

Ensayo argumentativo

Realidad virtual y terapia ocupacional en la rehabilitación post-ictus

Recibido: 25-11-2020 Aceptado: 30-04-2021 (Artículo Arbitrado)

Resumen

La Terapia Ocupacional busca mejorar funciones que tras un ictus se han visto disminuidas, con la finalidad de fomentar la autonomía del paciente. Por su parte, la tecnología de Realidad Virtual representa una alternativa complementaria a la terapia convencional, no obstante, su implementación en la práctica clínica aún representa diversos desafíos. Así, a partir de una revisión de los preceptos de la Terapia Ocupacional y la Realidad Virtual, en este artículo se examina la convergencia de estas disciplinas, para el desarrollo de sistemas de Realidad Virtual destinados a la rehabilitación post-ictus, que basados en las Actividades de la Vida Diaria busquen la recuperación funcional del paciente. Se esquematiza una propuesta en la que se conjuntan los elementos relacionados con la tecnología de Realidad Virtual y la Terapia Ocupacional, alrededor de tres elementos clave en la recuperación funcional post-ictus: la retroalimentación, las tareas funcionales y la motivación. La propuesta destaca la colaboración interprofesional, como mecanismo indispensable para el diseño de estrategias de implementación de la Realidad Virtual en la práctica clínica.

Abstract

Occupational Therapy seeks to improve physical functions decreased after a stroke, in order to promote the patient's autonomy. Otherwise, Virtual Reality technology represents a complementary alternative to conventional therapy; however, its implementation in clinical practice still represents several challenges. Thus, from a review of the precepts of Occupational Therapy and Virtual Reality, this paper examines the convergence of these disciplines for the development of Virtual Reality systems, intended for post-stroke rehabilitation, based on the Activities of the Daily Living seeking the functional recovery of the patient. A proposal is outlined in which the elements related to Virtual Reality technology and Occupational Therapy are combined around three key elements in post-stroke functional recovery: feedback, functional tasks and motivation. The proposal highlights the interprofessional collaboration, as an indispensable mechanism for the design of strategies to implement Virtual Reality in clinical practice.

Résumé

L'ergothérapie cherche à améliorer les fonctions qui ont été diminuées après un AVC, afin de favoriser l'autonomie du patient. De son côté, la technologie de réalité virtuelle représente une alternative complémentaire à la thérapie conventionnelle, cependant, sa mise en œuvre en pratique clinique représente encore divers défis. Ainsi, à partir d'une revue des préceptes de l'ergothérapie et de la réalité virtuelle, cet article examine la convergence de ces disciplines, pour le développement de systèmes de réalité virtuelle pour la rééducation post-AVC, basés sur les activités de la vie quotidienne recherchant la récupération fonctionnelle de le patient. Une proposition est esquissée dans laquelle les éléments liés à la technologie de réalité virtuelle et à l'ergothérapie sont combinés, autour de trois éléments clés de la récupération fonctionnelle post-AVC: la rétroaction, les tâches fonctionnelles et la motivation. La proposition met en évidence la collaboration interprofessionnelle comme un mécanisme indispensable pour la conception de stratégies pour la mise en œuvre de la réalité virtuelle dans la pratique clinique.

Francisco Aguilar Acevedo¹

Daniel Pacheco Bautista^{1*}

Marleydy Acevedo Gómez¹

Jesús Arellano Pimentel¹

Palabras clave: Enfermedad cerebrovascular, Ingeniería de rehabilitación, Neuroplasticidad.

Keywords: Cerebrovascular disease, Biomedical Engineering, , Neuroplasticity.

Mots-clés: Maladie cérébrovasculaire, Génie de la rééducation, Neuroplasticité.

Introducción

Actualmente, la Enfermedad Vascular Cerebral (EVC) o cerebrovascular, constituye una de las causas más frecuentes de muerte, y representa uno de los principales motivos de ocupación hospitalaria. En México, la EVC ocurre en 118 personas por cada 100,000 habitantes al año, lo que en 2014 la ubicó como la sexta causa de muerte en el país (Secretaría de salud, 2015). La EVC puede ser clasificada en: isquémica, hemorrágica y trombosis venosa. Dentro de los factores de riesgo que condiciona la

¹Universidad del Istmo
campus Tehuantepec

Correspondencia:

*dpachecob@hotmail.com

incidencia de la EVC, se encuentran los modificables como el tabaquismo, la diabetes y la hipertensión arterial, y los no modificables como la edad, el sexo y el historial familiar. Diversos estudios han señalado a la hipertensión, como el factor de riesgo más importante en EVCs isquémicas y hemorrágicas. Si bien, en países como México la prevalencia de diabetes e hipertensión es mayor en el grupo de 60 o más años de edad (Arauz y Ruíz-Franco, 2012), la EVC puede manifestarse a cualquier edad.

En particular, el ictus o accidente cerebrovascular (ACV) es una alteración brusca, transitoria o permanente de la circulación cerebral en una zona de tejido funcional en el cerebro. Un ictus isquémico o infarto cerebral ocurre cuando una arteria en el cerebro queda bloqueada reduciendo de improviso el flujo de sangre, mientras que en los hemorrágicos la arteria se rompe ocasionando un derrame sanguíneo. Alrededor de un 80% de todos los ictus son de tipo isquémico (Fahey et al., 2018).

A consecuencia de las secuelas provocadas después de sufrir un ictus, la rehabilitación juega un papel importante para re-aprender las habilidades básicas que el ataque afectó como comer, vestirse y caminar. Entre las secuelas más comunes se encuentran: los trastornos sensitivos y motores, el déficit de visión, alteración del equilibrio, y la afectación del lenguaje. La alteración que se presenta con mayor frecuencia tras un ictus es el déficit motor, el cual se caracteriza por la dificultad para ejecutar movimientos voluntarios, lo que a menudo resulta en una menor independencia y movilidad. Las manifestaciones clínicas dependerán de la zona cerebral afectada, en el caso de los ictus transitorios, por lo general se produce debilidad en una extremidad, ordinariamente el brazo. Estas alteraciones se asocian íntimamente con las dificultades que manifiestan los pacientes para llevar a cabo Actividades de la Vida Diaria (AVD).

En este sentido, idealmente los ejercicios de rehabilitación post-ictus se realizan con la práctica diaria asistida por el terapeuta, sin embargo, en las instituciones de salud es frecuente la falta de personal para auxiliar en la instrucción de los ejercicios. En México, existen pocos espacios para el diagnóstico y la rehabilitación de pacientes que presentan secuelas por daño cerebral, siendo el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) la institución de mayor presencia

en servicios de rehabilitación, con 3 Unidades de Medicina Física y Rehabilitación de tercer nivel, 14 servicios de rehabilitación de las Unidades Médicas de Alta Especialidad y 101 servicios de rehabilitación en hospitales de zona (Guzmán-González, 2016). Aunado a lo anterior, muchas personas no se sujetan a los programas de rehabilitación debido a que se requieren un gran número de repeticiones o bien realizan sus ejercicios en casa de manera incorrecta, haciendo que el ejercicio sea ineficaz o incluso peligroso. Algunos problemas comunes que se han identificado en la realización de ejercicios en casa, son la desmotivación y la ejecución de ejercicios de forma errónea al compensar un movimiento limitado con otros (Vives, Quintana y Soto, 2014). Estos hechos sumados a la demanda creciente, hace poco práctico y bastante costoso el proceso de rehabilitación.

Para la rehabilitación del paciente se deben tener en cuenta elementos clave como la retroalimentación, y la motivación, siendo ahí donde tecnologías como la Realidad Virtual (RV) suponen un enfoque de rehabilitación prometedor. La interacción y la retroalimentación sensorial del sujeto son las características que han motivado el estudio de la RV como una herramienta terapéutica post-ictus.

Así, en este artículo se presenta una revisión de los pormenores alrededor del desarrollo de sistemas de RV destinados a la rehabilitación post-ictus, desde la perspectiva de la Terapia Ocupacional (TO). Se señalan los argumentos en torno a la recuperación funcional a través de las AVD, y las herramientas tecnológicas implicadas en el desarrollo de sistemas con este propósito, para finalmente dar paso a una propuesta para su integración.

Terapia ocupacional y recuperación funcional

Tras un ictus, la rehabilitación juega un papel preponderante, al promover la autonomía, y el regreso al domicilio, reduciendo así la hospitalización. Desde un punto de vista temporal, la rehabilitación se puede estructurar en tres periodos; agudo, subagudo y crónico, siendo en el segundo donde la rehabilitación adquiere mayor relevancia, al ser el momento en el que el paciente puede participar de forma activa. Las terapias convencionales para pacientes que se recuperan de un ACV incluyen la terapia física, ocupacional y del habla (Lin, Finklestein y Cramer, 2018). En este sentido, la TO aporta conocimientos y recursos

para que el usuario alcance el máximo nivel de autonomía e integración en su entorno natural, atendiendo a las repercusiones que la enfermedad y la discapacidad pueden causar en el quehacer cotidiano de las personas, es decir, en sus AVD. El proceso de la TO para la recuperación funcional se inicia una vez que la persona se encuentra médicamente estable, buscando en el periodo pos-hospitalario, conservar e incrementar los arcos de movilidad de las articulaciones y la independencia funcional en sus AVD.

Las AVD son un parámetro funcional de rehabilitación médica ampliamente aceptado y reconocido, las cuales suelen clasificarse en básicas e instrumentales, siendo las primeras las relacionadas con el autocuidado, y las segundas con la vida independiente en la comunidad. La valoración de las AVD es una herramienta imprescindible en la TO, dado el objetivo prioritario de buscar la mayor independencia posible del paciente. Al respecto, existe un número significativo de escalas de evaluación de las AVD, cuyo uso depende en gran medida del momento en que se realice dicha valoración. Dentro de estas escalas, las llamadas genéricas resultan de utilidad particularmente en la comparación entre el momento inicial y final de un proceso patológico, más no así, para recabar información de la evolución del paciente.

Entre los instrumentos genéricos más utilizados se encuentra el Índice de Barthel (Mahoney y Barthel, 1965), el cual es empleado para medir el nivel de independencia de diez AVD básicas, cuantificando los cambios en el estado funcional de personas con enfermedades neurológicas o músculo esqueléticas. Los valores que se asignan a cada actividad (items) se basan en la cantidad de asistencia requerida para realizar la tarea, en intervalos de cinco en su versión original. Una mejora en la sensibilidad de esta escala es presentada en Shah, Vanclay y Cooper (1989), la cual es conocida como el índice de Barthel modificado. La interpretación sobre la puntuación del índice de Barthel permite una clasificación que va desde la dependencia total hasta la independencia de la persona.

Para los médicos y terapeutas, el principio que fundamenta la aplicación de programas de rehabilitación para la recuperación funcional es la plasticidad cerebral/neuronal o neuroplasticidad (Rebolledo, 2003), es decir, la capacidad del cerebro de adaptarse, reorganizarse y modificar su propia organización

estructural, minimizando así los efectos de la lesión. En los adultos esta capacidad es menor en comparación con los niños. El grado de recuperación depende de factores, como la edad, el área comprometida (hemisferio izquierdo o derecho), el grado de lesión cerebral, el tiempo en que se produce el daño, la aplicación de programas de rehabilitación temprana, y los factores ambientales y psicosociales. La recuperación funcional y, por consiguiente, los procesos de plasticidad cerebral se optimizan con el inicio temprano de la rehabilitación. En general, transcurrido los seis meses posteriores al ictus es difícil objetivar ganancias en la recuperación del paciente, encaminando el esfuerzo terapéutico a buscar la adaptación del paciente a su actual situación funcional. El uso de sistemas de RV puede contribuir a la recuperación funcional al inducir fenómenos de neuroplasticidad, así, la plasticidad neuronal ha sido relacionada con una medida de eficacia del uso de la RV (i Badia et al., 2016).

La realidad virtual en la rehabilitación post-ictus

La RV permite simular en un mundo virtual el comportamiento de entidades tridimensionales (3D), al interactuar en tiempo real con uno o más usuarios en inmersión pseudo-natural a través de canales sensorio-motores, permitiendo a la(s) persona(s) percibir, decidir y actuar en el entorno virtual. Estos mundos virtuales pueden ser imaginarios, incluir simbólicos o ser una simulación de un cierto aspecto del mundo real. De manera general, la RV se puede clasificar en inmersiva, semi-inmersiva y no inmersiva, siendo la última la más común al no requerir de hardware especializado, y ser utilizada en aplicaciones lúdicas.

En la rehabilitación, la tecnología de RV ha sido aplicada en patologías de origen neurológico, como el ictus, en particular en la rehabilitación de la función motora. En este sentido, los sistemas de RV más utilizados en pacientes con ictus han sido los semi-inmersivos, en los que se percibe parte del mundo real y parte del virtual (Viñas-Díaz y Sobrido-Prieto, 2016; Yates, Kelemen y Sik, 2016). En Cano-Mañas, Collado-Vásquez y Cano-de-la-Cuerda (2017) se estudia como la realidad virtual semi-inmersiva facilita el aprendizaje motor con retroalimentación y motivación, a través de la activación del sistema de neuronas espejo y mecanismos neuroplásticos, por lo que podría implementarse como tratamiento coadyuvante en la re-

habilitación de pacientes con ictus. En estudios como el de Boje y Calvo-Muñoz (2018) se señalan mejoras en la movilidad, la fuerza, la calidad y la cantidad de movimientos del miembro inferior en pacientes con ictus crónico, tras la aplicación de la terapia de RV de forma aislada o combinada con la terapia convencional. Dentro de los sistemas de RV no inmersivos cabe mencionar las videoconsolas comerciales, las cuales además de su accesibilidad y el bajo costo, se perciben como un complemento eficaz para la rehabilitación del miembro superior de pacientes con ictus al permitir una fácil inmersión en los videojuegos, potencializando la recuperación motora.

Componentes tecnológicos de la RV

De los componentes de hardware y software necesarios para construir y experimentar la RV, es posible identificar dos diferenciadores en los desarrollos destinados al apoyo a los procedimientos convencionales de rehabilitación post-ictus: los periféricos para la interacción (sistemas de seguimiento y dispositivos de entrada) y el software de simulación de RV.

Dentro de las tecnologías de interfaz destacan las hápticas (de estímulo kinestésico como fuerza y posición, o de estímulo táctil como temperatura y vibración), y las basadas en visión. Los sistemas hápticos kinestésico-táctil son una tendencia actual en busca de un mayor realismo e inmersión en ambientes virtuales o remotos. Si bien, es posible identificar el beneficio de la retroalimentación háptica en la compensación de movimientos que pueden limitar la recuperación, no existe una clara tendencia del uso de una interfaz sobre otra. No obstante, el control de movimiento basado en visión puede resultar más intuitivo que el uso de dispositivos físicos.

Particularmente, en la rehabilitación virtual dos dispositivos comerciales han sido usados con regularidad: el Nintendo Wii y el Microsoft Kinect (Langan et al., 2018). Respecto a los sistemas basados en Wii, estos requieren el uso de un mando o dispositivo (controlador), lo que demanda cierta destreza, y dificulta la identificación de movimientos compensados. El accesorio Wii Balance Board ha sido usado para mejorar el equilibrio estático y dinámico en pacientes con accidente cerebrovascular (Carregosa et al., 2018; Karasu y Batur, 2018).

Por su parte, el Kinect ha sido una interfaz alternativa basada en visión, y de uso frecuente por su

bajo costo, portabilidad y comodidad, permitiendo la interacción a través de movimientos corporales. Una de las características del Kinect más empleadas es su función de seguimiento de esqueleto (skeleton tracking), que permite el rastreo de los movimientos corporales a través de la información de puntos característicos en 3D que representan las principales articulaciones de una persona. El Kinect en su segunda versión permite la detección de veinte puntos articulares del esqueleto y la distinción de seis sujetos en la escena (Lun y Zhao, 2015).

Sobre el uso de sistemas de RV basados en Kinect en la recuperación funcional post-ictus, en Aşkın et al., (2018) se sugiere que su uso como complemento, puede contribuir a mejorar tanto la función motora como el rango de movimiento activo del miembro superior en pacientes con ictus crónico. Por su parte, en Mobini, Behzadipour, y Saadat (2015) se aborda la confiabilidad de las mediciones de Kinect en este tipo de aplicaciones, obteniendo resultados favorables en la captura de movimiento. En Uribe-Quevedo y Kapralos (2017) se presenta un enfoque para desarrollar videojuegos activos (exergames) basados en Kinect para extremidades superiores, centrados en la actividad física del hombro y la rehabilitación.

Si bien, diversos estudios señalan al Kinect como una herramienta aceptable para la rehabilitación motriz debido a su bajo costo y adecuada exactitud, los desarrolladores deben considerar factores como la oclusión y el ruido en el rastreo de esqueletos. Algunas limitaciones tecnológicas del Kinect son: la ubicación fija del sensor, su rango de captura, y la dificultad en la captura de movimientos finos, y en la evaluación de las rotaciones internas de la articulación del hombro. Al respecto, las limitantes en la identificación de movimientos a partir sólo de los datos del rastreo esqueleto ha sido abordada a través de algoritmos novedosos y métodos como el aprendizaje automático, por ejemplo, en Sinha et al. (2016) se propone un algoritmo para mejorar la precisión de las coordenadas de la articulación esquelética del Kinect para aplicaciones en rehabilitación. Por otra parte, la detección de movimientos finos de la mano ha sido abordada incorporando tecnologías, como el controlador de movimiento Leap Motion (Vogiatzaki y Krukowski, 2014; Moldovan et al., 2017; Postolache et al., 2019), o el brazalete de control de gestos Myo

(Esfahlani et al., 2018). De igual forma, el Kinect, ha sido integrado a alternativas comerciales destinadas a la rehabilitación como MIRA (Medical Interactive Recovery Assistant), SaeboVR y Jintronix, y que han sido empleadas en diversos estudios (Adams et al., 2017; Nguyen et al., 2018). Por su parte, MIRA es una plataforma destinada a la asistencia en la terapia física, mientras, SaeboVR es un sistema de rehabilitación virtual basado en las AVD, y Jintronix se identifica como un servicio de telemedicina.

El desarrollo de aplicaciones de RV para la rehabilitación, se ha visto favorecido en gran medida con la consolidación de motores de gráficos como Unity y Unreal Engine, siendo el primero uno de los más utilizados por su facilidad de uso. Por ejemplo, en Pei et al. (2016) se expone un sistema basado en Kinect que combina la tecnología de RV y un método tradicional (terapia en espejo) para la rehabilitación motora post-ictus. La retroalimentación visual se realiza empleando la captura de movimiento del Kinect y un ambiente virtual construido en Unity3D. Por su parte, en Ferreira, Oliveira y Postolache (2017) se presenta el desarrollo de un juego serio (no lúdico) usando el Kinect y Unity, destinado a la rehabilitación física del miembro de pacientes que han sufrido un ictus. Mientras en Semblantes et al. (2018) se describe una alternativa para tratar trastornos motores tras un ictus, usando el sensor Kinect y un casco de RV (Oculus Rift); el sistema contiene escenarios 3D en Unity para la inmersión del paciente, apoyándose de un algoritmo para evaluar las diferencias entre la rutina realizada y el modelo predefinido por el especialista. De igual forma, haciendo uso del Kinect y Unity, en Triandafilou et al. (2018), se presenta el desarrollo de un entorno 3D multiusuarios en red destinado a la rehabilitación en casa tras un ictus.

Convergencia entre realidad virtual y terapia ocupacional

Si bien, los beneficios de la RV respecto a los tratamientos convencionales son aún motivo de escudriño, diversos estudios hoy sitúan a la RV como un complemento en los procesos de rehabilitación. Más aún, tras un ictus agudo, la combinación de rehabilitación basada en la RV y enfoques restaurativos tradicionales podría ser en algunos aspectos más efectiva que la rehabilitación convencional. Sin embargo, no es posible identificar preceptos que conduzcan el de-

sarrollo de sistemas de RV pertinentes para la rehabilitación post-ictus. Así, en la Figura 1, se esquematiza una propuesta en la que se consideran elementos relacionados con los componentes tecnológicos de la RV (periféricos de interacción y software de simulación de RV), y la terapia ocupacional (AVD y el factor humano). Alrededor de esta convergencia es posible identificar tres elementos clave en la recuperación funcional post-ictus: la retroalimentación, las tareas funcionales, y la motivación.

En la base de estas relaciones se pueden identificar los componentes tecnológicos de la RV que facilitan la interacción y la simulación, siendo el sensor Kinect y el motor gráfico Unity, los más recurridos en el desarrollo de RV no inmersivos destinados a la rehabilitación. La latencia inherente a los entornos virtuales interactivos y las discrepancias sensomotoras siempre existentes, son elementos vinculados con la tecnología empleada.

Por su parte, si bien el uso de videojuegos no terapéuticos ha mostrado utilidad en la rehabilitación post-ictus, estos suelen presentar realidades ajenas al paciente, que de igual forma no son ajustables al progreso de la rehabilitación. Así, una variable a considerar es la tarea que realiza el paciente, que desde la perspectiva de la TO, puede ser abordada a través de las AVDs, fomentando la recuperación al realizar tareas funcionales comparables a situaciones reales de la vida diaria del paciente. La incorporación de tareas específicas en un sistema de RV puede aportar beneficios a la recuperación funcional incluso en la etapa



Figura 1. Convergencia entre RV y TO para el desarrollo de sistemas destinados a la rehabilitación post-ictus.

de ictus crónico. Por ejemplo, en el estudio realizado por Adams et al. (2018) con un software comercial se asocia el uso de AVD virtuales a mejoras significativas en la función motora del miembro superior de pacientes con ictus crónico. En este sentido, al momento de establecer la evolución en la recuperación de las actividades básicas de la vida diaria, diversos estudios coinciden en el uso del índice de Barthel y la escala de Rankin modificada (Cano-Mañas et al., 2017; Moreno-Palacios et al., 2017; Noé-Sebastián et al., 2017). Respecto a la repetición de estas tareas, existe modesta evidencia que los entornos virtuales promuevan un alto grado de repetición, de modo tal, que los resultados del uso de la RV no dependen exclusivamente de la duración, sino también de la importancia de la tarea.

En el caso de la retroalimentación, la del tipo visual es un atributo inherente a la RV, siendo con frecuencia acompañada de la auditiva. La retroalimentación háptica es un enfoque explorado en la actualidad en busca de incrementar el grado de inmersión. El permitir al paciente percibir el reconocimiento de su movimiento es un medio de retroalimentación (estimulación propioceptiva) fundamental para informarle la realización de movimientos incorrectos. La visualización de movimientos mediante extremidades de un cuerpo virtual (ej. brazos y manos) se ha presentado con regularidad en sistemas de RV para la rehabilitación de miembro superior (Dos Santos et al., 2016).

En el mismo sentido, las sugerencias y correcciones que el profesional de salud (médico/terapeuta) realiza durante la ejecución de los ejercicios, es un mecanismo de retroalimentación relevante en la integración de sistemas de RV con este propósito. Además, la tele-rehabilitación usando RV se sugiere como una alternativa de asistencia remota que puede disminuir los costos del proceso de rehabilitación, sin embargo, deben considerarse las dificultades propias de la ausencia de interacción física terapéutica-paciente, y el acceso y uso de la tecnología.

Sobre la motivación, ésta permite persuadir a los pacientes de realizar las tareas virtuales, de modo que, en el contexto de la rehabilitación sensomotora, la actividad deberá ser interesante en sí misma y tener un propósito. Bajo la perspectiva de los terapeutas, se identifican a la motivación, la conciencia

y la retroalimentación directa como los aspectos benéficos del uso de la RV post-ictus. El incremento en la motivación y participación del paciente al utilizar sistemas de RV, es una característica reportada en diversos estudios (Corbetta, Imeri y Gatti, 2015).

Conclusiones

Hoy la tecnología de RV se aplica a patologías de origen neurológico como el ictus, la enfermedad de Parkinson, esquizofrenia, parálisis cerebral, lesiones medulares, y demencia. En particular, el ictus presenta secuelas susceptibles de incluirse en programas de neurorehabilitación. Al respecto, diversos estudios han mostrado la utilidad de las terapias con RV en la recuperación funcional de pacientes con síntomas neurológicos relacionados con el miembro superior, la marcha, y el equilibrio estático/dinámico. A este hecho, se ha sumado el prolifero uso de videojuegos activos mediante videoconsolas y de alternativas comerciales, no obstante, en caso de los primeros, las opciones para individualizar planes de tratamiento son limitadas, mientras los segundos representan una inversión económica significativa. Así, la convergencia entre RV y TO discutida en este artículo, busca orientar el desarrollo de sistemas de RV que puedan ser utilizados como complemento de la rehabilitación convencional post-ictus. La propuesta destaca la colaboración interprofesional, la cual resulta indispensable para el diseño de estrategias de implementación de la RV en la práctica clínica.

Bibliografía

- Adams, R. J., Lichter, M. D., Ellington, A., White, M., Armstead, K., Patrie, J. T., y Diamond, P. T. (2017). Virtual activities of daily living for recovery of upper extremity motor function. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 26(1): 252-260.
- Arauz, A., y Ruíz-Franco, A. (2012). Enfermedad vascular cerebral. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*. 55(3): 11-21.
- Aşkın, A., Atar, E., Koçyiğit, H., y Tosun, A. (2018). Effects of Kinect-based virtual reality game training on upper extremity motor recovery in chronic stroke. *Somatosensory & motor research*. 35(1): 25-32.
- Boje, R. M., y Calvo-Muñoz, I. (2018). Efectos de la terapia de realidad virtual en el miembro superior en pacientes con ictus: revisión sistemática. *Rehabilitación*. 52(1): 45-54.
- Cano-Mañas, M. J., Collado-Vázquez, S., y Cano-de-la-Cuerda, R. (2017). Videojuegos comerciales en la rehabilitación de pacientes con ictus subagudo: estudio piloto. *Revista de Neurología*. 65(8): 337-347.

- Carregosa, A. A., dos Santos, L. R. A., Masruha, M. R., Coêlho, M. L. D. S., Machado, T. C., Souza, D. C. B. y de Souza Melo, A. (2018). Virtual rehabilitation through Nintendo Wii in poststroke patients: follow-up. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*. 27(2): 494-498.
- Corbetta, D., Imeri, F., y Gatti, R. (2015). Rehabilitation that incorporates virtual reality is more effective than standard rehabilitation for improving walking speed, balance and mobility after stroke: a systematic review. *Journal of physiotherapy*. 61(3): 117-124.
- Dos Santos, L. F., Christ, O., Mate, K., Schmidt, H., Krüger, J., y Dohle, C. (2016). Movement visualisation in virtual reality rehabilitation of the lower limb: a systematic review. *Biomedical engineering online*. 15(3): 144.
- Esfahlani, S. S., Muresan, B., Sanaei, A., y Wilson, G. (2018). Validity of the Kinect and Myo armband in a serious game for assessing upper limb movement. *Entertainment Computing*. 27: 150-156.
- Fahey, M., Crayton, E., Wolfe, C., y Douiri, A. (2018). Clinical prediction models for mortality and functional outcome following ischemic stroke: a systematic review and meta-analysis. *PloS one*. 13(1): e0185402.
- Ferreira, D., Oliveira, R., y Postolache, O. (2017, December). Physical rehabilitation based on kinect serious games. In 2017 *Eleventh International Conference on Sensing Technology (ICST)* (pp. 1-6). IEEE.
- Guzmán-González, J. M. (2016). Presente y futuro de la rehabilitación en México. *Cirugía y Cirujanos*. 84(2): 93-95.
- i Badia, S. B., Fluett, G. G., Llorens, R., y Deutsch, J. E. (2016). Virtual reality for sensorimotor rehabilitation post stroke: Design principles and evidence. In *Neurorehabilitation technology* (pp. 573-603). Springer, Cham.
- Karasu, A. U., y Batur, E. B. (2018). Effectiveness of Wii-based rehabilitation in stroke: a randomized controlled study. *Journal of rehabilitation medicine*. 50(5): 406-412.
- Langan, J., Subryan, H., Nwogu, I., y Cuvuto, L. (2018). Reported use of technology in stroke rehabilitation by physical and occupational therapists. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 13(7): 641-647.
- Lin, D. J., Finklestein, S. P., y Cramer, S. C. (2018). New directions in treatments targeting stroke recovery. *Stroke*. 49(12): 3107-3114.
- Lun, R., y Zhao, W. (2015). A survey of applications and human motion recognition with microsoft kinect. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*. 29(05): 1555008.
- Mahoney, F. I., y Barthel, D. W. (1965). Functional evaluation: the Barthel Index: a simple index of independence useful in scoring improvement in the rehabilitation of the chronically ill. *Maryland state medical journal*. 14: 61-5.
- Mobini, A., Behzadipour, S., y Saadat, M. (2015). Test-retest reliability of Kinect's measurements for the evaluation of upper body recovery of stroke patients. *Biomedical engineering online*. 14(1): 75.
- Moldovan, I. M., Tric, L., Ursu, R., Podar, A., Calin, A. D., Cantea, A. C., y Mihaiu, C. A. (2017, June). Virtual rehabilitation programme using the MIRA platform, Kinect and Leap Motion sensors in an 81 years old patient with ischemic stroke. In 2017 *E-Health and Bioengineering Conference (EHB)* (pp. 325-328). IEEE.
- Moreno-Palacios, J. A., Moreno-Martínez, I., Bartolomé-Nogués, A., López-Blanco, E., Juárez-Fernández, R., y García-Delgado, I. (2017). Factores pronósticos de recuperación funcional del ictus al año. *Rev. Neurol*. 55-62.
- Nguyen, A. V., Ong, Y. L. A., Luo, C. X., Thuraingam, T., Rubino, M., Levin, M. F., y Archambault, P. S. (2018). Virtual reality exergaming as adjunctive therapy in a sub-acute stroke rehabilitation setting: facilitators and barriers. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*.
- Noé-Sebastián, E., Balasch-Bernat, M., Colomer-Font, C., Moliner-Muñoz, B., Rodríguez Sánchez-Leiva, C., Ugart, P., y Ferri-Campos, J. (2017). Ictus y discapacidad: estudio longitudinal en pacientes con discapacidad moderada-grave tras un ictus incluidos en un programa de rehabilitación multidisciplinar. *Rev Neurol*. 64(9): 385-392.
- Pei, W., Xu, G., Li, M., Ding, H., Zhang, S., y Luo, A. (2016, August). A motion rehabilitation self-training and evaluation system using Kinect. In 2016 *13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)* (pp. 353-357). IEEE.
- Postolache, G., Carry, F., Lourenço, F., Ferreira, D., Oliveira, R., Girão, P. S., y Postolache, O. (2019). Serious Games Based on Kinect and Leap Motion Controller for Upper Limbs Physical Rehabilitation. In *Modern Sensing Technologies* (pp. 147-177). Springer, Cham.
- Rebolledo, F. A. (2003). ¿Es posible la restauración cerebral? Mecanismos biológicos de la plasticidad neuronal. *Plasticidad y Restauración Neurológica*. 2(2): 143-152.
- Secretaría de Salud. Boletín de Información Estadística 2014-2015. Dirección General de Información en Salud. Recuperado el 21 de enero de 2019 de, http://www.dgis.salud.gob.mx/descargas/pdf/Boletxn_InformacixnEstadxstica_14_15.pdf.
- Semblantes, P. A., Andaluz, V. H., Lagla, J., Chicaiza, F. A., y Acurio, A. (2018). Visual feedback framework for rehabilitation of stroke patients. *Informatics in Medicine Unlocked*. 13: 41-50.
- Shah, S., Vanclay, F., y Cooper, B. (1989). Improving the sensitivity of the Barthel Index for stroke rehabilitation. *Journal of clinical epidemiology*. 42(8): 703-709.
- Sinha, S., Bhowmick, B., Chakravarty, K., Sinha, A., y Das, A. (2016, August). Accurate upper body rehabilitation system using kinect. In 2016 *38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (pp. 4605-4609). IEEE.
- Triandafilou, K. M., Tsoupikova, D., Barry, A. J., Thielbar, K. N., Stoykov, N., y Kamper, D. G. (2018). Development of a 3D, networked multi-user virtual reality environment for home therapy after stroke. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 15(1): 88.
- Uribe-Quevedo, A., & Kapralos, B. (2017). Exergaming for Shoulder-Based Exercise and Rehabilitation. In *Recent Advances in Technologies for Inclusive Well-Being* (pp. 105-125). Springer, Cham.
- Viñas-Diz, S., y Sobrido-Prieto, M. (2016). Realidad virtual con fines terapéuticos en pacientes con ictus: revisión sistemática. *Neurología*. 31(4): 255-277.
- Vives Medina, O. T., Quintana Pereda, R., y Soto Páez, N. (2014). Protocolo de actuación de Enfermería para pacientes con enfermedad cerebrovascular. *Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río*. 18(3): 414-429.
- Vogiatzaki, E., y Krukowski, A. (2014). Serious games for stroke rehabilitation employing immersive user interfaces in 3D virtual environment. *Journal of Health Informatics*. 6.
- Yates, M., Kelemen, A., y Sik Lanyi, C. (2016). Virtual reality gaming in the rehabilitation of the upper extremities post-stroke. *Brain injury*. 30(7): 855-863.



Universidades Estatales de Oaxaca

10 Universidades y 18 Campus

**Universidad Tecnológica
de la Mixteca
(UTM)**
Huajuapán

**Universidad del Mar
(UMAR)**
Campus Puerto Escondido,
Puerto Ángel, Huatulco
y Oaxaca

**Universidad del Istmo
(UNISTMO)**
Campus Tehuantepec,
Ixtepec y Juchitán

**Universidad del Papaloapan
(UNPA)**
Campus Loma Bonita
y Tuxtpec

**Universidad de la Sierra Sur
(UNSIIS)**
Miahuatlán

**Universidad de la Sierra Juárez
(UNSIJ)**
Ixtlán de Juárez

**Universidad de la Cañada
(UNCA)**
Teotitlán de Flores Magón

**NovaUniversitas
(NU)**
Campus Ocotlán,
San Jacinto y Juxtlahuaca

**Universidad de la Costa
(UNCOS)**
Pinotepa Nacional

**Universidad de Chalcatongo
(UNICHA)**
Chalcatongo de Hidalgo

**627 edificios
500 Ha**

**30 Institutos
de
Investigación**



**183 Laboratorios
29 Talleres**

Universidades ecológicas:
Los campus universitarios
son bosques con
la flora y fauna endémicas

**88 carreras,
de las cuales la mayoría
son ingenierías**

**41 posgrados:
10 Doctorados
y 31 Maestrías**



**Más de
11,000 alumnos
Alrededor de
1,200 profesores
de tiempo completo**