

Tendencias en el desarrollo de dispositivos médicos

Trends in the development of medical devices

Milagro López, Mario Vega

Unidad de Registro de Dispositivos Médicos

Dirección Nacional de Medicamentos

✉ revistadnm@medicamentos.gob.sv

Tema de actualidad

Recibido:

28 de junio de 2022

Aceptado:

6 de septiembre de 2022

Publicado:

4 de noviembre de 2022

Resumen

Se presenta una revisión bibliográfica sobre algunos de los avances más comentados en el desarrollo de dispositivos médicos, se abarcan los dispositivos portables ("Wearable Devices"), tecnologías asistivas como exoesqueletos o un software para ayudar a la comunicación de personas con anartria, simuladores de uso médico para entrenamiento del personal de salud, inteligencia artificial como apoyo para el diagnóstico de pacientes por imágenes médicas y finalmente el uso de un dispositivos de realidad virtual para el tratamiento del dolor.

Palabras clave: Wearable Devices, Tecnologías asistivas

Abstract

It is a bibliographic review of some of the most commented advances in the development of medical devices, including portable devices ("Wearable Devices"), assistive technologies such as exoskeletons or software to help people with anarthria to communicate, simulators of medical use for training health personnel, artificial intelligence as support for the diagnosis of patients through medical images and finally, the use of virtual reality devices for pain treatment.

Keywords: *Wearable Devices, Assistive Technologies,*

Introducción

Los dispositivos médicos son un tipo de tecnología sanitaria que engloba muchas de las tecnologías que, por medios diferentes a los metabólicos, inmunológicos y farmacológicos, pueden ser utilizados para diagnóstico, tratamiento, prevención de una enfermedad o rehabilitación de un paciente, entre otros fines compatibles. El continuo avance tecnológico permite que el campo de aplicación de los dispositivos médicos sea amplio, pudiendo enfocarse, ya sea en aplicaciones específicas de una especialidad médica, con el objetivo de entrenar al personal médico para realizar intervenciones exitosas con menos riesgo, como para ayudar a mejorar la condición de salud en el día a día, monitorear procesos de rehabilitación, prevenir futuras complicaciones de salud, o incluso integrar al ser humano en la sociedad cuando se tenga una incapacidad.

Los dispositivos médicos en el mundo moderno

Debido a su diversidad los dispositivos médicos pueden ser utilizados en diferentes campos de la medicina, para el diagnóstico, prevención, tratamiento o rehabilitación de enfermedades o condiciones, así como la asistencia o sustitución de procesos fisiológicos del ser

humano, por lo que el avance tecnológico en esta materia implica el desarrollo de nuevos dispositivos que permitan la intervención en campos novedosos o inimaginables hace unos años atrás.

Alrededor del mundo existen diferentes tendencias de desarrollo tecnológico de dispositivos médicos, muchos de ellos derivados de los diferentes campos de la ingeniería biomédica y las especialidades de la medicina, buscando cada vez más la intervención tecnológica en el campo de la salud, modernizando de forma continua los sistemas de salud en búsqueda de la eficiencia y la eficacia.

Entre las tendencias de desarrollo tecnológico de vanguardia se tienen los dispositivos portables o vestibles, por su traducción literaria de "Wearable Devices", así como las tendencias en desarrollo de tecnologías asistivas para la movilidad, tecnologías aplicadas al aprendizaje por medio de simulación, inteligencia artificial aplicada en el diagnóstico por imágenes médicas, e incluso el uso de la realidad virtual para aplicaciones específicas como tratamiento del dolor.

Wearable Devices

Los "Wearable Devices" o dispositivos wearable, son una categoría de dispositivos que pueden ser usados como accesorios, colocados en la ropa, implantados en el cuerpo del usuario o incluso tatuados en la piel, con el fin de monitorizar, tratar o ayudar a las personas a buscar un estilo de vida más saludable.

Este desarrollo tecnológico surge bajo la tendencia de usar electrónicos portables o "wearable electronics", tales como dispositivos de muñeca (smartwatches) y teléfonos inteligentes (smartphones), para fines recreativos y para mediciones en actividades deportivas. Estos productos han llevado a la aplicación de estas tecnologías para el campo de la medicina, logrando su uso mediante la combinación de biosensores y la comunicación en red. Los biosensores

pueden proveer información fisiológica en tiempo real, permitiéndoles ser utilizados en diferentes aplicaciones en mediciones no invasivas (Jayoung, Alan. S, Berta, & Joseph, 2019).

La medición en tiempo real y la comunicación de los datos permiten monitorear actividades cotidianas, tales como actividades físicas o de ejercicio, o ser orientadas al campo de la salud, sobre lo cual se han identificado cuatro áreas médicas de aplicación: salud y monitoreo de la seguridad, manejo de enfermedades crónicas, diagnóstico y tratamiento de enfermedades y para rehabilitación (Lin, y otros, 2020). De forma general, como parte de esta tendencia tecnológica, se puede mencionar que se han desarrollado dispositivos específicos orientados al monitoreo de ritmo cardíaco y de respiración mediante biosensores ópticos en bandas puestas en el tórax, en el brazo o en la muñeca, comunicando activamente la información con aplicaciones instaladas en un smartphone.

Este tipo de dispositivos también pueden ser utilizados para otros fines, tal como el de monitorear los cambios del nivel de estrés o de carga cognitiva mediante la respuesta galvánica de la piel, por cambios de conductividad de la piel del portador debido a la medición microscópica de sudor secretado (Idalis, María, & Wade, 2016); asimismo, existen otros dispositivos destinados a monitorear movimientos mediante sensores usualmente incorporados en smartphones, tales como GPS, giroscopios, acelerómetros, entre otros, que ayudan a identificar el movimiento del portador del dispositivo, mientras que otros dispositivos son destinados como sistemas personales de respuesta a emergencias, buscando alertar a familiares o personal asistencial acerca de la necesidad de atención al portador.

El uso o combinación de estas tecnologías pueden generar sistemas destinados a un propósito de los antes mencionados, tal como el caso de los ecosistemas digitales asistivos para adultos mayores (Isabel, Rosalía, Patricio,

Silvana, & Florentino, 2018), lo cual consiste en la integración de biosensores mediante wearable devices, dispositivos de monitoreo de movilidad y de ambiente, utilizados en casas inteligentes o Smart Homes, dispositivos de comunicación y procesamiento de la información, los cuales pueden ser utilizados para prevenir caídas, monitorear el estado de salud de los pacientes que sufrieron un accidente cerebro vascular (ACV), y se encuentran en etapas de rehabilitación mediante captura de electrocardiografías (ECG) y electromiografías (EMG) (Jin-Woo, Woochan, & Young-Joon, 2021), para contactar automáticamente a emergencias o a un pariente cuando se detecte una medición anormal en los sensores.

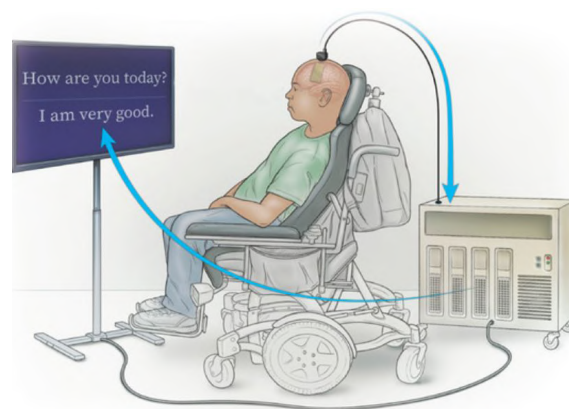
Tecnologías asistivas

Las tecnologías asistivas son el tipo de tecnología que sirven para mantener o mejorar la autonomía de una persona y su capacidad de desenvolverse en el diario vivir, así como a llevar una vida sana, productiva, independiente y digna. No disponer de este tipo de tecnología para algunas personas significa que sean excluidas y aisladas a causa de una enfermedad, discapacidad o inclusive su edad. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), solo una de cada diez personas que necesitan una tecnología asistiva tiene acceso a ella debido a su alto costo, a la poca sensibilidad en el tema y a la falta de recursos educacionales o financieros.

Decodificación del habla en una persona paralizada con anartria

Hoy en día, con el avance tecnológico continuo, se disponen de tecnologías asistivas que pueden cambiar la forma de vivir de muchas personas, un ejemplo de esto es un sistema para restaurar la capacidad de comunicarse en personas paralizadas. Recientemente se realizó un estudio sobre la implantación de una matriz multielectrodos sobre el área de la corteza sensoriomotora que controla el habla en una persona con anartria, la cual consiste en la pérdida de la capacidad de articular el habla, y es causada por un derrame cerebral, la *figura 1* esquematiza los componentes de este tipo de tecnología.

Figura 1. Esquema representativo del sistema para decodificación del habla en una persona paralizada con anartria (Moses, 2021).



Nota: Adaptado de Neuroprosthesis for Decoding Speech in a Paralyzed Person with Anarthria (Moses, 2021)

Como resultado del desarrollo de este dispositivo se logró decodificar oraciones de la actividad cortical del participante en tiempo real a una tasa media de 15,2 palabras por minuto, con una tasa de error media del 25.6%, lo cual demostró que la corteza cerebral puede generar representaciones eléctricas del habla y lenguaje, incluso después de 16 años de anartria paralítica, pudiendo articular oraciones para comunicarse mediante este dispositivo.

Exoesqueletos robóticos

El diseño de tecnologías asistivas para ayudar a la movilidad de las personas con discapacidad se ha convertido en un foco de atención para los investigadores, diseñando dispositivos médicos llamados Exoesqueletos. Un exoesqueleto es una estructura para ser usada sobre el cuerpo humano a manera de prenda de vestir, esta sirve como apoyo y se usa para asistir los movimientos y/o aumentar las capacidades del cuerpo humano. Si bien el diseño de los exoesqueletos utilizados para los miembros inferiores son los más populares, también se han realizado esfuerzos para diseñar este tipo de tecnología para miembros superiores. A continuación, se detalla un poco de ambos tipos.

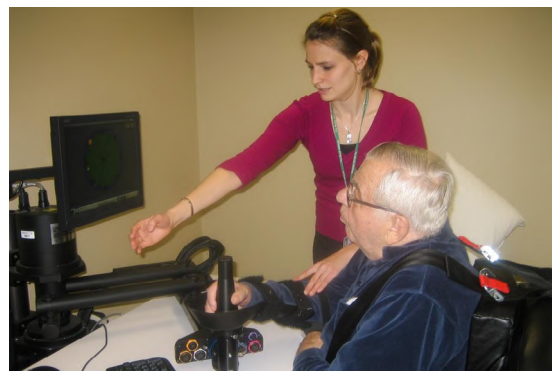
Extremidades superiores

Los dispositivos robóticos de rehabilitación para miembros superiores pueden ser evaluados desde dos puntos de vista: de acuerdo al aspecto mecánico o de acuerdo al sistema de control que utilizan; sin embargo, todos pueden trabajar de forma pasiva: en la que el exoesqueleto se encarga de mover el brazo del paciente. El modo activo, por otra parte, es cuando el exoesqueleto sirve como una ayuda parcial en el movimiento del brazo del paciente (Stalin, Nirmal, & V.P.R., 2016).

El Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), en Estados Unidos, ha desarrollado un exoesqueleto especializado en el tratamiento de fisioterapia para personas que han sufrido accidentes cerebrovasculares, el cual ha estado en desarrollo por aproximadamente 11 años. Los científicos investigadores responsables de este visionario proyecto dejaron en claro que este tipo de tecnología no busca sustituir al profesional, sino más bien proporcionar una herramienta para aumentar la productividad del profesional.

En la terapia asistida por este tipo de tecnología el paciente se sienta con una mesa frente a él, debiendo colocar la parte inferior del brazo y la muñeca en el aparato ortopédico. Una pantalla frente al paciente le indica cómo debe realizar el ejercicio de brazo, si no se produce movimiento, el dispositivo mueve el brazo del paciente; si el paciente comienza a moverse por su cuenta, el dispositivo proporciona niveles ajustables de guía y asistencia para facilitar el movimiento del brazo (Thomson, 2020). En la *figura 2* se muestra el dispositivo en desarrollo por el MIT.

Figura 2. Dispositivos de MIT pueden ofrecer terapia física interactiva de alta intensidad (Trafton, 2010)



Nota: Adaptado de MIT El robot del MIT puede acelerar los ensayos de medicamentos para el accidente cerebrovascular (Chu, 2014)

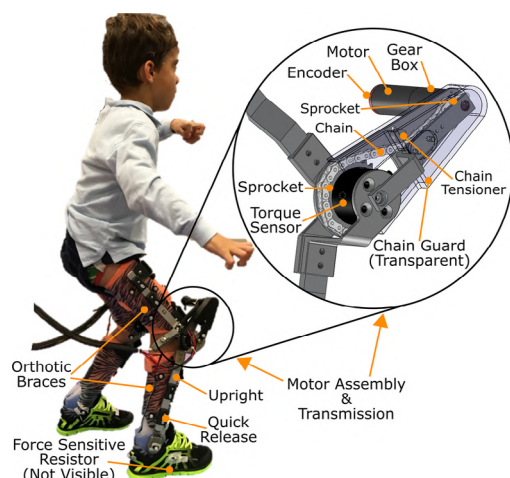
Extremidades inferiores

La mayor parte del desarrollo de exoesqueletos para extremidades inferiores (en el área médica) se enfocan en brindar o devolver la habilidad de caminar a personas que por una u otra razón no pueden hacerlo. Según los centros para el control y prevención de enfermedades, la parálisis cerebral causada por daño neurológico antes, durante o después del nacimiento es el trastorno de movimiento más común de los niños, se estima que 500 000 niños de Estados Unidos tienen parálisis cerebral.

Aunque más de la mitad de los niños con el trastorno antes mencionado pueden caminar de forma independiente, muchos tienen un modo de andar agachado, su patrón de marcha se caracteriza por una flexión excesiva de la rodilla, provocando dolor y pérdida progresiva de la función. Con el fin de dar alguna solución o algún tipo de ayuda a los pacientes que sufren este tipo de trastorno, se ha diseñado en la Universidad del Norte de Arizona (NAU), Estados Unidos, un exoesqueleto robótico para la pierna impulsado por pequeños motores, que podría ayudar a solventar la marcha agachada de los niños con parálisis cerebral.

En la *figura 3* se muestra el ejemplo de un exoesqueleto para extremidades inferiores aplicado a un paciente pediátrico.

Figura 3. Exoesqueleto para asistencia de la marcha agachada en pacientes pediátricos.



Nota: adaptado de NAU bioengineer's study shows wearable robotic exoskeletons improve walking for children with cerebral palsy, por Northern Arizona University Research news and information, <https://nau.edu/nau-research/exoskeletons/>

En un estudio llevado a cabo en el National Institutes of Health Clinical Center de Bethesda, Maryland, se colocó un dispositivo de asistencia (exoesqueleto para miembros inferiores) a niños con parálisis cerebral, ellos participaron en sesiones de práctica y al final del ensayo, seis de los siete participantes presentaron mejoras en la postura para caminar, equivalentes a los resultados obtenidos después que un paciente se somete a una cirugía ortopédica invasiva (Tate, 2017).

Tecnologías de simulación de uso médico

Parte del desarrollo tecnológico en el campo de la salud se debe mucho a las tecnologías de simulación, siendo una simulación el proceso en el cual se recrea una experiencia bajo condiciones que son conocidas o controladas, a fin de identificar nuevas estrategias para implementarse en condiciones diferentes o no controladas. Realizar simulaciones también puede ser útil para aportar destreza, habilidad mental y capacidad de dar una respuesta asertiva a quien lo practique, ya que se pone en juego el conocimiento y la habilidad de las personas para resolver problemas a los que

puede enfrentarse el profesional en salud en su labor cotidiana. Hoy en día, la tecnología de simulación y sus aplicaciones pueden ser muy variadas, desde realizar un procedimiento por medio de una computadora o hasta empleando materiales didácticos que ayuden a volver más realista la experiencia del profesional.

Simulación laparoscópica

La cirugía laparoscópica es una técnica quirúrgica mediante la cual se insertan tubos cortos y delgados en el abdomen, llamados trócares, por medio de pequeñas incisiones, que son menores a un centímetro. Los trócares se utilizan para insertar instrumentos largos y angostos para manipular, cortar y coser tejidos (Wechter, 2021).

El objetivo del entrenamiento con simuladores laparoscópicos es lograr que el especialista utilice los elementos básicos para lograr una ejecución correcta y efectiva de una cirugía laparoscópica; esto implica conocer y dominar los pasos, por ejemplo, cómo tomar hilos, cómo cruzarlos, cómo realizar nudos, etc., pudiendo repetir la acción múltiples veces hasta lograr realizar la tarea de forma fluida, logrando un desempeño sin errores y de forma continua (Lanzarini, y otros, 2008).

Los sistemas básicos de este tipo de simulación consisten en una caja de entrenamiento que tiene visión directa, mediante espejos o cámaras de video, en la *figura 4* se muestra el simulador LAP Mentor III en el Medical Simulation Centre, Royal Free Hospital, Londres (Surgical Science, s.f.); sin embargo, los sistemas más avanzados consisten en simuladores de realidad virtual, en la que se reproduce un procedimiento de laparoscopia, agregando niveles de realidad mediante sensación táctil y de manipulación de tejidos al utilizar los instrumentos; esto se logra por el uso de dispositivos hápticos, los cuales transmiten y reciben movimientos realizados por el usuario al mundo virtual y permiten sentir fuerzas generadas por el contacto con objetos 3D (Ramos Tovar & Salinas, 2016).

Simulación cardiovascular avanzada para el diagnóstico clínico de enfermedades

El proyecto CARDIOS, realizado por investigadores de la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid, se basa en el desarrollo de un software de simulación cardiovascular, que le permitirá al especialista una mayor precisión de diagnóstico al utilizarse como un apoyo a las herramientas convencionales destinadas a tal fin, ya que el software preverá con antelación las condiciones de una posible intervención quirúrgica, y permitirá analizar

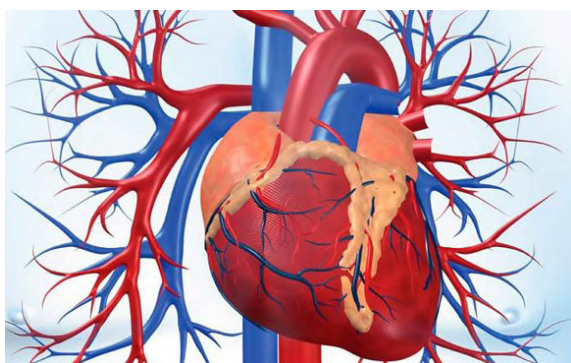
el impacto sobre el sistema cardiovascular de dispositivos médicos invasivos como catéteres, stents, válvulas artificiales o bombas cardíacas artificiales, siendo estos elementos fundamentales en el tratamiento de algunas enfermedades cardiovasculares o en la intervención quirúrgica de esta naturaleza. (Universidad Rey Juan Carlos, 2015). En la *figura 5* se muestra una captura del proyecto CARDIOS de la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid.

Figura 4. Simulador médico LAP Mentor III en el Medical Simulation Centre, Royal Free Hospital, Londres. (Surgical Science, s.f.)



Nota: adaptado de Surgical Science Provides the Most Comprehensive Surgical Simulation Training for Learners of All Levels, por Simbionix Simulators, <https://simbionix.com/simulators/lap-mentor/>

Figura 5. Proyecto CARDIOS, Universidad Rey Juan Carlos de Madrid



Nota: adaptado de Simulación Cardiovascular Avanzada Para El Diagnóstico Clínico De Enfermedades, por Universidad Rey Juan Carlos, <https://www.urjc.es/todas-las-noticias-de-actualidad-cientifica/1442-simulacion-cardiovascular-avanzada-para-el-diagnostico-clinico-de-enfermedades>

Harvey, el simulador de paciente cardiopulmonar

Harvey es un simulador diferente a los anteriores, ya que este consiste en un maniquí que simula 27 condiciones cardíacas. El simulador muestra varios hallazgos físicos, incluidos presión arterial por auscultación, pulso venoso yugular bilateral, formas de onda y pulsos arteriales, impulsos precordiales y eventos auscultatorios en las cuatro áreas clásicas; estos son sincronizados con el pulso y varían con la respiración. Harvey es capaz de simular un espectro de enfermedades cardíacas variando la presión arterial, la respiración, el pulso, sonido normal del corazón y murmullos, (Cooper & Taqueti, 2004), dando la posibilidad al personal asistencial de poder entrenar sus habilidades clínicas en un entorno controlado pero muy apegado a la realidad en cuanto a condiciones o enfermedades cardíacas.

Inteligencia artificial en el diagnóstico por imágenes médicas

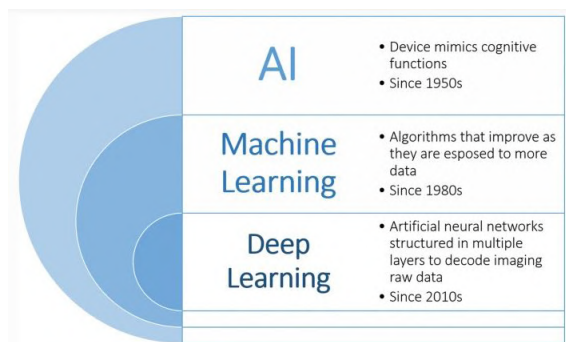
La inteligencia artificial (IA) es el uso de herramientas informáticas para diseñar procesos que simulan la inteligencia humana, es decir, se busca que estas simulaciones sean

capaces de aprender, razonar y autocorregirse (Avila-Tomás, Mayer-Pujadas, & Quesada-Varela, 2020). La inteligencia artificial está formada por una serie de algoritmos lógicos, lo suficientemente probados, a partir de los cuales un ordenador puede tomar decisiones para situaciones específicas, con base a lineamientos establecidos para situaciones generales.

Las aplicaciones de la IA en la medicina se han utilizado incluso para comparar las conclusiones realizadas por médicos contra las generadas por un ordenador (Shen, y otros, 2019), concluyendo que pueden ser comparables los resultados en campos médicos específicos, tal como es el caso en imágenes médicas, del cual ha trascendido sobre el personal médico debido a la falta de cansancio y las características estables de la IA. En este sentido, se está desarrollando este tipo de tecnología para reconocer automáticamente patrones complejos en imágenes y proporcionar evaluaciones cuantitativas de carácter radiográfico. El objetivo de esta aplicación es identificar hallazgos detectables o no por el ojo humano, por ejemplo, se han reportado algoritmos de aprendizaje profundo que utilizan resultados de imágenes (actuales y anteriores) de tomografías computarizadas de un paciente para predecir el riesgo de cáncer de pulmón (Tang, 2020).

En la *figura 6* se ejemplifica el desarrollo del aprendizaje profundo de los sistemas informáticos, siendo estos como capas del aprendizaje automático.

Figura 6. El aprendizaje profundo como subconjunto de los métodos de aprendizaje automático.



Nota: Adaptado de Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity? Radiologists again at the forefront of innovation in medicine (Pesapane, Codari, & Sardanelli, 2018)

Debido a esto, este tipo de tecnologías se utilizan para diagnósticos de segunda opinión objetiva para la asistencia en la interpretación y diagnóstico de imágenes médicas realizada por el médico radiólogo, ya que algunas IA tienen la capacidad de diferenciar la malignidad de la benignidad en tumores o lesiones. Se han publicado estudios que muestran que implementar este tipo de tecnología mejora el rendimiento del diagnóstico por imágenes al disminuir la variación entre observadores, asimismo son de gran apoyo para la decisión clínica como recomendaciones de biopsias o toracotomías, entre otros. (Cheng, y otros, 2016)

Realidad virtual para aplicaciones de uso médico.

La realidad virtual para el manejo del dolor.

La realidad virtual es una tecnología inmersiva, un entorno tridimensional generado por computadora que se puede ver con gafas especiales (Godman, 2022), estas ayudan a tener una visión de 360° de un ambiente virtual, haciendo sentir al usuario como si estuviera en otro mundo, y durante muchos años, se consideró que el desarrollo de este tipo de tecnología revolucionaría el mundo en que vivimos, lo cual estamos comprobando. (Cedars Sinai, 2019) La realidad virtual ha

demostrado tener amplios usos en áreas como el mercadeo, entretenimiento, educación, comunicación y por supuesto: la medicina.

Durante algunos años se ha estudiado el potencial de controlar el dolor crónico por medio del uso de la realidad virtual. En noviembre de 2021, la FDA autorizó la comercialización de un dispositivo de realidad virtual de uso doméstico recetado para ayudar a reducir el dolor lumbar crónico; este tipo de dispositivo emplea los principios de la Terapia Cognitiva Conductual y otras técnicas de terapia conductual con el fin de reducir el dolor y la interferencia del dolor, y consta de un auricular de realidad virtual y un controlador, junto con un "amplificador de respiración" conectado al auricular que dirige la respiración del paciente hacia el micrófono del auricular para usar en ejercicios de respiración profunda. En la *figura 7*, se presenta un ejemplo de un auricular de realidad virtual, similar al dispositivo aprobado por FDA de uso doméstico para el tratamiento del dolor lumbar.

Figura 7. FDA aprueba dispositivo de realidad virtual de uso doméstico para tratamiento del dolor lumbar crónico.



Nota: Adaptado de Non-pharmacologic pain treatment at home (RelieVRx, n.d.)

La FDA evaluó la seguridad y la eficacia del dispositivo en un estudio clínico aleatorizado y doble ciego de 179 pacientes, durante un período de 8.5 meses en total, incluido un período de evaluación inicial de dos semanas, un programa de realidad virtual de ocho semanas, una evaluación posterior al tratamiento y seguimiento de uno, dos, tres y seis meses después de la finalización del programa. Al final del tratamiento, el 66 % de los participantes con el dispositivo de realidad virtual informaron una reducción del dolor de más del 30 %, en comparación con el 41 % de los participantes de control que informaron una reducción del dolor de más del 30 %. No se observaron ni informaron eventos adversos graves durante el estudio. Aproximadamente el 20,8 % de los participantes informaron molestias con los auriculares y el 9,7 % informaron mareos y náuseas. (FDA, 2021)

Conclusiones

Las tendencias en el desarrollo de dispositivos médicos apuntan a realizar cambios radicales en la vida cotidiana, estos pueden realizarse utilizando desde pequeños accesorios con funciones específicas en salud como el manejo de enfermedades crónicas, hasta la utilización de dispositivos más avanzados como simuladores de realidad virtual para entrenamiento de profesionales de la salud o el tratamiento de pacientes, lo cual ayuda en gran manera tanto a los pacientes como a los profesionales: a los pacientes les facilita su diagnóstico, seguimiento o tratamiento, mientras que a los profesionales, les brinda un entorno más seguro para desarrollar sus habilidades técnicas sin dilemas éticos, pudiendo repetir los procesos hasta lograrlos de manera fluida y continua.

En el campo de las tecnologías asistivas cada vez se desarrollan más softwares y dispositivos para ayudar a pacientes que tiene discapacidades que limitan su autonomía, como los ejemplos antes planteados: un software para la ayuda de la comunicación en personas que han perdido la capacidad del habla o el uso de exoesqueletos para ayudar a aquellos pacientes con discapacidades físicas, todo esto representa un gran avance para todos, ya que las barreras de exclusión para

personas con discapacidades van disipándose cada vez más, todo con ayuda de la innovación de dispositivos médicos.

Referencias bibliográficas

1. Avila-Tomás, J., Mayer-Pujadas, M., & Quesada-Varela, V. (2020). La inteligencia artificial y sus aplicaciones en medicina I: introducción antecedentes a la IA y robótica. Elsevier, 778-784. doi:10.1016/j.aprim.2020.04.013
2. Cedars Sinai. (14 de agosto de 2019). New Study Shows Value of Virtual Reality for Pain Management. Obtenido de Cedars Sinai: <https://www.cedars-sinai.org/newsroom/new-study-shows-value-of-virtual-reality-for-pain-management/>
3. Cheng, J.-Z., Ni, D., Chou, Y.-H., Qin, J., Tiu, C.-M., Chang, Y.-C., . . . Chen, C.-M. (2016). Computer-Aided Diagnosis with Deep Learning Architecture: Applications to Breast Lesions in US Images and Pulmonary Nodules in CT Scans. International Journal of Scientific Reports. doi:10.1038/srep24454
4. Chu, J. (11 de febrero de 2014). El robot del MIT puede acelerar los ensayos de medicamentos para el accidente cerebrovascular. Obtenido de MIT News: <https://news.mit.edu/2014/mit-robot-may-accelerate-trials-for-stroke-medications-0211>
5. ConSalud. (23 de Septiembre de 2022). Simulación cardiovascular para el diagnóstico de enfermedades. Obtenido de Simulación cardiovascular para el diagnóstico de enfermedades: https://www.consalud.es/tecnologia/simulacion-cardiovascular-para-el-diagnostico-de-enfermedades_19449_102.html
6. Cooper, J. B., & Taqueti, V. R. (2004). A brief history of the development of mannequin simulators for clinical education and training. Quality & Safety in Health Care. doi:10.1136/qshc.2004.009886
7. FDA. (16 de Noviembre de 2021). FDA Authorizes Marketing of Virtual Reality System for Chronic Pain Reduction. Obtenido de U.S. Food & Drug Administration: <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-authorizes-marketing-virtual-reality-system-chronic-pain-reduction>

- 8.Godman, H. (2022). Virtual reality for chronic pain relief. Harvard Health Publishing. Obtenido de <https://www.health.harvard.edu/pain/virtual-reality-for-chronic-pain-relief>
- 9.Idalis, V., María, V., & Wade, G. (2016). Use of Galvanic Skin Responses, Salivary Biomarkers, and Self-reports to Assess Undergraduate Student Performance During a Laboratory Exam Activity. doi:10.3791/53255
- 10.Isabel, M., Rosalía, L., Patricio, D., Silvana, G.-M., & Florentino, F.-R. (2018). Active and Assisted Living Ecosystem for the Elderly. doi:10.3390/s18041246
- 11.Jayoung, K., Alan, S. C., Berta, F. E., & Joseph, W. (25 de Febrero de 2019). Wearable biosensors for healthcare monitoring. doi:10.1038/s41587-019-0045-y
- 12.Jin-Woo, J., Woonchan, L., & Young-Joon, K. (2021). A Real-Time Wearable Physiological Monitoring System for Home-Based Healthcare Applications. doi:10.3390/s22010104
- 13.Lanzarini, E., Schonstedt, V., Abedrapo, M., Yarmuch, J., Csendes, A., & Rodriguez, A. (2008). Simulación: Una herramienta útil en la formación quirúrgica moderna. *Rev. Chilena de Cirugía*, págs. 167-169. doi:10.4067/S0718-40262008000200016
- 14.Lin, L., Jiayao, Z., Yi, X., Fei, G., Song, X., Xinghuo, W., & Zhewei, Y. (2020). Wearable Health Devices in Health Care: Narrative Systematic Review. doi:10.2196/18907
- 15.Moses, D. (2021). Neuroprosthesis for Decoding Speech in a Paralyzed Person with Anarthria. *The New England Journal of Medicine*. doi:10.1056/NEJMoa2027540
- 16.Organización Mundial de la Salud. (18 de mayo de 2018). Tecnología de asistencia. Recuperado el 24 de junio de 2022, de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/assistive-technology>
- 17.Pesapane, F., Codari, M., & Sardanelli, F. (2018). Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity? Radiologists again at the forefront of innovation in medicine. *European Radiology Experimental*. doi:10.1186/s41747-018-0061-6
- 18.Ramos Tovar, D. R., & Salinas, S. A. (2016). Simuladores virtuales para entrenamiento de habilidades para laparoscopia. *Revista Ingeniería Biomédica*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-97622016000100006
- 19.Shen, J., Zhang, J. P., Jiang, B., Chen, J., Song, J., Lui, Z., . . . Ming, W.-K. (2019). Artificial Intelligence Versus Clinicians in Disease Diagnosis: Systematic Review. *JMIR Medical Informatics*. doi:10.2196/10010
- 20.Stalin, J., Nirmal, T., & V.P.R., S. (2016). Design and Development of Cable Driven Upper Limb Exoskeleton for Arm Rehabilitation. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. doi:ISSN 2229-5518
- 21.Surgical Science. (s.f.). LAP MENTOR™. Obtenido de Surgical Science, Symbionix Simulators: <https://symbionix.com/simulators/lap-mentor/>
- 22.Tang, X. (2020). The role of artificial intelligence in medical imaging research. *BJR Open*. doi:10.1259/bjro.20190031
- 23.Tate, H. (23 de agosto de 2017). NAU bioengineer's study shows wearable robotic exoskeletons improve walking for children with cerebral palsy. Obtenido de Northern Arizona University: <https://nau.edu/nau-research/exoskeletons/>
- 24.Thomson, E. (7 de junio de 2020). MIT-Manus robot aids physical therapy of stroke victims. Obtenido de MIT News: <https://news.mit.edu/2000/manus-0607>
- 25.Universidad Rey Juan Carlos. (14 de julio de 2015). Simulación cardiovascular avanzada para el diagnóstico clínico de enfermedades. Obtenido de Universidad Rey Juan Carlos: <https://www.urjc.es/todas-las-noticias-de-actualidad-cientifica/1442-simulacion-cardiovascular-avanzada-para-el-diagnostico-clinico-de-enfermedades>
- 26.Wechter, D. G. (9 de septiembre de 2021). Cirugía laparoscópica - Serie— Incisión. Obtenido de Medline Plus: https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp_presentations/100166_1.htm
- 27.Zachary F. Lerner, et al. (26 de Marzo de 2021). A Robotic Exoskeleton for Treatment of Crouch Gait in Children with Cerebral Palsy: Design and Initial Application. Obtenido de A Robotic Exoskeleton for Treatment of Crouch Gait in Children with Cerebral Palsy: Design and Initial Application: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7995637/>