

# Aplicación de ambientes virtuales empleando dispositivos hápticos en el área de rehabilitación y evaluación motriz

***Juan Carlos Santiago López, Alejandro***

Universidad de la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca, 951-574100  
*ajarillo@unsis.edu.mx*

***Jarillo Silva, José Alberto Cruz Tolentino***

Universidad de la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca, 951-574100

***Luis Ángel Rojas González***

Universidad de la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca, 951-574100

***José Luis Santiago López***

Universidad de la Sierra Sur, Miahuatlán de Porfirio Díaz, Oaxaca, 951-574100

## Resumen

Todos los seres humanos estamos expuestos a sufrir una lesión neurológica, y en consecuencia padecer una discapacidad motriz en miembros superiores que a su vez pueden determinar un nivel de dependencia haciendo la vida difícil de sobrellevar. En este trabajo se propone un sistema de interacción que a través del uso de ambientes virtuales y nuevas tecnologías de interacción de bajo costo sea capaz de rehabilitar y evaluar la discapacidad motriz en miembros superiores. Los escenarios desarrollados pretenden motivar, divertir y reentrenar las habilidades cognitivas del paciente con el fin de lograr una rehabilitación. Los dispositivos de interacción propuestos corresponde a unos guantes de realidad virtual y el dispositivo háptico Novint Falcon. Para ello se realiza una prueba piloto en un paciente con

discapacidad motriz generada a partir de una lesión neurológica obteniendo resultados favorables en el desempeño motriz del paciente y en el proceso de adaptación al sistema.

**Palabras Claves:** Ambientes virtuales, Dispositivos hápticos, Guantes de realidad virtual, Rehabilitación motriz, Rehabilitación cognitiva.

## 1. Introducción

La capacidad de movimiento para un individuo es importante para llevar a cabo actividades de la vida diaria. La discapacidad de movimiento motriz en miembros superiores y en especial el de la mano reduce significativamente la calidad de vida de una persona. Afortunadamente resultados positivos en la terapia física han abierto nuevos caminos, en el caso de discapacidad generadas a partir de una lesión neurológica, la terapia depende de variables como; tiempo de duración de la terapia, intensidad de la tarea-orientación de entrenamiento, así como el estado de salud actual del paciente, la atención y el esfuerzo. El problema sigue creciendo y probablemente en un futuro continúe su incremento acompañado por la prevalencia de discapacidades motrices severas en personas que sufren de alguna lesión neurológica como un ACV (Accidente Cerebro Vascular) o simplemente en personas geriátricas donde sus habilidades cognitivas comienzan a deteriorarse por la edad propiciando alguna discapacidad motriz.

Por otra parte la rehabilitación mediante realidad virtual permite el entrenamiento repetitivo y dirigido del miembro torácico parético, otorga un ambiente multisensorial que favorece los mecanismos de neuroplasticidad [1]. Los programas de rehabilitación se dirigen a recuperar en el mayor grado posible la funcionalidad de los segmentos del hemicuerpo dañado; sin embargo la mayoría de los tratamientos actuales son prolongados y significan un alto costo para las instituciones y familiares. Los pacientes durante este proceso experimentan también la frustración al no cumplir con las expectativas de su tratamiento, condicionando el abandono de los servicios de rehabilitación o el nulo trabajo complementario en casa.

Hoy en día las técnicas de terapia física convencional han sido la base del tratamiento en la mayoría de los pacientes neurológicos [2]; no obstante, estas técnicas son de eficacia cuestionable [3]. Taub describe que el uso forzado de la extremidad parética aumenta sustancialmente el área de activación cerebral en la corteza lesionada y funcionalidad de la extremidad [4]. Además estudios recientes confirman que el movimiento del brazo junto a un objetivo específico se traduce como un mayor aprendizaje motriz a nivel cortical y en consecuencia una mayor recuperación motora en comparación con las técnicas de facilitación/inhibición convencionales [5, 6].

La rehabilitación neuromotora tiene como reto principal diseñar métodos eficaces con la finalidad de proporcionar una terapia repetitiva y específica para el miembro torácico parético, estos procesos deben ser multimodales para facilitar la recuperación de la función, deben involucrar las funciones cognitivas, además de ser atractiva para mantener la atención del paciente, ser fácil (usable) de entender y debe evitar la saturación de información en el paciente (no sobrecargar la memoria del paciente) [7]. La biorretroalimentación apoyada en sistemas computacionales permite que cumpla con estas características, logrando inmersión del paciente en un entorno virtual donde es retroalimentado con información sensorial de tipo sonora, visual y táctil permitiendo una interacción multimodal [8]. La inclusión de la tecnología en la rehabilitación no sólo permite tratamientos innovadores, también permite que el paciente se motive a cumplir los objetivos trazados, favoreciendo el apego al tratamiento.

Este trabajo de investigación somete a prueba el desarrollo de un sistema interactivo basado en la aplicación de ambientes virtuales introduciendo dispositivos de interacción de bajo costo. El sistema pretende ser un instrumento que sea utilizado dentro del área de fisioterapia que proporcione información objetiva y cuantitativa del desempeño de un paciente. Los dispositivos de interacción empleados son un guante de realidad virtual DG5-VHand, el cual a través de sensores de posicionamiento (acelerómetro) es posible capturar los movimientos del paciente en tiempo real, y por último está el dispositivo háptico Novint Falcon, el cual está dotado de sensores y actuadores que durante la inmersión en el ambiente virtual dan como respuesta una sensación de presencia durante la colisión con un objeto virtual. De este modo se propone un sistema efectivo, eficaz, seguro y factible que a través del uso de nuevas tecnologías sea

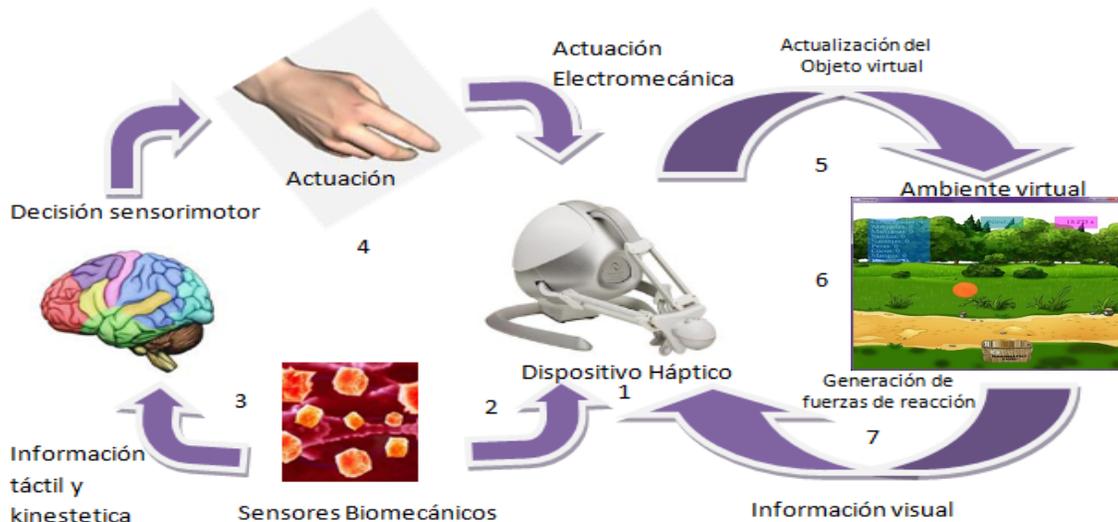
capaz de aumentar el rendimiento de un paciente durante la evaluación y rehabilitación en comparación con las técnicas convencionales existentes.

## 2. Metodología

Un paciente interactúa con el sistema a partir de la manipulación de objetos virtuales dentro de un escenario, el paciente es estimulado para incrementar el nivel de motivación, el sistema capta la información de los movimientos cinemáticos del miembro superior (mano) en cada instante de tiempo, después estos son almacenados en una base de datos para ser graficados. La metodología se basa en la arquitectura de un sistema háptico el cual es descrito en la siguiente sección.

### 2.1. Sistema háptico

Los elementos que constituyen un sistema háptico son tres principalmente: un dispositivo háptico (Novint Falcon y Guantes), una computadora donde se genera un ambiente virtual y un operador humano que cierra el lazo (ver Fig. 1).



### Fig. 1. Arquitectura del sistema háptico

- 1.-Biomecánica del contacto** (dispositivo háptico): Cuando un operador humano interactúa con un dispositivo háptico se emplean modelos de elemento finito para entender la actuación de las fuerzas de los dedos sobre el contacto con el ambiente virtual en información táctil.
- 2.-Neuropsicología del tacto** (sensores biomecánicos): Durante un sensado táctil las señales nerviosas percibidas de los dedos son enviadas al cerebro en donde son grabadas y analizadas.
- 3.-Percepción humana** (decisión sensorimotor): La habilidad humana para percibir las propiedades de los objetos, tales como temperatura, forma, textura y suavidad es medida utilizando equipo controlado con computadoras digitales y métodos psicofísicos.
- 4.-Acción motriz** (actuación): La habilidad humana para controlar fuerzas de contacto durante la exploración y manipulación es caracterizada para conocer las limitaciones sensoriales.
- 5.-Evolución del dispositivo háptico** (actualización del objeto virtual): La estimulación del sentido del tacto se lleva a cabo mediante el envío de información de posición y velocidad a la computadora, la cual procesa y cambia el ambiente virtual.
- 6.-Herramientas de software para simulación de espacios virtuales:** El software hace uso del GPU (Graphic Processor Unit) para poder llevar a cabo la creación de mundos virtuales interactivos y así estimular con atributos visuales, auditivos y hápticos, al operador humano.
- 7.-Interacción hombre-máquina** (generación de fuerza reacción-dispositivo háptico): experimentos son realizados para investigar cómo controlar las alteraciones del despliegue visual, auditivo y háptico y que afectan la percepción humana. Los resultados son empleados para conocer las limitaciones tecnológicas y son aplicables al diseño óptimo de interfaces hombre-máquina.

El paciente juega un papel importante dentro de la retroalimentación del sistema, sin embargo los aspectos tecnológicos tanto de software como de hardware resultan ser indispensables en el proceso de interacción. A continuación se describe el software desarrollado.

## 2.2. Desarrollo del software

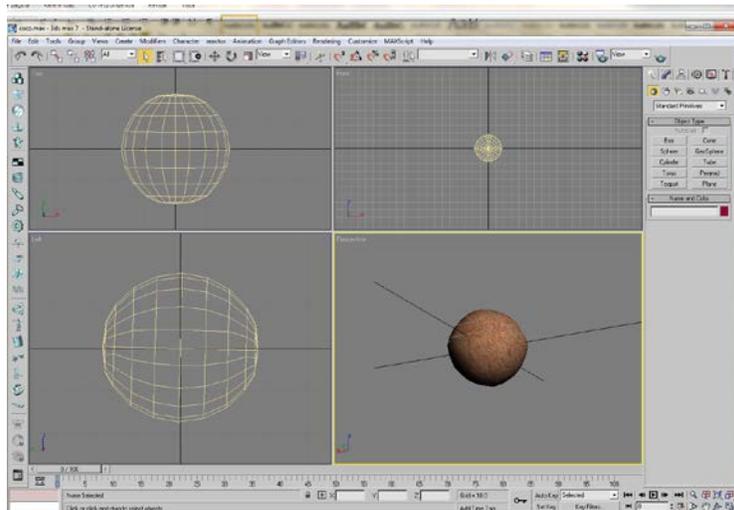
Un paciente con una discapacidad motriz en miembro superior después de una lesión neurológica requiere de una evaluación, para así posteriormente dar inicio a una serie de ejercicios que le permitan rehabilitar lo más pronto posible. Para ello se desarrolla un juego fácil de entender pero que exige y exhorta al paciente aumentar el nivel de esfuerzo. El juego consiste en capturar la mayor cantidad de frutas en un determinado tiempo.

En la primera interfaz gráfica el paciente es informado de la dinámica del juego, y la forma en cómo puede lograr pasar de nivel (ver Fig. 2).



Fig. 2. Interfaz gráfica inicial

El diseño de cada una de las frutas y de la canasta se hizo utilizando el software 3dmax, para después ser exportadas al programa principal en c++ con la ayuda de librerías de Open GL (ver Fig. 3).



**Fig. 3. Desarrollo de las frutas en 3dmax.**

Al iniciar el juego al paciente se le muestra la interfaz de la Fig. 4.

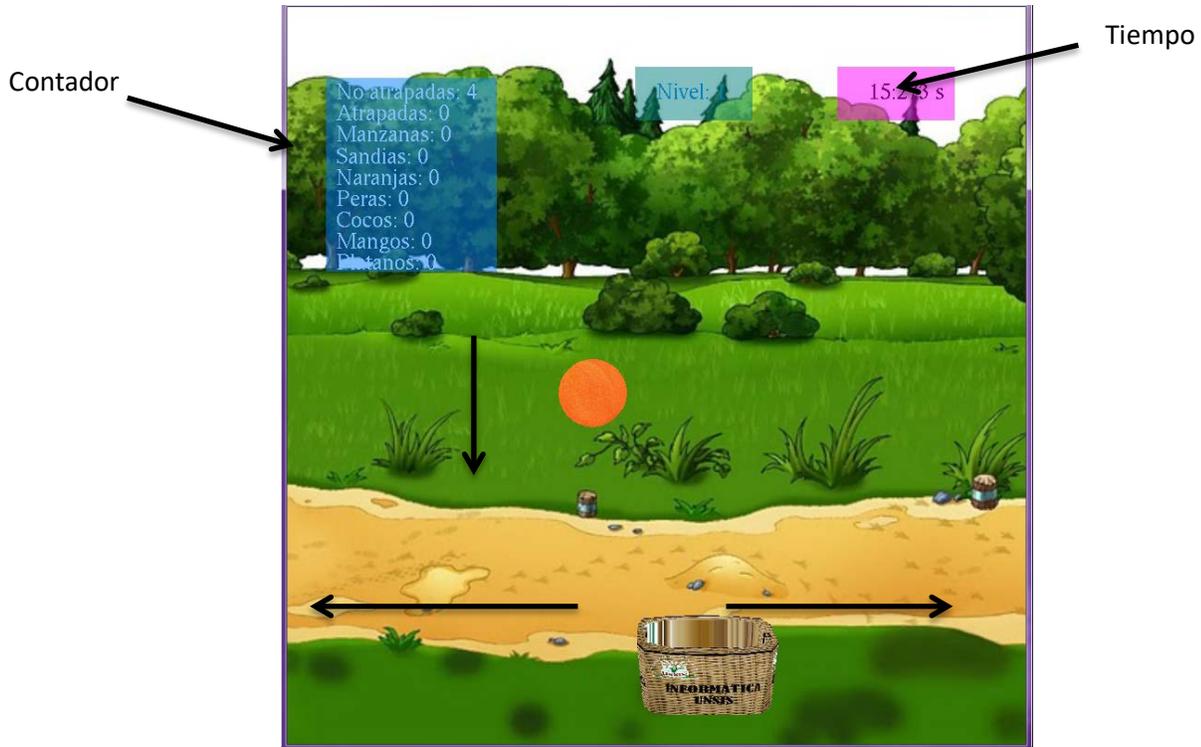


Fig. 4. Interfaz gráfica del juego virtual.

En la parte superior de la interfaz de la Fig. 4 se muestra el tiempo transcurrido actual, el nivel de complejidad del juego y un estado de las frutas que van cayendo y de las que va atrapando. Las frutas caen de manera aleatoria en espacio, tiempo y tipo, el paciente debe colocar la canasta justo en la dirección correcta donde van a caer. El paciente es retroalimentado en tiempo real de manera visual, auditiva y kinestésica en el caso del dispositivo Novint Falcon.

Al final del juego se le presenta al paciente los resultados finales del juego donde le indica si avanzo al siguiente nivel o si debe intentarlo nuevamente. (ver Fig. 5)



Fig. 5. Interfaz gráfica del final del juego.

## 2.2. Hardware

Los guantes utilizados son los DG5 VHand 2.0 (ver Fig. 6), los cuales cuentan con una tarjeta de adquisición de datos dentro del propio guante. Tiene un acelerómetro que permite obtener la posición espacial (x,y,z) además de la orientación de la mano. Para detectar el movimiento de los dedos, el guante está dotado de sensores de flexión donde un valor de 100 es interpretado como el puño cerrado y un valor de 0 es la mano totalmente extendida.



### **Fig. 6. Dispositivos de interacción háptica.**

El dispositivo háptico Novint Falcon (ver Fig. 6) tiene una HDAL (Capa de abstracción del dispositivo háptico) es el modelo de arquitectura con el que está implementado el sistema del Novint Falcon el cual consiste un sistema de capas que se comunican con el software de aplicación. La aplicación está conformada de dos principales componentes: la simulación gráfica compuesta de ambientes virtuales y el componente de simulación háptica que contiene la lógica de control del dispositivo. La aplicación se comunica con la HDAL a través de su API, a la cual se le envía como parámetro una función que es llamada a cada lectura de los servos (actuadores), con lo que se proporciona la posición y la fuerza del dispositivo en tiempo.

El dispositivo háptico Novint Falcon cuenta con las siguientes características: El área de trabajo es aproximadamente de 10.16 cm x 10.16 cm x 10.16 cm, las capacidades de fuerza son mayores a 0.90 kilogramos. Suministra 400 dpi (puntos por pulgada) en resolución de posición cartesiana, interfaz de comunicación USB 2.0. 1.81 kilogramos de peso. Consume 30 watts, 110v-240v, 50Hz-60Hz, usa 3 motores Mabuchi RS-555PH-15 con codificadores ópticos de 320 líneas por revolución. El dispositivo se comunica con la computadora a través de la interfaz USB 2.0, la computadora envía y recibe señales de control las cuales son interpretadas por el sistema de control del dispositivo y enviado a los motores. Estos, a su vez, cuentan con codificadores ópticos para la lectura de la posición angular. El desarrollo de la aplicación se realiza bajo el lenguaje C++ con ayuda del API en su versión 2.1.3 del HDAL, el cuál otorga al usuario programador dos visiones, una a bajo nivel y otra a alto nivel para su uso.

### **2.2. Plataforma experimental**

Las características técnicas del equipo donde se desarrollaron las pruebas del sistema son las siguientes: procesador AMD Turion x2 a 2.00 GHz, 2.00 Gb en RAM DDR II 667 Mhz, sistema operativo windows 7 service pack 1, tarjeta de video ATI Radeon x1250 con 128 MB de memoria compartida, controlador ATI SB600-OCHI USB 2.0.

En la Fig. 7 se observa a un paciente interactuando con los dispositivos hápticos y la computadora. En la siguiente sección se presentan los resultados experimentales.



Fig. 7. Plataforma experimental.

### 3. Resultados

Los resultados obtenidos pertenecen a un paciente que presenta una lesión en la mano izquierda, los datos se graficaron en un intervalo de 10 segundos para efectos ilustrativos, sin embargo el ejercicio tiene una duración de 3 minutos.

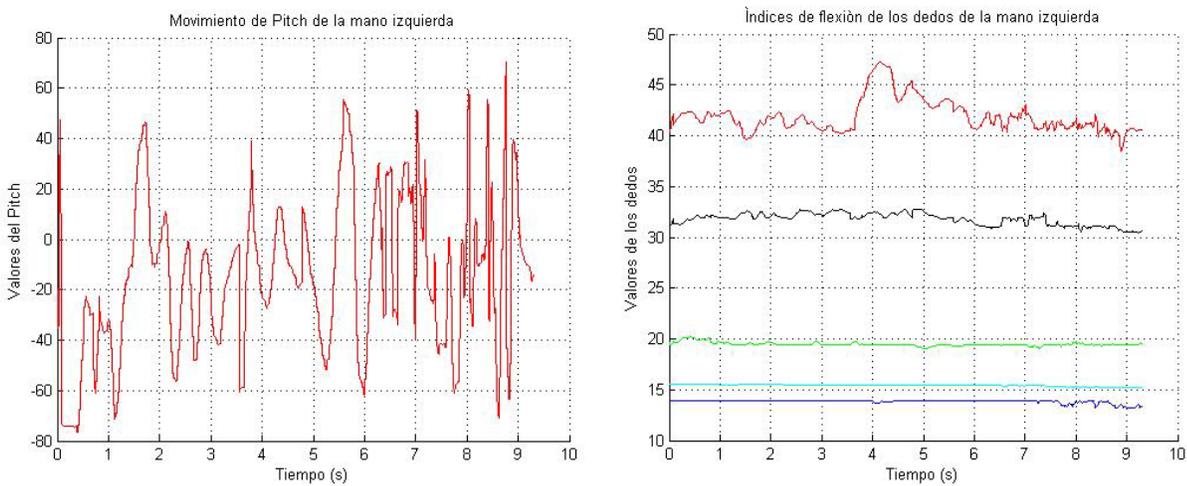
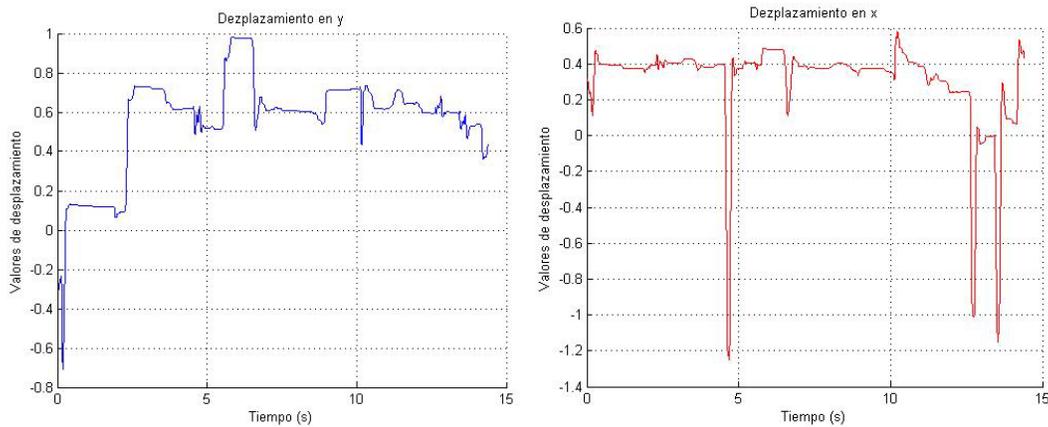


Fig. 8. Resultados experimentales (guante de realidad virtual)

Las gráficas de la Fig. 8 muestran los movimientos que el paciente realizó durante la tarea asignada. El movimiento rotacional de la mano tuvo movimientos literalmente rápidos dado que intentaba atrapar el mayor número de frutas. Por otra parte el movimiento de flexión de los dedos cambia debido a la abducción y extensión de cada uno de ellos para lograr capturar las frutas.



**Fig. 9. Resultados experimentales (Novint Falcon)**

En la Fig. 9 se observan los movimientos que el paciente realizó durante el juego. El cero significa que la canasta se encuentra justo en el centro, los desplazamientos a la izquierda y la derecha se visualizan en el eje Y.

#### 4. Discusión

Cuando el paciente utilizó el guante se observó que presentó dificultad para realizar movimientos de rotación con la mano dada su discapacidad motriz, sin embargo después de 10 juegos repetidos mejoró el rendimiento logrando terminar los 3 niveles. Por otra parte cuando el paciente utilizó el dispositivo háptico Novint Falcon presentó un mejor desempeño en las primeras tareas aumentando el nivel de motivación debido a la sensación de fuerza que

tenía cuando atrapaba una fruta. Sin embargo una de las desventajas al usar este dispositivo es que no se requiere de la flexión de los dedos, y en consecuencia la rehabilitación en los falanges no se llevó a cabo.

El sistema presenta beneficios al utilizar nuevas tecnologías en la rehabilitación y evaluación, el más importante es que el paciente fortalece además de la rehabilitación habilidades cognitivas durante el juego, otro es que el paciente puede realizar el proceso de rehabilitación desde su hogar sin la necesidad de trasladarse a una unidad clínica y que este es repetitivo. Es posible que la realidad virtual haya motivado y promovido la reorganización como resultado de un mayor uso de la extremidad afectada en tareas motoras específicas. Así mismo mediante la encuesta de motivación la terapia con realidad virtual resulta ser divertida, motivacional y con mayor apego a la terapia convencional.

## **5. Conclusiones**

La realidad virtual fusionada con la utilización de dispositivos hápticos promueve la motivación del paciente logrando incrementar la asistencia y consistencia en el proceso de rehabilitación. Almacenar los datos y despegarlos en forma de gráficas permiten evaluar el desempeño motor de un paciente.

Se deben realizar más estudios para determinar si la realidad virtual empleando dispositivos hápticos induce una recuperación motora, reproducible en una mayor población. Así como determinar si la realidad virtual es una técnica superior o con mayor costo-beneficio que otras técnicas de rehabilitación.

## **6. Referencias**

- [1] I. Sánchez-Villavicencio, J. Hernández-Franco, E. Sucar y Ron S. Leder, "Actividades simuladas de la vida diaria para rehabilitación motora del miembro superior en pacientes

- con enfermedad vascular cerebral". *Revista de Neurociencia (México)*, Vol. 14. 2009. No. 4: 237-242.
- [2] B.I. Sánchez, C. Valverde, "Valoración de la deficiencia motora del paciente hemipléjico". *Rehabilitación*, 1994: 389-98.M.
- [3] Paci "Physiotherapy based on the Bobath concept for adults with post-stroke hemiplegia: a review of effectiveness studies". *Journal Rehabilitation Medical*. 2003 January. 35(1). 2-7.
- [4] C. Boake, EA. Noser, T. Ro, S. Baraniuk, M. Gaber, R. Johnson, ET. Salmeron, TM. Tran, E. Taub, "Constraint-induced movement therapy during early stroke rehabilitation". *Neurorehabilitation Neural Repair*. 21(1). 2007 jan-feb 14-24.
- [5] R. Colombo, F. Pisano, S. Micera, A. Mazzone, C. Delconte, C. Carozza. "Assesing mechanisms of recovery during robot-aided neurorehabilitation of the upper limb". *Neurorehabilitation Neural Repair*. 22. 2008. 50-63.
- [6] G. Krutulyte, A. Kimtys, A. Krisciūnas. "The effectiveness of physical therapy methods (Bobath and motor relearning program) in rehabilitation of stroke patients". *Medicina (Kaunas)*. 39 (9). 2003. 889-95.
- [7] S. Subramanian, LA. Knaut, C. Beaudoin, BJ. McFadyen, AG. Feldman, MF. Levin. "Virtual reality environments for post-stroke arm rehabilitation". *J Neuroeng Rehabil*.4. 2007. 20.
- [8] A. Henderson, Korner-Bitensky, M. Levin. "Virtual reality in stroke rehabilitation: a systematic review of its effectiveness for upper limb motor recovery". *Top Stroke Rehabil*. 14(2). 2007. 52-61.

## 7. Autores

Pasante de la lic. en Informática Juan Carlos Santiago López por la Universidad de la Sierra Sur, actualmente se encuentra desarrollando aplicaciones en el Laboratorio de interfaces hápticas de la misma universidad.

M. en C. Alejandro Jarillo Silva con especialidad en automatización y control automático por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en el Centro de Investigación de Tecnologías de la Información y Sistemas, las líneas de investigación actualmente trabajando son robótica avanzada, inteligencia artificial, control no lineal, automatización de procesos y robótica móvil.

M. en C. José Alberto Cruz Tolentino especialidad en automatización y control automático por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en el Centro de Investigación de Tecnologías de la Información y Sistemas, las líneas de investigación son control wavelet y wavenet, automatización de procesos, robótica móvil, inteligencia artificial e interfaces hápticas.

Lic. en Informática Luis Ángel Rojas González por la Universidad de la Sierra Sur actualmente el labora como desarrollador de software.

Pasante en Informática José Luis Santiago López por la Universidad de la Sierra Sur, actualmente se encuentra colaborando en el Laboratorio de interfaces hápticas en el área de desarrollo de software de la misma universidad.