

Implementaciones tecnológicas en la prueba de valoración funcional y desempeño corto *Short Physical Performance Battery* (SPPB), para el adulto mayor

Technological implementations in the functional assessment and short performance test *Short Physical Performance Battery* (SPPB) for the elderly

María Cristina Vargas-Del-Valle¹, Olga Sánchez-Brenes²,
Magaly Sánchez-Brenes³, Arturo Huete-Calderón⁴, Ronny Arias-Mora⁵

Fecha de recepción: 18 de octubre de 2020
Fecha de aprobación: 2 de marzo de 2021

Vargas-Del-Valle, M.C; Sánchez-Brenes, O; Sánchez-Brenes, M; Huete-Calderón, A; Arias-Mora, R. Implementaciones tecnológicas en la prueba de valoración funcional y desempeño corto short physical performance battery (sppb), para el adulto mayor. *Tecnología en Marcha*. Vol. 35-2. Abril-Junio 2022. Pág 125-138.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v35i2.5206>



- 1 Laboratorio de Ergonomía Aplicada, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: crisvargasdelvalle@gmail.com
- 2 Laboratorio de Ergonomía Aplicada, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: olsanchez@itcr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-4718-8552>
- 3 Laboratorio de Ergonomía Aplicada, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: msanchez@itcr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-8107-3361>
- 4 Laboratorio de Ergonomía Aplicada, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: arturohuete@hotmail.com
 <https://orcid.org/0000-0003-1351-0117>
- 5 Laboratorio de Ergonomía Aplicada, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: ronarias.m@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0001-8380-5709>

Palabras clave

Adulto mayor; batería funcional; SPPB; desempeño físico.

Resumen

El objetivo de este estudio es implementar recursos tecnológicos en el diseño de un sistema de medición para la aplicación de la prueba *Short Physical Performance Battery (SPPB)* con el fin de reducir el tiempo de aplicación y aumentar la fiabilidad de los datos. Se utilizaron metodologías de diseño de producto e innovación en dispositivos médicos para desarrollar un sistema tecnológico adecuado a las características de los involucrados en el proceso (terapeutas de rehabilitación, médicos geriatras y pacientes adultos mayores). Además, se propuso un protocolo y una metodología para implementar la prueba con el sistema de medición desarrollado en el proceso establecido por los especialistas de salud que atienden la población adulta mayor en los centros de salud costarricenses.

Abstract

The aim of this study is to implement technological resources in the design of a measurement system for the application of the Short Physical Performance Battery (SPPB) test in order to reduce the application time and increase the reliability of the measure. Product design and innovation methodologies in medical devices were used to develop a technological system appropriate to the characteristics of those involved in the process (rehabilitation therapists, geriatric doctors and elderly patients). In addition, a protocol and methodology was proposed to implement the test with the measurement system developed in the process established by health specialists who attend to the elderly population in Costa Rican health centers.

Keywords

Elderly; functional battery; SPPB; physical performance

Introducción

La longevidad es una transición natural del ser humano, sin embargo, en las últimas décadas la expectativa de vida se ha elevado. La oportunidad de llegar a cumplir 65 años aumentó de menos del 50%, a finales del siglo XIX, a más del 90% en países con alta esperanza de vida. Un reporte reciente sobre tendencias e indicadores poblacionales de las Naciones Unidas mostró que las poblaciones más longevas están creciendo en Asia Oriental y Sudoriental, así como en América Latina y el Caribe [1]. Ante esta situación, Costa Rica realiza esfuerzos [2] para que las personas mayores conserven un envejecimiento y capacidad funcional óptima. Dentro de estos esfuerzos el sistema de salud tiene a disposición hospitales especializados en geriatría y gerontología como el Hospital Dr. Raúl Blanco Cervantes (HBC), el cual cuenta con una modalidad de atención llamada Hospital de Día (HD). Esta atención se realiza durante el día para que los adultos mayores regresen a sus casas y no queden internados.

La vejez es un proceso natural del ser humano que refleja una disminución en capacidades cognitivas y físicas. Un envejecimiento saludable se caracteriza por lograr mantener la independencia y autonomía en el adulto mayor y para ello es necesario la incorporación de procesos de prevención y rehabilitación. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) [2], [3], la población costarricense que cuenta con al menos una discapacidad es el 11,77%. De esta cifra las personas mayores de 65 años reportan la discapacidad física (46%) como la segunda causa de invalidez. Esta dificultad física está expresada como la dificultad

para caminar y subir gradas. Ante esta situación, es un reto para los sistemas de salud del país y la población adulta mayor disminuir la discapacidad física como segunda causa de incapacidad en adultos mayores, la cual puede ser un factor causante de comorbilidad y/o defunciones para esta población.

En el área de la salud, la tecnología ha demostrado ser una herramienta útil para mejorar la evaluación, diagnóstico o intervención en un paciente. Algunos estudios previos han utilizado tecnología *wearable* o sensores que se colocan en el cuerpo para aumentar la efectividad en las mediciones de variables de marcha en adultos mayores. Por ejemplo, un estudio utilizó la prueba *Timed Up and Go* (TUG) para determinar si la prueba con sensores (*instrumented Timed Up and Go* o iTUG por sus siglas en inglés) tenía mayor precisión para clasificar adultos mayores sanos y que habían tenido el síndrome de caída [4]. Sin embargo, se concluyó que no se obtuvieron resultados significativos entre las mediciones tradicionales y con sensores. Otros estudios han utilizado tecnología más sofisticada y han obtenido resultados exitosos acerca de la utilización de la tecnología para estas pruebas de valoración funcional [5], [6], [7], [8]. Sin embargo, el uso y la aceptación de este tipo de tecnología entre los especialistas es un poco reservada.

Una de las intenciones en el uso de tecnología en el sector de salud es brindar un mejor servicio a los pacientes y facilitar la labor de los especialistas en su rutina diaria. Sin embargo, muchas tecnologías que deberían reducir los errores se han dejado de usar debido a problemas organizacionales (falta de tiempo, disponibilidad o apoyo en la gestión), por su diseño (usabilidad, funcionalidad), su impacto en el flujo de trabajo, factores éticos y sociales o, incluso, falta de conocimiento y habilidades necesarias para aplicar los instrumentos de medición [9], [10] [11]. La investigación en ingeniería de factores humanos ha demostrado que la forma en la que se implementan las tecnologías también debe diseñarse cuidadosamente para obtener beneficios y una inserción exitosa en el contexto para el que fue diseñado [12], [13].

Algunos esfuerzos realizados dentro de instituciones y organizaciones que velan por una mejor implementación de tecnologías en ambientes de la salud, han combinado la gestión, la ingeniería y las leyes para desarrollar metodologías que favorezcan su uso. Es el caso de la agencia de Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en inglés) la cual regula, entre otras cosas, la manufactura de dispositivos médicos. Dentro de este marco, la implementación efectiva de la tecnología, por medio de un dispositivo médico, requiere de garantizar las buenas prácticas a través del control de la calidad en el diseño y el proceso de inserción. Este proceso conlleva etapas de planeación, entrada y salida de recursos, revisión, verificación, iteración en el diseño, validación y registro, entre otros. [14]. Otro ejemplo es la Universidad de Stanford, que desarrolló un proceso estructurado de innovación para el diseño e implementación de tecnología médica. Este proceso está conformado por tres etapas (identificar, inventar e implementar), las cuales utilizan enfoques de resolución de problemas como la exploración de necesidades, generación de conceptos, verificación y validación, así como la generación de modelos de negocio y lanzamiento de producto [15]. Comprender la manera más adecuada para hacer uso eficiente de la tecnología al servicio de un envejecimiento saludable es valioso.

Este estudio muestra el diseño de un sistema de medición que apoya la labor de los especialistas geriátricos al aplicar la prueba *Short Physical Performance Battery* (SPPB) para conocer el desempeño funcional del adulto mayor. La prueba SPPB consta de tres subpruebas que miden variables de fuerza de piernas, equilibrio y velocidad de marcha. Es una prueba de *screening* o diagnóstico rápido para establecer, junto a otras evaluaciones, el estado de fragilidad de un adulto mayor, por medio de la sumatoria del puntaje obtenido en cada subprueba de acuerdo a una escala de tiempo. La fragilidad se relaciona con la discapacidad, comorbilidad y eventos adversos como la muerte por lo que aplicar esta prueba es una manera de detectar,

clasificar y planificar las intervenciones adecuadas al paciente. Como todas las pruebas de desempeño corto, la SPPB se aplica de manera manual con la única ayuda de un cronómetro digital comúnmente utilizado en un reloj de pulsera o en el teléfono celular. Por medio de las observaciones y entrevistas se establecieron varios factores que afectan la aplicación de la prueba y los puntajes en cada subprueba y, por lo tanto, la clasificación del adulto mayor en un estado específico de fragilidad. Esto genera incertidumbre en la fiabilidad de los datos e impacta directamente en el estado físico real del paciente. Además, dichos factores influyen en el tiempo de aplicación de la prueba y perjudica el tiempo de consulta destinado para cada paciente de 30 minutos. Es por esta razón que se identifica la oportunidad de implementar recursos tecnológicos para mejorar el tiempo de aplicación de la prueba y la fiabilidad de los datos, por medio del diseño de un sistema de medición, un protocolo para la aplicación de la prueba y una propuesta metodológica para implementarla en centros de rehabilitación.

Para realizar la prueba de equilibrio el paciente debe colocarse en bipedestación con los pies en tres posiciones secuenciales (pies paralelos, semitándem y tándem). El paciente debe mantener el equilibrio por 10 segundos en cada posición para obtener un valor máximo de 4 puntos. La prueba de velocidad de marcha mide el tiempo que tarda el adulto mayor en recorrer a ritmo normal una distancia de 4 o 6 metros. Dependiendo de los segundos de duración, se le asigna un puntaje en un rango de 1 a 4 puntos. La tercera prueba mide el tiempo que tarda el paciente en levantarse y sentarse, 5 veces consecutivas, en una silla con los brazos cruzados y realizando dichas repeticiones lo más rápido posible. El puntaje asignado va de 1 a 4 puntos dependiendo de los segundos de duración. Al final del proceso se suman los puntajes de las 3 pruebas y el resultado determina el estado en que se encuentra el adulto mayor. Un puntaje menor a 10 implica un criterio de fragilidad, entre discapacidad, pre fragilidad o fragilidad [16] [17]. Esto le permite al especialista poder realizarla intervención adecuada y asignarle una rehabilitación que se adecúe al criterio de fragilidad establecido.

Metodología

En este estudio se desarrollaron tres etapas (figura 1). Para este proceso se utilizó como referencia la metodología de Diseño y desarrollo de producto de Ulrich y Eppinger [18], cuyo enfoque integral para el proceso de desarrollo de productos facilita la resolución de problemas y toma de decisiones. Además, se consultó la metodología de Biodiseño [15] para la creación de tecnologías médicas, la cual tiene un enfoque de innovación en productos y servicios utilizando equipos interdisciplinarios para su identificación, ideación e implementación en entornos de salud.

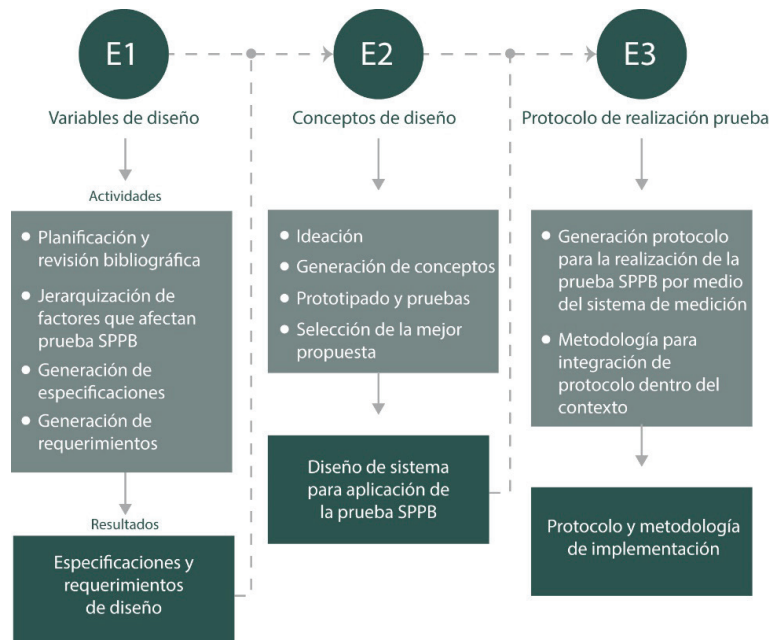


Figura 1. Esquema metodológico del proyecto.

Resultados

De acuerdo al problema planteado de poca fiabilidad de los datos y tiempos de aplicación de la prueba y después de un análisis de puntos críticos para cada sub prueba con el fin de definir los principales reprocesos en la aplicación de la prueba SPPB, se establecieron las causas y sus efectos respectivos (cuadro 1).

Junto con los expertos y realizando un trabajo iterativo de observación y discusión, se definieron importancias relativas para cada factor con el fin de asignar prioridades en el diseño del sistema. El resultado es una valoración numérica subjetiva de importancia para satisfacer las necesidades del especialista. La escala se divide en tres niveles: 1. Abordar esa causa no mejora la aplicación de la prueba, 2. Sería bueno abordar esa causa y 3. Abordar la causa es crítico para mejorar la aplicación de la prueba. Los que tienen la mayor importancia son el tipo de paciente, el procedimiento para realizar la prueba, el diseño de registro y base de datos, la herramienta de medición e instalación de materiales. Los especialistas consideraron que abordar estos factores podría aumentar la fiabilidad de los datos y reducir el tiempo de aplicación de la prueba. Como segunda importancia relativa están la experiencia del especialista que aplica la prueba, la comunicación hacia el adulto mayor antes y durante la prueba, el proceso, el tiempo de consulta y el espacio designado. Estos factores son deseables de abordar, pero no son determinantes para mejorar la aplicación de la prueba y reducir la desconfianza de los datos. El resto de factores son dependientes de terceros y en los cuales los especialistas no pueden tener control (importancia relativa de 1).

Cuadro 1. Causas, efectos y su importancia relativa de acuerdo a los especialistas.

Causa	Sub causas	Efecto	Problema asociado	Importancia relativa
Persona	Falta de organización	Momento inadecuado para aplicar la prueba de velocidad debido a ocupación del pasillo	Aumento en el tiempo de aplicación	1
	Comunicación inadecuada	A veces las instrucciones no quedan claras para el adulto mayor	Aumento en el tiempo de aplicación	2
	Tipo de entrenamiento	Manera de interactuar con el paciente que facilita o no el procedimiento de la prueba	Aumento en el tiempo de aplicación	1
	Experiencia del especialista	La aplicación de la prueba depende del <i>konw how</i> del especialista	Poca fiabilidad de los datos y aumento en el tiempo de aplicación	2
	Tipo de paciente	El especialista dura más dependiendo de las características físicas y cognitivas del paciente	Aumento en el tiempo de aplicación	3
Método	Procedimiento	Tiempos de reacción diferentes (médicos y fisioterapeutas), uso inadecuado del cronómetro y registro de datos de manera diferente entre especialistas	Poca fiabilidad de los datos y aumento en el tiempo de aplicación	3
	Proceso no estandarizado	Descontrol en las actividades durante la prueba (desde la colocación de materiales hasta el registro de datos)	Poca fiabilidad de los datos y aumento en el tiempo de aplicación	2
Instrumento	Diseño de la prueba	Sistema de registro y visualización manuales (operador dependiente)	Poca fiabilidad de los datos	3
	Tipo de tecnología	Toma de tiempos poco precisos por el tipo de cronómetro utilizando (reloj digital o celular)	Poca fiabilidad de los datos	3
	Tipo de materiales de apoyo	Materiales de apoyo para la prueba (marcas en el piso) y colocación (de las marcas y la silla) son manipuladas por terceros	Aumento en el tiempo de aplicación	3
	Frecuencia de mantenimiento	Líneas de posiciones se desprenden con facilidad	Aumento en el tiempo de aplicación	1
Entorno	Tiempo limitado	Aplicación de la prueba con descuido por la limitante de tiempo en la consulta	Poca fiabilidad de los datos	2
	Falta de señalización	Incertidumbre en el adulto mayor cuando especialista señala líneas de posición en la prueba y recibe instrucciones al mismo tiempo	Aumento en el tiempo de aplicación	1
	Falta de espacio	Poco espacio obliga a traslados para aplicar prueba de velocidad	Aumento en el tiempo de aplicación	2

Las causas a mejorar requieren de variables de diseño para saber cómo manejar las necesidades del usuario. Para ello se establecen requerimientos y, por lo tanto, especificaciones de diseño las cuales se vuelven métricas a seguir y requisitos que no pueden faltar en el sistema. El cuadro 2 muestra, de acuerdo a los factores e importancias relativas, los requerimientos y las características ingenieriles para el sistema de medición. El diseño tiene como prioridad establecer un sistema que incluya las características físicas y cognitivas de los adultos mayores que sean aptos para realizarla la prueba.

Cuadro 2. Requerimientos y especificaciones asociadas al factor.

Factor	Requerimientos	Especificaciones
Organización	Uso eficiente de los recursos (espacio, personal, materiales, entre otros)	Estrategia colaborativa e interdisciplinar
Comunicación	Comunicar con claridad al paciente	Indicaciones específicas y mínimas en la prueba
Entrenamiento	Posiciones de seguridad mínimas hacia el paciente durante la prueba	Capacitaciones y actualizaciones
Experiencia	Agilidad del especialista en la aplicación de la prueba	Capacitaciones y actualizaciones
Tipo de paciente	El especialista debe aplicar la prueba al paciente apto para realizar, independientemente de su estado físico y cognitivo	Facilidad de aplicación, con poca carga cognitiva y esfuerzo físico necesario
Procedimiento	Protocolo de aplicación	Pautas más detalladas para guiar el procedimiento
Proceso	Control en las actividades del proceso	Estandarización del proceso
Diseño	Sistemas de registro y visualización de datos fáciles de utilizar	Interfaces intuitivas, elementos ergonómicos y no distractores
Tecnología	Tecnología confiable y precisa	Registro automático
Materiales de apoyo	Facilidad de instalación, no debe generar ningún riesgo de caídas ni lesiones	Tiempo mínimo para colocar el sistema, superficies lisas y antideslizantes
Mantenimiento	Facilidad de mantenimiento, durabilidad en sus materiales	Materiales livianos e impermeables, que soporten productos de limpieza
Tiempo	Rapidez en su aplicación	Cantidad de pasos de ejecución
Señalización	Señalización visual y táctil	Elementos visibles, contrastantes e identificables
Espacio	Área exclusiva para la prueba	Área mínima

Esto quiere decir que, el especialista debe de aplicar la prueba con facilidad, sin ninguna sobrecarga de información o distracción causada por información innecesaria. Además, el sistema deber contar con un protocolo detallado del procedimiento para evitar incurrir en el mal uso del instrumento de medición, evitar tiempos de reacción que perjudiquen la medición o datos con un registro incorrecto. Para ello el sistema de registro y visualización de datos debe ser intuitivo y que no le demande al especialista mayor intervención. Adicional a este requisito, el sistema debe permitir un acceso a la información posterior a la prueba con el fin de observar la evolución del estado físico del paciente. La tecnología que se implemente para la medición del tiempo debe restringir el error humano y el tiempo de reacción del especialista. Un registro automático permite que el especialista solo se preocupe por la seguridad del paciente durante la prueba. Finalmente, los materiales que apoyen la prueba deben ser seguros para el paciente y de fácil colocación, al mismo tiempo que impidan la manipulación por terceros antes o durante la prueba. Los requerimientos de segundo y tercer nivel están detallados en el cuadro 2.

Desarrollo de conceptos y propuestas de diseño

Se realizó un análisis de las tecnologías existentes en el mercado que puedan realizar mediciones cinéticas y cinemáticas, con el fin de facilitar la toma de datos en un tiempo determinado. Se puede observar en la tabla 3 un resumen de las tecnologías propuestas, así como sus ventajas y desventajas. La selección y conveniencia del tipo de tecnología a desarrollar se estableció de acuerdo a las necesidades, requerimientos y especificaciones planteadas, es por esta razón que se seleccionaron los sistemas de tapiz instrumentado y plataforma de fuerza con la utilización de sensores y actuadores para el diseño del sistema de

medición. El factor tipo de paciente descartó las tecnologías que deben colocar o ajustar algún elemento al adulto mayor (plantillas instrumentadas, cámaras de video y electromiografía). Esto para resguardar la seguridad del adulto mayor (posibles lesiones sobre la piel) y evitar que los elementos puedan caerse por un mal ajuste. Finalmente, el registro electrónico, si bien es una opción tecnológica que viene incorporada con algunos de estos sistemas, la opción de diseñar y proponer una mejor visualización de datos generales y estadísticos, así como la conexión con otros programas utilizados por los sistemas de salud (EDUS o privados) es de considerar separadamente.

Una vez seleccionadas las tecnologías con las cuales trabajar, se utilizaron procesos de generación de conceptos e ideación [18, 15] con los cuales se definieron tres conceptos de diseño. Las ventajas y desventajas se compararon con respecto a los requerimientos y especificaciones.

Se creó una matriz de toma de decisión en donde se multiplicó el valor de la importancia relativa de cada requerimiento por un valor percibido de cumplimiento entre el sistema y dicho factor (del 1 al 10 en donde 10 es cumplimiento total del requerimiento). El prototipo del concepto seleccionado fue probado con la ayuda de la Asociación Cartaginesa de Atención a Ciudadanos de la Tercera Edad (ASCATE), un centro diurno modelo el cual cuenta con más de 100 adultos mayores a su cuidado. Durante la prueba de verificación, el sistema tuvo varias observaciones: el material utilizado puede generar tropiezos, los botones de accionamiento deben ser más grandes porque no contemplan el movimiento del especialista, es importante incorporar una señal de aviso cuando una prueba se termina, los módulos de equilibrio deben tener demarcaciones más llamativas. La prueba de funcionalidad de la tecnología arrojó que los sensores de presión deben colocarse en mayor número por área, se debe mejorar el rango de detección de movimiento para el módulo de velocidad y se debe de mejorar el área de colocación de la computadora portátil que almacena y muestra los datos.

Después de estas conclusiones con el primer prototipo, se volvió a realizar el proceso de diseño pensando también en la estandarización de piezas. El resultado conceptual es un sistema tecnológico que puede medir, en las tres sub pruebas, los tiempos de aplicación automáticamente sin la necesidad de utilizar otra herramienta (su teléfono celular o un reloj digital). El diseño seleccionado (figura 2) consta de dos subsistemas principales: medición y registro (cuadro 4). El sistema de medición se divide en dos módulos. El primero se encarga de detectar señales de presión para medir el tiempo en la prueba de equilibrio y la prueba de levantarse de la silla por medio de un tapiz instrumentado que utiliza sensores de fuerza resistivos. Este módulo (figura 3) cuenta con un espacio para colocar las patas delanteras de la silla y así poder sujetarla al tapete. Además, tiene un accesorio el cual se coloca en las patas traseras de la silla, estabilizándola cuando el paciente se sienta. Este módulo de tapete está configurado para que las posiciones de los pies en la prueba de balance y levantarse de la silla sean intuitivas y fáciles de comunicar para el especialista, solamente es necesario indicar el color en el que se debe posicionar y es más sencillo para el adulto mayor seguir las instrucciones. Cuenta con botones para que el especialista pueda accionar el cronómetro con el pie (inicio y reinicio). No es necesario que el especialista detenga la prueba pues si el paciente se desbalancea, el sensor lo detecta inmediatamente y capta el tiempo en el que estuvo en equilibrio. Por medio de una indicación auditiva de baja carga cognitiva, el especialista sabrá cuándo el sistema ha terminado de contar el tiempo. El segundo módulo de medición se encarga de captar el movimiento de inicio y final durante el recorrido por medio de sensores de movimiento. El especialista, por medio del software indica que quiere pasar de prueba y activa los sensores de movimiento al pulsar el botón de inicio, una vez que el paciente pase por el primer sensor, el programa iniciará el conteo del tiempo hasta que pase cerca del segundo sensor de movimiento al final del recorrido. El sistema avisará cuando esté listo para iniciar el segundo intento y el adulto mayor iniciará el recorrido junto al especialista.

Cuadro 3. Tecnologías y su funcionamiento en cada prueba. Ventajas y desventajas de las mismas.

Tecnología	Funcionamiento en la prueba			Ventajas	Desventajas
	Equilibrio	Marcha	Levantarse de la silla		
<p>Tapiz instrumentado</p> <p>Permite medir fuerzas que ejerce el apoyo del paciente sobre la superficie durante algún movimiento.</p>	<p>Detección de cierta cantidad de presión en la planta del pie sobre la superficie. Esto se programa con datos previos como el peso del paciente.</p>	<p>Detección en la variación de fuerza (presión) ejercida sobre la superficie al inicio y final.</p>	<p>Detección de la presión en la planta del pie sobre la superficie.</p>	<p>Portabilidad</p> <p>Fácil de almacenar</p> <p>No es intrusivo</p>	<p>No toman en cuenta dirección ni componentes del vector de la fuerza por lo que se pierde cierta información.</p> <p>Dependiendo de su tamaño, toma tiempo colocarlo.</p>
<p>Plataformas de fuerza</p> <p>Permite medir fuerzas que ejerce el apoyo del paciente sobre la superficie durante algún movimiento.</p>	<p>Detección en el cambio en la posición del centro de gravedad.</p>	<p>Variación de fuerza ejercida sobre la superficie al inicio y final</p>	<p>Detección en la variación de fuerza ejercida al levantarse y sentarse.</p>	<p>Compatibles con otros tipos de medición (cámaras, electromiografía)</p> <p>Medición más precisa</p>	<p>Muy pesadas (mínimo 8kg).</p> <p>Es necesario poner por lo menos 2 para la prueba de marcha.</p> <p>Es necesario empotrarlas al piso.</p> <p>Más costosas.</p>
<p>Plantillas instrumentadas</p> <p>Permite el registro de presiones y su distribución en la planta del pie.</p>	<p>Funcionan como el tapiz instrumentado, con la detección de presión sobre la planta del pie.</p>	<p>Detección en la variación de fuerza (presión) ejercida sobre el pie. En esta prueba es necesario establecer un inicio y un final de la prueba.</p>	<p>Detección de la presión en la planta del pie sobre la superficie.</p>	<p>Portabilidad</p> <p>Fácil de colocar</p> <p>Fácil de almacenar</p>	<p>Es necesario el suministro de las pastillas al tiempo.</p> <p>Tecnología intrusiva (tiene contacto directo con varias partes del cuerpo).</p> <p>Interfiere con movimientos normales para el paciente.</p> <p>El paciente debe colocarse el equipo antes de la prueba y calibrarlo.</p>
<p>Cámaras de video</p> <p>Por visión artificial se identifican los movimientos del paciente para reconstrucción en medio digital y análisis cinemático y tiempo espacial.</p>	<p>Detección en el cambio en la posición del centro de gravedad. En este caso los marcadores establecen las dimensiones del cuerpo, pero es necesario utilizar una plataforma de fuerza.</p>	<p>Detección en el cambio de movimiento de un punto inicial y un punto final.</p>	<p>Detección en el cambio de movimiento de un punto inicial y un punto final.</p>	<p>Mayor precisión en las mediciones</p> <p>Instalación en lugares altos y no interrumpa el paso.</p>	<p>Tecnología intrusiva (es necesaria la colocación de marcadores anatómicos) podría interferir con movimientos normales del paciente.</p> <p>Equipo costoso.</p> <p>Software necesita actualización que implica un costo.</p>
<p>Sensores y actuadores</p> <p>Están presentes en las tecnologías descritas anteriormente. La diferencia es la personalización si se utilizan individualmente como componentes.</p>	<p>Detección de cierta cantidad de fuerza sobre una superficie, por medio de sensores de presión.</p>	<p>Detección en el cambio de movimiento de un punto inicial y un punto final, por medio de sensores de detección de movimiento.</p>	<p>Detección de cierta cantidad de presión ejercida por los pies, por medio de sensores de presión.</p>	<p>Portátiles.</p> <p>De fácil instalación.</p> <p>Disponibilidad en el mercado de diferentes tipos de sensores.</p> <p>Se pueden adaptar diseños diferentes.</p>	<p>Es necesario utilizar varios para generar un sistema de medición.</p> <p>Es necesario hacer pruebas de funcionamiento para cada tipo de sensor para conocer su capacidad real y el cumplimiento de las especificaciones.</p>
<p>Electromiografía</p> <p>Permite el registro de actividad eléctrica del músculo en movimiento.</p>	<p>Detección de cantidad de activación muscular para ambos lados del cuerpo durante el equilibrio.</p>	<p>Es necesaria la utilización de otras tecnologías que apoyen la medición del recorrido.</p>	<p>Detección de cantidad de activación muscular de acuerdo a la fuerza ejercida para levantarse.</p>	<p>Medición de cuánta actividad está siendo realizada por el músculo, esto podría dar una mayor visión al especialista de qué músculos están utilizando los pacientes.</p>	<p>Tecnología intrusiva (se deben colocar electrodos sobre la piel).</p> <p>Equipo costoso con actualizaciones que deben ser costeadas.</p> <p>Medición depende de la correcta colocación de los electrodos.</p> <p>Por el tipo de paciente, la piel del adulto mayor podría verse afectada.</p> <p>Interfiere con movimientos normales para el paciente.</p> <p>Se deben sustituir suministros al tiempo.</p>
<p>Registro electrónico</p> <p>Por medio de software.</p>	<p>Para las tres pruebas de registro de los datos se realiza una vez la tecnología capte la señal determinada. Eso permite una captura y cálculo de puntajes de manera inmediata así como una visualización de datos en tiempo real.</p>			<p>Medición y registro inmediatos.</p> <p>Visualización inmediata.</p> <p>Generación de base de datos del paciente con todas las pruebas aplicadas.</p> <p>Posibilidad de generar estadísticas a los datos.</p>	<p>Inversión en el diseño de software y visualización de datos.</p> <p>Inversión en actualizaciones de software.</p> <p>Soporte técnico necesario.</p> <p>Capacitación en el uso del software.</p>

Después de realizar la verificación funcional del prototipo, se decidió prescindir del tapete de 4 metros que guiaba el recorrido, pues se vio el riesgo de caída o lesiones al caminar sobre el mismo. En esta propuesta se plantea la instalación de los sensores de movimiento en una pared, con lo que se asegura la poca manipulación de los mismos, el correcto ajuste del sensor en la distancia apropiada para el funcionamiento, la disminución de pasos en la colocación del sistema posibles tropiezos con los componentes. El subsistema de registro se encarga de recibir, interpretar y mostrar los tiempos obtenidos de cada sensor y, por lo tanto, el puntaje final para la prueba. Tanto el sistema computacional como la visualización de datos deben ser diseñados. Estos dos subsistemas, de medición y registro, eliminan el problema de tiempos de reacción o errores humanos a la hora de medir el tiempo, así como el registro de los datos de la prueba. Aumentando la fiabilidad de los datos y disminuyendo actividades que generan reprocesos. Una vez que las pruebas terminen, el fisioterapeuta o geriatra cuentan con la información necesaria para continuar con la evaluación del adulto mayor.

Otros sistemas incluyen el almacenamiento del equipo, el cual sirve como protección para guardar el tapete instrumentado y accesorios (tope de seguridad para la silla y cargador del tapete) y como apoyo para la computadora o tablet que brinda el control para elegir las pruebas y visualizar los datos en tiempo real. Los elementos de señalización permiten mostrar con facilidad al adulto mayor las áreas en donde tiene que posicionarse y el camino a recorrer. Además, le da facilidad al especialista para dar las indicaciones al referirse a los elementos visuales de posición, distancia y uso del sistema. La señal auditiva, permite conocer la finalización del cronómetro entre pruebas. Los subsistemas de ajuste y sujeción son diseñados de manera que sean fáciles de manipular (el tapete hacia diferentes formas de sillas) y se puedan sustituir en caso de necesitarlo (elementos estándares como tornillos, canaletas, etc).

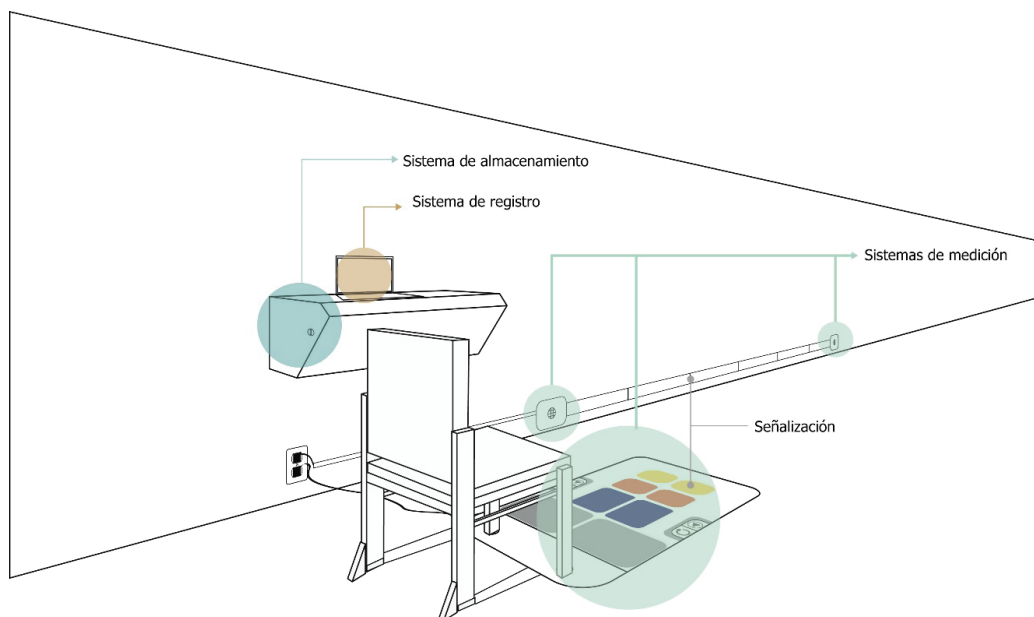


Figura 2. Esquema del sistema de medición propuesto.

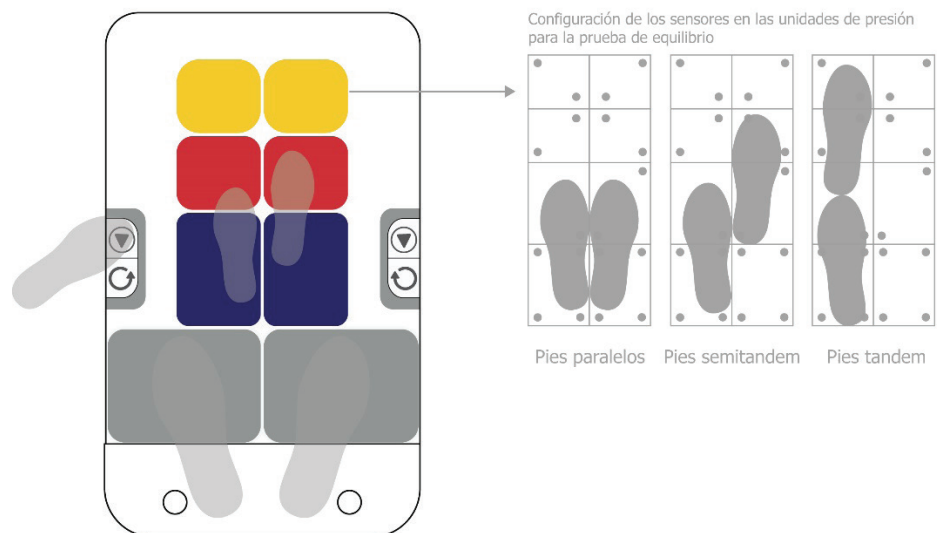


Figura 3. Módulo de medición de presión para la prueba de balance y levantarse de la silla.

Cuadro 4. Subsistemas, componentes y funciones en relación con el tipo de prueba.

Subsistema	Componentes	Función	Relación con prueba
Medición	Módulos de presión	Recibir señales de fuerza (peso) del paciente.	1. Prueba de equilibrio
	Módulos de detección de movimiento	Recibir señales de movimiento del paciente.	2. Prueba de levantarse de la silla 3. Prueba de velocidad de marcha
Registro	Software	Interpretar señales recibidas en términos de tiempo y estadística.	1,2,3
	Diseño de interfaz	Mostrar al usuario los datos de manera eficiente para que pueda interpretarlo y tomar decisiones importantes.	1,2,3
Almacenamiento	Módulo de almacenamiento	Proteger el equipo de factores externos (temperatura, humedad, luz, suciedad, etc.) Brindar soporte para equipo necesario (computadora portátil o tablet).	1,2
	Protectores de cableado	Brindar protección y seguridad al cableado de componentes eléctricos y de energía.	3
Señalización	Posición	Facilitar la comprensión del paciente de las posiciones que debe realizar.	1,2
	Distancia	Mostrar al paciente el recorrido que debe realizar	
	Uso	Facilitar el uso del dispositivo al especialista	3
	Auditivos	Indicar al especialista la finalización o inicio de pruebas	1,2,3
Ajuste y sujeción	Ajuste hacia la silla	Ajustar y asegurar la silla al módulo de presión.	2
	Sujeción mecánica de partes	Brindar sujeción de los componentes en las instalaciones de rehabilitación de manera que no implique un obstáculo.	3
Seguridad	Topes de silla	Estabilizar la silla para evitar que desplace hacia atrás.	2
	Cierre del equipo	Brindar acceso restringido al equipo.	1,2

Protocolo

El uso de tecnología en un proceso de valoración funcional no es común dentro de la práctica geriátrica. Es por ello, que al implementar recursos tecnológicos dentro de una prueba de desempeño físico aplicada de manera manual es necesario establecer pautas e instrucciones para que la aplicación de la prueba SPPB, por medio del sistema de medición en centros de salud como el HBC, sea efectiva. Para realizar el protocolo de incorporación tecnológica se utilizaron como referencia diagramas de flujo que permitieron observar y analizar la aplicación de la prueba con el uso de la tecnología se pudo comprobar la eliminación de reprocesos con respecto a la aplicación actual como la explicación inicial de las posturas, recolocación del adulto mayor en el espacio, finalización de cronómetros, registro de puntajes o errores en la medida por tiempos de reacción lenta y uso del cronómetro. Actividades que son sustituidas o mejoradas por la tecnología. Otro beneficio del sistema es la aplicación de la prueba en un solo lugar, lo que elimina traslados a otros espacios (para aplicar la prueba de velocidad).

Dentro de los primeros pasos del protocolo (cuadro 5) está una inspección al lugar para conocer el contexto en donde se instalará el sistema de medición, si el lugar no cuenta con ciertos requisitos es necesario analizar la posibilidad de ajustar el sistema. Los requisitos con los que debe de contar el centro de salud para poder implementar el sistema son: destinar un lugar con más de cuatro metros de largo para ubicar el sistema. Es preferible que no sea un pasillo de emergencia sino un espacio que se pueda utilizar por un tiempo corto mientras se aplica la prueba. No debe ser un espacio en donde terceros puedan ocupar con facilidad los elementos (una entrada o salida del edificio). Es necesario utilizar una silla cerca y exclusiva para el uso de la prueba. Los sensores de movimiento deben ser instalados en la pared, a una altura máxima de 10 cm del suelo, esto se debe a que la distancia de sensado debe de identificar la parte baja de la pierna del paciente. El sistema de almacenamiento cuenta con un cierre de seguridad con lo que es necesario asignar responsables para tener acceso al módulo de presión. Para el uso del sistema, es necesario contemplar ciertas actividades (figura 4) que permitan el buen funcionamiento del mismo.

Cuadro 5. Protocolo de implementación con responsables.

	Pasos	Descripción	Responsables
1	Coordinar diseño con ErgoTEC	El centro de salud debe coordinar el diseño y la implementación del sistema con el laboratorio. Ya que es un producto personalizado, es necesario entender las necesidades del lugar.	Departamento de rehabilitación del centro o administración del centro.
2	Inspección	El equipo del laboratorio debe realizar una inspección del lugar para identificar recursos disponibles del lugar (espacio, infraestructura, capacidad de atención, etc.) y así modificar el diseño al centro.	Persona encargada de la vista guiada. ErgoTEC
3	Modificaciones del lugar y compra de materiales de apoyo	El centro debe realizar las modificaciones al espacio pertinentes (reacomodar espacio, hacer compra de materiales de apoyo como sillas, computadoras o tablets para el sistema, etc.)	Administración del centro
4	Instalación y pruebas	El laboratorio se encarga de la instalación del sistema (físico y software) y realiza pruebas para verificar el correcto funcionamiento de los elementos.	Equipo de ErgoTEC
5	Capacitación	Una vez instalado el sistema de medición, es necesario la capacitación del personal que utilizará la tecnología.	Equipo de ErgoTEC
6	Acompañamiento	El laboratorio se mantiene en contacto con el centro para cualquier eventualidad y para supervisar el correcto uso del sistema.	Equipo de ErgoTEC

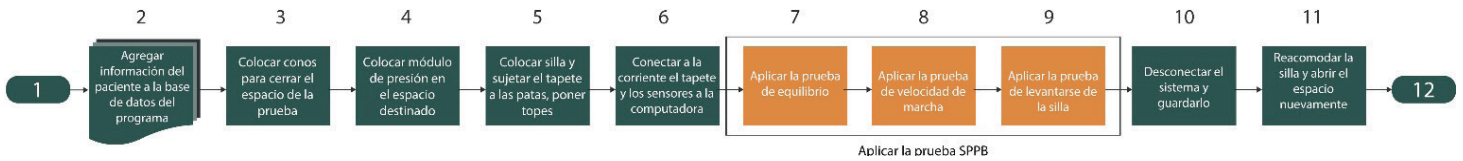


Figura 4. Pasos a contemplar para el uso del sistema de medición.

Conclusiones

La aplicación de la tecnología para procesos de valoración funcional en el adulto mayor trae ventajas y beneficios tanto para el especialista como para el adulto mayor. El sistema desarrollado en este estudio mejora la fiabilidad de los datos obtenidos en la prueba SPPB al utilizar mediciones de tiempo detectadas inmediatamente. Además, este sistema reduce el tiempo de aplicación al establecer un protocolo de uso y estandarizar el proceso. Por medio del planteamiento de un protocolo, la tecnología tiene mayor posibilidad de aceptación por parte de los profesionales y permiten un mayor control en el proceso de valoración del adulto mayor y una mejora en el registro.

La aplicación de tecnología abre nuevas posibilidades en los centros de salud para realizar valoraciones más exactas, reducir retrabajos en los procedimientos y permitirle al especialista cuidar de la seguridad del paciente mientras realiza la prueba. Además, el sistema abre la oportunidad de validar la prueba SPPB en el país con población costarricense, ya que los tiempos definidos en el test son establecidos con poblaciones europeas y norteamericanas.

Referencias

- [1] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, «World Population Ageing 2019 Highlights,» New York, 2019.
- [2] Ministerio de Salud, Dirección de Planificación Estratégica y evaluación de las acciones en salud, «Estrategia Nacional para un envejecimiento saludable basado en el curso de vida 2018-2020,» San José. Costa Rica, 2018.
- [3] Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, «INEC COSTA RICA,» 2011. [En línea]. Available: https://www.inec.cr/estadisticas?keys=discapacidad&fuente_tid=157&field_periodo_tid=All&field_anio_documento_value%5Bvalue%5D%5Bdate%5D=2011. [Último acceso: 09 2019].
- [4] K. S. R. B. K. Jackson, «Use of an Instrumented Timed Up and Go (iTUG) for Fall Risk Classification,» *PHYSICAL & OCCUPATIONAL THERAPY IN GERIATRICS*, 2018.
- [5] J. Beyea, C. McGibbon, A. Sexton, J. Noble y C. O'Connell, «Convergent Validity of a Wearable Sensor System for Measuring Sub-Task Performance during the Timed Up-and-Go Test,» vol. 17, n° 934, 2017.
- [6] S. Negrini, M. Serpelloni, C. Amici, M. Gobbo, C. Silvestro, R. Buraschi, A. Borboni, D. Crovato y N. Lopomo, «Use of Wearable Inertial Sensor in the Assessment of Timed-Up-and-Go Test: Influence of Device Placement on Temporal Variable Estimation,» *Wireless Mobile Communication and Healthcare. 6th International Conference, MobiHealth 2016, Milan, Italy, November 14-16, 2016, Proceedings*, 2017.
- [7] A. Salarian, F. Horak, C. Zampieri, P. Carlson-Kuhta, J. Nutt y K. Aminian, «iTUG, a Sensitive and Reliable Measure of Mobility,» *IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING*, vol. 18, n° 3, 2010.
- [8] G. Sprint, D. Cook y D. L. Fellow, «Toward Automating Clinical Assessments: A Survey of the Timed Up and Go,» *IEEE REVIEWS IN BIOMEDICAL ENGINEERING*, vol. 8, 2015.
- [9] T. Braun, A. Rieckmann, F. Weber y C. Grüneberg, «Current use of measurement instruments by physiotherapists working in Germany: a cross-sectional online survey,» *BMC Health Services Research*, vol. 18, n° 1, p. 810, 2018.
- [10] M. Karunanithi, «Monitoring technology for the elderly patient,» *Expert Review of Medical Devices*, vol. 4, n° 2, pp. 267-277, 2007.



- [11] R. Swinkels, R. Van Peppen, H. Wittink, J. Custers y A. Beurskens, «Current use and barriers and facilitators for implementation of standardised measures in physical therapy in the Netherlands.,» *BMC Musculoskeletal Disorders*, vol. 12, 2011.
- [12] A. VOGELSMEIER, J. HALBESLEBEN y J. SCOOT-CAWIEZELL, «Technology Implementation and Workarounds in the Nursing Home,» *Journal of the American Medical Informatic Association*, vol. 15, nº 1, p. 114–119, 2008.
- [13] B.-T. Karsh, «Beyond usability: designing effective technology implementation systems to promote patient safety,» *Quality and Safety in Health Care Journal*, vol. 13, pp. 388-394, 2004.
- [14] Office of Medical Products and Tobacco, Center for Devices and Radiological Health, FDA, «DESIGN CONTROL GUIDANCE FOR MEDICAL DEVICE MANUFACTURERS,» 11 March 1997. [En línea]. Available: <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/design-control-guidance-medical-device-manufacturers>. [Último acceso: 2019].
- [15] P. Yock, S. Zenios, J. Makower, J. Brinton, U. Kumar, L. Denend y T. M. Krummel, *Biodesign: The Process of Innovating Medical Technologies*, Segunda ed., Cambridge University Press, 2015.
- [16] J. Guralnik, E. Simonsick, L. Ferrucci, R. Glynn, L. Berkman, D. Blazer, P. Scherr y R. Wallace, «A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission,» *Journal of Gerontology*, vol. 49, nº 2, pp. 85-94, 1994.
- [17] J. Guralnik, L. Ferrucci, E. Simonsick, S. M.E y ,. R. Wallace, «Lower-extremity function in persons over the age of 70 years as a predictor of subsequent disability,» *The New England Journal of medicine*, vol. 332, nº 9, pp. 556-61, 1995.
- [18] K. Ulrich y S. Eppinger, *Diseño y Desarrollo de productos*, Cuarta ed., México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2009.