

Herramientas tecnológicas para la medición y registro de movimiento objetivo de la hiperactividad

Technological tools for recording and measurement objective movement of hiperactivity

Sempere Tortosa, Mireia L¹

Fernández Carrasco, Francisco²

García Fernández, José Manuel²

Cantó Díez, Tomás J³

¹Dpto. de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial. Universidad de Alicante

²Dpto. de Psicología Evolutiva y Didáctica. Universidad de Alicante

³Unidad de Salud Mental Infantil del Hospital General Universitario de Alicante

Correspondencia: francisco.fernandez@ua.es

Resumen: Al no existir ninguna condición que determine de forma inequívoca la existencia del TDAH, el diagnóstico es clínico, y se determina por la observación y la información facilitada por padres y maestros. Esto resulta altamente subjetivo e induce a resultados dispares, en buena medida, por la falta de acuerdo en los instrumentos y procedimientos de evaluación. De esta forma, la imprecisión del diagnóstico del TDAH, basado en criterios subjetivos, unida a que la hiperactividad es uno de los síntomas troncales de este trastorno conllevan que, desde hace más de una década se vengán realizando estudios para registrar medidas objetivas de movimiento en los sujetos. Este artículo revisa las diferentes tecnologías existentes en el mercado que permiten el registro y medición del movimiento de un cuerpo humano para facilitar la obtención de una medida objetiva de movimiento que apoye el diagnóstico del TDAH. Se revisan tres tecnologías diferentes: sistemas de video; sistemas de captura de movimiento basados en sensores o marcadores; y sistemas de detección de mapas de profundidad, describiendo las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas para el apoyo al diagnóstico del TDAH.

Palabras clave: Evaluación, Diagnóstico, TDAH, Captura De Movimiento, Hiperactividad

Abstract: In the absence of any condition that unambiguously determines the existence of ADHD, the diagnosis is clinical, and is determined by the observation and information provided by parents and teachers. This is highly subjective and leads to disparate results, largely due to the lack of agreement in the evaluation instruments and procedures. Thus, the inaccuracy of the diagnosis of ADHD, based on subjective criteria, together with the fact that hyperactivity is one of the main symptoms of this disorder, cause that, for more than a decade, several studies have been carried out to record objective measures of movements in the subjects. This paper reviews different technologies available in the market that allow the recording and measurement of the movement of a human body in order to facilitate obtaining an objective measurement of movement that supports the diagnosis of ADHD. Three different technologies are reviewed: video systems; motion capture systems based on sensors or markers; and depth map systems, describing the advantages and disadvantages of each one of them to support the diagnosis of ADHD.

Keywords: Assessment, Diagnosis, ADHD, Motion Capture, Hiperactivity

1. Introducción

La denominación de Trastorno por Déficit de Atención/Hiperactividad (TDAH) es la acuñada por la Sociedad Americana de Psiquiatría en el Manual Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales [1] para denominar un patrón persistente de inatención y/o hiperactividad- impulsividad incoherente con el

desarrollo del individuo y que interfiere con el funcionamiento social, académico y ocupacional del mismo. Nos situamos así en la última interpretación de un viejo problema que, aunque tremendamente actual, tiene una larga historia de problemas a sus espaldas.

Los problemas relacionados con el TDAH no sólo se originan fuera de la comunidad científica, sino que también se han desarrollado dentro de la misma: múltiples dudas en referencia a la etiología, a la prevalencia, a los instrumentos y procedimientos de evaluación, etc. Y la clave de todos estos problemas reside en la falta de acuerdo en su diagnóstico. Así, al no existir ninguna condición bioquímica, estructural o genética que determine de forma inequívoca la existencia del TDAH [2], el diagnóstico es clínico, es decir, basado en la pericia profesional del médico, y se determina por la observación y la información facilitada por padres y maestros. Esto resulta altamente subjetivo e induce a resultados dispares, en buena medida, por la falta de acuerdo en los instrumentos y procedimientos de evaluación [3]. Además, tal como se afirma desde la Asociación Española de Neuropsiquiatría, “el principal problema son los criterios clínicos que se utilizan para diagnosticar este trastorno y que son demasiado vagos. El manual de diagnóstico que se utiliza, DSM-V [1], incluye criterios muy amplios y subjetivos. ¿Cómo se puede determinar si un niño es más o menos movido?” [4].

De esta forma, la imprecisión del diagnóstico del TDAH, basado en criterios subjetivos [5], tiende a abrir la puerta a otro tipo de herramientas, como las pruebas informatizadas, la realidad virtual, el neurofeedback, etc. Así, actualmente existen múltiples líneas de investigación abiertas sobre la aplicación de la tecnología a la evaluación del diagnóstico del TDAH. Por una parte, se han desarrollado dispositivos como el “Quotien ADHD System” [6] o el “QbTest” [7], que utilizan sistemas de infrarrojos para hacer el seguimiento de un sujeto mientras se le presentan una serie de estímulos visuales. También se han desarrollado dispositivos que utilizan el electroencefalograma para detectar el TDAH [8-9]. Finalmente, se han desarrollado sistemas de realidad virtual [10] para medir la atención, impulsividad, velocidad de procesamiento, etc., en una clase escolar virtual [11].

No obstante, dada la actualidad del lanzamiento de estas herramientas, la falta de análisis en muestras amplias y la ausencia de estudios independientes debemos mostrar cautela y escepticismo, pues por una parte encontramos investigaciones que avalan su calidad psicométrica, fiabilidad y validez [12-17] y por otra, existen estudios y autores que nos invitan a mostrarnos cautos, pues ponen en duda su eficacia [18-20].

Además de las herramientas y dispositivos mencionados anteriormente, desde hace más de una década se vienen realizando estudios para registrar medidas objetivas del movimiento en los sujetos [21-27], pues la hiperactividad es uno de los síntomas troncales del TDAH [21, 28-29].

2. Objetivo

Realizar un estudio de las diferentes tecnologías existentes en el mercado que permiten el registro y medición del movimiento de un cuerpo humano para facilitar la obtención de una medida objetiva de movimiento que apoye el diagnóstico del TDAH.

3. Método

Para el análisis y clasificación de las tecnologías existentes se tienen en cuenta varios aspectos: la validez ecológica, la capacidad de la tecnología para mantener el anonimato de los sujetos de investigación (Ley Orgánica 1/1982 sobre protección civil del derecho al honor, a la intimidad personal y familiar y a la propia imagen), la capacidad para contabilizar el movimiento de diferentes partes del cuerpo al mismo tiempo y el precio y/o la facilidad de acceso. Para realizar la búsqueda se emplearon las bases de datos Web of Science (todas las bases de datos), Scopus, PsycINFO y ERIC, por ser plataformas ampliamente reconocidas, que almacenan literatura a nivel internacional. En esta revisión únicamente se incluyen las tecnologías que permiten el registro del movimiento de diferentes partes del cuerpo.

4. Resultados

El registro de los movimientos de un alumno con TDAH para su posterior análisis es posible conseguirlo mediante tres tecnologías diferentes: sistemas de vídeo, sistemas de captura de movimiento basados en sensores o marcadores y sistemas capaces de generar mapas de profundidad o nubes de puntos.

Antes de la revisión y análisis de cada una de estas tecnologías y sus posibilidades, se debe tener en cuenta que la descripción y estudio del movimiento de un cuerpo exige determinar su posición en el espacio en función del tiempo respecto a un cierto sistema de referencia. Además, el movimiento del cuerpo humano, evidentemente, se realiza en tres dimensiones: cada segmento del cuerpo va asumiendo posiciones y orientaciones en el espacio a medida que se realiza el movimiento [30]. Por lo tanto, para poder fijar la posición de un cuerpo en el espacio se necesita un sistema de referencia que contemple las tres dimensiones (x, y, z), y para ello se utilizará el sistema de coordenadas cartesiano.

Sistemas de vídeo

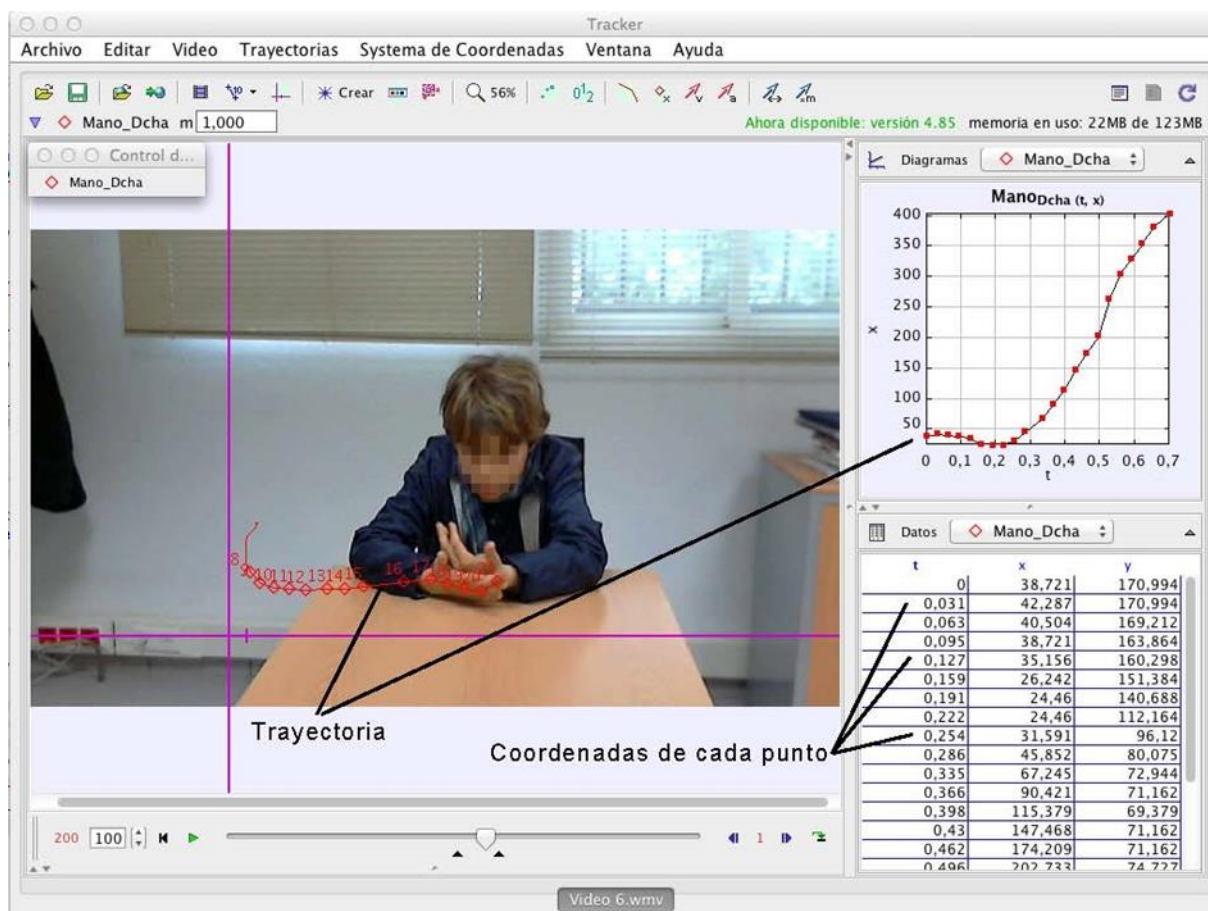
El vídeo es la tecnología de la grabación, procesamiento, almacenamiento, transmisión y reconstrucción por medios electrónicos digitales o analógicos de una secuencia de imágenes que representan escenas en movimiento en dos dimensiones. Es la tecnología más accesible y sencilla para registrar movimiento. Aunque dentro del campo de la inteligencia artificial existen técnicas de visión artificial capaces de extraer información de imágenes digitales, éstas son complejas y avanzadas. Para los no especialistas en inteligencia artificial, existe un gran número de programas comerciales para analizar el movimiento en un vídeo, como por ejemplo Kynovea [31], Tracker [32] o Darthfish [33].

Tras la realización de una serie de pruebas con los sistemas de vídeo (véase figura 1), en relación con el objetivo de esta revisión, se han encontrado una serie de inconvenientes.

Así, frente a la ventaja de que es la tecnología más accesible, los inconvenientes hallados son los siguientes:

- Se debe establecer de manera manual el origen del sistema de coordenadas, por lo que es posible que, para un mismo vídeo, se obtengan resultados diferentes.
- Se debe indicar la posición de la imagen de la parte del cuerpo del cual se desea realizar el seguimiento. Depende del criterio del observador determinar dónde se encuentra ese punto, estableciéndose, en muchas ocasiones, puntos aproximados.
- El análisis se realiza fotograma a fotograma, lo que requiere un tiempo elevado.
- Esta tecnología no permite mantener el anonimato de los sujetos de investigación, debiéndose para ello utilizar otro tipo de tecnologías para evitar el reconocimiento de los mismos.
- Únicamente permite trabajar en dos dimensiones (x, y), con las limitaciones que esto conlleva. Por ejemplo, sólo detectará el movimiento de una mano si ésta se mueve de derecha e izquierda y no hacia delante o hacia atrás.

Figura 1. Trayectoria y coordenadas marcadas en el programa de análisis de movimiento Tracker.



Sistemas de captura de movimiento basados en sensores o marcadores

La captura de movimiento (del inglés Motion Capture o MoCap) consiste en la medida y almacenamiento de las acciones directas de una persona real para analizarlas y reproducirlas inmediata o posteriormente [34]. Esta técnica surgió en la industria del cine y los videojuegos para animar personajes diseñados por ordenador. En los últimos años se ha extendido su uso para fines deportivos [35] y médicos [36].

Existen diferentes sistemas de captura de movimiento que se clasifican según la tecnología que utilicen para realizar mediciones. Estas tecnologías abarcan desde la utilización de un traje mecánico, sensores de movimiento, cámaras e incluso sensores de sonido [37].

Para realizar las pruebas pertinentes relacionadas con esta revisión, se ha tenido acceso a un sistema óptico de captura de movimiento.

Los sistemas de captura de movimiento ópticos, generalmente, utilizan marcadores como material retrorreflectivo para reflejar la luz que es generada cerca de las lentes de las cámaras. Monitorizando las posiciones de los marcadores es posible obtener las localizaciones que corresponden con las diferentes articulaciones. Para esto, se genera un esqueleto virtual sobre el cual se aplican en tiempo real los movimientos que realiza el sujeto.

Para la captura de movimiento con este tipo de sistemas, en primer lugar, el sujeto debe ponerse un traje especial al cual se le adhieren una serie de marcadores retrorreflectivos. Estos marcadores deben estar situados en posiciones específicas para que la detección del esqueleto del sujeto se haga correctamente. En

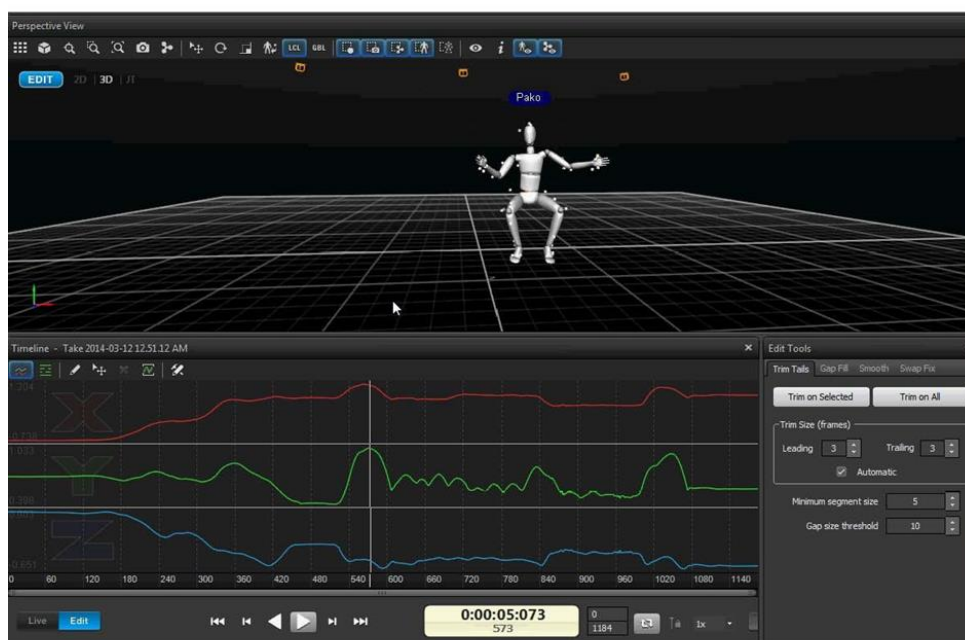
la figura 4 se muestra, en la parte izquierda, la posición en la que indica la herramienta dónde se deben colocar los marcadores. En la parte central se muestra un sujeto con el traje y los marcadores. Por último, en la parte derecha, se muestra el esqueleto detectado por la aplicación.

Figura 2. Izquierda: posición donde se deben colocar los marcadores. Centro: sujeto con traje y marcadores. Derecha: esqueleto detectado por la aplicación.



A continuación, una vez detectado el esqueleto, se procede a capturar el movimiento. Este sistema registra al mismo tiempo la posición en tres dimensiones de todos los marcadores del cuerpo. En la figura 3 se puede observar un instante de una grabación. Se muestra el sujeto sentado y en la parte inferior se muestra la trayectoria en tres dimensiones (x, y, z) de uno de los marcadores.

Figura 3. Captura de pantalla del sistema óptico del sistema de movimiento.



Una vez trayectorizados todos los marcadores, se deben exportar las coordenadas de los mismos a algún formato que nos permita su análisis posterior.

Tras la realización y análisis de las pruebas del sistema óptico de captura de movimiento, al igual que con los sistemas de vídeo, se han encontrado ventajas e inconvenientes.

La principal ventaja de este tipo de sistemas es que nos permite capturar al mismo tiempo la posición de todo el cuerpo. Además, es posible su observación desde diferentes perspectivas.

En cuanto a los inconvenientes, nos encontramos con que:

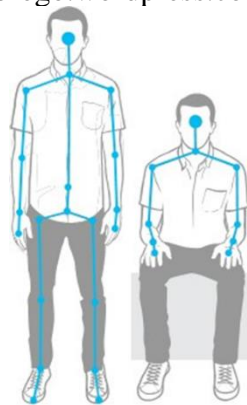
- Este sistema carece de validez ecológica pues, además de trasladar al sujeto de investigación a un espacio desconocido, el hecho de enfundarse un traje con diferentes sensores hace que el sujeto pierda naturalidad.
- El paso inicial para utilizar este sistema es la calibración de las cámaras para que tomen correctamente los datos. En este paso ha sido necesaria la intervención de un técnico especialista.
- Esta tecnología está diseñada para grabar movimientos concretos y no para realizar grabaciones largas.
- En posiciones donde el sujeto está sentado se producen diferentes oclusiones que hacen que se pierda información de la grabación.

Sistemas de detección de mapas de profundidad

Un mapa de profundidad es una representación en dos dimensiones de una escena en tres dimensiones. Generalmente consiste en una imagen que contiene información relacionada con la distancia a la que se encuentran los diferentes objetos del campo de visión. Para representar la información tridimensional se utiliza una escala de colores. Por ejemplo, para una escala de grises, a cada píxel de la imagen se le asigna un nivel en esa escala, representando en blanco el punto más cercano al dispositivo y en negro los puntos más alejados.

Una de las características de esta tecnología es que permite detectar un cuerpo humano. Para esto, generalmente, cuando se detecta un cuerpo, se representa mediante un esqueleto. Este esqueleto consiste en un número de segmentos (como antebrazo, mano o pie), los cuales se conectan entre ellos por articulaciones (como codo, muñeca o tobillo) [34]. La figura 4 muestra un ejemplo de esqueleto detectado en una persona sentada y de pie.

Figura 4. *Esqueleto mediante el cual se representa una persona sentada o de pie.*
Imagen obtenida de <http://malenyabrego.wordpress.com> [Consulta: 4 de diciembre de 2017]



Los dispositivos que permiten obtener este tipo de mapas en tiempo real son llamados cámaras de profundidad o Z-cams. Estos dispositivos permiten realizar la detección y seguimiento de objetos, de personas, la obtención de un esqueleto o la interpretación de gestos.

En el mercado existen un gran número de dispositivos que utilizan la tecnología de mapas de profundidad y las posibilidades de cada uno de ellos, así como su precio y especificaciones técnicas varían considerablemente:

Mesa Imaging Swissranger [38]. Este dispositivo utiliza un sistema de imagen óptico Indirect ToF (Time-of-flight: un anillo de infrarrojos emite luz que rebota en el cuerpo y vuelve a un sensor. Por el tiempo que transcurre, se calcula la distancia a la que se encuentran los diferentes objetos) y proporciona datos de distancia en tiempo real mediante la señal de luz entre el dispositivo y el sujeto. Las mediciones usando el principio de ToF se realizan a partir de 5 metros. Se pueden desarrollar aplicaciones propias para adaptar la utilización del dispositivo. Una de las grandes ventajas de este dispositivo es su elevada precisión y frecuencia de muestreo. Por este motivo se ha utilizado para realizar investigaciones en campos tan diversos como el deporte [39], la rehabilitación [40], el reconocimiento de gestos [41], etc. Sin embargo, su elevado precio que ronda los 4000\$ no lo hace asequible para todos los proyectos.

PMD CamCube [42]. Tiene un diseño modular y realiza mediciones usando el principio de Indirect ToF en un rango de 7,5 metros. Una característica distintiva de este dispositivo es que la influencia del sol sobre la cámara es inferior a la que se tienen en otros dispositivos ToF debido a que su tecnología patentada de supresión de fondo de iluminación [43] le aporta mayor robustez. Se pueden desarrollar aplicaciones propias para adaptar la utilización del dispositivo. Su precio ronda los 12000\$.

Structure Sensor [44]. Structure Sensor es, básicamente, lo que su nombre indica, un sensor que puede detectar estructuras, objetos y personas en tres dimensiones. Mediante unos sensores láser, el escáner realiza un barrido de miles de puntos de referencia del objeto al mismo tiempo, memorizando su tamaño, distancia y textura para, posteriormente, crear la imagen tridimensional en la tableta. Y aquí es donde radica la verdadera novedad de este dispositivo, en que es el primer sensor 3D para dispositivos móviles (de momento únicamente dispositivos iOS). Está optimizado en un rango de entre 40 cm a más de 3,5 metros y se pueden desarrollar aplicaciones propias para adaptar la utilización del dispositivo en dispositivos iOS. Su coste está en torno a los 350\$.

DepthSense [45]. Es un sensor de profundidad que realiza mediciones usando el principio de Indirect ToF en un rango de 15 cm a 4,5 metros. Además del sensor de profundidad y de una cámara, posee dos micrófonos que permiten capturar sonido.

Se pueden desarrollar aplicaciones propias para adaptar la utilización del dispositivo. Actualmente se comercializan varios modelos y su precio no supera los 300\$. Recientemente ha sido utilizado en múltiples investigaciones relacionadas con la telerehabilitación [46], con el reconocimiento de gestos de manos y pies [47], con la interacción dinámica en 3D con objetos reales y virtuales [48], etc.

Creative Senz3D [49]. Este dispositivo permite detectar gestos de la mano y el movimiento de la cabeza, abriendo nuevas posibilidades de interacción. Captura imágenes de alta resolución e incorpora dos micrófonos con reducción de ruido. Es posible realizar reconocimiento facial y reconocimiento del habla. Se pueden desarrollar aplicaciones propias para adaptar la utilización del dispositivo. El rango de medición

de este dispositivo es de 15 cm a 1 metro. Su precio ronda los 200\$, lo que lo hace muy interesante por las características del dispositivo. Su principal inconveniente es su reducido rango de acción.

ZED 2K Stereo Camera [50]. Este dispositivo captura imágenes 3D y percibe la profundidad en escenas interiores y exteriores desde 1 metro hasta 15-20 metros y se puede adquirir por 449\$. Se pueden desarrollar aplicaciones propias para adaptar la utilización del dispositivo.

Sony PlayStation Camera [51]. Sony proporciona dispositivos propios de captura de movimiento dirigidos a su uso en las consolas PlayStation. Dichos dispositivos han ido evolucionando hasta obtener mapas de profundidad que podrían ser utilizados para el desarrollo de aplicaciones cuyo objetivo es el seguimiento del movimiento del cuerpo humano. Sin embargo, sus características son similares a las de sensores de otros fabricantes y no se pueden desarrollar aplicaciones propias para adaptar la utilización del mismo. El precio de su dispositivo más actualizado, Sony PlayStation Camera es de 60\$.

ASUS Xtion PRO [52]. Tal y como describe su web, ASUS Xtion PRO es el primer dispositivo de captura de movimiento exclusivo para ordenador. Dispone de sensores de color, profundidad y sonido que permite desarrollar aplicaciones de distinto ámbito. Su rango de actuación es de 80 cm a 3,5 metros y su precio es en torno a 220\$.

Kinect

Kinect fue desarrollado originalmente como un dispositivo de detección de movimiento para la consola de videojuegos Xbox360 de Microsoft [53] para proporcionar una interfaz natural que permitiera la interacción utilizando el movimiento corporal, los gestos y comandos de voz. Dicho de otro modo, con Kinect, los usuarios pueden interactuar con la consola sin necesidad de tener contacto físico con un mando de videojuegos.

El lanzamiento comercial de Kinect fue en noviembre de 2010 y rápidamente se convirtió en el periférico que más rápido se ha vendido en la historia, consiguiendo entrar en el Libro Guinness Mundial de los Records [54]. Kinect es un dispositivo horizontal con sensores de profundidad, cámara a color y un conjunto de micrófonos embebidos en una caja rectangular. En la primera versión del dispositivo, esta caja está unida a un motor que permite variar la inclinación del dispositivo [55].

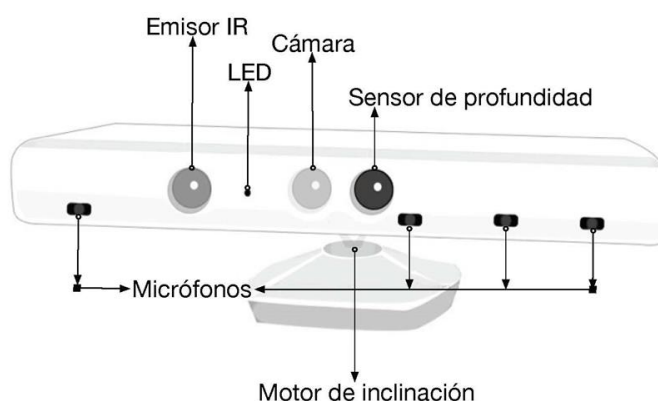
Éste incluye:

- Cámara a color.
- Emisor de infrarrojos (IR).
- Sensor de profundidad de infrarrojos. La capacidad de Kinect para detectar la profundidad depende de un emisor de infrarrojos y de un sensor de profundidad, ambos deben trabajar de manera conjunta. El emisor de infrarrojos emite luz infrarroja que refleja en los diferentes objetos que se encuentran delante del dispositivo. El sensor de profundidad es capaz de detectar y leer estas luces y convertirlas en medidas de profundidad calculando la distancia entre el sensor y el objeto.
- Motor de inclinación. La base donde se encuentran los sensores de Kinect contiene un pequeño motor que permite cambiar el ángulo de los sensores para obtener correctamente los datos necesarios. Este motor permite situar los sensores en diferentes orientaciones con una libertad de 27 grados.

- Conjunto de micrófonos. Kinect contiene cuatro micrófonos situados de manera lineal, tres en la parte derecha y uno en la parte izquierda. Esta distribución de los micrófonos permite obtener tanto el sonido como localizar la dirección de éste.
- Un indicador luminoso (LED) que indica el estado del dispositivo.

La Figura 5 muestra un esquema de los componentes de la primera versión de este dispositivo.

Figura 5. Esquema de los componentes del dispositivo Kinect de Microsoft.



En 2014 se lanzó la segunda versión del dispositivo Kinect (véase figura 6) y, aunque aparentemente los componentes son muy similares a los de la primera versión, presenta algunas diferencias considerables.

Figura 6. Dispositivo Kinect v.2 de Microsoft.

Imagen obtenida de www.microsoft.com [Consulta: 5 de diciembre de 2017]



En la Tabla se muestran las diferencias más relevantes entre ambas versiones del dispositivo.

Tabla 1. Comparativa de características de Kinect v.1 y Kinect v.2

Capacidad	Kinect v.1	Kinect v. 2
Profundidad	Distancias de 0,8 a 4 metros	Distancias de 0,5 a 4,5 metros
Rastreo de campo	Capacidad para detectar 6 cuerpos, pero sólo dos se pueden rastrear completamente. Por cuerpo rastreado, se identifican 20 articulaciones.	Capacidad para detectar 6, todos completamente rastreados. Por cuerpo rastreado, se identifican 25 articulaciones.

Motor de inclinación	Sí	No
USB	2.0	3.0 (controlador dedicado)
Sistema operativo	Windows 7 o superior	Windows 8 o superior.
Video	640 x 480	Solo 64 bits.
Precio	249 \$	1920 x 1080 199 \$

Debido a las características del dispositivo Kinect y a la posibilidad de desarrollar aplicaciones para adaptarse a diferentes proyectos, su uso no se ha limitado únicamente a los videojuegos. La versión para Windows comercializada por Microsoft permite a los desarrolladores realizar programas propios utilizando los gestos y movimientos corporales en una gran variedad de aplicaciones. Por este motivo es considerada una interfaz de interacción innovadora entre personas y ordenadores, además de por su simplicidad en la adquisición de datos [56].

Los datos obtenidos por el sensor Kinect incluyen información de las medidas de profundidad y, por lo tanto, las coordenadas (x, y, z) de los objetos 3D presentes en la escena. Estos datos obtenidos son procesados para obtener, en caso de las personas, las coordenadas (x, y, z) de las principales articulaciones del esqueleto humano. En el caso de la segunda versión del dispositivo es posible realizar el seguimiento de 25 articulaciones (o 25 coordenadas) por cada uno de los seis esqueletos que es capaz de detectar.

Desde su salida al mercado en el año 2010, el dispositivo Kinect ha sido utilizado en un amplio rango de campos de investigación [57]. Además de múltiples aplicaciones desarrolladas por equipos de trabajo para fines concretos de investigación, y que no están disponibles para su adquisición, existen algunas aplicaciones comerciales para la captura de movimiento con Kinect. Entre las más conocidas se encuentran Brekel [58] e iPi-Soft [59]. Ambas son aplicaciones orientadas a la captura de movimiento para la animación de personajes virtuales en 3D, esto implica que, aunque ambos detectan y registran el esqueleto de cualquier persona que se sitúe delante del sensor, los datos de movimiento sólo se pueden exportar a programas específicos de animación y, por tanto, no es posible el acceso a la información para el análisis del movimiento.

5. Discusión

El objetivo del presente trabajo es revisar las diferentes tecnologías existentes capaces de medir y registrar movimiento para, posteriormente, aplicarlas al diagnóstico del TDAH. En la actualidad para realizar captura de movimiento podemos hacer uso de diferentes tecnologías y, cada una de ellas, presenta ventajas e inconvenientes: los sistemas de video tienen la ventaja de que son los más fáciles de utilizar pero, al mismo tiempo presentan una serie de desventajas, siendo la principal que únicamente permite trabajar en dos dimensiones; los sistemas basados en sensores o marcadores, por su parte, permiten capturar movimiento en tres dimensiones y son, en general, bastante precisos. Sin embargo, si pensamos en la captura de movimiento en un entorno natural, presentan una más que evidente falta de validez ecológica al tener que desplazarse el sujeto a un espacio desconocido y, en la mayoría de los casos, tener que colocarse sobre el cuerpo un conjunto de sensores; los sistemas de detección de mapas de profundidad resultan a priori los más ecológicos al registrar y capturar cuerpos sin necesidad de colocar ningún tipo de sensor sobre ellos y poder hacerlo en la mayoría de entornos, pero disponemos de una gran variedad de dispositivos con características y precios bastante dispares. Tras analizar los diferentes dispositivos existentes que utilizan la tecnología de mapas de profundidad, Kinect resulta interesante por varios

motivos. En primer lugar, porque, en su última versión, es capaz de hacer el seguimiento de 6 cuerpos diferentes manteniendo, además, el anonimato. En segundo lugar, porque es un dispositivo de pequeñas dimensiones que se puede introducir fácilmente en el entorno natural del sujeto o sujetos; y, finalmente, y no por ello menos importante, por su bajo precio.

Por otro lado, es importante destacar que Kinect es el dispositivo que se utiliza mayoritariamente en investigaciones de reconocimiento de gestos [60] en campos como la rehabilitación, el deporte, la robótica, la evaluación y diagnóstico de enfermedades, etc. Así, por ejemplo en el campo de la rehabilitación podemos encontrar investigaciones y aplicaciones recientes como la de González, Díaz, Martínez, y Antón [61], que presentan un sistema para la rehabilitación y valoración cognitiva de los trastornos del esquema corporal y de confusión en la orientación izquierda-derecha; o la de Chang, Chen, y Huang [62], que presentan un sistema de rehabilitación física para asistir a los terapeutas en la rehabilitación de adultos jóvenes con discapacidades motoras; o la de Pedraza-Hueso, Martín-Calzón, Díaz-Pernas, y Martínez-Zarzuela [63], que presentan el desarrollo de un sistema de realidad virtual basado en un videojuego educativo para permitir a los usuarios llevar a cabo terapias de rehabilitación física y cognitiva haciendo uso de Kinect como interfaz; así como la de Chang, Han, y Tsai [64], cuyo objetivo es permitir a los terapeutas diseñar movimientos basados en las necesidades del paciente para desarrollar ejercicios de rehabilitación adaptados al usuario con parálisis cerebral.

También es posible encontrar aplicaciones relacionadas con la evaluación y diagnóstico de enfermedades. Así, en la investigación de Galna et al. [65], el objetivo es establecer la precisión del dispositivo Kinect en la medición de los movimientos clínicamente relevantes en pacientes diagnosticados de Parkinson; Chen, Lee, y Lin [66] utilizan dos dispositivos Kinect para reconstruir las posiciones 3D de las articulaciones, calcular los ángulos de movimiento de estas articulaciones y derivar los rangos de movimiento para el apoyo al diagnóstico clínico en terapias físicas. Boutsika [67] utiliza, además del aspecto de entretenimiento de los videojuegos, su carácter educacional junto con un dispositivo Kinect como una herramienta auxiliar en el proceso de aprendizaje para niños con autismo; etcétera.

Tras analizar la tecnología existente para registrar y medir el movimiento objetivo de los sujetos, los sistemas de detección de mapas de profundidad resultan, a priori, los más ecológicos al registrar y capturar cuerpos sin necesidad de colocar ningún tipo de sensor sobre ellos y poder hacerlo en la mayoría de entornos, pero disponemos de una gran variedad de dispositivos.

Tras revisar los diferentes dispositivos existentes que utilizan la tecnología de mapas de profundidad, Kinect resulta interesante por varios motivos. En primer lugar, porque, en su última versión, es capaz de hacer el seguimiento de 6 cuerpos diferentes manteniendo, además, el anonimato. En segundo lugar, porque es un dispositivo de pequeñas dimensiones que se puede introducir fácilmente en el entorno natural de los sujetos; y, finalmente, no por ello menos importante, por su bajo precio. Debido a los factores indicados anteriormente, Kinect es el dispositivo que se utiliza mayoritariamente en investigaciones de reconocimiento de gestos [50] en campos como la rehabilitación, el deporte, la robótica, la evaluación y diagnóstico de enfermedades, etc. Por todo ello, Kinect es un buen dispositivo para medir movimientos y puede ser utilizado para registrar el movimiento de sujetos (con y sin TDAH) en entornos naturales (casa, aula, etc.).

6. Referencias

1. American Psychiatric Publishing. Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales. 5ª ed. Arlington, VA
2. Bastardas J, Ortiz-Guerra J, Sánchez V, Sabaté J. Diagnóstico del TDAH. REV ESP PEDIATR 2015; 71(2): 69-74.
3. Barkley RA. Avances en el diagnóstico y la subclasificación del trastorno por déficit de atención / hiperactividad: qué puede pasar en el futuro respecto al DSM-V. Rev Neurol 2009;48 (Supl. 2): S101-S106
4. Alberola, P. Los criterios de diagnóstico son vagos, ¿cómo se determina que un niño es más o menos movido? Diario Información. 2015 Nov 15; [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <http://www.diarioinformacion.com/alicante/2015/11/08/criterios-diagnostico-son-vagos-determina/1694260.html>.
5. Artigas-Pallarés J. Comorbilidad en el trastorno por déficit de atención/hiperactividad. Rev Neurol 2003;36 (S1):68-0
6. Quotient ADHD System. [consultado 19 de febrero de 2018] Disponible en: <http://quotient-adhd.com>
7. Qbtech: transforming healthcare. [consultado 19 de febrero de 2018] Disponible en: <https://www.qbtech.com/qbtest.html>
8. NEBA Health. [consultado 19 de febrero de 2018] Disponible en: <http://www.nebahealth.com/research.html>
9. ELMinda – Visualizing your brain – revolutionizing treatment [consultado 19 de febrero de 2018] Disponible en: www.elminda.com
10. Aula Nesplora. El test más completo para la evaluación del TDAH [consultado 20 de febrero de 2018] Disponible en: <http://aulanesplora.com>
11. Climent G, Banterla F. AULA Nesplora. Evaluación ecológica de los procesos atencionales. San Sebastián: Nesplora; 2011
12. Diaz-Orueta U, Iriarte Y, Climent G, Banterla F. AULA: An ecological virtual reality test with distractors for evaluating attention in children and adolescents. Virtual Reality 2012 [consultado 20 de febrero de 2018]; 5(2): 1-20. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/311589131_AULA_An_ecological_virtual_reality_test_with_distractors_for_evaluating_attention_in_children_and_adolescents
13. Fernández M, Morillo M, Alonso L. Utilidad del estudio Aula Nesplora en la valoración del TDAH. XVI Reunión Anual de la Sociedad Española de Neurología Peiátrica. Santander; 2012

14. Parsons TD, Bowerly T, Buckwalter J G, Rizzo AA. A controlled clinical comparison of attention performance in children with ADHD in a virtual reality classroom compared to standard neuropsychological methods. *Child Neuropsychol* 2014; 13(4): 363-381. doi: 10.1080/13825580600943473
15. Díaz-Orueta U, Garcia-López C, Crespo-Eguílaz N, Sánchez-Carpintero R, Climent G, Narbona J. AULA virtual reality test as an attention measure: Convergent validity with Conners' Continuous Performance Test. *Child Neuropsychol*, 2014; 20(3): 328-342. doi: 10.1080/09297049.2013.792332
16. Iriarte Y, Diaz-Orueta U, Cueto E, Irazustabarrena P, Banterla F, Climent G. AULA -advanced virtual reality tool for the assessment of attention: normative study in Spain. *Journal of Attention Disorders*, 2016; 20(6): 542-568. doi: 10.1177/1087054712465335
17. Negut A, Jurma AM, David D. Virtual-reality-based attention assessment of ADHD: ClinicaVR: Classroom-CPT versus a traditional continuous performance test. *Child Neuropsychol*, 2017; 23(6): 692-712. doi: 10.1080/09297049.2016.1186617
18. Barkley R. A Cautionary Note about Using the EEG for Clinical Diagnosis of ADHD. *ADHD Report*, 2013; 21 (6): 15-15. doi: 10.1521/adhd.2013.21.6.15
19. Arns M, Gordon E. Quantitative EEG in psychiatry: Diagnostic or prognostic use? *Clin Neurophysiol*, 2014; 125(8): 1504-1506. doi: 10.1016/j.clinph.2014.01.014
20. Poli S, Vollmann S, Ghisleni C, O'Gorman RL, Klaver P, Ball J. Age dependent electroencephalographic changes in Attention Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD). *Clinical Neurophysiol*, 2014; 125(8): 1626-1638. doi: 10.1016/j.clinph.2013.12.118
21. Gawrilow C, Kühnhausen J, Schmid J, Stadler G. Hyperactivity and Motoric Activity in ADHD: Characterization, Assessment, and Intervention. *Front Psychiatry* 2014; 5: 171. Gawrilow C, Kühnhausen J, Schmid J, Stadler G. Hyperactivity and Motoric Activity in ADHD: Characterization, Assessment, and Intervention. *Front Psychiatry*. 2014; 5: 171. doi:10.3389/fpsy.2014.00171
22. García Murillo L, Cortese S, Anderson D, Di Martino A, Castellanos FX. Locomotor activity measures in the diagnosis of attention deficit hyperactivity disorder: Meta-analyses and new findings. *J Neurosci Methods*. 2015 Aug 30;252:14-26. doi: 10.1016/j.jneumeth.2015.03.001
23. Hall CL, Valentine AZ, Groom MJ, Walker GM, Sayal K, Daley D, Hollis C. The clinical utility of the continuous performance test and objective measures of activity for diagnosing and monitoring ADHD in children: a systematic review. *Eur Child Adolesc Psychiatry*. 2016 Jul;25(7):677-99. doi: 10.1007/s00787-015-0798-x
24. Jaiswal S, Valstar M, Gillott A, Daley D. Automatic detection of ADHD and ASD from Expressive Behaviour in RGBD Data. *CoRR*. 2016. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <http://www.cs.nott.ac.uk/~psxsj3/publications/fg2017.pdf>

25. Li F, Zheng Y, Smith SD, Shic F, Moore C, Zheng X, et al. A preliminary study of movement intensity during a Go/No-Go task and its association with ADHD outcomes and symptom severity. *Child Adolesc Psychiatry Ment Health*. 2016;10:47. doi:10.1186/s13034-016-0135-2
26. O'Mahony N, Florentino-Liano B, Carballo JJ, Baca-García E, Rodríguez AA. Objective diagnosis of ADHD using IMUs. *Med Eng Phys*. 2014 Jul;36(7):922-6. doi: 10.1016/j.medengphy.2014.02.023
27. Wehmeier PM, Schacht A, Wolff C, Otto WR, Dittmann RW, Banaschewski T. Neuropsychological outcomes across the day in children with attention-deficit/hyperactivity disorder treated with atomoxetine: results from a placebo-controlled study using a computer-based continuous performance test combined with an infra-red motion-tracking device. *J Child Adolesc Psychopharmacol*. 2011 Oct;21(5):433-44. doi: 10.1089/cap.2010.0142
28. Ohashi K, Vitaliano G, Polcari A, Teicher MH. Unraveling the nature of hyperactivity in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Arch Gen Psychiatry*. 2010 Apr;67(4):388-96. doi: 10.1001/archgenpsychiatry.2010.28
29. Teicher MH, Polcari A, McGreenery CE. Utility of Objective Measures of Activity and Attention in the Assessment of Therapeutic Response to Stimulants in Children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *J Child Adolesc Psychopharmacol*. 2008;18(3):265-270. doi:10.1089/cap.2007.0090
30. Rodríguez C, Quintero H, Aschner H. Movimiento del brazo humano: de los tres planos a las tres dimensiones. *Rev Ing*. 2005;22:36-44. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1210/121014219003.pdf>
31. Kynovea. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <http://kynovea.org>
32. Tracker Video Analysis and Modeling Tool. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <http://www.opensourcephysics.org/items/detail.cfm?ID=7365>
33. The power of visual learning. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <http://www.dartfish.com>
34. Thalmann D, Gutierrez M, Vexo F. *Stepping into VirtualReality*. London: Springer-Verlag; 2008
35. Hofmann M, Granter N, Witte K, Edelmann-Nusser J, Nowoisky C. Use of the Infrared Based Motion Capture System AS 200 in Sport Science. *Eng Sport*. 2006;6: 45–50. doi: 10.1007/978-0-387-46051-2_9
36. Kanetaka H, Yabukami S, Hashi S, Arai K. Wireless magnetic motion capture system for medical use. In T. Sasano & O. Suzuki, eds. *Interface Oral Health Science*. Japan: Springer; 2009. p. 329–331.

37. Vlastic D, Adelsberger R, Vannucci G, Barnwell J, Gross M, Matusik W, et al. Practical motion capture in everyday surroundings. *ACM Trans Graph.* 2007;23(7). doi: 10.1145/1276377.1276421
38. SwissRanger | Heptagon. [consultado 20 de febrero de 2018] Disponible en: <http://hptg.com/industrial/>
39. Behendi S, Morgan S, Fookes C. Non-Invasive Performance Measurement in Combat Sports. *Proceedings of the 10th International Symposium on Computer Science in Sports (ISCSS).* 2015;392: 3-10. doi: 10.1007/978-3-319-24560-7 1
40. Zalud L, Kotova M, Kocmanová P, Dobsak P, Kolarova J. Breath Analysis Using a Time-of-Flight Camera and Pressure Belts. *Artif Organs.* 2016 Jun;40(6):619-26. doi: 10.1111/aor.12592.
41. Zhou Y, Jiang G, Lin Y. A novel finger and hand pose estimation technique for real-time hand gesture recognition. *Pattern Recognition.* 2016;49: 102-114. doi: 10.1016/j.patcog.2015.07.014
42. PMD technologies. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: http://www.pmdtec.com/news_media/video/camcube.php
43. Hussmann S, Ringbeck T, Hagebeuker B. A performance review of 3D ToF vision systems in comparison to stereo vision systems. In: *Stereo Vision.* 2008: 372. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <http://cdn.intechweb.org/pdfs/5767.pdf>
44. Structure Sensor - 3D scanning, augmented reality, and more for mobile devices. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <http://structure.io/>
45. Softkinetic - 3D Vision Leader. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <http://www.softkinetic.com/Products/DepthSenseCameras>
46. Airò Farulla G, Pianu D, Cempini M, Cortese M, Russo LO, Indaco M, Nerino R, Chimienti A, Oddo CM, Vitiello N. Vision-Based Pose Estimation for Robot-Mediated Hand Telerehabilitation. *Sensors (Basel).* 2016 Feb 5;16(2):208. doi: 10.3390/s16020208.
47. Lasith K, Hirakawa M. GestureTank: A gesture detection water vessel for foot movements. *ICTer Journal.* 2015;8(2). [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <http://journal.ictcr.org/index.php/ICTer/article/view/203>
48. Sugiura N, Komuro T. Dynamic 3D interaction using an optical See-through HMD. *Virtual Reality (VR).* [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=7223444>
49. Creative Senz3D. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <http://es.creative.com/p/web-cameras/creative-senz3d>
50. ZED - Stereo Camera for Depth Sensing. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <https://www.stereolabs.com/>

51. PlayStation Camera - Camera for PS4 Console. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <https://www.playstation.com/en-us/explore/accessories/playstation-camera-ps4/>
52. Xtion PRO | Sensores de movimiento. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: https://www.asus.com/es/3D-Sensor/Xtion_PRO/
53. Kinect para Xbox One. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <http://www.xbox.com/es-ES/Kinect>
54. Catuhe, D. Programming with the Kinect for Windows Software. Development Kit. Redmond, WA: Microsoft Press; 2012
55. Jana, A. Kinect for Windows SDK: programming guide. Packt Publishing; 2012.
56. Ding I, Chang C. An eigenspace-based method with a user adaptation scheme for human gesture recognition by using Kinect 3D data. Appl Math Model. 2015;39(19): 5769-5777. doi: 10.1016/j.apm.2014.12.054
57. Seer S, Brändle N, Ratti C. Kinects and human kinetics: A new approach for studying pedestrian behavior. Transp Res Part C Emerg Technol. 2014;48: 212 - 228. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2014.08.012>
58. Brekel. Tools for Kinect markerless motion capture. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <http://www.brekel.com>
59. iPi Soft - Markerless Motion Capture. [consultado 8 de enero de 2018] Disponible en: <http://ipisoft.com>
60. Suarez J, Murphy RR. Hand gesture recognition with depth images: A review. In: IEEE RO-MAN: The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication. Paris, France, septiembre 2012. doi: 10.1109/ROMAN.2012.6343787
61. González-Ortega D, Díaz-Pernas FJ, Martínez-Zarzuela M, Antón-Rodríguez M. A Kinect-based system for cognitive rehabilitation exercises monitoring. Comput Methods Programs Biomed. 2014 Feb;113(2):620-31. doi: 10.1016/j.cmpb.2013.10.014. Epub 2013 Oct 31. PubMed PMID: 24263055.
62. Chang YJ, Chen SF, Huang JD. A Kinect-based system for physical rehabilitation: a pilot study for young adults with motor disabilities. Res Dev Disabil. 2011 Nov-Dec;32(6):2566-70. doi: 10.1016/j.ridd.2011.07.002.
63. Pedraza-Hueso M, Martín-Calzón S, Díaz-Pernas F, Martínez-Zarzuela M. Rehabilitation Using Kinect-based Games and Virtual Reality. Procedia Comput Sci. 2015;75:161-168. doi: 10.1016/j.procs.2015.12.233

64. Chang YJ, Han WY, Tsai YC. A Kinect-based upper limb rehabilitation system to assist people with cerebral palsy. *Res Dev Disabil.* 2013 Nov;34(11):3654-9. doi: 10.1016/j.ridd.2013.08.021.
65. Galna B, Barry G, Jackson D, Mhiripiri D, Olivier P, Rochester L. Accuracy of the Microsoft Kinect sensor for measuring movement in people with Parkinson's disease. *Gait Posture.* 2014 Apr;39(4):1062-8. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.01.008.
66. Chen YC, Lee HJ, Lin KH. Measurement of body joint angles for physical therapy based on mean shift tracking using two low cost Kinect images. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc.* 2015 Aug;2015:703-6. doi: 10.1109/EMBC.2015.7318459.
67. Boutsika E. Kinect in Education: A Proposal for Children with Autism. *Procedia Comput Sci.* 2014;27:123-129. doi: 10.1016/j.procs.2014.02.015