

Tecnología asistiva para personas con discapacidad en miembros superiores: un mapeo sistemático de la literatura

Nelson Garrido, Carlos Neil, Nicolás Battaglia

Universidad Abierta Interamericana, Facultad de Tecnología Informática,
Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática, Buenos Aires, Argentina
nelsonariel.garrido@alumnos.uai.edu.ar
{Carlos.Neil,Nicolas.Battaglia}@uai.edu.ar

Resumen. El uso de la tecnología es en una herramienta fundamental en todos los ámbitos, no obstante, muchas personas con discapacidades suelen verse limitadas en el uso de ciertos dispositivos, por no contar con los medios para adquirirlos, o porque los que existen no se adaptan a sus necesidades. Para analizar esta situación se realizó un mapeo sistemático de la literatura sobre tecnología asistiva para personas con discapacidad en miembros superiores. Así que se procedió a crear y ejecutar un protocolo que establece un conjunto de preguntas a responder y el procedimiento para la búsqueda, y posteriormente la aplicación de filtros para la selección de artículos. Finalmente, se presenta un análisis que responder a las preguntas planteadas. En base a esto, se pudo concluir que la principal tendencia dentro del desarrollo de tecnología asistiva está en la producción de hardware específico que funciona con software propio. Por otro lado, la creación de dispositivos que utilizan software ya existente es la segunda tendencia. También es destacable que es baja la cantidad de artículos que proponen el uso de hardware ya existente o de propósito general y la creación de software para estos. Por último, se pudo observar que el uso de inteligencia artificial en este campo todavía no es una tendencia.

1 Antecedentes

Este artículo presenta un mapeo sistemático de la literatura, cuyo objetivo es brindar un contexto del estado en el que se encuentra el desarrollo de la tecnología asistiva (TA) para personas con discapacidad en miembros superiores, enfocándose en herramientas que faciliten el acceso y el uso de aparatos electrónicos. La interacción humano computadora (Human-Computer Interaction, HCI) es el estudio de la comunicación entre la persona y el dispositivo [1]. En otras palabras, las HCI pueden funcionar como dispositivos de asistencia para ayudar a personas con algún tipo de dificultad motora a controlar máquinas o comunicarse a través de ellas [2].

Por otro lado, es sabido que la interacción juega un papel fundamental ya que establece puentes entre humanos y computadoras [3]. Para que el usuario pueda interactuar en forma exitosa se deben analizar dos puntos fundamentales: el mecanismo que le permite la interacción y la interfaz que éste ofrece. Ambos deben evolucionar para

facilitar el manejo de aparatos electrónicos. El uso de dispositivos no adaptados o no desarrollados especialmente para personas con discapacidad hace que sean difíciles de utilizar o que no puedan alcanzar cierta velocidad necesaria al manejarlos [4]. La idea principal en el desarrollo de TA es aumentar la calidad de vida de las personas [2]. La creación de estos dispositivos introduce un nuevo canal de comunicación [2] que suma valor a las actividades humanas tales como el trabajo, la relación social o simplemente la diversión a través del uso de juegos tal como se propone en [5] y [6].

Asimismo, al considerar el valor de los aparatos comerciales de TA, se puede observar que son muy costosos para los países en vía de desarrollo [7]. Además de que los usuarios son obligados a adquirir dispositivos que no solo son caros sino que también ocupan mucho espacio [8]. Esto no es solo un problema de Latinoamérica, la mayoría de las personas con discapacidad en todo el mundo no pueden pagar la tecnología de asistencia, o las herramientas disponibles no se adaptan perfectamente a sus necesidades, lo que resulta en un apoyo inadecuado [9]. Tanto el valor de compra, instalación y mantenimiento, además del espacio que utilizan son los principales inconvenientes de las TA en la actualidad. Por tal motivo, sería importante incorporar dispositivos de uso más general y el diseño de aplicaciones web y software que se adapten a estas necesidades, lo que es más sencillo y disminuye los costos [8].

El siguiente mapeo sistemático de la literatura se basa en la estrategia, fases y actividades propuestas por [10]. Asimismo, el trabajo se enmarca en el proyecto de investigación “Herramientas Colaborativas Multiplataforma en la Enseñanza de la Ingeniería de Software” del Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática (CAETI) de la Universidad Abierta Interamericana.

2 Preguntas de investigación

Uno de los puntos más importantes de un mapeo sistemático es la lectura crítica del material seleccionado. Este análisis será direccionado por las siguientes preguntas de investigación:

Tabla 1. Preguntas guía del mapeo

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	MOTIVACIÓN
P1. ¿Cuáles son las características de las soluciones de HCI para personas con discapacidad en miembros superiores?	M1. Determinar en qué se están enfocando los trabajos de investigación para soluciones de asistencia para personas con discapacidad.
P2. Con respecto al software de TA para HCI, ¿con qué frameworks o tecnologías son desarrollados?	M2. Detectar las principales herramientas utilizadas en el desarrollo de TA. Tanto en la parte de hardware como software.
P3. ¿Las TA han incorporado el uso de inteligencia artificial?	M3. Poder cuantificar las soluciones que utilizan IA para resolver los problemas de TA.

P4. ¿Cuáles son los países que más han publicado sobre TA relacionada a HCI?	M4. Identificar en dónde se está produciendo mayor cantidad de trabajos de investigación.
--	---

3 Métodos de revisión

En esta sección se utiliza el método propuesto por [10] para realizar un mapeo sistemático de la literatura. Por esto, se establece un protocolo para la búsqueda y selección de artículos. Y también se realizan tres pasos básicos:

- Selección de bases de datos para la búsqueda de trabajos, detallada en la sección “Fuentes”.
- Definición de una cadena de búsqueda en la sección “Definición de términos”.
- La selección de criterios de inclusión y exclusión utilizados para el filtrado de los artículos que se detalla en el apartado “Criterios de inclusión y exclusión”.

3.1 Fuentes

Para obtener la totalidad de los artículos para este mapeo sistemático de la literatura se utilizaron fuentes electrónicas masivas, es decir bases de datos que exponen documentos de diversos temas de investigación. Esto se decidió así ya que no existen repositorios o webs especializadas en el tema aquí tratado. Si bien existen portales que abordan el tema, lo hacen con una visión médica, y no con la visión técnica necesaria para este trabajo. Por este motivo se seleccionaron las más populares y pobladas de artículos relacionados a la TA, estas son:

<u>IEEE Xplore Digital Library</u>
<u>ACM Digital Library</u>
<u>ResearchGate</u>
<u>Science Direct</u>

En un principio también se iba a utilizar Springer, pero después de intentar varias veces con la cadena de búsqueda establecida e incluso adaptándola, no se obtuvieron resultados destacables, por lo que se desistió de este motor de búsqueda.

3.2 Definición de términos

Siguiendo la metodología propuesta por [10], se definió una cadena de búsqueda que permitió obtener artículos que se utilizarán para la realización del mapeo sistemático

de la literatura. Primeramente, creamos la cadena basándonos en tres elementos: la interacción humano computador, la tecnología asistiva y la discapacidad en miembros superiores. Por lo que se obtuvo lo siguiente:

("human computer interaction" AND "assistive technology" AND "upper limbs").

Si bien produjo los resultados esperados, debió refinarse para que los artículos obtenidos sean más específicos del tema investigado. Para esto se buscaron mapeos sistemáticos de la literatura que abordaran el tema o de un enfoque cercano. Los encontrados fueron tres: [11], [12] y [13]. Basándose en los términos y keywords que estos utilizan se encontraron, por un lado, términos específicos que no habían sido tenido en cuenta y que a primera vista suman valor y, por otro lado, que algunas palabras utilizadas debían presentarse en distintas formas para que funcionen en cada uno de los buscadores. Esto puede deberse a que de acuerdo con la literatura analizada el uso corriente dentro de la jerga de los investigadores de estos temas varía por países o por rama en la cual se enfocan. En la Tabla 2 se muestran los términos principales, denominados así porque ya fueron utilizados en la cadena de búsqueda que se construyó primero. Y los términos alternativos que son los que surgieron posteriormente.

Tabla 2. Términos utilizados para la búsqueda.

TÉRMINOS PRINCIPALES	TÉRMINOS ALTERNATIVOS
human computer interaction	hci
assistive technology	accessibility
motor disability	physical disability
	impairment disability
upper limbs	upper limb
	limb
	limbs
adaptative interface	

Utilizando estos términos alternativos, se pudo ampliar la cadena de búsqueda con nuevos criterios y, a la vez, con el conector lógico OR se concatenaron a los ya existentes. El uso de las palabras alternativas o siglas, según sea el caso, produjo que finalmente la cadena quede formulada de la siguiente forma:

((("human computer interaction" OR hci) AND ("assistive technology" OR accessibility) AND ((motor OR physical OR impairment) AND disability) AND ("upper limbs") AND "adaptive interface"))

Esta última se utilizó en los buscadores propuestos en el apartado anterior y funcionó del modo esperado mostrando que era necesario la suma de palabras secundarias como "motor disability" o "physical disability" para que los artículos sean más específicos. También el uso de términos alternativos como "HCI" para "human computer interaction" o "accessibility" para "assistive technology" trajo resultados que al principio no eran incluidos por las webs consultadas. El detalle del proceso de búsqueda es analizado

en el punto 4 de este trabajo, pero se debe resaltar que el período utilizado para este mapeo cubre es desde el 2010 al 2022.

3.3 Criterios de inclusión y exclusión

El paso necesario una vez obtenidos los artículos de las bases de datos es seleccionar los que aportan información para responder a las preguntas planteadas en este trabajo y descartar el resto. Este proceso es iterativo y por cada artículo se aplican las diferentes reglas de selección. Cabe destacar que en este punto se seleccionarán un conjunto de artículos relevantes, que serán analizados en profundidad en la próxima sección cuando se apliquen los filtros que son basados en los criterios aquí establecidos. Por esto, para completar la selección de trabajos se establecieron en la Tabla 3 criterios de inclusión y exclusión.

Tabla 3. Criterios de Inclusión y Exclusión.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN
CI 1. Estudios de TA relacionados a la informática
CI 2. Estudios publicados después del 2010.
CI 3. Estudios relacionados a la interacción de la persona con dispositivos electrónicos (HCI, periféricos).
CRITERIOS DE EXCLUSIÓN
CE 1. Estudios realizados previo al 2010
CE 2. Estudios que no están escritos en los siguientes lenguajes: Inglés, portugués y español.
CE 3. Trabajos que aparecen duplicados en los diferentes motores de búsqueda utilizados.
CE 4. Libros completos o capítulos.
CE 5. Estudios relacionados con personas mayores pero que no tienen discapacidad motora.
CE 6. Estudios relacionados a rehabilitación o diagnóstico médico.
CE 7. Trabajos enfocados en robótica o prótesis.
CE 8. Trabajos no relacionados a TA para personas con discapacidad en miembros superiores.

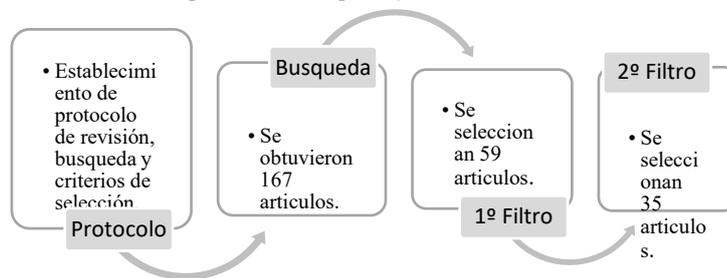
4 Búsqueda de trabajos

Para la obtención de los artículos se siguió un procedimiento que consta de cuatro pasos que están graficados en la Tabla 4. El paso de inicio fue el establecimiento del protocolo de revisión y herramientas necesarias, todo esto fue abordado previamente. Pero en resumen consta de la definición de las preguntas de investigación, creación de la cadena de búsqueda y de los criterios de inclusión y exclusión para la selección de

los artículos. Aquí también se localizaron mapeos sistemáticos de la literatura que hayan abordado el tema investigado previamente.

Posteriormente se realizó la búsqueda de trabajos en cada una de las bases de datos dando por resultado 167 artículos. Y finalmente, sobre esta cantidad de trabajos se aplicaron los criterios. Este paso fue iterativo y constó de dos etapas. Para el primer filtrado se analizaron el título, abstract y palabras clave de cada artículo quedando 59. En segunda instancia también se tuvo en cuenta la introducción y la conclusión dando por resultado un total de 35 artículos que son los utilizados para este mapeo sistemático.

Tabla 4. Detalle del proceso de búsqueda y filtrado de artículos.



5 Síntesis de datos extraídos

La búsqueda y selección de trabajos permitió obtener un conjunto que representa la tendencia dentro del tema investigado en el periodo establecido en el protocolo. Esto facilitó la extracción de información, identificando técnicas y tecnologías más usadas con el fin de responder las preguntas de investigación planteadas.

P1. ¿Cuáles son las características de las soluciones de HCI para personas con discapacidad en miembros superiores?

Se reconoció que dentro de los 12 años que van desde el 2010 al 2022 se han registrado 35 publicaciones relacionadas al tema de estudio de este mapeo sistemático de la literatura. En la Figura 1 se puede observar en detalle la cantidad de trabajos que se fueron registrando año a año.

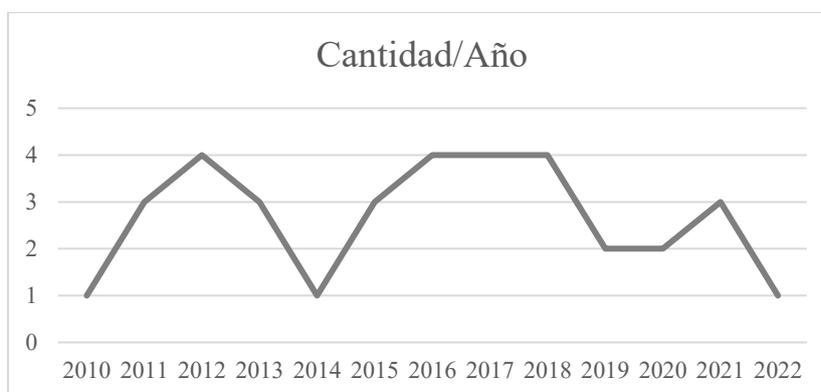


Fig. 1. Cantidad artículos publicados por año.

De acuerdo con el análisis de cada publicación y tomando el principal aporte que cada una hace, se observan cuatro categorías. Artículos que tratan sobre el desarrollo de hardware de software o de ambos, pero también sobre el análisis de la problemática o soluciones previamente abordadas. El desarrollo de hardware para permitir la interacción con dispositivos es tratado en un 28.57% de los trabajos analizados. Con respecto al desarrollo de software específico para facilitar el uso de dispositivos se encontró en el 14.29%. En estos se observó que hacen uso de hardware ya existente en el mercado como lo son Microsoft Kinetic, Tobii o incluso dispositivos de uso más común como son webcams, mouses y teclados. Por otro lado, se destaca que, en un gran porcentaje de los trabajos de investigación, un 31.43%, propone la creación tanto de hardware como de software. Finalmente, se observa que el 25.71% propone un análisis de las problemáticas presentes en el objeto de estudio.

Tabla 5. Categorías encontradas.

CATEGORÍA	%
Desarrollo de hardware	28.57
Desarrollo de software	14.29
Ambos	31.43
Análisis de la problemática	25.71

P2. Con respecto al software de TA para HCI, ¿con qué frameworks o tecnologías son desarrollados?

Aunque en la mayoría de los trabajos se propone el desarrollo de dispositivo de hardware, software o ambos para ayudar a las personas a interactuar con dispositivos, no se especifican (solo en algunos trabajos) las herramientas con las que se desarrolla. Dentro de los pocos datos aportados en los artículos se encuentra [14] que para lograr la interacción utilizan C# scripting code Orientado a Objetos. Además, utiliza Unity3D para crear contenido en 3D al igual que [15]. Tanto [15] como [16] usan también el SDL de Microsoft Kinetic.

El desarrollo de [6] facilita el control del cursor con movimientos de la cabeza, por medio de una placa con un acelerómetro, también permite emular el click del mouse utilizando la voz. El software que interactúa con el acelerómetro fue desarrollado con C++. Para lograr el reconocimiento de voz testean varios frameworks como son JavaSpeech que es un api de Java, HTK que es una librería de C++, otro framework de Java llamado Sphinx-4, la librería de C Pocket Sphinx y finalmente Google Translate.

Por su lado, [17] que permite la detección del rostro y sus movimientos, utiliza el dispositivo comercial Tobii y el software Windows Gaze Control. En [5] no se brinda amplia especificación de las herramientas de desarrollo pero se destaca que el sistema se divide en tres partes principales: un acelerómetro que transmite señales al módulo, emulación que está desarrollado en C++ y el módulo de reconocimiento de voz desarrollado con Pocket Sphinx. Por otro lado, [18] utiliza OpenCV para lograr la detección de objetos en el ingreso de video.

Finalmente, en [19] para el procesamiento de imágenes utiliza la librería de Python PIL (Python Imaging Library), también utilizan bases de datos Access y el módulo PyPyODBC para la conexión con la misma.

P3. ¿Las TA han incorporado el uso de inteligencia artificial?

Algunas soluciones hacen uso de la inteligencia artificial al utilizar herramientas de hardware de uso corriente en el mercado. Podemos destacar el trabajo [14] en donde presentan un sistema configurable de rehabilitación para detectar el movimiento del paciente utilizando la combinación de tres herramientas diferentes, Microsoft Kinect, Trivision Inertial Motion tracking y el patrón de seguimiento Image-based. Este trabajo es la evolución de (Semi portable rehabilitation system for upper limb disability, [15]) presentado un año anterior por los mismos autores que también utiliza Kinect como herramienta de base. El artículo [20] también hace uso del Microsoft Kinect. El trabajo presentado por [21] utiliza hardware estándar tales como una computadora y una cámara para detectar los movimientos de la lengua de la persona. En la misma investigación, a través de un software que es presentado en el artículo, se analizan estos movimientos y son interpretados por la computadora como acciones a realizar. Este trabajo utiliza para la detección y reconocimiento facial el algoritmo de inteligencia artificial AdaBoost que extrae las estructuras comunes de los componentes objetivo y las muestras de fondo en una fase de aprendizaje para construir una serie de clasificadores débiles, que se combinan para formar un clasificador fuerte [21].

En el trabajo [18] también analiza cómo una persona con discapacidad puede utilizarlo para interactuar con el PC, propone un sistema de control remoto universal de bajo costo desarrollado con hardware OpenSource. Aquí se detectan las posiciones de la cabeza del usuario utilizando OpenCV, convirtiéndolas en comandos para controlar el dispositivo. La librería funciona en dos etapas fundamentales, una detecta el rostro presentado por una webcam utilizando el algoritmo de [22], [23]. Una vez detectado, procede al reconocimiento del gesto a través de estimaciones calculadas con el algoritmo de [24] que utiliza como referencia los ojos y la nariz. El trabajo [18] también es un proyecto "Camera base" que permite interactuar y cumplir las funciones de un mouse

con movimientos de la cabeza y gestos. Para lograr esto generaron plugins que cumplen ciertas funciones: una que permite el seguimiento del rostro y ciertos puntos de este, según los autores es de baja performance y otra que tiene un mejor rendimiento y también sigue ciertos rasgos de la cara. Ambos se basan en la tecnología de OpenCV.

Siguiendo con el paradigma del manejo a través de gestos, en [17] trabajan con un sistema de detección de gestos que permite hacer distintas acciones como clics derecho e izquierdo, hacer scroll down de páginas o presionar Escape. Para lograr esto utilizan una webcam para la toma de la imagen y el software "Tobii X2-30 Eye tracker" para la detección de gestos. Este se encarga tanto de detectar el rostro como de interpretar el gesto. Dibuja una barra en la parte derecha del monitor que muestra las diferentes acciones que se pueden realizar. Una vez que se ejecuta el software el usuario puede apuntar con su rostro la parte de la pantalla con la que quiere actuar. Finalmente, dos trabajos que utilizan juegos utilizan de la IA. En [19] se presenta la interacción con un juego en 3D que es controlado a través de imágenes tomadas al usuario. Esta capacidad de procesamiento es lograda utilizando Python interpreter, la librería PIL library (Python Imaging Library). En [25] que utiliza el sensor de movimiento y software de Microsoft Kinect.

P4. ¿Cuáles son los países que más han publicados sobre TA relacionada a HCI?

Para analizar en dónde estos temas tienen mayor desarrollo de investigación, se detalla la Figura 2. Este presenta una relación de cantidad de publicaciones por país y su porcentaje de incidencia. Mostrando quienes aportaron más trabajos sobre tecnologías asistivas relacionadas al HCI para personas con discapacidades en el período analizado.

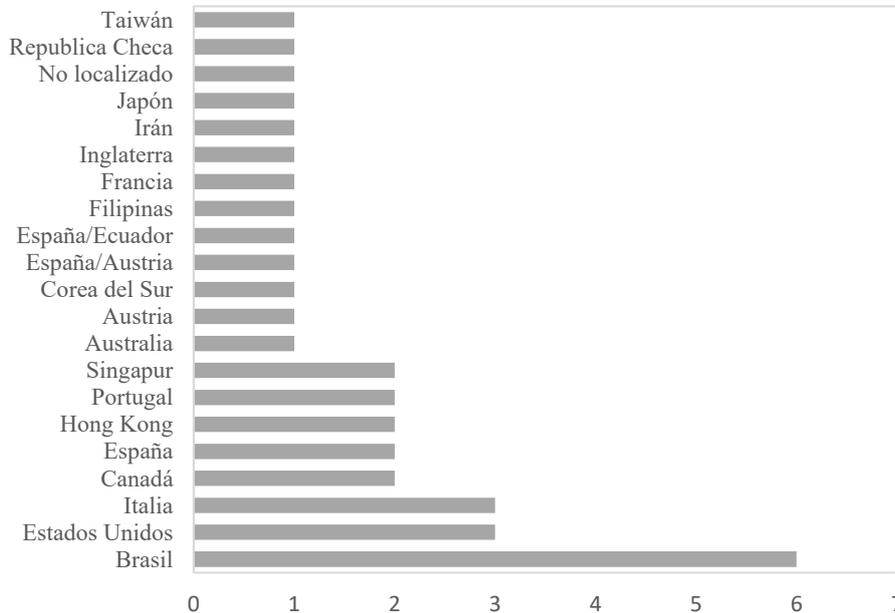


Fig. 2. Aporte de investigaciones por país.

De aquí surge que dentro del universo de trabajos seleccionados se observa que el país que más publicaciones ha hecho es Brasil con más del 17.14%, seguido por Estados Unidos e Italia con un 8.57%. Es destacable que, si bien España tiene un aporte de 5.71%, además cuenta con publicaciones realizadas en conjunto con Austria y Ecuador.

P5. ¿Cuáles son las características de las soluciones de HCI para personas con discapacidad en miembros superiores?

Dentro del grupo de trabajos seleccionados para este mapeo sistemático de la literatura se pudo establecer que trabajan dentro de cuatro categorías. Mas allá de esto, para poder determinar puntualmente cuál es el tema tratado por cada uno, se realizó la Tabla 6 en donde se presentan los 35 trabajos analizados, ordenados por fecha de publicación comenzando por los más antiguos. En esta lista aparece la cita del estudio, la categoría a la cual pertenece y una descripción sintética del aporte realizado.

Tabla 6. Principal aporte de cada artículo.

ESTUDIO	CATEGORÍA	APORTE
[1]	Software	Desarrollo de una interfaz manejada por imágenes tomada por una cámara. Esta es destinada a personas con discapacidad motora.
[6]	Hardware	Diseño de dispositivo de interacción enfocado al control de juegos. Pretende reemplazar el joypad con el uso del movimiento de la cabeza y la voz.
[4]	Análisis	Análisis de interfaces para el ingreso de texto operado por sonidos.
[5]	Hardware, Software	Uso del movimiento de la cabeza y voz para controlar video juegos
[26]	Hardware	Prototipo de exoesqueleto que ayuda a la persona a los movimientos de flexión y extensión de los codos. Esto es controlado usando los movimientos de la cabeza que son detectados como comandos por una computadora.
[18]	Hardware, Software	Creación de webcam mouse a través del movimiento de la cabeza y un switch mouse.
[27]	Análisis	Diseño a implementación de interfaz de detección de gestos destinada al uso en espacios públicos.
[15]	Hardware, Software	Sistema portable que se coloca en los brazos de la persona para detectar sus movimientos. Se propone ser utilizado para rehabilitación.
[16]	Software	Uso de tecnologías de bajo costo para el seguimiento de tratamientos de pacientes. Los datos son extraídos a través de juegos configurados por el terapeuta.
[14]	Hardware, Software	Sistema de rehabilitación. Detecta los movimientos del paciente. Permite al profesional configurar ejercicios para el paciente.

[2]	Hardware, Software	Desarrollo de pequeño aparato que adjunta a los anteojos de la persona y detecta el movimiento de los ojos y el pestañeo. Esta información es enviada a la computadora y convertida en comandos.
[28]	Hardware	Sistema de asistencia para el movimiento cuando se utiliza el mouse.
[8]	Análisis	Estudio sobre la importancia del mejoramiento del diseño de interfaz para permitir accesibilidad.
[17]	Hardware, Software	El sistema permite configurar los gestos para que la persona pueda controlar la computadora.
[19]	Software	Desarrollo de juego para chicos con discapacidad motora. El juego es controlado usando una webcam.
[3]	Hardware	Dispositivo portable. Pulsera musculo-sensitiva. Convierte el movimiento en acciones como clicks o movimiento del mouse.
[29]	Hardware, Software	Se explora el proceso de señales del cerebro para el control de juegos en una computadora.
[9]	Hardware	Sistema de bajo de costo que permite el control con el movimiento por boca.
[30]	Análisis	Se explora el uso de dispositivos electromiográficos por parte de personas con diversas discapacidades complejas.
[31]	Hardware, Software	Desarrollo de control remoto de bajo costo. Traduce los movimientos de la cabeza del operador en comandos.
[32]	Hardware, Software	Presenta un framework para la creación de juegos orientados a single-switch.
[7]	Análisis	Comparativa entre un dispositivo portable de detección de movimiento de cabeza con respecto a un trabajo presentado anteriormente.
[33]	Hardware, Software	Presenta el proceso de desarrollo de una interface que usa visión por computadora para que personas con deterioro de sus habilidades motoras puedan interactuar con una PC sin dispositivos extras.
[34]	Hardware	Dispositivo portable con sensores que detectan gestos de la persona y facilita el uso de tecnología asistiva avanzada, como puede ser un brazo robótico.
[20]	Hardware, Software	Interface para mejorar el proceso de rehabilitación de pacientes. Esto se hace a través del uso de juegos
[35]	Software	Interprete de lenguaje de señas utilizando imágenes de la persona en tiempo real.
[36]	Hardware, Software	Anteojos que detectan el movimiento y permiten la interacción.
[25]	Análisis	Análisis sobre el uso de juegos a través de gestos orientado a la rehabilitación.
[21]	Software	Interfaz que detecta los movimientos de la lengua del operador usando imágenes tomada por una

		cámara y los convierte en comandos para controlar una computadora.
[37]	Hardware	Dispositivo portable que permite a personas con discapacidad interactuar con el ambiente a través de la computadora.
[38]	Análisis	Estudio comparativo sobre la eficiencia de dos cursores virtuales diseñados para ser utilizados con personas con discapacidad.
[39]	Análisis	Investigación sobre el proceso de percibir señales en las manos. Se realizó con un sistema de generación de ultrasonido distribuido en distintos puntos de la palma.
[40]	Análisis	Estudio sobre el acceso y evaluación de los efectos de los video juegos en el proceso cognitivo de personas mayores.
[41]	Análisis	Trabajo de investigación sobre la factibilidad del uso de electroestimulación junto la retroalimentación visual usando realidad virtual.
[42]	Hardware	Sistema multimodal que permite al usuario seleccionar un carácter de un teclado virtual e ingresarlo presionando un interruptor con el pie. También se evalúa el rendimiento del sistema con 51 participantes.

6 Conclusiones

En el marco del desarrollo de este mapeo sistemático de la literatura se brinda un contexto con números y cuestiones destacables que aborda la publicación de artículos sobre tecnología asistiva para personas con discapacidad en miembros superiores. El análisis de los trabajos seleccionados mostró que el 28.57% propone la creación de un hardware específico, sin aporte de software. El 14.29% discute el desarrollo de software utilizando herramientas de hardware ya existentes en el mercado y, finalmente, el 31.43% propone tanto hacer el hardware y programar las rutinas necesarias para su control. Un punto para analizar como mejora en el desarrollo de este tipo de tecnologías sería la utilización de hardware ya existente. Tomar herramientas del mercado y adaptarlas a las distintas necesidades, creando software específico. Esto traería como ventaja que los desarrollos serían más económicos al no tener que crear nuevos dispositivos. Seguramente esto puede ser tendencia para un futuro, y una semilla para futuros trabajos, amparándonos en la rápida evolución del hardware comercial.

De igual manera, el papel de la inteligencia artificial es fundamental en el desarrollo moderno. Por lo tanto, es remarcable el bajo porcentaje de los artículos aquí analizados que citan o utilizan algún tipo de estas herramientas. Dada la popularidad y el potencial que de esta rama de la ingeniería de software se desprende tal vez este sea otro ítem esencial para incorporar a los desarrollos.

Referencias

- [1] C. Manresa-Yee, P. Ponsa, J. Varona, and F. J. Perales, "User experience to improve the usability of a vision-based interface," *Interact. Comput.*, vol. 22, no. 6, pp. 594–605, Nov. 2010, doi: 10.1016/j.intcom.2010.06.004.
- [2] S. Soltani and A. Mahnam, "Design of a novel wearable human computer interface based on electrooculography," May 2013. doi: 10.1109/IranianCEE.2013.6599876.
- [3] A. Matos, T. Adão, L. Magalhães, and E. Peres, "A Myographic-based HCI Solution Proposal for Upper Limb Amputees," in *Procedia Computer Science*, 2016, vol. 100, pp. 2–13. doi: 10.1016/j.procs.2016.09.117.
- [4] O. Poláček, Z. Mikovec, A. J. Sporka, and P. Slavík, "Humsher: A predictive keyboard operated by humming," in *ASSETS'11: Proceedings of the 13th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, 2011, pp. 75–82. doi: 10.1145/2049536.2049552.
- [5] C. E. Ribeiro, F. F. De Faria, B. De Pereira, and A. S. Vivacqua, "JoyCap: an alternative to the joypad for motor impaired gamers," *IHC+CLIHC '11 Proc. Companion Proc. 10th Brazilian Symp. Hum. Factors Comput. Syst. 5th Lat. Am. Conf. Human-Computer Interact. 2011 Pages 10–11*, 2011.
- [6] B. O. Pereira, C. E. profile imageCristiano Expedito, F. F. D. F. profile imageFabrício F. De Faria, and A. S. V. profile imageAdriana S. Vivacqua, "Designing a game controller for motor impaired players," 2011.
- [7] A. S. Rodrigues, V. K. Da Costa, R. C. Cardoso, M. B. Machado, M. B. Machado, and T. A. Tavares, "Evaluation of a head-tracking pointing device for users with motor disabilities," in *ACM International Conference Proceeding Series*, Jun. 2017, vol. Part F1285, pp. 156–162. doi: 10.1145/3056540.3056552.
- [8] C.-J. Chou, W.-N. Huang, and M.-H. Tsai, "Browsing without Clicking – Two Proposals of Web Interface Design for Universal Accessibility," *Procedia Manuf.*, vol. 3, pp. 6290–6297, 2015, doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.809.
- [9] B. Aigner, V. David, M. Deinhofer, and C. Veigl, "FLipMouse - A flexible alternative input solution for people with severe motor restrictions," in *ACM International Conference Proceeding Series*, Dec. 2016, pp. 25–32. doi: 10.1145/3019943.3019948.
- [10] B. Kitchenham, O. Pearl Brereton, D. Budgen, M. Turner, J. Bailey, and S. Linkman, "Systematic literature reviews in software engineering - A systematic literature review," *Information and Software Technology*, vol. 51, no. 1. Elsevier, pp. 7–15, Jan. 01, 2009. doi: 10.1016/j.infsof.2008.09.009.
- [11] R. C. Cardoso, A. S. Rodrigues, V. K. Da Costa, and T. A. Tavares, "Solutions focused on High-Level Assistive Technology: Perceptions and Trends observed from a Systematic Literature Mapping," *J. Interact. Syst.*, vol. 11, no. 1, 2020, doi: 10.5753/jis.2020.789.
- [12] F. G. Fernandes, A. Cardoso, and R. A. Lopes, "Mapping Study on the Use of Digital Games for Persons with Disabilities in Upper Members," *An. Acad. Bras. Cienc.*, vol. 91, no. 2, p. e20180936, 2019, doi: 10.1590/0001-3765201920180936.
- [13] A. S. Rodrigues, A. S. Rodrigues, M. B. MacHado, A. M. P. Almeida, J. F. De Abreu, and T. A. Tavares, "Evaluation methodologies of assistive technology interaction devices: A participatory mapping in Portugal based on community-based research," *IHC 2019 - Proc. 18th Brazilian Symp. Hum. Factors Comput. Syst.*, no. October, 2019, doi: 10.1145/3357155.3358458.
- [14] T. K. Lu, E. Foo, B. S. Rajaratnam, and Kannappan, "Configurable Augmented Virtual Reality Rehabilitation System for Upper Limb Disability," 2013. Accessed: Mar. 24, 2021. [Online]. Available: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2567429.2567452>
- [15] T. K. Lu, E. Foo, B. S. Rajaratnam, and Kannappan, "Semi portable rehabilitation system for upper limb disability," 2012. Accessed: Mar. 24, 2021. [Online]. Available:

- <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2501134.2501139>
- [16] A. C. Ave, J. D. L. Caro, D. M. C. Pacapac, and K. M. G. Salamanca, "A kinesthetic game as a motivational aid and monitor in upper extremities burns rehabilitation," in *IISA 2013 - 4th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications*, Jul. 2013, pp. 11–17. doi: 10.1109/IISA.2013.6623680.
- [17] D. Rozado, J. Niu, and A. Duenser, "FaceSwitch - Low-cost accessibility software for computer control combining gaze interaction and face gestures," in *OzCHI 2015: Being Human - Conference Proceedings*, Dec. 2015, pp. 197–201. doi: 10.1145/2838739.2838809.
- [18] R. Ossmann *et al.*, "AsTeRICS, a Flexible Assistive Technology Construction Set," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 14, pp. 1–9, 2012, doi: 10.1016/j.procs.2012.10.001.
- [19] T. A. Scardovelli and A. F. Frère, "The design and evaluation of a peripheral device for use with a computer game intended for children with motor disabilities," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 118, no. 1, pp. 44–58, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.cmpb.2014.10.002.
- [20] Y. Shi and Q. Peng, "A VR-based user interface for the upper limb rehabilitation," *Procedia CIRP*, vol. 78, pp. 115–120, 2018, doi: 10.1016/j.procir.2018.08.311.
- [21] S. Niu, L. Liu, and D. S. McCrickard, "Tongue-able interfaces: Prototyping and evaluating camera based tongue gesture input system," *Smart Heal.*, vol. 11, pp. 16–28, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.smhl.2018.03.001.
- [22] P. Viola and M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," in *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001*, vol. 1, pp. I-511-I-518. doi: 10.1109/CVPR.2001.990517.
- [23] P. Viola and M. J. Jones, "Robust Real-Time Face Detection," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 57, no. 2, pp. 137–154, May 2004, doi: 10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb.
- [24] B. D. Lucas and T. Kanade, "Iterative Image Registration Technique With an Application To Stereo Vision.," vol. 2, no. April 1981, pp. 674–679, 1981.
- [25] C. S. González-González, P. A. Toledo-Delgado, V. Muñoz-Cruz, and P. V. Torres-Carrion, "Serious games for rehabilitation: Gestural interaction in personalized gamified exercises through a recommender system," *J. Biomed. Inform.*, vol. 97, p. 103266, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.jbi.2019.103266.
- [26] Z. Tao, C. K. Wah, and H. Yong, "A human computer interface driven rehabilitation system for upper limb motion recovery," in *2012 IEEE International Conference on Virtual Environments Human-Computer Interfaces and Measurement Systems (VECIMS) Proceedings*, Jul. 2012, pp. 26–29. doi: 10.1109/VECIMS.2012.6273207.
- [27] M. Rocchetti, G. Marfia, and A. Semeraro, "Playing into the wild: A gesture-based interface for gaming in public spaces," *J. Vis. Commun. Image Represent.*, vol. 23, no. 3, pp. 426–440, Apr. 2012, doi: 10.1016/j.jvcir.2011.12.006.
- [28] N. G. Tsagarakis and D. G. Caldwell, "Improving mouse-based computer interaction in users with weak upper limb motion control using a haptic assistive system," *IEEE Trans. Human-Machine Syst.*, vol. 43, no. 2, pp. 177–187, Mar. 2013, doi: 10.1109/TSMCC.2012.2204872.
- [29] J. Cecilio, J. Andrade, P. Martins, M. Castelo-Branco, and P. Furtado, "BCI Framework Based on Games to Teach People With Cognitive and Motor Limitations," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 83, pp. 74–81, 2016, doi: 10.1016/j.procs.2016.04.101.
- [30] P. Dorrington, "User-Centered Design Method for the Design of Assistive Switch Devices to Improve User Experience , Accessibility , and Independence," vol. 11, no. 2, pp. 66–82, 2016, Accessed: Mar. 24, 2021. [Online]. Available: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2993215.2993218>
- [31] C. T. Batista, E. M. Campos, and N. C. S. Neto, "A proposal of a universal remote control system based on head movements," Oct. 2017. doi: 10.1145/3160504.3160516.

- [32] S. A. López, F. Corno, and L. De Russis, "Design and development of one-switch video games for children with severe motor disabilities," *ACM Trans. Access. Comput.*, vol. 10, no. 4, 2017, doi: 10.1145/3085957.
- [33] L. Liu, S. Niu, and S. McCrickard, "Non-contact Human Computer Interaction System Design and Implementation," in *Proceedings - 2017 IEEE 2nd International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies, CHASE 2017*, Aug. 2017, pp. 312–320. doi: 10.1109/CHASE.2017.114.
- [34] C. L. Fall *et al.*, "A Multimodal Adaptive Wireless Control Interface for People with Upper-Body Disabilities," *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, vol. 12, no. 3, pp. 564–575, Jun. 2018, doi: 10.1109/TBCAS.2018.2810256.
- [35] C. S. Bianchini *et al.*, "Coding Movement in Sign Languages," in *Proceedings of the 5th International Conference on Movement and Computing*, Jun. 2018, pp. 1–8. doi: 10.1145/3212721.3212808.
- [36] M. Bender Machado *et al.*, "An adaptive hardware and software based human computer interface for people with motor disabilities," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 17, no. 9, pp. 1401–1409, Sep. 2019, doi: 10.1109/TLA.2019.8931132.
- [37] W. Gong, L. Xiao, X. Wang, and C. H. Lee, "Dots - An Inclusive Natural User Interfaces (NUI) for Spatial Computing," May 2020. doi: 10.1145/3406324.3410715.
- [38] J. E. Perez, M. Arrue, X. Valencia, and J. Abascal, "Longitudinal Study of Two Virtual Cursors for People with Motor Impairments: A Performance and Satisfaction Analysis on Web Navigation," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 110381–110396, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3001766.
- [39] M. N. Perquin, M. Taylor, J. Lorusso, and J. Kolasinski, "Directional biases in whole hand motion perception revealed by mid-air tactile stimulation," *Cortex*, vol. 142, pp. 221–236, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.cortex.2021.03.033.
- [40] R. W. L. Yu and A. H. S. Chan, "Meta-analysis of the effects of game types and devices on older adults-video game interaction: Implications for video game training on cognition," *Appl. Ergon.*, vol. 96, no. May, p. 103477, 2021, doi: 10.1016/j.apergo.2021.103477.
- [41] D. Achancaray, S.-I. Izumi, and M. Hayashibe, "Visual-Electrotactile Stimulation Feedback to Improve Immersive Brain-Computer Interface Based on Hand Motor Imagery," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2021, pp. 1–13, Feb. 2021, doi: 10.1155/2021/8832686.
- [42] V. Rajanna, M. Russel, J. Zhao, and T. Hammond, "PressTapFlick: Exploring a gaze and foot-based multimodal approach to gaze typing," *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 161, p. 102787, May 2022, doi: 10.1016/j.ijhcs.2022.102787.