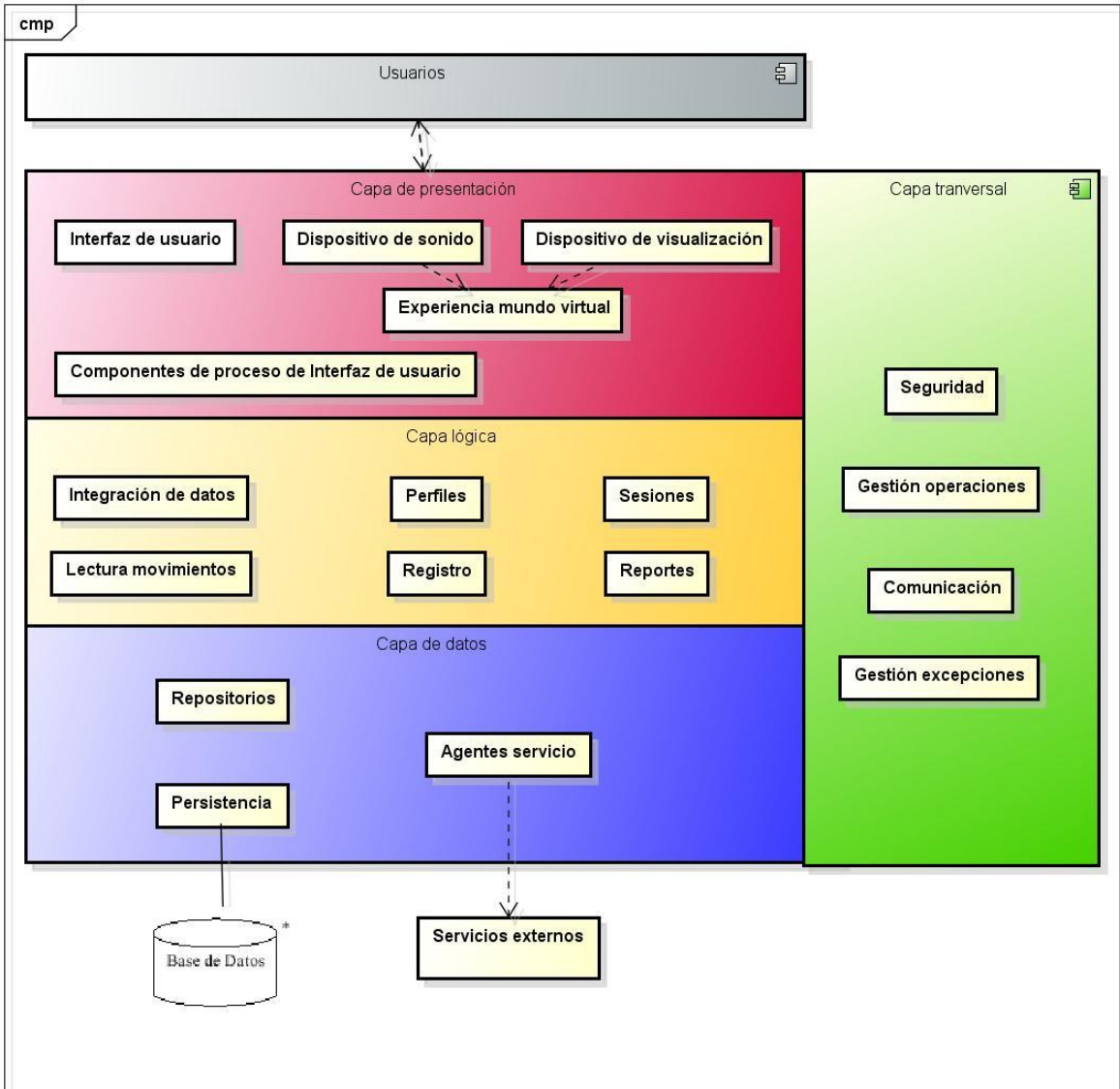
En el diseño de la arquitectura se muestra la seguridad en una capa transversal, donde se muestra que la seguridad del sistema, debe estar presente en todas las demás capas del sistema (presentación, lógica, datos).

- **Confiabilidad:** El sistema debe estar en la capacidad del sistema para soportar fallos en sus componentes.
- **Facilidad de uso:** Aprender cómo utilizar el sistema de una forma sencilla por parte del personal médico que será el encargado de manejar el sistema y la configuración de las terapias de rehabilitación de acuerdo a cada paciente.
- **Eficiencia:** El sistema debe utilizar los recursos adecuados para que el sistema cumpla en la totalidad su funcionalidad.
- **Desempeño:** El sistema debe cumplir con las funciones dentro de las restricciones dadas tales como velocidad, exactitud, uso de memoria, tiempos de respuesta.

- **Diagrama de la propuesta de la arquitectura de software**

Se elige el Estilo por Capas (Layered Style) para la elaboración de la propuesta de arquitectura mostrada en el libro “Documenting Software Architectures” [36]

El sistema está dividido principalmente en 4 capas: La capa de presentación, encargado de la interacción con la aplicación por parte del usuario. La capa lógica, encargada de implementar la funcionalidad básica del sistema. La capa de datos, proporciona acceso a los datos. Finalmente la capa transversal, implementa tipos específicos de funcionalidad que se puede acceder a través de los componentes de cualquier otra capa.



## ○ Capa de presentación



**Propósito:** Se encarga de dibujar las pantallas de la aplicación, es la interfaz gráfica con la que va a interactuar el usuario.

- Está encargada de mostrar los formularios correspondientes para manejar la información de los pacientes, la opción para de acuerdo a la información anterior configurar la complejidad de la terapia, así como de mostrar correctamente en el monitor el mundo virtual con la información del paciente de forma conveniente.
- El dispositivo de visualización permite controlar diversas tareas imprescindibles para las actividades terapéuticas en la aplicación como el uso de física en los objetos, oclusión, efectos especiales, carga de modelos 3D y escenas complejas, gestor de animaciones y de iluminación.
- El dispositivo de sonido se encarga de disponer la posibilidad de agregar sonido y otros elementos dentro del mismo paquete.

**Alcance:** Esta capa recibe la salida de la capa lógica, que corresponde a los objetos que debe modificar debido a eventos que ocurran durante la ejecución del programa por parte del usuario. Principalmente, se encarga de realizar la instrucción recibida que concierne a la presentación.

**Dependencias:** Es necesario que la salida de la capa lógica sea correcta para que en pantalla se visualice la respuestas correspondientes a las acciones que el usuario está realizando.

**Restricciones:** Para la realización de la Interfaz gráfica se utiliza **Openframework** para Windows, **Microsoft Visual Studio**, bajo la plataforma **Windows 7 Professional**. Se tomó la decisión de elegir de acuerdo a la arquitectura consultada anteriormente "Xilófono virtual con Kinect"

## ○ Capa lógica



**Propósito:** Como su nombre lo indica es la capa que se encarga de manejar y administrar la parte lógica de la aplicación. Maneja la entrada y salida de datos.

- Ejecutar los algoritmos, validaciones debido a eventos de movimientos, acceso al menú y sus opciones.
- Implementar los algoritmos que interpretan los movimientos específicos capturados por la Kinect que realizarán una determinada acción.
- Realizar la integración de la información de los pacientes con el sistema.
- Administrar toda la información de los pacientes: Los datos de los perfiles para poder realizar su creación, si ya se encuentra creado realizar modificación o eliminación. Consultar la información de la historia clínica del paciente, etcétera.
- Gestionar las sesiones de cada uno de los pacientes, de la misma manera mantener el registro de toda la información pertinente en cada una de estas sesiones.
- Una de las partes más importantes de la aplicación y una de las informaciones verdaderamente importante para el personal médico, como son la generación de reportes: Gráficos, estadísticas, tablas; con el fin de realizar una adecuada evaluación y seguimiento del paciente.

**Alcance:** Esta capa recibe como entrada lo que entrega la capa de datos, toda la información que se encuentra en la base de datos. Además la salida de esta capa es entregada a la capa de presentación que se encarga de dibujar todos los elementos en la aplicación.

**Dependencias:** Interpreta los movimientos hechos por el usuario, pero es la capa la que interactúa y por lo tanto tiene dependencia directa con la Kinect. Depende del correcto funcionamiento de las capas de presentación y de la capa de datos para el procesamiento de la información.

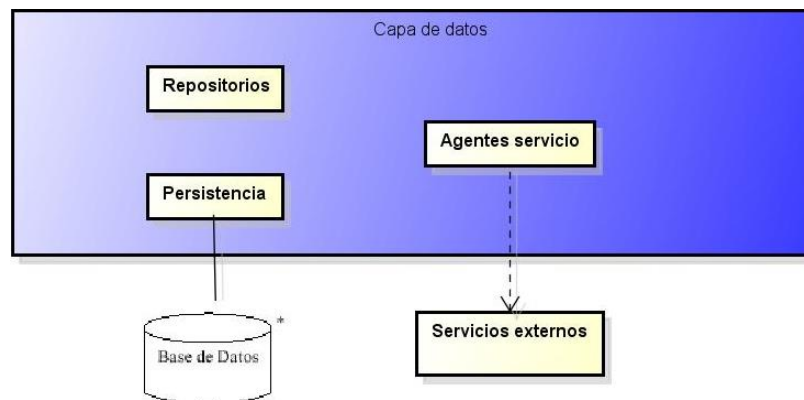
**Restricciones:** Esta capa limita la ejecución de la aplicación en un PC con Windows 7 Professional debido a la implementación del sistema SDK de Kinect, un sistema bastante accesible y fácil de implementar para la propuesta que se quiere realizar. Al ser el lenguaje más utilizado para este tipo de

aplicaciones en Realidad Virtual, se decide escoger el lenguaje de programación C(C++, C#).

Kinect para Windows SDK Disponible en:

<http://msdn.microsoft.com/enus/library/hh855347.aspx>. Consultado el 12 de Diciembre del 2012)

### ○ Capa de datos



**Propósito:** Se encarga de la persistencia de los datos, es decir, preservar la información de forma permanente (guardar), pero a su vez también se refiere a poder recuperar la información del mismo (leer).

- Guardar la información creada en cada una de las nuevas sesiones.
- Gestionar la creación, modificación o eliminación de algún perfil, de la misma manera realizar la lectura de estos datos.
- Guardar y leer el registro de lo realizado en cada una de las sesiones, así como de los reportes generados al finalizar cada una de estas.

**Alcance:** Esta capa recibe como entrada lo que entrega la capa lógica, toda la nueva información. Además la salida de esta capa es entregada a la capa lógica que se encarga de leer esta información.

**Dependencias:** Depende del correcto funcionamiento de la capa lógica, de toda la información que esta le envíe para guardarla. Así como también depende de la lectura que se realice en la base de datos, que la información a consultar se encuentre disponible.



**Restricciones:** La ejecución de las operaciones sobre la base de datos se realiza a través de MySQL (PostgreSQL), debido al gran tráfico de operaciones que se manejarán. Las bases de datos relacionales es una buena manera de administrar los datos de los pacientes. La decisión se toma de acuerdo a la forma como se guardan los datos en el sistema “Gesture Therapy” [35], donde se realiza de esta misma manera. Además PostgreSQL es un sistema de bases de datos objeto-relacional, distribuido bajo licencia BSD y con su código fuente disponible libremente, caracterizándose este sistema por ser un sistema de gestión de datos de código abierto más potente del mercado. Otra de sus grandes características, es la amplia gama de APIs para programar en casi cualquier lenguaje de programación(C, C++, C#, Java, .Net, Python) [37], lo cual lo hace muy sencillo de unificar con el sistema Kinect.

- **Capa transversal**



**Propósito:** Muchas de las tareas llevadas a cabo por el código de una aplicación requieren más de una capa. La capa transversal implementa tipos específicos de funcionalidad para poder acceder a componentes en cualquiera de las otras capas.

- La implementación de la seguridad puede incluir componentes para realizar autenticación, autorización y validación.

- La gestión operacional incluye componentes que implementan contadores de rendimiento, configuración y localización.
- La comunicación incluye componentes para la comunicación con otros servicios y aplicaciones.
- Es importante dentro de la validación de la información la gestión de las excepciones durante el funcionamiento del sistema.

**Alcance:** Esta capa al ser una capa transversal, se comunica con todas las demás capas del sistema.

## V. CONCLUSIONES

Se realizó el estado del arte acerca de Software de Realidad Virtual para la rehabilitación de enfermedades neuro-musculares, donde se muestra en primera instancia una investigación acerca de las enfermedades neuro-musculares, su origen, tratamientos actuales, estadísticas, diagnósticos, etcétera. Era de vital importancia realizar esta investigación para poder entender verdaderamente el problema y las dificultades que traen estas enfermedades al diario vivir las personas afectadas con algunas de estas enfermedades hereditarias y de carácter degenerativo. Al no tener una cura, la única forma de tratamiento es la rehabilitación, que se realiza para frenar los síntomas que se producen.

En segunda instancia se muestran los proyectos actuales donde se utilizan algunas aplicaciones como rehabilitación virtual para este tipo de enfermedades, mostrando algunos beneficios mayores a la terapia física regular. De esta forma es aquí donde el proyecto de realizar una propuesta de arquitectura de software para una aplicación de Realidad Virtual para la rehabilitación de enfermedades neuro-musculares toma sentido.

A continuación, se realizó una investigación acerca de las arquitecturas de Software de aplicaciones de Realidad Virtual para rehabilitación. Uno de los problemas encontrados es la poca información encontrada, debido a que la rehabilitación virtual es un tema bastante nuevo. De todas formas se pudieron extraer algunos conceptos claves para la realización de esta propuesta de arquitectura de Software para la rehabilitación de enfermedades neuro-musculares.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Qué son las Enfermedades Neuromusculares (ENM). Tomado de: <http://www.asem-esp.org/index.php/que-son-las-enm>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [2] Enfermedades Neuromusculares. Tomado de: <http://www.adm.org.ar/enfermedades-neuromusculares>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [3] ¿Qué es la ataxia? Tomado de: <http://www.atamad.org/index.php/que-es-la-ataxia.html>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [4] ¿Qué es la ataxia? Tomado de: [http://www.ataxiasevilla.org/index.php?option=com\\_content&view=category&id=58:ique-es-la-ataxia&layout=blog&Itemid=62](http://www.ataxiasevilla.org/index.php?option=com_content&view=category&id=58:ique-es-la-ataxia&layout=blog&Itemid=62). Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [5] Tipos de ataxia. Tomado de [http://www.news-medical.net/health/Ataxia-Types-\(Spanish\).aspx](http://www.news-medical.net/health/Ataxia-Types-(Spanish).aspx). Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [6] Qué son las Enfermedades Neuromusculares (ENM). Tomado de: <http://www.asem-esp.org/index.php/las-enfermedades-neuromusculares>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [7] Tipos de la ataxia. Tomado de: [http://www.news-medical.net/health/Ataxia-Types-\(Spanish\).aspx](http://www.news-medical.net/health/Ataxia-Types-(Spanish).aspx). Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [8] Hechos sobre la Ataxia de Friedreich. Tomado de: <http://static.mda.org/publications/PDFs/Sp.FA-FA.pdf>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [9] Análisis molecular de la ataxia de Friedreich en Colombia. Tomado de: <http://scienti.colciencias.gov.co:8084/publindex/docs/articulos/0120-8748/2290732/1.pdf>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [10] Ataxia en España. Tomado de: <https://co.noticias.yahoo.com/8-000-personas-esp%C3%B1a-sufren-tipo-ataxia-hereditaria-091139980.html>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [11] Enfermedades: Ataxia. DIAGNÓSTICOS. Tomado de: <http://www.dmedicina.com/enfermedades/neurologicas/ataxia>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [12] Diagnóstico de la ataxia. Tomado de: <http://www.webconsultas.com/salud-al-dia/ataxia/diagnostico-de-la-ataxia-12623>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.

- [13] Scale for the assessment and rating of ataxia (SARA). Tomado de: <http://www.ataxie.nl/wp-content/uploads/diversen/SARA.pdf>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [14] Pautas generales de tratamiento. Tomado de: <http://www.adm.org.ar/pautas-generales-de-tratamiento/>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [15] Tratamiento de la ataxia. Tomado de: <http://www.webconsultas.com/salud-al-dia/ataxia/tratamiento-de-la-ataxia-12624>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [16] Tratamiento para pacientes con ataxia. Tomado de: <http://www.fisioterapieneurologica.es/tratamientos/ataxias.php>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [17] RAE. Definición: Rehabilitación. Tomado de: <http://buscon.rae.es/drae/srv/search?val=rehabilitaciones>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [18] RAE. Definición: Realidad virtual. Tomado de: [http://buscon.rae.es/drae/srv/search?id=VERUpzUOADXX2PQkV704#realidad\\_virtual](http://buscon.rae.es/drae/srv/search?id=VERUpzUOADXX2PQkV704#realidad_virtual). Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [19] Rehabilitación virtual en rehabilitación. Tomado de: <http://www.imsero.es/InterPresent2/groups/imsero/documents/binario/13labhumanrobertollorens.pdf>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [20] Joon-Ho, Shin, Ryu Hokyoung, and Jang Seong Ho. 2014. "A task-specific interactive game-based virtual reality rehabilitation system for patients with stroke: a usability test and two clinical experiments." Journal Of Neuroengineering & Rehabilitation (JNER) 11, no. 1: 1-19. Academic Search Complete, EBSCOhost (accessed October 5, 2014).
- [21] A task-specific interactive game-based virtual reality rehabilitation system for patients with stroke: a usability test and two clinical experiments  
Joon-Ho Shin, Hokyoung Ryu, Seong Jang  
Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation 2014, 11:32 (6 October 2014)
- [22] Qualisys. Motion Capture Systems. Tomado de: <http://www.qualisys.com/>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [23] CrystalEyes 5. Tomado de: <http://www.est-kl.com/products/shutterglasses/reald-stereographics/ce5.html>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.
- [24] Create amazing applications with vizard vr toolkit. Tomado de: <http://www.worldviz.com/products/vizard>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.

[25] Comprehensive 3D animation software. Tomado de: <http://www.autodesk.com/products/maya/overview>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.

[26] Sánchez-Villavicencio I, Hernández-Franco J, Sucar E, Leder R. Actividades simuladas de la vida diaria para rehabilitación motora del miembro superior en pacientes con enfermedad vascular cerebral. (Spanish). Archivos De Neurociencias [serial online]. October 2009;14(4):237-242. Available from: Academic Search Complete, Ipswich, MA. Accessed October 5, 2014.

[27] VirtualRehab. Tomado de: <http://www.virtualrehab.info/>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.

[28] Técnicas de rehabilitación. Tomado de: <http://www.efisioterapia.net/articulos/ejercicios-frenkel>. Consultado el 4 de Octubre de 2014.

[29] Lloréns R, et al. BioTrak: análisis de efectividad y satisfacción de un sistema de realidad virtual para la rehabilitación del equilibrio en pacientes con daño cerebral. Neurología. 2012. doi:10.1016/j.nrl.2012.04.016

[30]; Gustavo Saposnik, Robert Teasell, Muhammad Mamdani, Judith Hall, William McIlroy, Donna Cheung, Kevin E. Thorpe, Leonardo G. Cohen, Mark Bayley and for the Stroke Outcome Research Canada (SORCan). Effectiveness of Virtual Reality Using Wii Gaming Technology in Stroke Rehabilitation: A Pilot Randomized Clinical Trial and Proof of Principle. Working Group Stroke 2010; 41;1477-1484; originally published online May 27, 2010.

[31] Miguel Ángel Ortiz Salcedo. InTrainer Sistema de rehabilitación cardiaca aumentado por realidad virtual. San Sebastián, Septiembre 2010. Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea. Departamento de Ciencia de la Computación Inteligencia Artificial.

[32] J. Solana Sánchez, O. Renda, C. Cáceres Taladriz, P. Rodríguez Rajo, A. Serrano Rubio, E. Opisso Salleras, P. Cingolani, P. Giorgianni, R. Sánchez-Carrión Abascal, J.M. Tormos Muñoz, S. Scattareggia Marchese, E.J. Gómez Aguilera. Arquitectura interoperable de tele-rehabilitación domiciliaria. Consultado el 12 de Diciembre de 2014

[33] Francisco Moreno, Jordan Ojeda, Esmitt Ramírez J., Christiam Mena, Omaira Rodríguez. Un Framework para la Rehabilitación Física en Miembros Superiores con Realidad Virtual. Centro de Computación Gráfica, Escuela de Computación. Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. Consultado el 12 de Diciembre de 2014.

[34] José Luis Araya Oyanedel del grupo Eduardo Barra Kamàl Fontirroig Cristobal Nettle Karen Rivas Huerta. Documento de Requisitos de Xilófono virtual con Kinect. Tomado de:

[http://profesores.elo.utfsm.cl/~mzuniga/PDI\\_PROYECTOS/2012-2/PROYECTOS/GRUPO-2/Documento\\_Requisitos.pdf](http://profesores.elo.utfsm.cl/~mzuniga/PDI_PROYECTOS/2012-2/PROYECTOS/GRUPO-2/Documento_Requisitos.pdf). Consultado el 12 de Diciembre de 2014

[35] Gesture Therapy. Tomado de: [http://robotic.inaoep.mx/~foe/blog/?page\\_id=6](http://robotic.inaoep.mx/~foe/blog/?page_id=6). Consultado el 12 de Diciembre de 2014

[36] Paul Clements, Felix Bachman, Len Bass, David Garlan, James Ivers, Redd Little, Paulo Merson, Robert Nord, Judith Stafford. Documenting Software Architectures. Views and Beyond. SEI Series in Software Engineering, Second Edition. Consultado de: <http://costawiki.pbworks.com/f/documenting-software-architectures-views-and-beyond-2nd-edition.pdf>. Consultado el 12 de Diciembre de 2014.

[37] Sobre PostgreSQL. Tomado de: [http://www.postgresql.org.es/sobre\\_postgresql](http://www.postgresql.org.es/sobre_postgresql). Consultado el 12 de Diciembre de 2014.