

Descripción de un sistema robótico para terapia de rehabilitación

Andrea Rodríguez de la Cruz¹
Karla Patricia Torres García²
Nahum Nolasco Caba³

RESUMEN

Las terapias de rehabilitación han surgido a causa de las adversidades que sufren los pacientes, por ello se han implementado estrategias como el sistema robótico háptico, que complementa a dichas terapias convencionales, ya que a largo plazo reduce los costos. Como objetivo se propone describir la influencia de las tecnologías hápticas como auxiliares para la recuperación del paciente mediante el uso de las terapias convencionales. Se delimitó la investigación a artículos obtenidos en bases de datos electrónicas con el uso de palabras clave. Como resultado se encontró que, al usar el sistema robótico, el paciente muestra mejoras en los aspectos físicos de las extremidades superiores, mejoría significativa en la coordinación gruesa y fina, la fuerza, la destreza, resistencia motriz y habilidades visomotoras y se observa una mejora en el tiempo de ejecución del ejercicio. Asimismo, se redujo conside-

rablemente el promedio de error entre 50 y 60 %, aproximadamente. Se llega a la conclusión de que mientras mayor sea el desarrollo del sistema robótico háptico en los servicios de salud, incrementará la posibilidad de utilizar esta rehabilitación para los pacientes y mejorar su cuidado y así mismo brindar una mejor calidad de vida, por lo que necesitarán menos de la ayuda de las personas.

Palabras clave: dispositivo háptico, realidad aumentada, sistema robótico, terapia de rehabilitación.

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que la rehabilitación es un proceso para lograr que las personas con discapacidad estén en condiciones de alcanzar y mantener un estado funcional óptimo desde el punto de vista físico, sensorial, intelectual o social,

¹ Alumna del segundo semestre de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica. Universidad Olmeca. Correo electrónico: uo21407013@olmeca.edu.mx

² Alumnadel segundo semestre de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica. Universidad Olmeca. Correo electrónico: uo21407025@olmeca.edu.mx

³ Docente de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica. Universidad Olmeca. Correo electrónico: uo18017@olmeca.edu.mx

de manera que cuenten con medios para modificar su propia vida y ser más independientes (OMS, 2011).

Las causas principales por las cuales las personas no cuentan con acceso a servicios de rehabilitación son la escasez de personal capacitado para brindar terapias de rehabilitación y el elevado costo de estas, así como el creciente número de personas que requieren de dichas terapias (OMS, 2011)

En años recientes, los sistemas de rehabilitación robótica han surgido como un complemento a las terapias de rehabilitación tradicionales, las cuales se plantean como mecanismos de ayuda para aquellos países en donde el personal para proveer terapias convencionales es insuficiente, incluso se piensa que a largo plazo esta tecnología puede reducir los costos de las terapias de rehabilitación (Vidrios-Serrano *et al.*, 2018).

Los dispositivos hápticos, también llamados interactuantes puntuales, establecen la comunicación entre el usuario y el entorno virtual gracias a un dispositivo intermedio, en donde la mano o los dedos se encuentran involucrados con la extensión del sistema háptico (Vidrios-Serrano *et al.*, 2018).

Los sistemas hápticos han sido considerados como beneficiosos en cualquier situación de aprendizaje en donde el estudiante experimenta por medio de simulaciones estados realistas. Con la incorporación de la tecnología háptica en la medicina, los practicantes pueden tocar o palpar la superficie de un objeto y sentir las fuerzas que se producen generadas por un dispositivo quirúrgico, con una reducción en los índices de riesgo gracias al entrenamiento con este tipo de tecnologías (Valles *et al.*, 2016).

Una de las principales cualidades de los sistemas de rehabilitación robótica es que estos pueden proveer la cantidad de repeticiones que se desee de una terapia sin disminuir la calidad de esta (Vidrios-Serrano *et al.*, 2018). Además, una de las características deseadas y de mayor importancia en sistemas de rehabilitación robótica es poder analizar de forma cuantitativa la

evolución o progreso de los pacientes durante las terapias.

ANTECEDENTES

La rehabilitación se inició en México en 1953 con la creación de la Dirección General de Rehabilitación. En julio de 1973, Luis Guillermo Ibarra comprendía la creación estatal de rehabilitación, la construcción de un centro de rehabilitación y educación especial en cada entidad federativa (Félix, 2016).

Otra forma de utilizar los estímulos sensoriales como mecanismo de rehabilitación es por medio de robots hápticos, los cuales han surgido como una opción útil para proveer terapias de rehabilitación. Gracias a la flexibilidad de estos es posible implementar en ellos plataformas de rehabilitación con características muy variadas dado que este tipo de robots son programados para que el usuario pueda tener la sensación de tocar objetos virtuales (Vidrios-Serrano *et al.*, 2018).

Los expertos se han ocupado de la incorporación de los avances tecnológicos en la práctica de la medicina, por lo que se prevé un cambio radical de la ciencia médica en el futuro. Un ejemplo de ello es el uso de la robótica en sistemas de rehabilitación, estos han surgido como un complemento o auxiliar de las terapias de rehabilitación clásica, los cuales están planteados con mecanismos de ayuda para dar terapia de rehabilitaciones convencionales (Valles *et al.*, 2016)

JUSTIFICACIÓN

Un sistema robótico háptico complementa a las terapias de rehabilitación convencional, se describe la influencia y avance que ha tenido el uso de este sistema en el área de rehabilitación convencional en los pacientes que sufren de alguna discapacidad o accidente, ya que les resulta complicada la recuperación en algunas ocasiones porque en los hospitales no cuentan con los aparatos necesarios para su pronta recuperación.

En México es poco común el uso de este tipo de sistemas en las terapias convencionales de rehabilitación, es por ello que se decidió abordar este tema para identificar la finalidad de uso que tienen estos robots en las terapias.

OBJETIVO

Describir la influencia de las tecnologías hápticas como un auxiliar para la recuperación del paciente mediante el uso de las terapias convencionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron revisiones sistemáticas en bases de datos electrónicas como SciElo y Google Académico. Las palabras clave utilizadas fueron dispositivo háptico, realidad aumentada, sistema robótico, terapias de rehabilitación, además se utilizaron criterios de inclusión y exclusión tales como:

Criterios de inclusión

- El artículo contiene al menos dos de las palabras clave.
- El periodo de publicación de los artículos fue de 2016 a 2020.
- Artículos en idiomas español e inglés.

Criterios de exclusión

- Artículos con información incompleta o inconclusa.
- Artículos que no presentaron desarrollo de la investigación.

RESULTADOS

Después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, el total de artículos se redujo a 11, de los cuales solo 2 cumplieron con cada uno de los criterios de inclusión mencionados.

El primer artículo fue «Integración de un sistema robótico de terapia ocupacional para extremidades superiores con estimulación visual/táctil de los

pacientes», publicado en 2018 por Vidrios-Serrano y colaboradores. En la investigación, los objetivos del tratamiento se explican a los sujetos de prueba a través de prueba de simulación, en donde los sujetos de prueba pueden interactuar de manera visual y táctil con objetos virtuales mezclados con escenas reales, realizando así un entorno de realidad aumentada y familiarizándolos con el sistema. El objetivo principal de la supervisión de su tutor y terapeuta es restaurar la fuerza o el rango de movimiento de la parte lesionada del paciente (Vidrios-Serrano *et al.*, 2018).

Graficaron las trayectorias realizadas y se hizo una comparación de los resultados obtenidos, de esta forma es posible determinar si existió o no mejoría en el desempeño del paciente, a partir de la precisión y suavidad de los movimientos realizados.

A continuación, se grafican las trayectorias seguidas por tres de los sujetos de prueba al llevar a cabo el ejercicio de rehabilitación, en amarillo se representa la superficie sobre la cual son proyectadas las cinco esferas virtuales (**figura 1**).

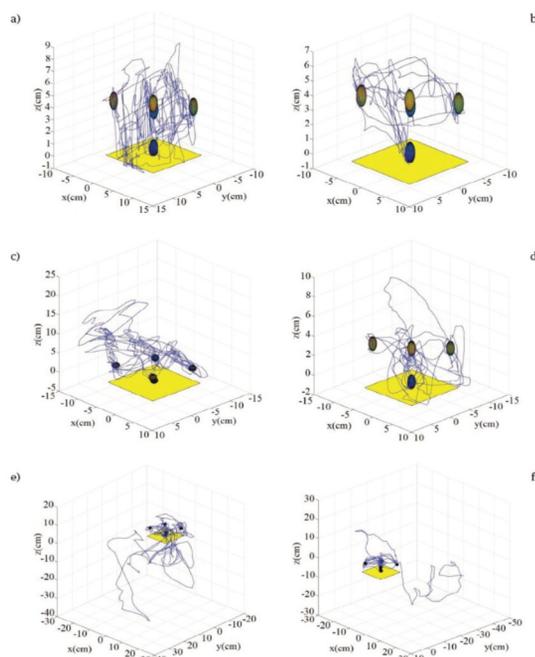


Figura 1. Trayectorias seguidas por los pacientes. (a) Sujeto 1- sesión inicial, (b) Sujeto 1- sesión final, (c) Sujeto 2- sesión inicial, (d) Sujeto 2- sesión final. Tomado de Vidrios-Serrano *et al.*, 2018.

En estas gráficas de trayectorias seguidas por ambos sujetos de prueba en la primera y en la última sesión de terapia, de igual forma que con los resultados de los pacientes mostrados en la sección anterior existe una mejoría notable después de las sesiones de rehabilitación, lo cual indica un mayor control en los movimientos finos de todos los pacientes.

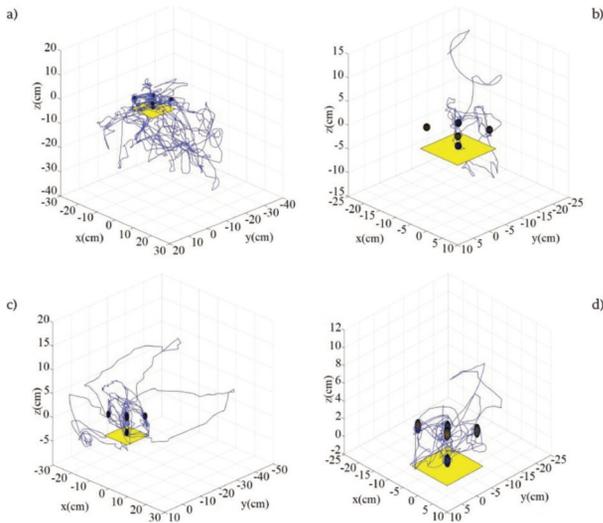


Figura 2. Trayectorias seguidas por los pacientes. (a) Sujeto 1- sesión inicial, (b) Sujeto 1- sesión final, (c) Sujeto 2- sesión inicial, (d) Sujeto 2- sesión final. Tomado de Félix, 2016.

En la **tabla 1** se presentan los resultados cuantitativos de cada uno de los sujetos de prueba. En todos los casos se observa una mejora en el tiempo de ejecución del ejercicio, reducción de alrededor del 60 % para el primer paciente y del 38 % para los otros dos. Asimismo, el promedio de error se redujo considerable-

mente, con una mejora entre el 50 y el 60 %, aproximadamente.

Por último, se presentan los resultados del análisis de la señal de electromiografía (EMG) para el sujeto 1 (**tabla 2**). Una comparativa de los índices calculados entre la primera y la última sesión muestra un aumento en todos los parámetros, lo cual indica un fortalecimiento de los músculos que se ejercitaron con la terapia.

De manera general, el terapeuta coincide que después de utilizar el sistema todos los pacientes tuvieron mejorías en aspectos físicos de las extremidades superiores como aumento del tono muscular y del rango de movimiento, mejoras notables en la coordinación gruesa y fina, así como mejora en la fuerza, destreza, resistencia motriz y habilidades visomotoras.

El segundo artículo, «Aplicación de tecnologías de rehabilitación robótica en niños con lesión del miembro», fue publicado en 2017 por Jairo Andrés Acevedo Londoño en la Universidad Industrial de Santander. En este artículo se revisa la literatura sobre dispositivos y sistemas robóticos para la rehabilitación de miembros superiores en niños, incluidos algunos que aún están en desarrollo, para proporcionar una visión global de diseños y soluciones para promover nuevos dispositivos (Acevedo Londoño, 2017).

Se pueden observar dos tipos de tendencias, que permiten clasificar los sistemas o dispositivos robóticos de rehabilitación en función del nivel de interacción entre el paciente y la plataforma robótica:

	Tiempo de ejecución (s)		Error (cm)	
	Número de sesión		Número de sesión	
	1	20	1	20
Sujeto 1	114.001	46.053	4.2018	1.8902
Sujeto 2	108.214	67.487	4.2018	2.1851
Sujeto 3	82.0970	51.205	11.3883	5.5640

Tabla 1. Tiempo de ejecución y norma del error. Tomado de Valles et al., 2018.

Índice	Primera sesión	
	AT	DT
PT (HZ)	30378±1348	26982±270
MDF (Hz)	256.49±1.27	249.39±1.6
RMS (V)	0.1957	0.1800
wL (V)	550.3690	500.1089
Índice	Última sesión	
	AT	DT
PT (HZ)	38892±58.9	432230±976.8
MDF (Hz)	228.29±0.98	222.59±6.5
RMS (V)	0.2579	0.2893
wL (V)	744.3286	859.7678

Tabla 2. Índices calculados para el sujeto de prueba 1 (AT: antes de la terapia, DT: después de la terapia). Tomado de Valles *et al.*, 2018.

Tipo 1: Robots que utilizan las habilidades motoras del paciente; es decir, establecen contacto con el paciente aplicando fuerza como comando para completar determinadas tareas.

Tipo 2: El robot motiva al paciente a imitar o seguir determinados ejercicios en un entorno controlado sin contacto alguno. Esta última es una innovadora aplicación de rehabilitación robótica que involucra al niño y lo hace parte del tratamiento de la terapia; este es el campo de la robótica social que permite la creación de personajes artificiales, de esta manera el niño logra tener un compañero o interlocutor más accesible. Además, los robots sociales tienen dos puntos de vista, la primera son los inspirados en sistemas biológicos, y la segunda se denomina «diseño funcional», donde se busca alcanzar un robot «socialmente inteligente» (Acevedo Londoño, 2017).

Las aplicaciones estudiadas sobre rehabilitación robótica en niños se han enfocado en las siguientes áreas: aprendizaje de pacientes con discapacidad, diseño de dispositivos para comunicación aumentada, asistencia en actividades como el sistema de determinación de la edad del desarrollo y asistencia robótica en las tareas de la vida cotidiana (Acevedo Londoño, 2017).

Lo anterior fue muy importante porque permitió obtener sistemas capaces de ser aceptados por niños e integrarlos a las terapias. Debido a esto y mediante diferentes resultados se demostró que la robó-

tica abriría nuevas vías terapéuticas. La aplicación de robots para rehabilitación del miembro superior en niños presenta sus primeros pasos y promete un avance promisorio en los próximos años (Acevedo Londoño, 2017).

DISCUSIÓN

Con base en los resultados planteados es conveniente mencionar que el sistema presentado es una herramienta útil como complemento a las terapias de rehabilitación convencional, así como para desarrollar un número mayor de terapias de rehabilitación háptica con ayuda de terapeutas para aumentar el interés por parte de los pacientes en el sistema y propiciar el no abandono de sus terapias. Estos robots terapéuticos podrán reconocer con mayor precisión posturas y movimientos individuales, realizar interacciones visuales y utilizar más tecnología táctil. Asimismo, se integra un robot con telepresencia, lo que brindará la posibilidad de rehabilitación remota. Al mismo tiempo se brindará a los pacientes cada vez más seguridad, privacidad, intimidad y autonomía.

La relación entre el entorno virtual y la tecnología tradicional se utiliza como indicador de rendimiento para medir de manera cuantitativa o cualitativa el progreso del paciente, con la idea de que son los dispositivos de control más utilizados para ciertos sistemas robóticos para ayudar con las tendencias de rehabilitación o relacionados con los últimos años.

Por otro lado, es importante resaltar el impacto de la terapia de rehabilitación robótica háptica en el ser humano, ya que se han observado mejoras en el desempeño de resultados, aprendizaje y actividades motoras; esto se ve evidenciado por el aumento en los procesos de retroalimentación visual, táctil y/o auditivo.

Cabe mencionar que algunos estudios han demostrado que el uso de dispositivos de realidad virtual producirá efectos secundarios, como trastornos visuales, desorientación, náuseas, dolor de cabeza, dolores posturales, entre otros (Guzmán y Londoño, 2016).

CONCLUSIONES

En la descripción de la investigación se desarrolló la implementación de un sistema novedoso en el área de rehabilitación robótica, enfocado a la rehabilitación de movimientos del cuerpo humano, cuya principal característica es la posibilidad de tener una mejor versión de la rehabilitación junto a la robótica háptica en la cual puedan interactuar en conjunto y mejorar su calidad de vida.

La particularidad que lo convierte en un sistema auxiliar ya que este permite modificar el tratamiento de rehabilitación para generar diferentes programas de rehabilitación con diferentes niveles de dificultad sin necesidad de equipos adicionales.

Con los resultados obtenidos en la investigación, se deduce que este sistema es usado como una herramienta auxiliar a las terapias de rehabilitación tradicional al permitir que se guarden datos generados de las tablas y gráficas presentadas por el usuario en cada uno de ellos, los cuales se guardan cada que se usa el sistema. En la mayoría de los casos el análisis cuantitativo de los datos muestra que existe una mejora en el control del movimiento del paciente, lo que reduce el tiempo de ejecución y la fuerza muscular del ejercicio.

Es por ello por lo que se llega a la resolución de que mientras mayor sea el desarrollo del sistema robótico háptico en servicios de salud, incrementará

la posibilidad de utilizar esta rehabilitación para los pacientes y mejorar su cuidado y así mismo poder brindar una mejor calidad de vida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo Londoño J., Caicedo Bravo E., Castillo García J.F.** (2017). Aplicación de tecnologías de rehabilitación robótica en niños con lesión del miembro superior. *Rev Univ Ind Santander Salud*; 49(1): 103-114. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012108072017000100103&script=sci_abstract&tlng=es
- Félix, A.** (2016). Página: "La fisioterapia en México." Disponible en: <https://www.fisiotensmexico.com/blogs/noticias-recientes-fisioterapia-rehabilitacion-fisica-mexico/59780931-la-fisioterapia-en-mexico>
- Guzmán, D., Londoño, J.** (2016). Rehabilitación de miembro superior con ambientes virtuales: revisión. *Rev. Mex. Ing. Bioméd [online]*. 2016, vol.37, n.3, pp.271-285. ISSN 2395-9126. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018895322016000300271&script=sci_abstract
- Organización Mundial de la Salud (OMS).** (2011). Informe mundial sobre la discapacidad. *Discapacidad OMS* Disponible:https://www.who.int/disabilities/world_report/2011/summary_es.pdf
- Valles, S., Montes, M. J., Madrigal, A., Burciaga, M. E., Martínez, y M. J. Johnson.** (2016) Technology-assisted stroke rehabilitation in México: a pilot randomized trial comparing traditional therapy to circuit training in a robot. *Journary of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 13, Disponible en: www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01889322018000200#B5

Vidrios-Serrano, C. A., Maldonado-Fregoso, B., Bonilla-Gutiérrez, I., Mendoza-Gutiérrez, M., González-Galván, E. (2018). Integración de un sistema robótico de terapia ocupacional

para extremidades superiores con estimulación visual/táctil de los pacientes. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-95322018000200144

