

Valoración cuantitativa para la reincorporación ocupacional

Quantitative assessment for the occupational reintegration

Vanessa Montoya-Leal¹, Vera Z. Pérez²

Resumen

El progreso de la bioingeniería ha permitido el desarrollo de herramientas tecnológicas para cuantificar las variables asociadas al examen físico. En este artículo se presenta la descripción, ventajas y limitaciones de tecnologías para la medición de fuerza, arcos de movimiento, equilibrio y estabilidad, coordinación y marcha. Se proponen también alternativas para uso de estas tecnologías como parte del proceso de valoración de pacientes complejos, ya sea porque se sospeche simulación o porque presenten lesiones graves en las que se requiera sugerir opciones en el proceso de rehabilitación o cierre de caso. En tales circunstancias se identifican alternativas para un diagnóstico más completo que disminuyan la subjetividad del terapeuta y con mayores posibilidades de monitoreo.

Palabras clave: valoración cuantitativa, tecnología innovadora, análisis biomecánico, rehabilitación funcional, salud ocupacional.

Abstract

The progress of bioengineering has allowed the development of technological tools to quantify the variables associated to the physical assessment process. The description, advantages and limitations of technologies to measure the strength, range of motion, balance and stability, coordination and gait are shown. Some alternatives are proposed for using those technologies as part of the appreciation process in complex patients, either for any suspicion of simulation or because any serious injury can exist where some alternatives for rehabilitation process are required. In such cases, must be identified some options for a more complete diagnosis, decreasing the subjectivity of the therapist and with more monitoring possibilities.

Keywords: quantitative evaluation, Innovative technology, biomechanical analysis, functional rehabilitation, occupational health.

Fecha de recepción: 11 de octubre de 2015
Fecha de aceptación: 15 de enero de 2016

¹ Fisioterapeuta, estudiante de Maestría en Ingeniería. Investigadora Centro de Bioingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana.

² Docente, Facultad Ingeniería Electrónica. Investigadora Centro de Bioingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana.

Correspondencia: Julieth Vanessa Montoya Leal, Circular 1 n° 73-48. Tel: 4488388, ext. 12402. julieth.montoyal@upb.edu.com

INTRODUCCIÓN

La rehabilitación tiene como objetivo recobrar la funcionalidad de una persona respecto a las actividades de la vida diaria, laborales y sociales, mediante una serie de técnicas y procedimientos determinados según el tipo de patología, la etapa en que se encuentre y la etiología de la misma.

Cuando se presenta un evento de enfermedad o accidente laboral, el objetivo de la rehabilitación consiste en que el empleado logre la reincorporación ocupacional (1); proceso regido por las normativas establecidas en el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (2) con el fin de garantizar un óptimo desempeño en la actividad laboral.

Según el manual de procedimientos para la rehabilitación y reincorporación ocupacional de los trabajadores en el Sistema General de Riesgos Profesionales, existen cuatro etapas en el manejo de los casos, incluyendo rehabilitación funcional y rehabilitación profesional (1).

En cuanto a la *rehabilitación profesional*, existen herramientas con valor cuantitativo para la determinación del factor de riesgo de la actividad laboral, las cuales buscan facilitar la adaptación del empleado a su puesto de trabajo de acuerdo con sus capacidades (3). Por el contrario, en la *rehabilitación funcional* se busca optimizar las capacidades musculoesqueléticas para el desempeño de las actividades diarias y laborales; sin embargo, la valoración física actual es predominantemente cualitativa, debido a que tiene como referencia diferentes variables como signos y síntomas mediante la aplicación de test y maniobras establecidos a lo largo de la historia.

En estos test y maniobras se valora de forma subjetiva el dolor, mediante una escala análoga

(4), de forma objetiva la fuerza, la postura, el rango articular y la antropometría, mediante estrategias visuales, manuales e instrumentales; y de forma funcional el comportamiento mediante la observación del paciente, sus afecciones y su conducta frente a las dificultades en el desempeño de funciones (5); por tanto, se hace necesaria la implementación de herramientas que permitan cuantificar mejor el estado funcional del paciente favoreciendo un análisis menos subjetivo.

A partir de la experiencia fisioterapéutica se han identificado diversas necesidades en el entorno, ya que se encuentran pocas herramientas que permitan la medición cuantitativa de variables asociadas a la reincorporación ocupacional o dificultad en el acceso a las mismas. De hecho, en el proceso de rehabilitación solo se hace, en general, registro cuantitativo de la antropometría y el rango articular a través de la cinta métrica y la goniometría, respectivamente. Estas herramientas, sin embargo, no son frecuentemente utilizadas y no permiten una medición continua durante toda la sesión de valoración.

La información cuantitativa de estas variables permitiría al personal del área de la salud hacer una mejor identificación de la condición funcional del paciente para objetivar el plan de tratamiento y determinar los procedimientos que se deben seguir, o según el caso, una identificación de los pacientes simuladores para definir el cierre de caso y continuar con el procedimiento ocupacional pertinente. En este orden de ideas, se hace necesario el reconocimiento de tecnologías que permitan un análisis cuantitativo de las variables asociadas a la rehabilitación funcional.

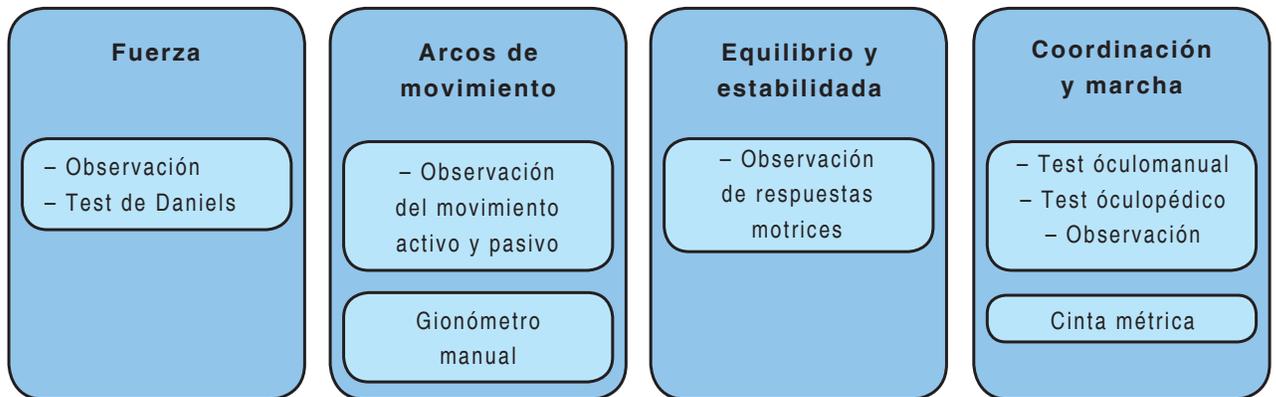
Como consecuencia de la problemática planteada, este artículo muestra las diferentes variables que se tienen en cuenta en la

valoración completa del paciente por parte del fisioterapeuta, y se presenta para cada una de ellas la manera convencional en que se realiza dicha valoración y las alternativas tecnológicas disponibles en el estado del arte en la búsqueda de una valoración cuantitativa. En la sección 2 se presentan cada una de las variables y el listado de tecnologías identificadas en el estado del arte con un análisis de las ventajas y las limitaciones dentro de la práctica de fisioterapia. En la sección 3 se presentan algunas marcas reconocidas de proveedores y usuarios de tecnología y menciona algunas herramientas adicionales que mezclan diferentes variables de interés. En la sección 4 se hace una reflexión respecto al uso en el medio de las tecnologías citadas, y la sección 5 se presentan las conclusiones.

VARIABLES DE LA VALORACIÓN

Para que el fisioterapeuta pueda hacer una valoración completa debe tener en cuenta el grupo de variables que se presenta en la figura 1, donde se visualiza la manera en que se hace la valoración de cada una de dichas variables en el entorno colombiano, lo cual tiene mucha similitud con otros países latinoamericanos.

En la primera fila se encuentra el nombre de cada una de las variables, en la segunda, las técnicas tradicionales utilizadas para diagnosticar dichas variables de forma subjetiva a través de consulta externa, y en la tercera, las técnicas tradicionales (bastante escasas) para diagnosticar cuantitativamente aspectos relacionados con dichas variables.



Fuente: Propia de los autores

Figura 1. Técnicas tradicionales en valoración física a través de consulta externa

FUERZA

Desde el punto de vista técnico, *fuerza* se refiere a la capacidad que posee un músculo para generar contracción, permitiendo realizar un movimiento, sostenerlo o frenarlo (6). En la práctica de fisioterapia tradicional, la fuerza se mide de forma cualitativa mediante observación de la musculatura, palpación y aplicación de un Test de Fuerza (Daniels (7) o escala de Kendall (8)).

La fuerza es una variable que en algunos casos intenta ser alterada por el paciente, pretendiendo realizar menor fuerza de la que es capaz. En esos casos es de utilidad tener algunas alternativas de valoración cuantitativa, como las siguientes:

a. Electromiografía: Puede utilizarse como método o estrategia para objetivar la medición de la fuerza muscular gracias a que permite la identificación de la activación de uno o varios grupos musculares (9).

La principal limitación de este método consiste en que para uso en fisioterapia la técnica debe ser electromiografía de superficie, la cual no permite obtener de forma directa la fuerza ejercida por el grupo muscular evaluado; sin embargo, puede brindar información complementaria a través del procesamiento de señales (10,11) utilizando características de la señal mioeléctrica en el dominio del tiempo o de la frecuencia, usando diferentes algoritmos, como la transformada de Fourier o la transformada de Wavelet (12).

En otros estudios realizados para hacer comparaciones de las señales se deben tomar referencias individuales entre el miembro afectado y el sano, ya que al presentar las mismas características morfofisiológicas se puede

determinar que el error resultante entre dos músculos sanos es inferior al error resultante entre un músculo sano y uno afectado (13).

Adicionalmente se puede realizar procesamiento de la señal mediante la fatiga muscular; ya que al realizar un esfuerzo con un tipo de contracción y un tiempo determinado, la frecuencia y amplitud de la señal deberán ser similares en cada repetición, lo cual podría ayudar a identificar el paciente simulador (14).

Actualmente existe gran variedad de equipos de electromiografía, desde los tradicionales de múltiples canales con electrodos cableados (15) hasta los más modernos inalámbricos, que permiten hacer adquisición de las señales mientras se realiza un deporte o se hacen movimientos bajo el agua (16,17).

b. Galga extensiométrica: Consiste en un dispositivo de medición que mide deformación e indirectamente presión, carga, torque, posición o fuerza. En el caso de la fuerza, la medición se hace por tensión o compresión, variando la resistencia según el esfuerzo al que va ser sometido (18). Estos elementos son utilizados como principio de acción de sensores de fuerza, celdas de carga y otras herramientas tecnológicas que permiten la valoración cuantitativa de la variable fuerza y que pueden ser aplicadas a grupos musculares en pacientes. Un ejemplo de ellos es el sistema PowerLab de la empresa AD Instruments (19), que utiliza como sensor externo de medición una celda de carga para presentar al usuario el dato de fuerza máxima al realizar el ejercicio de prensión.

La galga extensiométrica específicamente tiene el inconveniente de la necesidad de experticia para su montaje y manipulación,

ya que requiere definir adecuadamente los puntos donde será ubicada, ser adherida con resina o similar en la superficie de interés y construir o adquirir un sistema de bioinstrumentación para transformar las micro deformaciones en variables eléctricas que sean fácilmente medidas (18). Adicionalmente, el proceso de selección de la galga debe ser riguroso y adaptado a la aplicación, y es susceptible a las variaciones de temperatura, que deben ser compensados desde el circuito de bioinstrumentación. Existen, sin embargo, múltiples sistemas que ya han resuelto estos problemas de ingeniería y ofrecen alternativas que puede ser usadas directamente por el paciente con base en celdas de carga u otros sistemas construidos, teniendo como elemento principal las galgas extensiométricas (20).

c. Dinamometría: Es una herramienta tecnológica que combina la informática y la robótica, con el objetivo de medir cuantitativamente la capacidad muscular (21), expresada en fuerza máxima, potencia o fatiga muscular. Puede ser utilizada como máquina de entrenamiento de potencia muscular o como herramienta para la valoración física del componente muscular e incluso articular (22). Cuando el sistema se ajusta a la biomecánica del paciente, modificando la resistencia según la fuerza aplicada para mantener una velocidad constante, se denomina “sistema pasivo”; por el contrario, se denomina “sistema activo” cuando la fuerza es aplicada sobre el paciente (21).

La evaluación se debe realizar de forma comparativa, y consiste en la ejecución de varias repeticiones de movimiento, estableciendo metodología y criterio de estudio entre una o varias variables, como la relación entre músculo sano/afectado, contracción concéntrica/excéntrica, fuerza máxima/

velocidad de movimiento, comportamiento muscular en diferentes rangos de movilidad articular y /o fatiga muscular por contracción isométrica; de esta manera se podrá realizar un análisis de los resultados determinando valores de normalidad o alteración según la variable (22).

Esta prueba se puede complementar con el uso de electromiografía, ya que al realizar el movimiento se puede observar el aumento o disminución en la señal gráfica según el número de unidades motoras reclutadas (14). Además, mediante el análisis de velocidad de movimiento se puede identificar si el sujeto intenta modificar la fuerza ejercida; debido a que cuando se realiza un movimiento, el punto inicial de velocidad es igual a 0, va aumentando hasta llegar a un valor máximo en la mitad del gesto y posteriormente disminuye hasta alcanzar nuevamente 0 al finalizar el movimiento; por tal razón, los datos almacenados deberían ser similares al realizar diferentes repeticiones.

Esta herramienta puede ser de gran ayuda a la hora de determinar la capacidad física del paciente cuando lleva mucho tiempo de incapacidad o se sospeche de una simulación. Sin embargo, la principal desventaja de los dinamómetros comerciales existentes consiste en que solo permiten hacer evaluación sobre una articulación y en un plano de movimiento determinado; además, el diseño de fabricación hace que sea difícil realizar valoraciones del tronco; así mismo, por tratarse de un equipo robusto, sus costos son elevados (21,23), por lo que su uso no es tan frecuente, aunque en la actualidad se han desarrollado avances en este producto que permiten acceder a equipos más económicos y mejores diseños que facilitan el manejo para los diferentes ejes de movimiento (24).

De igual manera, se han desarrollado herramientas hidráulicas y portátiles para la valoración de mano y espalda (25), lo cual puede permitir un mejor acceso respecto al uso del dispositivo, pero al ser una herramienta análoga, no permitiría realizar un análisis tan detallado de los resultados.

ARCOS DE MOVIMIENTO

Los *arcos de movimiento* hacen referencia a la totalidad de movilidad que presenta cada articulación en cada plano anatómico dentro de los límites que proporcionan las estructuras articulares (5).

La evaluación de esta variable se realiza mediante la observación del movimiento activo y pasivo, por medición del ángulo articular utilizando diferentes elementos:

a. Goniómetro y cinta métrica: Estas herramientas corresponden a la forma tradicional y manual de medir directa o indirectamente el ángulo de movimiento articular.

La *forma indirecta* se hace a través del test de flexibilidad y de la medición de longitud con la cinta métrica; en este caso, la longitud medida no es realmente la variable de movimiento angular y la técnica no permite aislar el análisis de un solo segmento. La *forma directa* más común se hace a través del goniómetro manual, que aunque da una medida del ángulo articular, por ser un elemento analógico incluye errores de paralaje, y adicionalmente tiene el inconveniente de no permitir un monitoreo constante de dicho ángulo (26).

Por otra parte, en algunas ocasiones se ha identificado la falta de colaboración del paciente, realizando resistencias que no permiten completar el rango articular que puede llegar a alcanzar; por esta razón es de gran ventaja

utilizar herramientas tecnológicas que permitan almacenar datos exactos de los ángulos obtenidos en cada repetición de movimiento indicado, de tal forma que los movimientos del paciente puedan ser más naturales.

Algunas herramientas tecnológicas más modernas, de acuerdo con los inconvenientes visualizados anteriormente, son el goniómetro electrónico y el inclinómetro doble electrónico, como una variación de la goniometría analógica, con los que por medio de la implementación de sensores cinemáticos y digitales se valora el rango de movimiento articular en diferentes planos de movimiento (2, 28).

Actualmente existe gran variedad de goniómetros electrónicos, digitales (29) y herramientas de fácil acceso a través de aplicaciones móviles que permiten la medición del rango articular a muy bajo costo (30). Si estas herramientas se pueden complementar con el uso de un *software*, podrían generar el almacenamiento de datos para una posterior comparación con el ángulo de movimiento, lo cual actualmente es una limitación para la mayoría de los goniómetros que se utilizan en el medio.

Cuando la valoración se realiza con sensores directamente sobre los segmentos, existe la posibilidad de valorar el rango articular en diferentes movimientos simultáneamente al adherir un electrodo sobre la zona articular y el otro en el segmento continuo (31), lo cual facilita el continuo monitoreo durante la valoración y evita la interferencia en la medida que se puede presentar al utilizar un goniómetro análogo.

b. Fotograma y Videograma: Consisten en un sistema de cámaras infrarrojas que detectan los puntos anatómicos que se van a evaluar por medio de la marcación de los segmentos

óseos con marcadores reflectivos en la piel del paciente, lo cual permite el análisis bio-mecánico del movimiento.

Esta técnica acompañada de reconstrucción 3D demostró muy buenos resultados en el análisis de mano, y logró obtener los ángulos rotacionales entre los segmentos con mínimo error en la ejecución (32).

Es importante resaltar que la funcionalidad de este sistema es muy completa, ya que, como se mencionó, permite un análisis confiable de todos los segmentos corporales, incluyendo segmentos más pequeños como son los de la mano, ya que actualmente se cuenta con poca tecnología que logre analizar detalladamente dichos segmentos.

Además, existe gran variedad de *softwares* en el mercado que permiten editar la imagen o grabación de video, haciendo énfasis en un gesto o movimiento deseado para posteriormente hacer un análisis del rango articular; entre ellos se encuentra Kinovea, y gracias a que está diseñado como una herramienta educativa, es de fácil acceso al ser una aplicación gratuita. Al ingresar a un sitio web específico se puede descargar desde cualquier ordenador; sin embargo, este *software* es un poco limitado funcionalmente, ya que solo admite el análisis de movimientos en un solo plano (33).

Por otro lado, existe la posibilidad de complementar este sistema con otros dispositivos tecnológicos de acuerdo con los objetivos planteados con el fin de mejorar la calidad del análisis o ampliar el estudio de las variables.

c. Juegos serios: Consisten en la aplicación de videojuegos elaborados con fines específicos; uno de estos ha sido implementar sensores de movimiento para la utilización de los mismos en el área de fisioterapia.

Esta tecnología se aplica principalmente en programas de rehabilitación, con el fin de involucrar al paciente de una forma más dinámica y entretenida, y mejora aspectos como la motivación, memoria y capacidades físicas (34), por lo tanto, podría ser una herramienta útil para la valoración del movimiento articular, especialmente en pacientes que intentan simular y demostrar un rango articular inferior; debido a que al involucrarse en el juego podrá realizar movimientos de manera menos consciente, lo cual brinda la posibilidad de obtener datos cuantitativos de los gestos realizados.

Se han adaptado incluso algunos sistemas y plataformas de videojuegos para aplicación en juegos serios; entre ellos se encuentra el Sensor Kinect, que permite la conexión entre la consola y el *software*, almacenando datos para una posterior comparación (35).

Igualmente se puede destacar que a pesar de los grandes avances tecnológicos de la actualidad, en el área de la salud aún existen grandes deficiencias en cuanto al tema (34), lo cual hace pertinente la investigación y el desarrollo de equipos relacionados con videojuegos para la implementación en salud.

EQUILIBRIO Y ESTABILIDAD

El *equilibrio* se puede definir como la relación de la postura respecto a las fuerzas internas o externas que actúan sobre el cuerpo, y la *estabilidad* hace referencia a la capacidad de mantener el cuerpo en equilibrio, ya sea de forma estática, reactiva o dinámica (36).

Habitualmente, en fisioterapia el equilibrio se evalúa por medio de la observación de las respuestas motrices ante los cambios de posiciones, aplicaciones de estímulos o interacción con superficies que generen inestabi-

lidad y diferenciación al realizar la actividad propuesta con los ojos abiertos y cerrados.

Otras variables por evaluar en la estabilidad son las compensaciones y alteraciones biomecánicas, observando la inestabilidad pélvica en los diferentes planos, la descoordinación lumbo-pélvica, alteraciones del centro de gravedad, alteración del ritmo escapulo humeral, patrones torsionales, de flexión o extensión en los diferentes segmentos, y las alteraciones en el apoyo plantar (36, 37).

En la actualidad se han venido desarrollando tecnologías que facilitan la valoración de estas variables físicas con el fin de proporcionar al evaluador datos más exactos que desde el punto de vista del profesional podrían ser imperceptibles o difícilmente medibles. Algunas herramientas cuantitativas para equilibrio y estabilidad son:

a. Plataformas: Son dispositivos tecnológicos que tienen como principio de funcionamiento sensores de fuerza y presión unidos a un *software* que permiten la valoración postural y de equilibrio en sus diferentes variables (38, 39). Se clasifican como plataformas de estabilometría y dinamometría; ambas plataformas evalúan las fuerzas de contacto, el desplazamiento del centro de presiones y la capacidad de marcha y equilibrio. Se puede realizar de forma estática y dinámica, aplicando diferentes estímulos, como cambios de apoyo, estímulos visuales, complejidad en los movimientos y cambios en las superficies (2, 40).

Adicionalmente, estas plataformas se pueden complementar con el uso de herramientas tecnológicas como la fotovideogrametría, inclinometría, galgas extensiométricas y electromiografía, que brindan una valoración más integral (41).

Existen múltiples empresas desarrolladoras de este tipo de plataformas que en muchos casos ofrecen un sistema completo (*hardware, software, instalación*), con costos que pueden parecer altos pero que brindan información cuantitativa que no podría obtenerse de la forma tradicional.

Algunos profesionales del área consideran el aspecto económico uno de los principales inconvenientes al intentar adoptar este tipo de tecnología.

b. Baropodometría: Consiste en un sistema de evaluación del pie que permite determinar las alteraciones que se pueden presentar, por medio del centro de presión plantar, el porcentaje de carga transmitida, el contorno del pie, el ángulo de la bóveda plantar, las presiones plantares diferenciadas mediante colores, el punto de máxima presión y los mapas de presiones (42, 43).

Estudios han demostrado que por medio de esta tecnología se puede cuantificar la valoración del paciente, lo cual permite un mejor diagnóstico y dirección del plan de rehabilitación. Lamentablemente, en algunos casos no ha sido muy implementado debido a altos costos del equipo; sin embargo, en la actualidad se han desarrollado diferentes herramientas que permitan cuantificar datos en posiciones estáticas y dinámicas, como plataformas y plantillas (electrónicas y digitales) (28, 42, 43) y que presentan mayor variabilidad económica.

COORDINACIÓN Y MARCHA

La *coordinación* hace referencia a la orden estructural entre el sistema nervioso central (SNC) y el sistema musculoesquelético para realizar un movimiento óptimo; también es definido como “armonización de todas las

fuerzas externas e internas teniendo en cuenta todos los ejes de movimiento del aparato motor para resolver adecuadamente una tarea motora propuesta” (44).

En la valoración fisioterapéutica convencional se determina si la coordinación se encuentra conservada o alterada mediante test que permite apreciar la coordinación óculo-manual, óculo-pédica y la agilidad en los movimientos (45). En este caso también sería útil la aplicación de las plataformas de videojuegos que permitan la cuantificación de los parámetros por evaluar en la coordinación.

La *marcha* es un ciclo que genera locomoción en el ser humano; está compuesta por fases de apoyo, de balanceo y de despegue; además involucra diferentes estructuras articulares, musculares y tendinosas que se encargan de brindar estabilidad, coordinación y absorción para generar una mecánica óptima.

La valoración fisioterapéutica tradicional se realiza mediante la observación para determinar si la marcha es normal, patológica o se encuentra alterada; al igual que la medición con cinta métrica de miembros inferiores para determinar la simetría o asimetría que presenta y su influencia en el desarrollo de la marcha (41, 46).

La valoración tradicional de la marcha podría no ser tan específica al tratarse de datos cualitativos que pueden ser percibidos de forma diferente de acuerdo con la experiencia del profesional y de la colaboración del paciente, ya que la marcha puede ser modificada pretendiendo mostrar dificultades al realizarla. Por esta razón se estima de gran utilidad el uso de herramientas tecnológicas que permitan acceder a datos confiables y cuantificables en su valoración.

Para este análisis biomecánico se pueden combinar diferentes herramientas tecnológicas para brindar una valoración más completa; siendo principalmente utilizadas nuevamente las plataformas bien sea de estabilometría o dinamometría, junto con un sistema de videograma (41).

Otras investigaciones sugieren además la implementación de un sistema de baropodometría digital, que permite el análisis del comportamiento de las estructuras del pie durante la fase de balanceo, electromiografía para analizar el comportamiento muscular, inclinometría para evaluar la biomecánica de la columna vertebral al realizar diferentes movimientos o posiciones y galgas extensiométricas para medir las fuerzas de presiones (18,27,41,47).

ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS PARA EL ANÁLISIS BIOMECÁNICO

Las herramientas tecnológicas mencionadas son de gran utilidad para el profesional que desee incorporar en su práctica clínica el complemento entre medición cualitativa y cuantitativa. La tabla 1 presenta algunas de las principales marcas proveedoras o usuarias de este tipo de herramientas para cada una de las variables analizadas en la sección 2; sin embargo, existen varios desarrollos adicionales que pueden ser de interés para el profesional en el área de la fisioterapia, rehabilitación o valoración funcional, puesto que de forma simultánea miden diferentes variables.

Tabla 1. Marcas proveedoras de las herramientas en cada variable (15,16,19,20,25,33,35,48-62)

Variable	Equipo	Empresa/Marca comercial
Fuerza	Electromiógrafo	Biomec Akonic S.A. BTS FREEEMG 300
	Galgas extensiométricas y celdas de carga	AD instruments WIM-Systems Direct Industry HBM Vishay
	Dinamómetros	Humac Norm Easytech Fisiomédica Ned/IBV V.E.P
Arcos de movimiento	Goniómetros e inclinómetros	Biomec Google play Ned/IBV M.C.V.
	Fotograma y Videograma	Kinovea Vicon PhaseSpace Motion
	Juegos serios	sensor Kinect Wiimote
Equilibrio y estabilidad	Plataformas de Estabilometría Dinamometría	Medicaptureurs Dinascan/IBV
	Baropodómetro	Freemed FreeStep Podoscan 2D Biofoot IIBV 2001.
Coordinación y marcha	Algunos sistemas	BTS GAITLAB BTS G-WALK BTS SPORTLAB Ned/IBV C.M.S

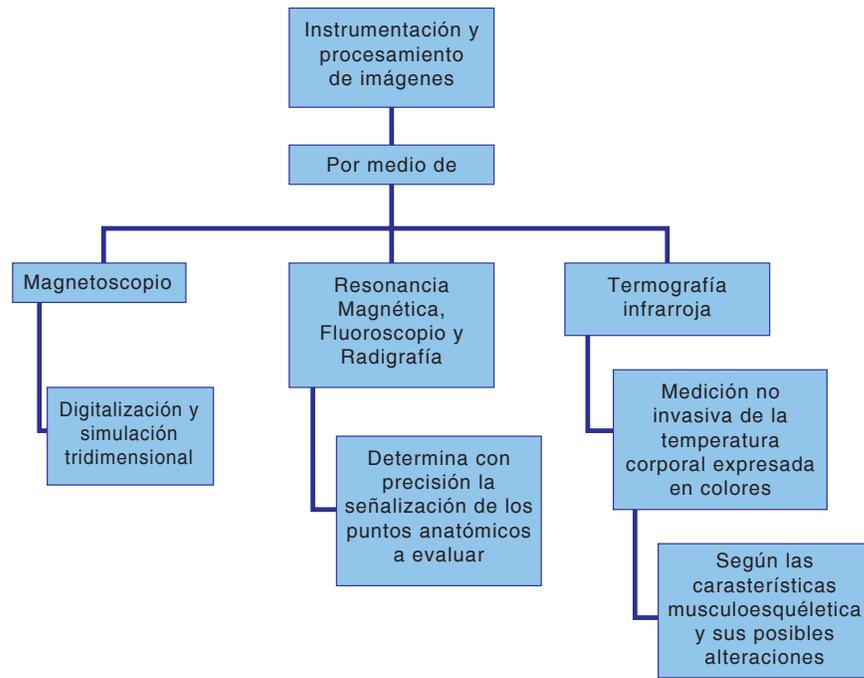
Fuente: Datos tabulados por los autores.

A continuación se presentan algunos dispositivos o elementos que pueden servir como complemento para las tecnologías anteriormente mencionadas y son agrupados de acuerdo con las herramientas tecnológicas que utilicen para su funcionamiento, desde los sistemas que usan instrumentación y procesamiento de imágenes (que se aprecian en la figura 2) los que utilizan instrumentación y procesamiento de bioseñales, (que se observan en la figura 3) hasta los que tienen un enfoque biomecatrónico en su concepción y que son usados en procesos de rehabilitación, tales como exoesqueletos o trajes adaptables al cuerpo humano (49, 63).

POSIBILIDADES PARA LA MEDICIÓN DE VARIABLES CUANTITATIVAS

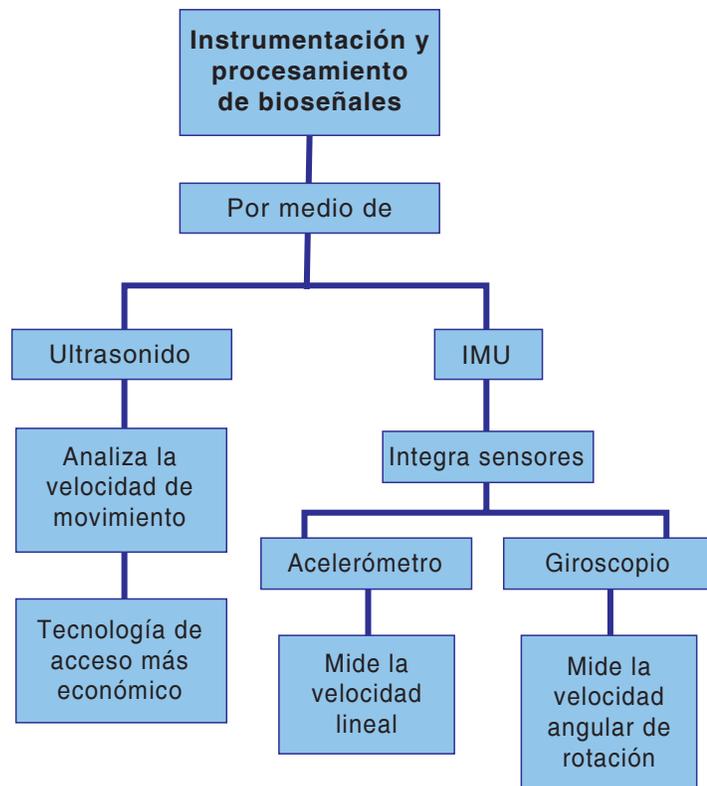
A partir del análisis de las tecnologías existentes y de las posibilidades de integrarlas al proceso de valoración en pacientes se proponen varias alternativas. Es de anotar que ninguna de estas iniciativas contempla reemplazar la labor del fisioterapeuta ni del personal de salud ocupacional; se trata, por el contrario, de mantener la evaluación cualitativa, pero potencializar las habilidades del profesional, lo cual permite una valoración más precisa y un mejor seguimiento a los procesos de rehabilitación.

La figura 4 presenta el diagrama de flujo de la propuesta de inclusión de medición de variables de forma cuantitativa en el proceso de valoración física, incluyendo las tecnologías asociadas a cada variable del examen físico.



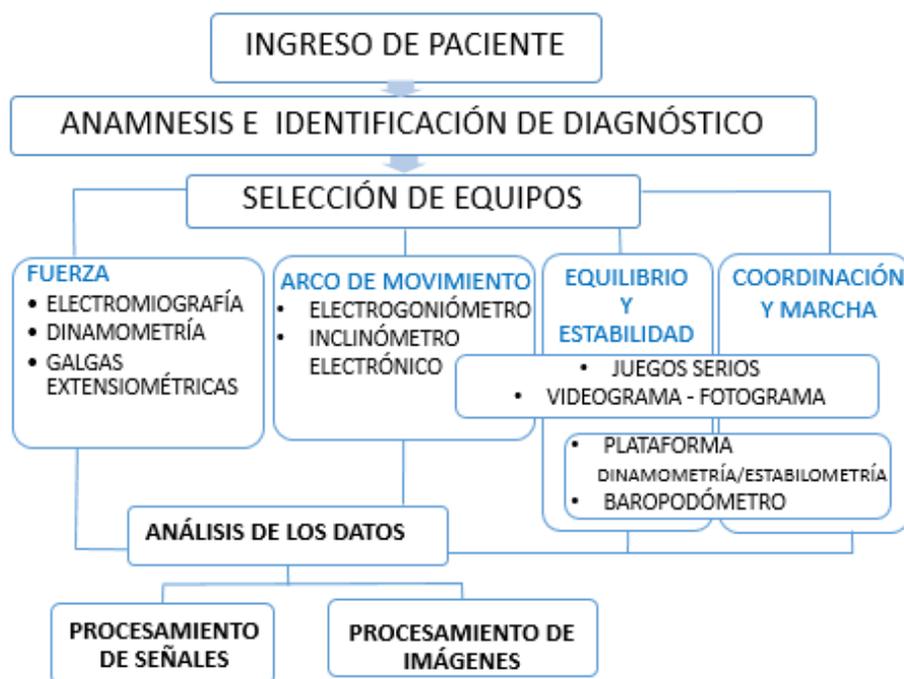
Fuente: Propia de los autores

Figura 2. Instrumentación y procesamiento de imágenes (41, 47, 64, 65)



Fuente: Propia de los autores

Figura 3. Instrumentación y procesamiento de bioseñales (47, 66)



Fuente: Propia de los autores

Figura 4. Tecnologías asociadas a la valoración física

Cabe anotar que para la selección de los equipos se debe tener presente el tipo de patología que presenta el paciente, los segmentos asociados que se desean evaluar, bien sea en miembros superiores, miembros inferiores o vertebrales; los movimientos y los planos en que se realizan las pruebas y finalmente los datos que se quiere obtener.

Como caso práctico se presenta una propuesta de evaluación para patologías relacionadas con enfermedades laborales de miembro superior, tales como síndrome de manguito rotador, epicondilitis, túnel del carpo, entre otras. En este caso se utilizan las herramientas tecnológicas para evaluación de fuerza y arco de movimiento porque son las variables directamente afectadas con las enfermedades mencionadas y, por tanto, las que presentan distorsiones en el momento de realizar valoraciones y monitoreos. Para la cuantificación

de fuerza muscular se propone utilizar dinamometría y galgas extensiométricas implementadas en una celda de carga que permita determinar la fuerza ejercida por el paciente, teniendo en cuenta que de acuerdo con los grupos musculares involucrados se diseña el protocolo con los ejercicios. Adicionalmente se utiliza electromiografía de superficie para caracterizar o clasificar el comportamiento muscular respecto a la fuerza. Si para la prueba es necesario realizar algún movimiento o gesto específico, es importante llevar un registro del rango de movimiento articular durante la ejecución de la prueba; y para ello es posible implementar un electrogoniómetro o la videogrametría, de tal forma que sea posible correlacionar la evaluación de la fuerza y el arco de movimiento.

Para el caso de valoraciones en patologías que involucren miembro inferior, alteraciones

de estabilidad y marcha, como por ejemplo la lumbalgia, es favorable el uso de las herramientas tecnológicas adicionales que se observan en la figura 4.

Una adquisición interesante y no muy costosa para complementar de forma cuantitativa el análisis relacionado con coordinación, marcha, equilibrio y estabilidad es una plataforma de marcha. Dicho sistema puede incluir la compra de plataformas a base de galgas extensiométricas u otro sistema de medición de fuerza, que puede ser construido a partir de videogrametría comercial o puede ser una mezcla de los dos. Para el caso de la videogrametría puede construirse un sistema de análisis en 2D usando incluso aplicaciones libres para computador. Una adaptación en este sentido permite complementar la información para el fisioterapeuta con la visualización de curvas identificadoras del patrón de marcha, y de esta forma facilita la identificación del estado actual del paciente y el seguimiento del progreso.

Indudablemente, el uso de estas tecnologías debe ir unido a una capacitación para poder leer de forma adecuada la información que estos sistemas entregan, o crear alianzas en las que los organismos de rehabilitación y algunas entidades expertas en el uso de la tecnología trabajen de forma mancomunada en pro del paciente.

Los juegos serios son una alternativa que puede tener múltiples variantes que no necesariamente implican altos costos, como por ejemplo la adaptación, con pequeñas modificaciones para que el paciente realice una actividad diferente mientras asiste a la consulta.

El hecho de que la concentración principal no se encuentre en la interacción con el terapeuta para el proceso de diagnóstico sino

en avanzar en los niveles del juego hace que los movimientos sean más naturales y la valoración más eficiente.

De forma similar, este tipo de sistemas son muy útiles en los procesos de rehabilitación, puesto que evita que el paciente se concentre únicamente en su proceso y, por el contrario, quede inmerso en el entretenimiento que estos dispositivos pueden proporcionar.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Actualmente existen tecnologías para la medición cuantitativa de cada una de las variables asociadas con la biomecánica, como la electromiografía, la dinamometría y las galgas extensiométricas para evaluar la fuerza muscular (9-11, 15-20); el goniómetro e inclinómetro modernos, la fotovideogrametría y los juegos serios para evaluar el arco de movimiento articular de forma continua (27-30, 32-35); la baropodometría y las plataformas de estabilometría y dinamometría para evaluar estabilidad, equilibrio, coordinación y marcha (27-40, 42, 43).

Los procesos actuales de reincorporación laboral asociados con la rehabilitación funcional se hacen principalmente de forma cualitativa; sin embargo, la propuesta de este artículo es el uso adecuado de este tipo de tecnologías para facilitar la valoración física en los casos complejos como lesiones graves o identificación de un paciente simulador.

Es importante destacar que en la práctica convencional se presentan factores de subjetividad por parte del profesional, como diagnóstico a través de métodos que dependen de la percepción visual y manual del fisioterapeuta (4, 5). Además, en la experiencia práctica se percibe una interacción y registro ampliamente cualitativo con registro cuanti-

tativo solamente para determinadas variables y situaciones estáticas; al igual que casos de exageración de la sintomatología y falta de colaboración con el fin de obtener ganancias secundarias.

En este orden de ideas, con ayuda de los sistemas tecnológicos presentados es posible eliminar gran parte de los factores de subjetividad, como errores de paralaje o medición de fuerza.

Otra ventaja consiste en que permite aplicar diferentes metodologías y criterios de evaluación para realizar análisis de correlación y/o análisis de los resultados de las variables estudiadas de forma más detallada (12-14, 22).

También puede involucrar de forma entretendida al paciente, para lograr obtener movimientos inconscientes y así poder determinar valores reales (34). Adicionalmente se tiene la posibilidad de realizar análisis dinámicos y de complementar el estudio con el uso de varias tecnologías simultáneamente; algunas pueden ser las ya mencionadas (27, 40, 42, 43), o incluso otras relacionadas con procesamiento de imágenes, como magnetoscopio, resonancia magnética o termografía infrarroja (41, 47, 64, 65), entre otras. Esto permite determinar con mayor convicción los procedimientos que se deben seguir o la necesidad de cierre de caso en situaciones complejas.

Todo lo anterior repercutirá en beneficio para el paciente, quien tendrá acceso a una más completa valoración y diagnóstico. En la práctica implica que se establecen mejor los objetivos de rehabilitación, siendo más efectivos y eficientes en los procesos; lo cual se puede traducir indirectamente en calidad de atención, efectividad en el tratamiento y posible disminución de costos a largo plazo.

Sin embargo, implica la ejecución de un procedimiento más riguroso; al igual que un conocimiento previo en el uso de las tecnologías y en la utilidad de las mismas, lo cual facilitará el análisis de resultados. Adicionalmente requiere en algunos casos inversiones de las instituciones involucradas o apoyo con centros especialistas unidos en red.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en el desarrollo ni publicación de este trabajo.

Financiación: El personal asociado al desarrollo de este proyecto fue financiado por la Universidad Pontificia Bolivariana.

REFERENCIAS

1. Cifuentes-Piñeros C, Boada-Mojica J, Candia-Ospina R, Martínez-Segura P, Maldonado-Ramírez G et al. *Manual de procedimientos para la rehabilitación y reincorporación ocupacional de los trabajadores en el sistema general de riesgos profesionales*. 3ª ed. República de Colombia: Ministerio de la Protección Social Dirección General de Riesgos Profesionales; 2010.
2. Decreto 1072 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. República de Colombia: Ministerio de Trabajo; 2015.
3. Gutiérrez-Strauss. *Guía técnica para el análisis de exposición a factores de riesgo ocupacional*. República de Colombia: Ministerio de la Protección Social; 2011.
4. Pardo C, Muñoz T, Chamorro C. Monitoreo del dolor: Recomendaciones del grupo de trabajo de analgesia y sedación de la SEMICYUC. *Medicina intensiva* 2006; 30(8):379-385.
5. Durán F S & Agudelo LHL (Eds.). *Rehabilitación en salud*, 2. Universidad de Antioquia; 2008, p. 39-74.
6. González-Badillo J, Gorostiaga-Ayestarán E. *Fundamentos del entrenamiento de la fuer-*

- za: *Aplicación al alto rendimiento deportivo*. 3ª ed. Barcelona: INDE Publicaciones; 2002. p. 1-63.
7. Hislop H, Montgomery J. *Pruebas funcionales musculares*. Madrid: Marban. 2002.
 8. Kendall FP, Kendall E, Geise P, McIntyre M, Anthony WM. *Pruebas Funcionales. Postura y Dolor*. 2007.
 9. De Luca CJ. The use of surface electromyography in biomechanics. *Journal of applied biomechanics* 1997;13(2):135-163.
 10. Sanabria J J & Archila JF. Detección y análisis de movimiento usando visión artificial. *Scientia Et Technica* 2011;3(49):180-188.
 11. Álvarez-Fiallo R, Santos-Anzorandía C & Medina-Herrera E. Implementación de la electromiografía cuantitativa para el estudio de las enfermedades neuromusculares. *Revista Cubana de Medicina Militar* 2005, (1):0-0.
 12. Canal MR. Comparison of wavelet and short time Fourier transform methods in the analysis of EMG signals. *Journal of medical systems* 2010; 34(1):91-94. doi:10.1007/s10916-008-9219-8
 13. Santafé YE, Chaparro BD, Franco, J. Detección de patrones característicos con transformadas wavelet en señales electromiográficas del cuádriceps. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)* 2013;2(20): 151-8.
 14. Calvo RH. El laboratorio de biomecánica como ayuda en el diseño del puesto de trabajo. INERMAP. Área de Biomecánica. Zaragoza (España);2005.
 15. Akonic SA. Estimuladores Eléctricos - Electrodo EMG [Internet]. Buenos Aires (Argentina) [fecha de acceso:3 junio de 2015]. Disponible en: <http://www.akonicsa.com/Frames-ES/Prod.html>
 16. Biomec. Ciencia en movimiento. Catálogo de electromiógrafo inalámbrico de superficie [Internet]. Bogotá, D.C. [fecha de acceso: 3de junio de 2015]. p. 1-3. Disponible en: <http://www.biomec.com.co/Analisis-muscular-myon>
 17. Laboratorio de Investigación. Electromiógrafo con funda acuática [Internet]. Universidad de Málaga, Facultad de Ciencias de la Salud. Málaga (España) [fecha de acceso: 3de junio de 2015]. Disponible en: <http://www.salud.uma.es/centro/servicios/laboratorio-de-investigacion/586-electromiografo-con-funda-acuatica>
 18. Rodríguez EJA, Ocampo JWM, Ortega CAS. Medidores de deformación por resistencia: galgas extensiométricas. *Scientia Et Technica*; 2007,1(34):7-11.
 19. ADInstruments. Power Lab /35 Series. Owner's Guide [Internet]. Australia, Brasil, Europa, Francia, India, Japón, China Oriental, Oriente Medio, Nueva Zelanda; [fecha de acceso: 3 de junio de 2015]. p. 1-49. Disponible en: <http://www.adinstruments.com/products/powerlab>
 20. WIM-Systems (Weighing Inspecting and Marking). Celdas de Carga WIM (Sensores de peso). [Internet]. Productos. San diego-California, Cánada, China, Corea; 2002 [fecha de acceso: 3 de junio de 2015]. Disponible en: <http://www.wim-systems.com/celdas-de-carga.html>
 21. Jiménez FH, Díaz JG, Montes JV. Dinamometría isocinética. *Rehabilitación* 2005, 39(6):288-296. doi: 10.1016/S0048-7120(05)74362-0
 22. Ramírez T, Manuel H. Torque máximo absoluto e índice convencional isocinético de rodilla en futbolistas profesionales del 2007 al 2012. *Rev Med e Investig* (México) 2014, 2:154-62.
 23. Urrialde JAM. Los isocinéticos y sus conceptos principales. *Fisioterapia, Rev Fisioter* 1998; 20(2):2-7.
 24. CSMiSolutions. Humac Norm [Internet]. Stoughton, MA 02072 UnitedStates of America [fecha de acceso: 4 de junio de 2015]. Disponible en: <http://www.csmisolutions.com/products/isokinetic-extremity-systems/humac-norm>
 25. Dinamómetros de mano, pierna, espalda y pecho [Internet]. Evaluación / Medición/ Fisiomedica [fecha de acceso:4 de junio de

- 2015]. Disponible en: <http://www.fisiomedica.com/fisioco/productos-y-servicios/clases-de-terapia/evaluacion-medicion/>
26. Norkin CC, White DJ. *Measurement of joint motion: a guide to goniometry*. FA Davis. 4th ed. Duffield M, editor. Philadelphia: Margaret Biblis; 2009. p. 3-15.
 27. De Moya, MFP. La unidad de valoración del daño corporal del IBV. *Revista de biomecánica* 2002;(37):11-13.
 28. Parra-gonzález F, Soler-García C. Catálogo de Aplicaciones/IBV. *Rev. de biomecánica* (España: Instituto de Biomecánica de Valencia) 2002;31-5.
 29. Biomec. Ciencia en movimiento. Goniómetro digital [Internet]. Colombia [fecha de acceso: 4 de junio de 2015]. Disponible en: http://www.biomec.com.co/archivos/catalogo_goniometro_digital_biomec_186.pdf
 30. Henao Hoyos J, López J. *Goniómetro digital basado en sensores cinemáticos con comunicación inalámbrica en tiempo real*. (Disertación doctoral). Universidad Pontificia Bolivariana, 2013.
 31. Moya M, Vera-García FJ, López JL, Aracil A, Reina R, Gutiérrez O, Paredes J. Nuevas tecnologías aplicadas a la Actividad Física y el Deporte. *Revista de la Facultad de Ciencias Sociales y Jurídicas de Elche* 2007;1(2):184-209.
 32. Bru JS, Vergara M, Bou N J, Aguilar MM, & González AP. Medición del movimiento de todos los segmentos de la mano mediante videogrametría. XIX Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica. España. p. 1-8.
 33. Kinovea. Tutorial de Kinovea [Internet]. Plan Integral de Educación, Digital Dirección Operativa de Incorporación de Tecnologías (InTec). Buenos Aires: Ministerio de Educación; [fecha de acceso:15 de mayo de 2015]. p. 1-33. Available from: <http://www.formadores.org/vinculostutorialkinovea.pdf>
 34. Vilches Antão DG. *Juegos serios, evaluación de tecnologías y ámbitos de aplicación*. (Disertación doctoral, Facultad de Informática). Universidad Nacional de la Plata, 2014.
 35. Muñoz Cardona JE, Henao Gallo OA, López Herrera JF. Sistema de Rehabilitación basado en el Uso de Análisis Biomecánico y Videojuegos mediante el Sensor Kinect. *Rev. Tecno. Lógicas* (Pereira, Colombia) 2013 (edición especial);43-54.
 36. Miller T, Conditioning Association. NSCA's Guide to Tests and Assessments. *Human Kinetics* 2012; (1):295-315.
 37. Bricot B. Postura normal y posturapatológica. *Revi IPP* 2008;2:1-13.
 38. Petrocci KE, Cárdenas-Sandoval RP. La medición del control postural con estabilometría - una revisión documental. *REV COL REH* 2011;10(1692 - 1879):16-24.
 39. Sánchez SMG. Influencia de la práctica deportiva en la integración sensorial en niños: Evaluación estabilométrica. Facultad de Ciencias de la Salud, Departamento de Anatomía y Embriología Humana, Universidad Rey Juan Carlos; 2013.
 40. Falls HC. Metodología para la Interpretación Cuantitativa del Movimiento Articular. *InfoMED (Cuba): Informática en salud*. 2009;1: 1-7.
 41. Villa-Moreno A, Gutiérrez-Gutiérrez E, Pérez-Moreno JC. Consideraciones para el análisis de la marcha humana. Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría. *RevistaIngeniería Biomédica* 2008; 3(2):16-26.
 42. Rosário JLP. A review of the utilization of baropodometry in postural assessment. *Journal of bodywork and movement therapies* 2014;18(2):215-219. doi: 10.1016/j.jbmt.2013.05.016
 43. Yabar LF, García DO, Córdor C. Villavicencia, E. Estudio para el diseño de un sistema baropodométrico electrónico. Lima (Perú): XII Jornadas Internacionales de Ingeniería Clínica y Tecnología Médica; 2008.
 44. Desrosiers J, Rochette A, Corriveau H. Validation of a new lower-extremity motor coordination test. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 2005, 86(5), 993-998. doi: 10.1016/j.apmr.2004.11.007

45. Álvarez JLH, Curiel DA. *La evaluación en educación física: Investigación y práctica en el ámbito escolar*, Grao; 2004.
46. Mendoza AIA, Santamaria TJB, Urrego VG, Restrepo JPR, García MCZ. Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura. (Gait: description, methods, assessment tools and normality parameters reported in the literature). *CES Movimiento y Salud* 2013; 1(1):29-43.
47. Martínez Ramírez A, Irujo Espinosa M, Larrión JL, Gómez Fernández M, Izquierdo Redín M. Valoración de la capacidad funcional en el ámbito domiciliario y en la clínica. Nuevas posibilidades de aplicación de la acelerometría para la valoración de la marcha, equilibrio y potencia muscular en personas mayores. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra* 2008;31(2):159-170.
48. MoCap Captura de movimientos. Captura de movimientos electromecánica [Internet]. [fecha de acceso: 20 de junio de 2015]. Disponible en: <http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos>
49. Olaya AFR. Sistema robótico multimodal para análisis y estudios en biomecánica, movimiento humano y control neuromotor. Madrid: Universidad Carlos III, Departamento Ingeniería de Sistemas y Automática, 2008.
50. Sensor Medica. Plataformas freeMed® [Internet]. Argentina, Romania, Brazil, Greece, Venezuela, Australia, México, New Zealand, Spain, South Africa, France, Portugal, Poland [fecha de acceso: 20 de junio de 2015]. Disponible en: <http://www.sensormedica.com/site/es/productos/plataformas-freemed>
51. Medicapteurs. Podiatrystabilometryrehabilitation [Internet] [fecha de acceso: 20 de junio de 2015]. Available from: <http://www.medicapteurs.com/>
52. Shop Nintendo /Nintendo Online Store. Wii remote [Internet]. Disponible en: <https://store.nintendo.com/ng3/browse/productDetail-ColorSizePicker.jsp?productId=prod150198>
53. PhaseSpace. Motion Capture [Internet] [fecha de acceso: 20 de junio de 2015]. Disponible en: <http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenible> en: <http://www.phasespace.com/impulse-motion-capture.html>
54. VICON. Camera Systems [Internet] [fecha de acceso: 20 de junio de 2015]. Disponible en: <http://www.vicon.com/products/camera-systems>
55. Aplicaciones Android en Google play. Goniómetro Pro Gratuito [Internet] [fecha de acceso: 20 de junio de 2015]. Disponible en: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.FiveFufFive.GoniometerProPreviewAndroid&hl=es_419
56. Isocinético Humac Norm [Internet]. SANRO Electromedicina [fecha de acceso: 20 de junio de 2015]. Disponible en: http://www.sanro.com/producto/175_Isocinetico_Humac_Norm.html
57. HBM. Galgas extensométricas [Internet]. España [fecha de acceso: 20 de junio de 2015]. Disponible en: <http://www.hbm.com/es/menu/productos/galgas-extensometricas/>
58. Direct Industry. Galgas extensiométricas [Internet]. Francia [fecha de acceso: 20 de junio de 2015]. Disponible en: <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/galga-extensiométrica-73369.html>
59. Electromiógrafos [Internet]. Cismédica. Disponible en: <http://www.cismedica.com/neurologia>
60. FreeStep [Internet]. Sensor Médica. Argentina, Romania, Brazil, Greece, Venezuela, Australia, Mexico, New Zealand, Spain, South Africa, France, Portugal, Poland [fecha de acceso: 20 de junio de 2015]. Disponible en: <http://www.sensormedica.com/site/es/software/software-freestep-esp>
61. Easytech isocinética [Internet]. Meical EXPO [fecha de acceso: 4 de junio de 2015]. Disponible en: <http://pdf.medicaexpo.es/pdf/easytech/isocinetica/68295-73864.html>
62. Arraya Equipamiento Médico. BTS FREEEMG 300 [Internet]. Disponible en: http://arrayamed.com/sp/producto/freeemg_300.html
63. MoCap captura de movimientos. Captura de movimientos electromecánica [Internet] [fecha de acceso: 20 de junio de 2015]. Disponible en: <http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenible>

dos adicionales/trabajos/Peliculas/Mocap/
tecnol.htm

64. Corporation S. Magnetoscopio grabador digital [Internet]. Departamento de Formación y Publicaciones Técnicas. Sony España S. A. 1999 [fecha de acceso: 26 de mayo de 2015]. Disponible en: <http://webspersoais.usc.es/export/sites/default/persoais/ruben.garcia/Descargas/MANUALDEINSTRUCCIONSDO-MAGNETOSCOPIOSONYDSR-20P.pdf>
65. Ríos MM, Chacón EM, Fernández AC, Guillén EO. Termografía infrarroja y el estudio de riesgos de lesiones músculo esqueléticas. *Revista Ingeniería Industrial* 2011;10(1): 55-67.
66. Braidot A, Bisheimer M, Di Paolo J, Verde O. Desarrollo de un Equipo para el Registro de Variables Biomecánicas Mediante Ultrasonido. XII Jornadas Internacionales de Ingeniería Clínica y Tecnología Médica. Argentina; 2008.