



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

**ACTIVITY AND POSTURE RECOGNITION
FOR THE ELDERLY BASED ON A
WEARABLE DEVICE**

MARÍA GABRIELA CAJAMARCA

Tesis para optar al grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Profesor supervisor:
VALERIA HERSKOVIC

Santiago de Chile, Agosto 2018

© MMXVII, MARÍA GABRIELA CAJAMARCA



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

ACTIVITY AND POSTURE RECOGNITION FOR THE ELDERLY BASED ON A WEARABLE DEVICE

MARÍA GABRIELA CAJAMARCA

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

VALERIA HERSKOVIC

JORGE MUÑOZ

CLAUDIA LÓPEZ

FRANCISCO SUÁREZ

Tesis para optar al grado de

Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, Agosto 2018

© MMXVII, MARÍA GABRIELA CAJAMARCA

A mi familia, que son mi fuerza y motivo para seguir en este camino.

Gabriela

AGRADECIMIENTOS

Gracias a todos los que me acompañan en cada parte del proceso, desde los que sufren los vaivenes de “ya no puedo más”, como mis padres, hermanos o Teresita.

Gracias a todo el equipo de HumaLabUC que colabora constantemente para que los pasos que doy sean firmes. Valeria, Iyubanit, Carolina, Carmen, Cecilia... Gracias no solo por eso, sino por todo lo que está por venir. También quiero dar las gracias a los residentes y cuidadores de la Fundación las Rosas, por darme su tiempo y ayuda con el experimento.

Gracias a mis amigos cercanos por todos los momentos compartidos, y a los que están lejos por alentar mis decisiones y por hacerme sentir tan absolutamente orgullosa del trabajo que se está realizando.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iv
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	ix
ABSTRACT	x
RESUMEN	xi
1. Dispositivos portátiles para personas mayores	1
1.1. Motivación	1
1.1.1. El envejecimiento de la población es un problema mundial	1
1.1.2. Envejecimiento y tecnología	2
1.1.3. Dispositivos de evaluación y monitoreo postural	3
1.2. Hipótesis	5
1.3. Objetivos	5
1.4. Metodología	5
1.4.1. Caso I. Implementación y evaluación de un dispositivo portátil para posturas de la columna	8
1.4.2. Caso II: Identificar, mediante observación, las actividades diarias de adultos mayores institucionalizados	10
1.4.3. Caso III. Reconocimiento de actividades para adultos mayores, basado en un dispositivo portátil	11
1.5. Resultados	13
1.5.1. Caso I. Implementación y evaluación de un dispositivo portátil para postura de columna	13
1.5.2. Caso II. Identificar, mediante observación, las actividades diarias de adultos mayores institucionalizados	18

1.5.3. Caso III. Reconocimiento de actividades para adultos mayores, basado en un dispositivo portátil	21
1.6. Discusión	26
1.7. Conclusiones	28
2. StraighTenUp+: Monitoreo de postura durante actividades diarias para personas mayores usando dispositivos portátiles	30
2.1. Introducción	30
2.2. StraighTenUp+: un dispositivo portátil para controlar la postura de usuarios mayores	34
2.2.1. StraighTenUp: prototipo para posturas estáticas	34
2.2.2. StraighTenUp+: Diseño y requisitos funcionales	36
2.2.3. StraighTenUp+: un dispositivo portátil para personas mayores	36
2.2.4. StraighTenUp+: Implementación	37
2.3. Materiales y métodos	39
2.3.1. Estudio de contexto	39
2.3.2. Información recopilada	40
2.3.3. Participantes	41
2.3.4. Procedimiento	42
2.4. Resultados	43
2.4.1. Descripción estadística	44
2.4.2. Clasificación de posturas	45
2.4.3. Experiencia con StraighTenUp+	47
2.4.4. Entrevistas	48
2.5. Discusión	49
2.5.1. Conclusiones	52
BIBLIOGRAFÍA	53
APÉNDICES	68
A. APÉNDICE	69

A.1. Codificación	69
-----------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

1.1	Modelo del proceso de la investigación científica basada en el diseño	7
1.2	Modelo del proceso de la investigación para el monitoreo postural	8
1.3	Mapa temático de las entrevistas individuales	15
1.4	Valores promedio de atractivo (AT), calidad pragmática (PR), hedónica identidad (H-I) y característica hedónica estimulación (H-S)	17
1.5	Evaluación del par de palabras sobre StraightenUp	18
1.6	Puntuaciones en las cuatro dimensiones de Attrakdiff	25
1.7	Evaluación del par de palabras sobre StraightenUp+	26
2.1	Diseño StraightenUp: a) Fase I b) Fase II	37
2.2	Arquitectura general del sistema StraightenUp+	38
2.3	Ocho posturas clasificadas	43
2.4	Distribución de datos en el eje “x” para cada sensor durante el monitoreo del torso mientras los residentes llevan a cabo actividades específicas	45
2.5	Puntuaciones en las cuatro dimensiones de Attrakdiff	47
A.1	Codificación	69

LISTA DE TABLAS

1.1	Estadística descriptiva (M = media, SD = desviación estándar)	14
1.2	Matriz de confusión para la clasificación de posturas estáticas	14
1.3	Lista de actividades (A1...A8)	21
1.4	Estadística descriptiva (M = media, SD = desviación estándar)	22
1.5	Matriz de confusión para actividades	23
2.1	Matriz de confusión para actividades	46
2.2	Precisión según la cantidad de sensores utilizados	46

ABSTRACT

The human posture and activity levels are indicators to assess the health and quality of life of people. This information can be monitored and used to evaluate physical and functional parameters. Physical changes due to imbalance of the spine can be the cause of back pain, neurological deterioration, deformity, cosmetic problems, prophylaxis or a combination of those mentioned. These changes are more common in older adults. Some prototypes that can be used to monitor changes in the spine have been proposed, however, the user's experience with these devices has not been sufficiently considered, in order to understand which are the central characteristics for the long-term use. The purpose of this study is to design a wearable device considering the conditions of the elderly to monitor the posture of the spine using three sensors attached to the trunk and evaluate the user's experience when using them. First, designed and implemented a prototype called StraightenUp for the static monitoring of the spinal posture, the evaluation of this design was carried out in healthy and young persons. Then, observations are made about the characteristics and limitations of old persons with assisted living to know the rhythm of daily activities. Finally, we propose an improved version of the StraightenUp prototype considering design characteristics and user experience found in its evaluation. A new prototype called StraightenUp+ was created. The evaluation of this new version is done in institutionalized old persons. A high performance of the device was obtained, the sensors are precise enough to detect body postures. Regarding user experience, the participants appreciated it in a very positive way, highlighting its comfort, usability and familiarity with a garment. The findings of this study can be used to support a more complete column posture monitoring technology specifically designed for the aging population.

Keywords: Posture, Monitoring, Elderly, Wearable, Inertial sensors, Activities, Spine.

RESUMEN

La postura humana y los niveles de actividad son indicadores para evaluar la salud y la calidad de vida de las personas. Esta información puede ser monitoreada y utilizada para evaluar parámetros físicos y funcionales. Los cambios físicos por desequilibrio de la columna, pueden ser la causa de dolor de espalda, deterioro neurológico, deformidad, problemas cosméticos, o una combinación de los mencionados. Estos cambios son más comunes en personas mayores. Se han propuesto algunos prototipos que se pueden usar para el monitoreo de cambios en la columna vertebral, sin embargo, no se ha considerado lo suficiente la experiencia del usuario con estos dispositivos, para entender cuáles son las características centrales para el uso a largo plazo. La propuesta de este estudio es diseñar dispositivos portátiles de acuerdo con las condiciones de los ancianos para monitorear la postura de la columna mediante tres sensores adheridos al tronco y evaluar la experiencia del usuario cuando utilizan estos. Primero, diseñamos e implementamos un prototipo llamado StraightenUp para el monitoreo estático de la postura espinal, la evaluación de este diseño fue en personas sanas y jóvenes. Luego, se realiza observaciones sobre características y limitaciones de personas mayores con vida asistida para conocer el ritmo de las actividades diarias. Finalmente, proponemos una versión mejorada de StraightenUp considerando problemas de diseño encontrados en su evaluación. Creamos un nuevo prototipo denominado StraightenUp+. La evaluación de esta nueva versión se realiza en ancianos institucionalizados. Se obtuvo un alto rendimiento del dispositivo, los sensores son lo suficientemente precisos para detectar posturas corporales. Con respecto a la experiencia del usuario con este dispositivo, los participantes lo apreciaron de manera muy positiva, destacan su comodidad, usabilidad y familiaridad con una prenda de vestir. Los hallazgos de este estudio pueden usarse como apoyo hacia una tecnología de monitoreo de posturas de la columna más completa específicamente diseñada para la población que envejece.

Palabras claves: Postura, Monitoreo, Adulto mayor, Dispositivo, Columna vertebral.

1. DISPOSITIVOS PORTÁTILES PARA PERSONAS MAYORES

1.1. Motivación

1.1.1. El envejecimiento de la población es un problema mundial

Todos los países del mundo están experimentando un gran crecimiento de personas mayores debido, principalmente, al aumento de la esperanza de vida y la baja tasa de fecundidad (Del Popolo, 2001). De hecho, la Organización Mundial de la Salud señala que el número de personas mayores de 60 años se habrá duplicado, pasando del 11% al 22% en el 2050 (OMS, 2015). Actualmente, existen en Chile 2,6 millones de personas mayores, lo que equivale a 16% de la población. Para el 2025 se espera que la población chilena sobre 60 años llegue al 20% superando en porcentaje a la población menor de 15 años (Ministerio de Desarrollo Social, 2012).

El crecimiento proyectado de las poblaciones de mayor edad tiene implicaciones importantes en la atención médica, vivienda, transporte y educación (Carrigan & Szmigin, 1999). El envejecimiento a menudo se asocia con la disminución progresiva de las capacidades funcionales y cognitivas (Yin & Chen, 2005), y debido a estos cambios, muchas personas mayores experimentan dificultades para realizar las tareas de la vida diaria (Schaie & Willis, 2010). Además, las personas mayores presentan problemas crónicos de salud, e.g.; enfermedades cardiovasculares, osteoporosis y deterioro funcional. La persistencia de estos problemas puede afectar la calidad de vida (Gureje et al., 1998).

Aunque los inconvenientes antes descritos son inevitables en las personas mayores, las personas físicamente activas mantienen un funcionamiento saludable más largo que los sedentarios (Landi et al., 2007). La actividad física puede determinarse por la postura y el movimiento. Estas características pueden ser monitoreadas para proporcionar un perfil completo de la actividad, hábitos de funcionamiento y consumo corporal de un individuo (Lewis & Valentine, 2010). De hecho, la actividad física es un indicador líder de salud (Aungst, 2011).

El monitoreo postural constante y a largo plazo, basado en sensores, realizado en el entorno doméstico natural podría proporcionar información clara de la movilidad y postura corporal, en lugar de breves períodos de monitorización cuando son controlados en la clínica o visitados en el hogar. Además, esta información puede ser útil para que los médicos e investigadores comprendan el desarrollo y la progresión de la enfermedad, ya que ciertos trastornos crónicos pueden estar relacionados con el tiempo que se pasa en posturas específicas.

1.1.2. Envejecimiento y tecnología

Las personas mayores se acercan a internet y a la tecnología de forma diferente que las personas más jóvenes (Tacken et al., 2005). Este grupo demográfico es el más heterogéneo de la sociedad, dado al tiempo que han vivido y una multitud de factores, e.g. el estilo de vida, salud, educación, trabajo y ejercicio (Stedmon et al., 2012a). En Chile, el 17,4% de los adultos no tiene experiencia previa con las computadoras, el 52,4% de los adultos tiene una puntuación igual o por debajo del nivel 1 en la resolución de problemas en ambientes ricos en tecnología (Kankaraš et al., 2016). Pese a que entre los años 2013 y 2016 el uso de tecnología por parte de personas mayores incrementó, aún existe una brecha de edad y nivel educacional, y las personas mayores a 75 años y los que tienen un nivel educacional bajo son los que menos las utilizan (Herrera et al., 2017).

Sin embargo, aunque a menudo son considerados tecnófobos, los adultos mayores de hoy son conscientes de los beneficios de la tecnología y tienen altas expectativas frente al envejecimiento y estado de salud (Demiris et al., 2004). Ellos están dispuestos a probar nuevos sistemas tecnológicos de monitoreo en la vida cotidiana, bajo la influencia de varios factores, como la utilidad y la facilidad de uso (Mots et al., 2002). Por lo tanto, un enfoque centrado en las necesidades, condiciones y requisitos de los usuarios mayores es esencial para el desarrollo de tecnologías asistenciales, en lugar de depender de estereotipos o sesgos sociales (Essén & Östlund, 2011). Estas tecnologías deberían simplificar las tareas y disminuir la carga cognitiva de estos usuarios (Steele et al., 2009).

1.1.3. Dispositivos de evaluación y monitoreo postural

Los avances en la tecnología han ayudado en la evaluación y análisis del control postural, aunque a través de los dispositivos externos no ha sido posible alcanzar una medida exacta de la posición de la columna. Se han usado varias herramientas, desde cuestionarios (Walston et al., 1995), rastreo por video (Yu et al., 2012), hasta monitores basados en sensores (Stisen et al., 2015). Los cuestionarios, aunque son herramientas de bajo costo, son típicamente retrospectivos e incluyen opiniones que pueden dar lugar a decisiones imprecisas (Meijer et al., 1991), mientras que las cámaras para rastreo de actividades y/o posturas pueden provocar problemas de privacidad (Chen et al., 2004). Los dispositivos basados en sensores inerciales tienen un buen rendimiento, precisión y movilidad (Bulling et al., 2014).

Para el monitoreo dinámico, específicamente de la columna vertebral se han propuesto algunos dispositivos basados en sensores inerciales como acelerómetros, giroscopios o GPS. Estos dispositivos han demostrado ser efectivos y están ganando popularidad (Zheng et al., 2013). De hecho, estos sistemas se han utilizado en diversas poblaciones, incluidos personas sanas (Cajamarca et al., 2017), personas mayores (Zhou et al., 2009), pacientes de Parkinson (Salarian et al., 2007), y pacientes de osteoartritis (Farr et al., 2008). Estudios previos han demostrado que la cantidad y la ubicación de los sensores portátiles tienen un impacto significativo en la medición de las posturas y aceleraciones del cuerpo humano (Cleland et al., 2013; Arif & Kattan, 2015). Sin embargo, la identificación de la ubicación ideal para el acoplamiento de sensores portátiles es aún discutible. Se intentó monitorear la inclinación del tronco de un sujeto que tuvo cifosis con un único acelerómetro triaxial sujetado en la parte baja del tronco, logrando detectar cambios posturales (Lou et al., 2001). Se usaron dos sensores, uno en la parte superior del tronco (apófisis espinosa) y el otro en la parte inferior del tronco (sacro), para medir los movimientos tridimensionales de la columna lumbar en tiempo real (R. Y. Lee et al., 2003). Para el monitoreo de actividades en la vida diaria se usaron seis sensores a lo largo de la columna vertebral de un sujeto, encontrando una precisión de $\pm 0,39^\circ$ lo que es un sistema prometedor para monitorear los

cambios en la curvatura de la espalda (Nevins et al., 2002). Por otro lado, algunos estudios indican que los sensores portátiles colocados en la cintura proporcionan la mayor precisión para predecir los movimientos del cuerpo (Pannurat et al., 2017), incluso cuando ocurre una caída (Suriani et al., 2018). Sin embargo, debido a que los dispositivos montados en la cadera generalmente se colocan en cinturones y se usan en la ropa, han causado problemas de cumplimiento, muchos participantes quitan el dispositivo para dormir o ducharse y se olvidan de reemplazarlo (Troiano et al., 2014). Además, esta ubicación requiere más consideración para personas obesas (Berlin et al., 2006), si el sensor no está orientado verticalmente, la medición puede no ser precisa (Kinnunen et al., 2011; Corder et al., 2007). El uso de un solo acelerómetro 3D permite la detección de actividad al registrar patrones de aceleración (Soaz & Diepold, 2016), aunque la inclusión de más sensores puede mejorar la precisión (Banos et al., 2015). Es probable que el aumento del sensor aumente el costo y reduzca la comodidad del usuario. La colocación de acelerómetros en múltiples ubicaciones puede ser molesta para el usuario, especialmente en aplicaciones de monitoreo a largo plazo (Cates et al., 2018). De hecho, se ha considerado reducir el número de sensores para encontrar una relación óptima entre usabilidad y rendimiento (Awais et al., 2016). La mayoría de investigaciones se ha centrado principalmente en demostrar la precisión de estos sensores, prestando menos atención al monitoreo de la actividad, y sin considerar un diseño específicamente para la población que envejece, donde es importante considerar aspectos prácticos como su usabilidad y estética, factores que generalmente son importantes para mejorar la experiencia del usuario (Wu & Munteanu, 2018; Peetoom et al., 2015).

Por lo tanto, en esta tesis, se propone mejorar la experiencia del usuario al monitorear las actividades de personas mayores mediante un sistema de sensores fijado a la columna que consta de tres sensores inerciales (acelerómetros y giroscopios) distribuidos a lo largo del tronco.

1.2. Hipótesis

Las hipótesis de este estudio son las siguientes:

- (i) Un dispositivo portátil ubicado en la columna vertebral de adultos mayores permite monitorear sus actividades de la vida diaria, y
- (ii) Las personas mayores con bajas competencias digitales y moderado deterioro funcional tienen una actitud positiva hacia el uso de tecnologías para monitorear la postura de la columna vertebral mediante tres sensores adheridos al tronco.

1.3. Objetivos

En relación con las hipótesis descritas anteriormente, la investigación tiene como objetivo general, identificar los factores que influyen en la experiencia del usuario de personas mayores con bajas competencias digitales que interactúan con un dispositivo portátil que monitorea continuamente la postura espinal, específicamente:

- (i) Diseñar prototipos para el monitoreo de la postura espinal en actividades diarias en personas mayores.
- (ii) Identificar la percepción que el adulto mayor tiene respecto a los dispositivos que monitorean su postura espinal.
- (iii) Evaluar la experiencia del usuario de personas mayores que interactúan con un dispositivo portátil ubicado en la columna vertebral.

1.4. Metodología

De acuerdo con los objetivos de la investigación, se consideró apropiado utilizar la metodología de Investigación Basada en Diseño (IBD) ó “design-based research”. Este método utiliza el diseño como técnica de investigación, es decir; el análisis del uso y el rendimiento de los artefactos diseñados para comprender, explicar y, con mucha frecuencia, mejorar el comportamiento de los aspectos de los sistemas de información. Los

artefactos pueden ser constructos, técnicas y métodos, modelos, teoría bien desarrollada para satisfacer de manera efectiva y eficiente conjuntos de requisitos funcionales. (March & Smith, 1995). Para enfocar la actividad de diseño a nivel intelectual, (Simon, 1996) hace una clara distinción entre “ciencia natural” y “ciencia artificial”. La ciencia “natural” tiene como objetivo central explorar, describir, explicar y, cuando sea posible, predecir, mientras que las ciencias “artificiales” deben preocuparse de cómo las cosas deben ser para alcanzar determinados objetivos, sea para solucionar un problema conocido, o para proyectar algo que aún no existe. De esta forma, podemos definir IBD como una actividad de investigación que inventa o construye artefactos nuevos e innovadores para resolver problemas o lograr mejoras, es decir, IBD aborda la investigación a través de la construcción y evaluación de artefactos diseñados para satisfacer las necesidades identificadas. Tales artefactos nuevos e innovadores crean una nueva realidad, en lugar de explicar la realidad existente o ayudar a darle sentido (Vaishnavi & Kuechler, 2015).

A manera de síntesis, a continuación, se presenta un modelo del proceso general aplicado para IBD (Ver Fig. 1.1). Este modelo es una adaptación de un modelo de proceso de diseño computable (Takeda et al., 1990).

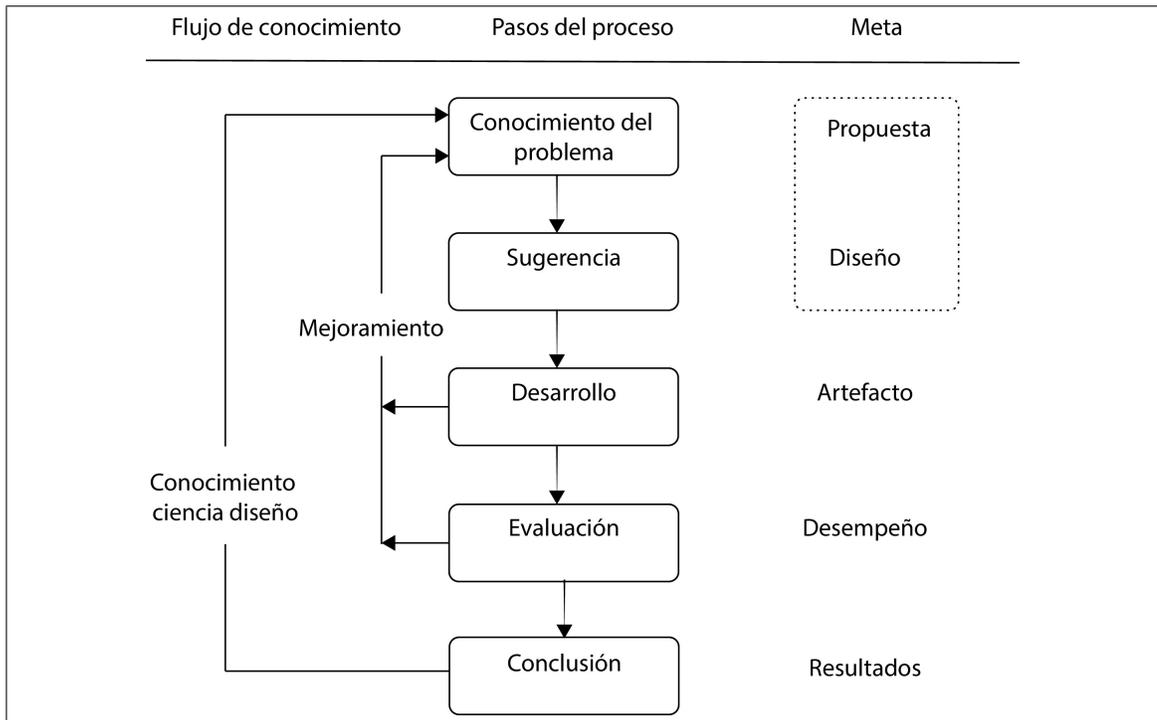


Figura 1.1. Modelo del proceso de la investigación científica basada en el diseño

En este modelo, la investigación presenta 5 pasos del proceso:

- (i) Describir las condiciones iniciales del contexto
- (ii) Extraer sugerencias a partir de la teoría existente
- (iii) Implementación de un diseño tentativo.
- (iv) La utilidad, calidad y eficacia de un artefacto de diseño debe demostrarse rigurosamente a través de métodos de evaluación bien ejecutados. La evaluación y otras sugerencias se realizan con frecuencia de forma iterativa (flecha de mejoramiento).
- (v) Finalmente, los resultados de la investigación en ciencias del diseño deben comunicarse de manera efectiva

Este proceso está estructurado en un orden nominalmente secuencial; sin embargo, no se espera que los investigadores procedan siempre en orden secuencial desde la actividad

uno hasta la actividad cinco. En tal sentido, el desarrollo del sistema de este estudio consta de tres casos: primero, el desarrollo, implementación y evaluación de un sistema para el monitoreo postural en personas sanas, mas adelante, un estudio de contexto para el dominio del problema, y finalmente el rediseño y evaluación del sistema de monitoreo en ancianos con bajas competencias digitales y moderado deterioro funcional (Ver Fig. 1.2).

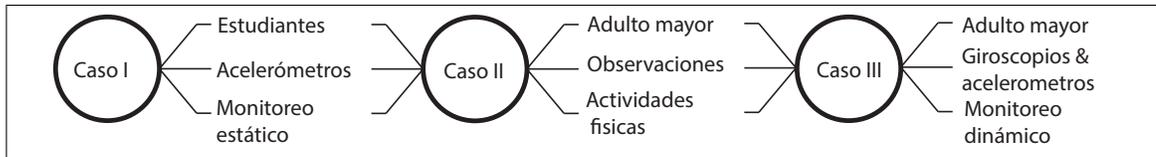


Figura 1.2. Modelo del proceso de la investigación para el monitoreo postural

1.4.1. Caso I. Implementación y evaluación de un dispositivo portátil para posturas de la columna

Mantener una postura inadecuada durante un período prolongado de tiempo puede provocar problemas de salud, como, por ejemplo; una alineación incorrecta de las vértebras y el disco degenerativo acelerado. La persistencia de estos síntomas puede causar dolor de espalda, deterioro neurológico, deformidad y problemas cosméticos. Se han propuesto algunos prototipos portátiles para supervisar la postura de la columna vertebral, sin embargo, no se han tenido suficientemente en cuenta la experiencia del usuario con estos dispositivos, para comprender qué características son fundamentales para mejorar la experiencia y el uso a largo plazo.

Objetivo de la solución

El objetivo fue desarrollar un sistema de monitoreo postural que considere tanto factores tecnológicos, como factores de experiencia del usuario; es decir, consideramos que es tan importante poder monitorear con precisión la postura, así como mejorar la experiencia de usar estos sistemas de monitoreo.

Diseño y Desarrollo

Se diseñó e implementó un prototipo, al que llamamos StraightenUp. Para ello, usamos tres acelerómetros (LilyPad ADXL335) ubicados en un soporte a lo largo de la columna vertebral, fijados en una misma dirección para minimizar errores de orientación. El soporte consta de tres bandas (superior, central, inferior) que son ajustadas en la parte frontal (hombros, pecho, cintura). Para el control de los sensores usamos los siguientes componentes: placa controladora (ATmega32U4), conexión inalámbrica bluetooth (HC-05) y una batería (100mA). Estos componentes están dispuestos en una caja que puede ser fijada en la parte inferior ya sea al costado derecho o izquierdo.

Evaluación

Se reclutó a 30 estudiantes de educación superior (7 mujeres y 23 hombres). Los participantes informan tener molestias de columna durante las horas de trabajo, la mayor parte de este tiempo permanecen sentados, el promedio de tiempo de esta postura es de 9,4 horas por día.

Para evaluar la usabilidad y diseño del dispositivo, en primer lugar, registramos datos mediante el dispositivo StraightenUp mientras los estudiantes adoptaron 6 posturas distintas durante 20 segundos cada una. Las posturas fueron realizadas en una secuencia predefinida; primero hacia atrás, luego erguido, relajado, inclinado aproximadamente 30 grados, inclinado 60 grados y finalmente inclinado hacia adelante lo más bajo posible. Luego, utilizamos el cuestionario AttrakDiff¹ y entrevistas semiestructuradas para conocer la percepción subjetiva del atractivo del dispositivo. Finalmente, usamos un Mapa Temático para codificar y analizar los datos cualitativos (Clarke & Braun, 2013).

Contribución

El dispositivo clasifica 6 posturas humanas en tiempo real mediante tres acelerómetros triaxiales conectados al tronco. La experiencia de usar este dispositivo fue positiva, de

¹AttrakDiff, herramienta para evaluación de experiencia de usuario. Disponible en: <http://attrakdiff.de/index-en.html>

hecho, los participantes manifestaron que el dispositivo fue cómodo de usar y podría ser útil para controlar la postura espinal durante las horas de trabajo cuando están sentados. Este dispositivo podría apoyar el diagnóstico de desbalance sagital en pacientes mayores debido a la deformación de la columna vertebral.

1.4.2. Caso II: Identificar, mediante observación, las actividades diarias de adultos mayores institucionalizados

A medida que la investigación en dispositivos para fines de salud es un área relativamente nueva, todavía no hay un terreno común de cómo monitorear adecuadamente la postura de la columna vertebral en ancianos mientras realizan actividades de la vida diaria y como mejorar la experiencia en la interacción con estos dispositivos portátiles. Hay variados factores a considerar, e.g. la salud, sus hábitos, la autoimagen, la percepción y preferencias, por lo que se necesita mucha más investigación en este grupo demográfico (Yu et al., 2012).

Objetivo de la solución

Conocer las características y/o comportamiento de los ancianos con vida asistida mientras realizan actividades físicas, para lograr una mejor comprensión de su nivel de actividad y de cómo se podrían desarrollar sistemas para el monitoreo postural constante durante sus actividades.

Diseño y Desarrollo

Para lograr con el objetivo planteado, la técnica usada en este caso es la observación. Esta técnica es una forma de saber lo que una persona está haciendo sin que la persona lo diga (Corbin et al., 2008). Resulta apropiado usar la observación para este estudio, ya que se desea conocer el comportamiento de personas mayores mientras realizan actividades diarias, conocer sus características, necesidades y limitaciones. Por la relativa flexibilidad de la técnica se permitió ir poniendo énfasis en aspectos que consideraba más importantes, a partir de reflexiones personales y también de teorías revisadas con anterioridad.

Evaluación

Los participantes que fueron parte de este estudio son 69 sujetos (31 hombres y 38 mujeres) con edades comprendidas entre los 60 y 98 años. Los sujetos pertenecen a una residencia de ancianos ubicada en la ciudad de Santiago de Chile, ellos presentan un moderado deterioro funcional. De acuerdo con la información proporcionada por la institución, en este grupo de personas tan solo el 33% son autovalentes, mientras que el 66% son semivalentes. Más del 50% de residentes usan un dispositivo para movilizarse. Las observaciones se realizaron durante actividades físicas grupales, estas actividades fueron conducidas por el Kinesiólogo y estudiantes de práctica. Las observaciones duraron aproximadamente una hora por tres días, un investigador escribió un relato sobre las actividades, comportamientos, características, y espacios.

Contribución

Este estudio describe el comportamiento de personas mayores mientras realizan actividades diarias dentro de una institución, permitiéndonos conocer la situación actual de este grupo de personas con relación a su salud y relaciones interpersonales.

1.4.3. Caso III. Reconocimiento de actividades para adultos mayores, basado en un dispositivo portátil

Dado el creciente número de personas mayores y la falta de información objetiva sobre posturas durante actividades cotidianas, el monitoreo de actividades diarias usando sensores portátiles en el cuerpo puede usarse para promover la calidad de vida y estilos de vida más saludables.

Objetivo de la solución

Se desea conocer la postura corporal de ancianos mientras realizan actividades de la vida diaria, para lo cual proponemos el monitoreo de actividades mediante un sistema de sensores fijado a la columna que consta de tres sensores inerciales (acelerómetros y

giroscopios). Además de corroborar la precisión de estos sensores, nos interesa conocer la percepción del usuario hacia el dispositivo.

Diseño y Desarrollo

Al entender las condiciones, características y necesidades de las personas mayores que viven en hogares asistidos se plantea el rediseño del dispositivo usado en el caso I, considerando aspectos de precisión y experiencia de usuario se desarrolla un nuevo prototipo denominado StraightenUp+. Para mejorar la precisión se utilizaron tres sensores inerciales, cada uno compuesto por un acelerómetro triaxial y un giroscopio triaxial. Los datos registrados por estos sensores son usados para desarrollar un algoritmo de reconocimiento de actividad constante utilizando un árbol de decisión. A diferencia del diseño del caso I, en el que presentamos 3 bandas que cruzan la parte superior, media e inferior del tronco, junto a una caja situada al costado de la banda inferior, optamos por un arnés que tiene la forma de una mochila con dos bandas que pasan por los hombros y una banda que pasa por la cintura. Los sensores y la tarjeta principal se encuentran en la banda posterior.

Evaluación

En esta etapa los participantes fueron 30 ancianos (15 mujeres, 15 hombres) con edades desde 60 hasta 83 años. Todos los participantes viven en un hogar asistido y tienen un alto grado de dependencia. En cuanto a las competencias digitales, 28 personas carecen de habilidades digitales y 2 son altas o medianas. Los participantes usaron el dispositivo aproximadamente 20 minutos mientras realizaban una secuencia predefinida de actividades de gimnasia como, por ejemplo; caminar, sentarse, tocar la punta de los pies, alzar los brazos y bajar los brazos. Luego, evaluamos la experiencia del usuario, en términos de usabilidad y apariencia mediante el cuestionario de Attrakdiff junto a entrevistas semiestructuradas para conocer la satisfacción del uso de StraightenUp+.

Contribución

La contribución de este documento es un nuevo enfoque para el monitoreo de la actividad mediante un dispositivo portátil adherido al tronco que mide la postura (ángulos tanto en el eje “x” como en el eje “y”). Este dispositivo puede identificar las actividades de la vida diaria como; caminar, pararse, sentarse, tocar la punta de pies, levantar brazos, bajar brazos y posturas transicionales como inclinarse para pararse o inclinarse para sentarse. Además, este trabajo evalúa la experiencia de usuario de personas mayores con bajas competencias digitales cuando interactúan con un dispositivo portátil adherido al tronco.

1.5. Resultados

1.5.1. Caso I. Implementación y evaluación de un dispositivo portátil para postura de columna

Esta sección presenta el análisis de los resultados obtenidos de la evaluación de StraightenUp en personas sanas. Primero mostramos los resultados de StraightenUp para el monitoreo de la postura. Luego, discutimos y realizamos un análisis cualitativo de las entrevistas individuales, y finalmente mostramos los resultados de la experiencia del usuario medido con el cuestionario de Attrakdiff.

1.5.1.1. Rendimiento de StraightenUp

Datos acelerómetro

La Tabla 1.1 muestra los valores promedio y desviación estándar sobre las seis posturas (extensión, rígido, relajado, inclinado 60 grados, inclinado 30 grados, flexión) caracterizadas por los tres sensores (s1, s2, s3). La concentración de datos del sensor 1 durante las posturas de extensión y flexión son dispersas en relación con los datos de las otras posturas. Esta dispersión de datos probablemente es una consecuencia de la orientación

del sensor por los movimientos de la cabeza al colocar su tronco totalmente extendido o flexionado. Por otro lado, el sensor 2 presenta mayor variabilidad en las distintas posturas respecto a los otros dos sensores, posiblemente debido a la diferente contextura de cada participante.

Tabla 1.1. Estadística descriptiva (M = media, SD = desviación estándar)

Postura	Sensores					
	s1		s2		s3	
	M	SD	M	SD	M	SD
Extensión	-56,62	14,92	49,32	57,38	-47,36	52,27
Rígido	-45,72	5,27	-36,6	70,37	-60,26	28,92
Relajado	-42,94	4,38	-29	78,41	-60,88	29,33
Inclinación 60°	-20,24	6,52	-59,5	5,73	-48,35	11,83
Inclinación 30°	-4,96	9,45	-33,8	15,81	-35,07	12,66
Flexión	11,78	24,27	-0,62	17,04	-13,37	14,71

Matriz de confusión

Los resultados de clasificación de posturas se muestran en la Tabla 1.2, se observa que el modelo de clasificación estadística es robusto y capaz de discriminar con precisión entre seis posturas corporales con un 99,5% de casos correctos. El error que se presenta en la clasificación se debe a la similitud de las posturas entre; rígido, relajado y extensión.

Tabla 1.2. Matriz de confusión para la clasificación de posturas estáticas

	Extensión	Rígido	Relajado	60°	30°	Flexión	Índice TP %	Precisión %
Extensión	1490	6	3	0	0	0	99,3%	99,7%
Rígido	2	1485	13	0	0	0	99%	99,1%
Relajado	2	7	1491	0	0	0	99,4%	98,9%
60°	0	0	0	1496	4	0	99,7%	99,9%
30°	0	0	0	1	1498	1	99,9%	99,7%
Flexión	0	0	0	0	0	1500	100%	99,6%

1.5.1.2. Análisis de entrevistas

Los investigadores transcribieron los comentarios de las entrevistas individuales y construyeron un mapa temático (Ver Fig. 1.3). Podemos ver que los principales temas discutidos son: motivación de uso, percepción del dispositivo, frecuencia de uso y expectativas.

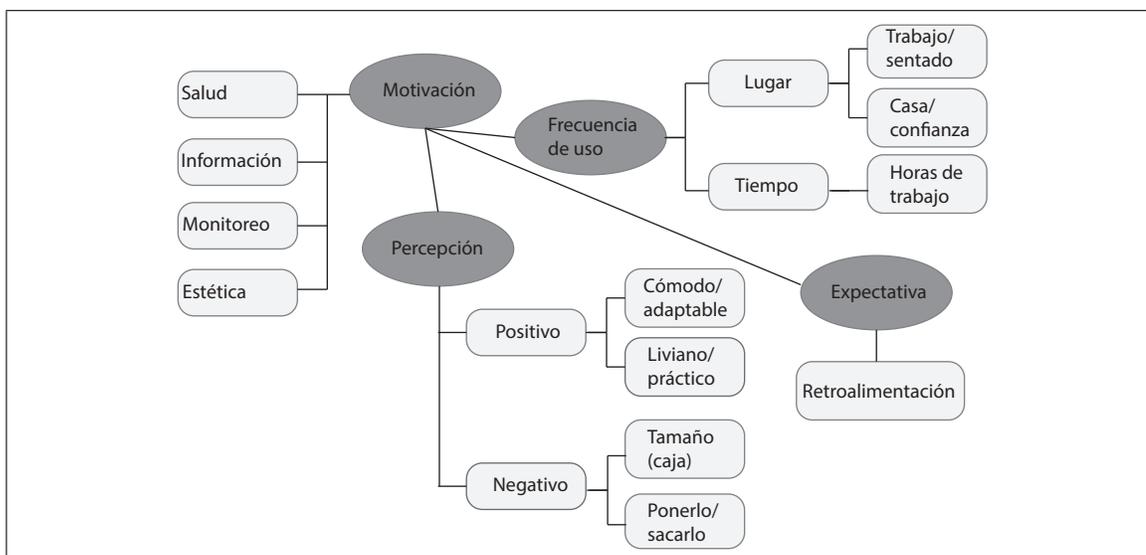


Figura 1.3. Mapa temático de las entrevistas individuales

El mapa temático permitió que emergieran los siguientes temas de las entrevistas individuales de los participantes. Para identificar las citas hemos usado la letra P:

- (i) **Percepción del dispositivo:** En general, a todos los participantes les gustó el concepto y lo encontraron útil y práctico. Describieron la interacción general con el dispositivo como muy cómoda, y les gustó el concepto de prenda de vestir que se ajusta al cuerpo. *“Es bastante simple no es un dispositivo que tenga o que sea difícil de instalar o ponerse bastante práctico, que casi no tiene cable”*(P3). Sin embargo, la mayoría de participantes señalaron que la caja ubicada en la parte lateral de la banda inferior es grande e incómoda para algunas posturas. *“No es muy estético, la caja debe estar más fija y menor el bulto que hace en el cuerpo”* (P5).

- (ii) **Motivación del uso:** Los participantes mencionan que la información proporcionada por el dispositivo puede mejorar los hábitos posturales y reducir la incomodidad en la columna vertebral. *“Yo creo que si lo usaría, porque bueno yo tengo problemas en la espalda corregir la postura es importante uno no está tan consiente en el día tratando de recordar cada momento que tengo que corregir mi postura como para eliminar el dolor que siento”*(P12). Un participante muestra ningún interés en el dispositivo. *“Creo que no usaría el dispositivo por cuestiones personales, para mejorar la postura haría ejercicio mejorar la conciencia corporal de manera menos artificiales”* (P15).
- (iii) **Frecuencia de uso:** El lugar apropiado para usar el dispositivo por parte de la mayoría de participantes es la oficina (lugar de trabajo) durante las horas que están sentados. *“El tiempo que estoy en el trabajo más tiempo sentado y es cuando más dolor tengo cuando estoy en el trabajo, es un ambiente de confianza no en la calle lo vea y por ejemplo y daría un poco de vergüenza”* (P8).
- (iv) **Expectativas del dispositivo:** Todos los participantes indicaron que una señal de retroalimentación es necesario para alertar malas posturas. *“Sería super útil como pa saber hoy hiciste esto con una buena postura, una notificación más que el dispositivo me vibre o me suene prefiero que fuese más silencioso que se notara que lo estoy usando”* (P29).

1.5.1.3. Experiencia del usuario

La evaluación de la experiencia del usuario esta basada en el cuestionario de AttrakDiff que mide cuatro dimensiones: calidad pragmática (PR), es la experiencia sobre el atractivo del producto, en términos de usabilidad y utilidad. Los factores hedónico estimulación (H-S) y hedónico identidad (H-I) incluyen necesidades emocionales, como la curiosidad y la identificación. El atractivo resultante (AT) se basa en el encanto general del producto.

StraightenUp obtiene la mejor puntuación en atracción (AT; M 0,92) seguida del atributo pragmático (PR; M 0,89) y la cualidad hedónico de estimulación (H-S; M 0,89), mientras que la puntuación más débil se encuentra en la categoría de cualidad hedónico identidad (H-I; M 0,49). Esta información se muestra en la Figura 1.4.

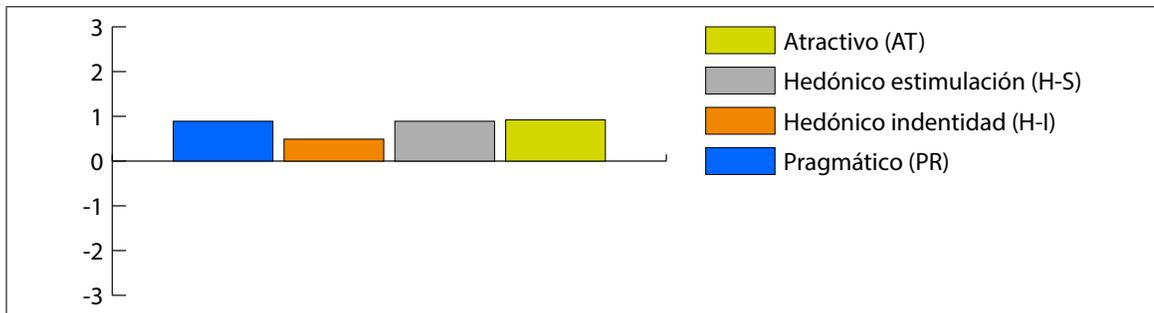


Figura 1.4. Valores promedio de atractivo (AT), cualidad pragmática (PR), hedónica identidad (H-I) y característica hedónica estimulación (H-S)

Algunos aspectos como mal gusto, baja calidad, cauto y feo; tuvieron puntuaciones por debajo de cero (Ver Fig. 1.5), esto significa que StraightenUp se percibe como un dispositivo no presentable, es decir, no tiene la apariencia de un producto terminado. Los participantes sugieren que algunos aspectos como el número de correas y el tamaño de la caja podrían ser reducidos.

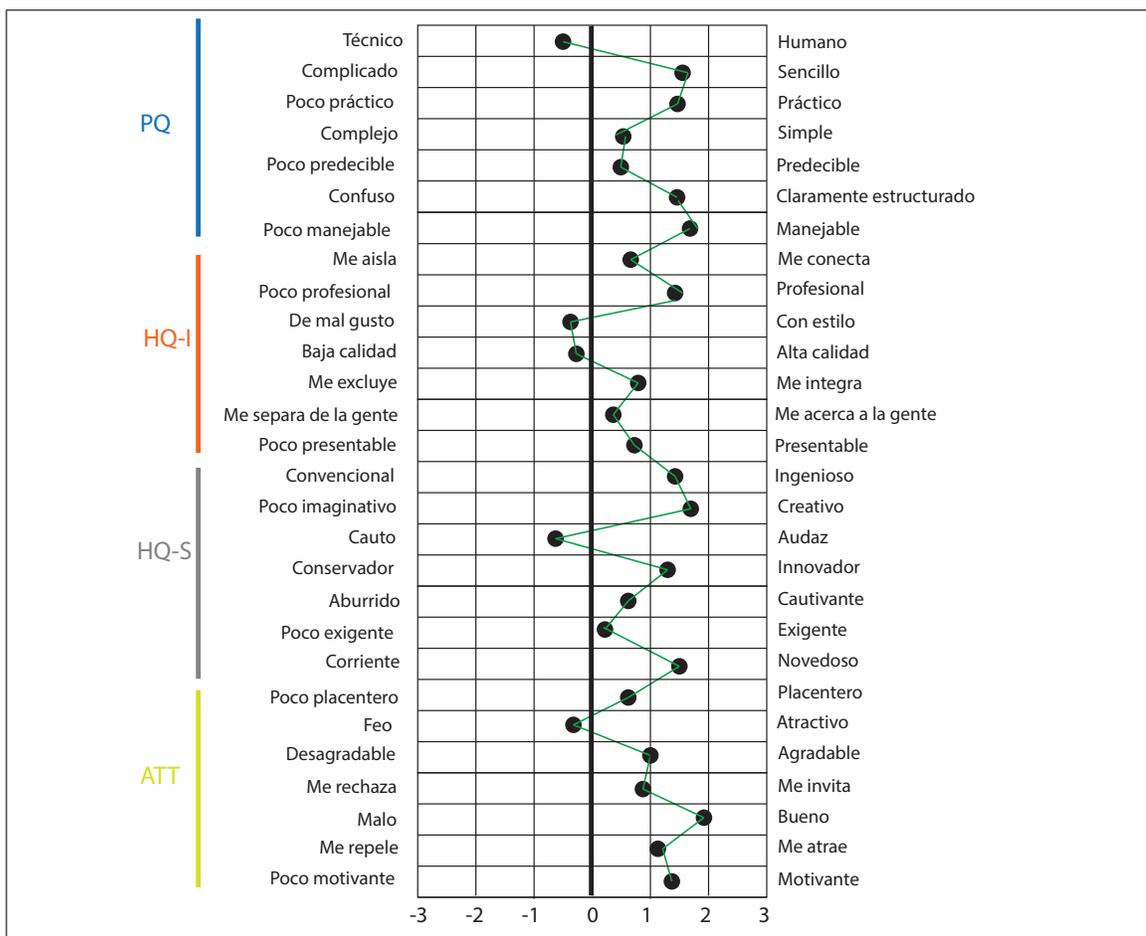


Figura 1.5. Evaluación del par de palabras sobre StraightenUp

1.5.2. Caso II. Identificar, mediante observación, las actividades diarias de adultos mayores institucionalizados

Los resultados obtenidos de la observación de las personas mayores que viven en una Institución sobre la participación y comportamiento durante las actividades en un día cotidiano abarcan dos grandes áreas: (1) condiciones de salud y (2) relaciones interpersonales. Para identificar las citas hemos usado la letra O de observación.

1.5.2.1. Condiciones de Salud

Durante las observaciones los sujetos mostraron varios aspectos sobre sus limitaciones en cuanto al estado funcional, emergiendo 3 categorías: (1) envejecimiento no activo, (2) hábitos nutricionales y (3) dependencia (dispositivo auxiliar para caminar).

Envejecimiento no activo

Se observa que, de un total de 69 residentes, la participación en las actividades físicas es baja (35%). “Para la realización de los ejercicios todos los participantes están sentados, algunos intentan seguir las instrucciones dadas por el kinesiólogo, sin embargo, ellos tienen dificultades con la orientación, posiblemente por problemas visuales, auditivos, físicos o cognitivos”. (O1,3)

Hábitos nutricionales

Esta subcategoría se refiere al tipo de alimentos que consumen los residentes, la mayoría de ellos eligen alimentos dulces. “Durante las actividades físicas se hace una pausa para la colación, hay tres opciones de comida: jalea, quaker o leche, la mayoría prefiere jalea”. (O1,9)

Dependencia

Esta subcategoría se refiere al estado funcional del adulto mayor para moverse. “Los participantes van llegando de a poco a las actividades físicas, algunos necesitan ayuda para trasladarse, ellos usan dispositivos auxiliares como silla de ruedas, bastón o andador” (O1,12)

1.5.2.2. Relaciones interpersonales

Esta dimensión emergió de observar y escuchar las interacciones entre los residentes del Instituto durante actividades cotidianas, donde se percibe que ellos tienen escasa comunicación con sus compañeros. En este caso se identificaron 3 categorías: (1) participación, (2) segregación por género y (3) interacción.

Participación

Este apartado, se refiere a las actividades físicas que los residentes son convocados a participar de forma grupal (hombres y mujeres), estas actividades pueden resultar abrumadoras para el residente: “Durante las actividades grupales, los residentes hombres prefieren observar las actividades de sus compañeros”. (O1,11) “Hay tres residentes mujeres ubicadas en el centro de la pista junto al instructor, los demás observan desde sus puestos.”. (O1,14)

Segregación por género

Esta subcategoría se refiere a la restricción de espacios de acuerdo con el género: “Los residentes hombres no pueden servirse sus alimentos en el comedor de mujeres. Cada área está organizada y adecuada de acuerdo con las necesidades de los residentes. “En el comedor tanto de hombres como en el de mujeres; tienen asignado un puesto específico en la mesa.” (O1,22)

Interacción

Finalmente, esta subcategoría se refiere a que los adultos mayores institucionalizados podrían no sentir interés por conocer y ser amigo de sus compañeros. “En el comedor específicamente de los residentes hombres, hay silencio durante la hora de comida”. (O1,20)

1.5.3. Caso III. Reconocimiento de actividades para adultos mayores, basado en un dispositivo portátil

Esta sección presenta el análisis de los resultados obtenidos de la evaluación de StraightenUp+ en personas mayores con vida asistida. En primer lugar, mostramos los resultados de la clasificación de actividades que fueron evaluados con R^2 y el software libre Weka³. Luego se muestra la evaluación de las características cualitativas, se codifican las notas de voz y se discuten los temas recurrentes, y finalmente se presenta los resultados de la experiencia del usuario el cual consiste en cuestionarios específicos para la percepción de utilidad del dispositivo. Se les preguntó a los participantes cómo percibían las características de StraightenUp+ para calificar su impresión con respecto a la opinión general, el uso, la impresión y la interacción.

1.5.3.1. Clasificación de actividades

Las diferentes actividades y sus descripciones se dan en la Tabla 1.3. Los datos adquiridos fueron etiquetados manualmente.

Tabla 1.3. Lista de actividades (A1...A8)

Actividad	Descripción de la actividad
A1	Caminata
A2	Transición de parado a sentado
A3	Sentado
A4	Tocar la punta de los pies
A5	Levantar brazos
A6	Bajar brazos
A7	Sentado erguido
A8	Transición de sentado a parado

²R, disponible en: <https://www.rstudio.com/products/rstudio/download>

³Weka, disponible en: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>

Descripción estadística

La Tabla 1.4 contiene información descriptiva: la media aritmética y la desviación estándar, para cada uno de los sensores (s1, s2, s3) considerado a lo largo de las actividades (A1...A8). Se observa que los valores que se obtienen de los tres sensores durante la actividad A4 tienen mayor dispersión con respecto a las demás actividades. La ejecución de esta actividad demanda esfuerzo para algunos participantes.

De igual manera, podemos observar que el sensor uno, el cual está ubicado en la parte superior del tronco, tiene mayor variabilidad en relación con los otros dos sensores (s2 y s3) que están ubicados en la parte media e inferior del tronco.

Tabla 1.4. Estadística descriptiva (M = media, SD = desviación estándar)

Actividades	Sensores					
	s1		s2		s3	
	M	SD	M	SD	M	SD
A1	-26,46	9,71	-80,13	5,27	-77,26	6,82
A2	4,2	17,06	-65,9	11,49	-63,13	12,33
A3	-33,65	9,48	-77,14	7,18	-78,67	7,49
A4	22,19	22,23	-55,28	17,05	-56,38	15,84
A5	-49,01	11,14	-66,56	8,19	-76,25	8,02
A6	-32,47	9,99	-75,45	8,63	-77,48	8,13
A7	-40,22	9,08	-70,75	6,36	-77,35	7,64
A8	-4,56	19,61	-70,16	12,69	-67,62	11,25

Matriz de confusión (Weka)

El resultado de la clasificación de actividades desde un algoritmo basado en árbol de decisión se muestra en la Tabla 1.5, se observa que en general las actividades desde la A1 hasta la A8 se clasifican de forma correcta con una tasa de precisión de 93,5%. Se muestra que las confusiones en la mayoría de los casos ocurren con respecto a la actividad A1 como (A1, A3), (A1, A8). También se puede observar que las actividades como A5, A6, son más fáciles de reconocer que las actividades de transición como A2, y A8.

Tabla 1.5. Matriz de confusión para actividades

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	TP Rate %	Precision %
A1	3158	6	25	6	4	3	4	3	0,98%	0,93%
A2	43	289	2	41	1	0	2	9	0,75%	0,86%
A3	60	2	772	0	10	5	3	0	0,91%	0,93%
A4	34	12	5	1213	2	2	1	4	0,95%	0,94%
A5	12	3	14	1	709	9	16	0	0,93%	0,95%
A6	18	1	4	5	7	443	4	1	0,92%	0,96%
A7	18	1	5	2	9	2	882	0	0,96%	0,90%
A8	49	23	2	23	5	2	3	159	0,60%	0,94%

1.5.3.2. Características cualitativas

Entrevistas

Para comprender cómo se sintieron los residentes usando el dispositivo StraightenUp+, codificamos notas de entrevistas semiestructuradas y seleccionamos temas recurrentes de los entrevistados. Las citas de los usuarios del dispositivo se identifican de la siguiente manera; participante 1 (P1). En la siguiente sección se presentan cuatro temas principales que fueron identificadas entre los residentes:

- (i) **Percepción del dispositivo:** La mayoría de residentes señalan que el dispositivo es cómodo de usar, las bandas son flexibles que se ajustan a la contextura y proporciona sensación de protección “*No molesta para nada, todo lo contrario, me sentía como protegida. Las bandas era como que me hubiera puesto una ropa*” (P18). Además, para ellos el dispositivo es liviano, practico e imperceptible. Un participante indicó la forma del dispositivo mediante una comparación, “*Una cosa normal diría yo. No me incomodó para nada, pero no lo sentí. Era como cualquier mochila*” (P25). Sin embargo, un participante señala inconformidad respecto al uso del dispositivo. “*No lo usaría por una, no estoy habituado, y otra estaría siempre preocupándome de andar perfecto parecería una maquina*” (P1).

- (ii) **Motivación de uso:** La mayoría de los participantes valoraron el dispositivo como un artículo que puede ayudar en su salud. Un participante señala que el dispositivo podría servir de soporte para mantener el equilibrio. *“Yo lo usaría, según el tiempo. Si le hace bien a uno de la enfermedad, no tengo dolor de columna nada. Pero tengo problemas con el movimiento del cuerpo, porque a veces voy andando y de repente se me va. Si fuera el cuerpo a un lado y analice entonces podría pescar con algún gancho alguna cosa lo pescaría entonces ahí estaría controlando el dispositivo”* (P3). Para algunos el dispositivo proporciona seguridad. *“Cuando camino, para no caerme para estar segura de que voy caminando bien. Yo salgo mucho a la calle, tengo 84 años, tomo micro, tomo el metro, y me gustaría estar segura de que no me voy a caer ni me van a empujar ni van a botar”* (P24).
- (iii) **Frecuencia de uso:** Algunos participantes señalan que sería apropiado usarlo durante la ejecución de ejercicios físicos, otros prefieren usarlo durante las horas de reposo. *“Unas dos horas, en las horas de reposo que es lo que no impide entre tiempo de trabajo”* (P7). También hay usuarios que desean usarlo mientras el dispositivo no sea visible. *“Para mi debería ser interior eso es lo básico, porque nadie se daría cuenta ni nadie me criticara ni nadie me estaría diciendo si uso o no uso”* (P4).
- (iv) **Expectativas:** Dado a las condiciones de algunos usuarios, el dispositivo debería presentar retroalimentación táctil o auditiva para mejorar la acción de ponerlo y quitarlo. *“Podrían mejorar, que uno no se equivoque en poner, que le pongan, como es que dijera..., algo que uno no se equivoque al ponerlo, para que no se mande ningún, como decimos en Chile, ningún condoro. Algo como que le diga cuál es el izquierdo, cuál es el derecho”* (P18). Por otro lado, algunos participantes desean usar StraightenUp+ de forma continua para conocer más el sistema y acostumbrarse a él. *“Mire a mí me gustó todo, porque me imagino que este dispositivo debe ser genial. Lo que uno no está acostumbrada con estas*

cosas, pero al final se acostumbra a las cosas que uno nunca ha usado. Siempre y cuando ayude en algo eso si” (P23).

Experiencia del usuario con StraightenUp+

La escala de cuestionario de AttrakDiff evaluó la percepción de los usuarios sobre la eficiencia del sistema, la satisfacción, el compromiso y el atractivo del uso. La escala investigó cuatro dimensiones posibles del sistema el atractivo percibido del producto (AT), calidad pragmática (PR), calidad hedónica identidad (H-I) y calidad hedónica estimulación (H-S). Como se muestra en la Figura 1.6, los puntajes promedio mostrados de las cuatro dimensiones se encuentran en la región positiva con valores por encima de 1, siendo la cualidad atractiva con mejor puntuación (AT=2,11), por el contrario, la característica que obtuvo la puntuación más baja es la cualidad hedónico estimulación (H-S=1,05). Por lo tanto, los participantes se sintieron atraídos, satisfechos, motivados y estimulados por el dispositivo.

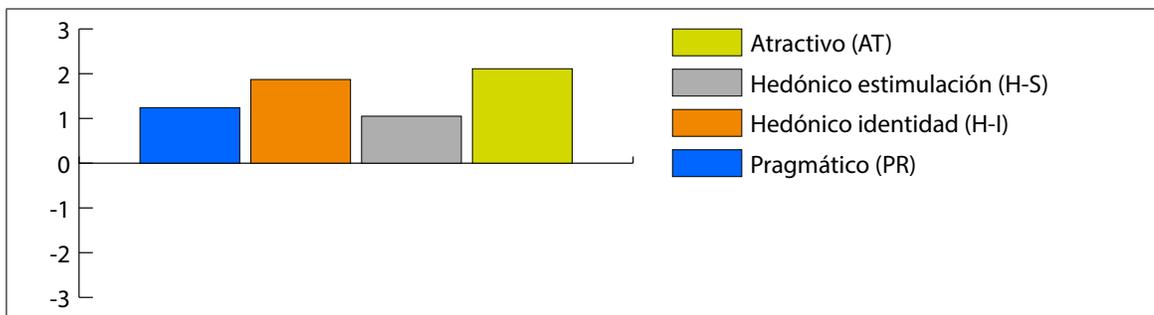


Figura 1.6. Puntuaciones en las cuatro dimensiones de Attrakdiff

En la Figura 1.7, se observa en detalle la calificación subjetiva de los participantes hacia StraightenUp+. El dispositivo se calificó a través de 28 categorías de pares de palabras. En general, el dispositivo se evaluó de manera altamente positiva en términos de atracción (por ejemplo, agradable, bueno y motivante). Sin embargo, características de estimulación como conservador y poco exigente tiene puntuaciones negativas. Es decir, el dispositivo tiene características familiares (prenda de vestir) y no demanda carga cognitiva.

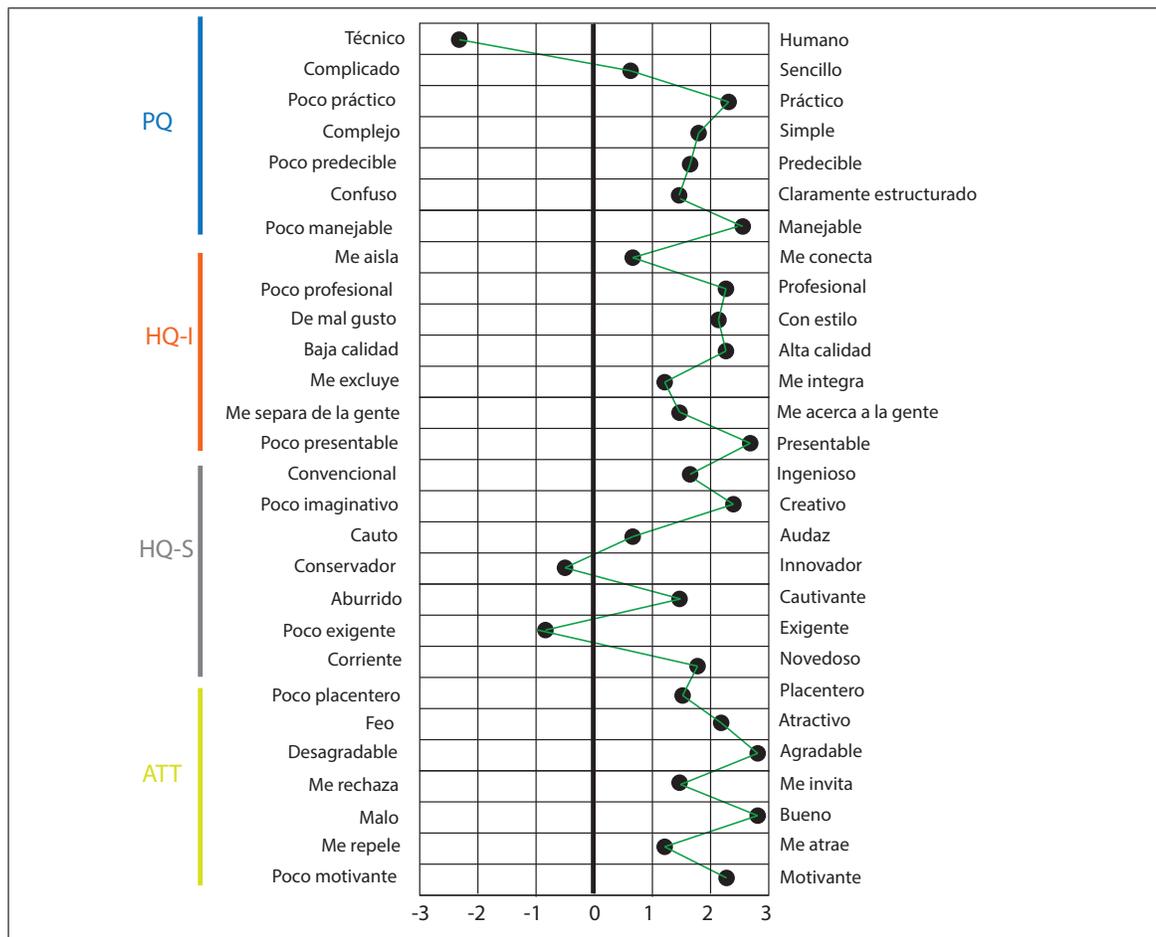


Figura 1.7. Evaluación del par de palabras sobre StraightenUp+

1.6. Discusión

Este estudio presenta el diseño, implementación y evaluación de StraightenUp (en dos versiones) para el monitoreo de postura y movimiento corporal mediante un sistema de sensores unidos al tronco. Este dispositivo consta de 3 sensores inerciales distribuidos a lo largo de la columna. Se demuestra la precisión y satisfacción de StraightenUp con personas jóvenes y mayores.

La precisión de StraightenUp fue prometedora, lo que significa que podría apoyar el monitoreo y control del movimiento corporal, que a su vez apoyan el diagnóstico clínico

y los tratamientos médicos. Los resultados fueron consistentes con otros que utilizaron sensores inerciales (Martinez-Mendez et al., 2012; Sheehan et al., 2014).

Las entrevistas y cuestionarios sobre la percepción en términos de usabilidad y apariencia de StraightenUp demostraron entusiasmo y satisfacción en el uso de éste. Muchos de los participantes que entrevistamos citaron la comodidad, practicidad y familiaridad del dispositivo, ellos lo compararon con un mochila liviana e imperceptible. Estas características podrían presentar potencial para aumentar el uso (Shih et al., 2015; C. Lee, 2013).

La mayoría de personas mayores involucradas en este estudio declara no haber usado computador/internet, ellos usan teléfonos análogos para solamente realizar o recibir llamadas. A pesar de la falta de interacción con la tecnología, los participantes de este estudio estaban muy interesados en usar la tecnología siempre y cuando ayude en algo. Uno de los factores importantes para la adopción tecnológica por parte de los usuarios es que "necesitan convencerse del valor" (Ehrenhard et al., 2014; Young et al., 2014; Heinz et al., 2013). Estudios anteriores muestran que las personas mayores están dispuestos a probar nuevos sistemas tecnológicos, algunos ancianos ya explotan fácilmente los servicios en línea como búsqueda de información, comunicación con familiares y amigos, uso de redes sociales o pagos en línea (Machado et al., 2015). Algunas de las lecciones más importantes que se aprendió en el transcurso de este estudio se relacionaron con la reacción que nuestros participantes mostraron luego de usar el dispositivo. Los participantes jóvenes están interesados en la estética y utilidad de StraightenUp, ellos señalan que se podría usar bajo la ropa para controlar la postura espinal durante las horas de trabajo. Por el contrario, los participantes mayores se centraron en la utilidad del dispositivo, manifiestan la sensación de apoyo en los movimientos. Se cree que las personas mayores institucionalizadas que fueron parte de este estudio mostraron actitudes receptivas hacia el dispositivo por el deseo de compañía y seguridad o compromiso social. De hecho, estudios similares demuestran esta acción (Fernández-Mayoralas et al., 2015).

La principal limitación de este estudio es el tiempo de interacción con el dispositivo, fue un período deliberadamente corto (30 minutos), con el objetivo de obtener impresiones iniciales. Existe una gran oportunidad para probar dispositivos portátiles durante períodos más largos para determinar la adherencia a largo plazo y para probar los dispositivos con una población adulta mas joven.

1.7. Conclusiones

Se evaluó la experiencia del usuario al monitorear la postura de la columna de personas jóvenes y mayores mediante un sistema de sensores fijado a la columna que consta de tres sensores inerciales (acelerómetros y giroscopios). El desarrollo, diseño y evaluación del sistema consta de tres casos: (1) Diseño, implementación y evaluación de un dispositivo portátil para monitorear la postura de la columna en personas sanas. (2) Observación de comportamientos, limitaciones, necesidades de los ancianos con vida asistida mientras realizan actividades físicas para conocer y entender el nivel de actividad de estas personas. (3) Rediseño y evaluación del dispositivo en ancianos con bajas competencias digitales. En el primer caso, el dispositivo portátil nombrado como StraightenUp clasificó 6 posturas humanas en tiempo real mediante tres acelerómetros triaxiales adheridos al tronco. La experiencia del usuario en términos usabilidad y apariencia fue positiva. Los participantes valoran la utilidad que podría ofrecer este dispositivo al controlar la postura durante las horas de trabajo, aumentando la conciencia corporal y disminuyendo la incomodidad de la columna vertebral. Sin embargo, algunos de los participantes no percibieron que el dispositivo fuera útil y cómodo, para ellos el control de la postura debe ser menos artificial, la cantidad de las bandas y el tamaño de la caja deben ser reducidos para mejorar la adaptación al cuerpo. En el segundo caso, se identifica características con relación a la salud y relaciones interpersonales de personas mayores institucionalizadas. Estas personas muestran poco interés en las actividades físicas, la interacción social es baja, tienen alto grado de deterioro funcional, la mayoría de residentes usa dispositivos para moverse.

Finalmente en el tercer caso, se muestra un enfoque diferente para el reconocimiento de actividad y postura para personas mayores mediante un dispositivo portátil adherido al tronco llamado StraightenUp+ (versión mejorada de StraightenUp). Este dispositivo puede identificar las actividades de la vida diaria como; caminar, pararse, sentarse, tocar la punta de pies, levantar brazos, bajar brazos y posturas transicionales como inclinarse para pararse o inclinarse para sentarse. Los participantes fueron inicialmente receptivos y entusiastas con el uso del dispositivo portátil para el monitoreo de actividades físicas, resaltaron la importancia de la comodidad, la practicidad y la familiaridad. Para algunos el dispositivo tiene apariencia de un chaleco o una mochila, que debería tener retroalimentación táctil o auditiva para mejorar la acción de ponerlo y quitarlo. Se cree que la atracción hacia el dispositivo se debe a la pasividad de los residentes, la falta de interacción directa con la tecnología y el poco tiempo de uso del dispositivo. En este estudio se presentan algunas ideas sobre las direcciones futuras y los desafíos en este contexto de aplicación, sería interesante evaluar el sistema en una población de adulto mayor en otro contexto, por ejemplo, personas que viven de forma independiente y son físicamente activos. La investigación debe continuar explorando los beneficios de las tecnologías de monitoreo de la actividad específicamente para adultos mayores, estas podrían proporcionar nuevas formas de identificar comportamientos y realizar un seguimiento de los cambios a largo plazo de la movilidad en la vida cotidiana de esta población, esto podría apoyar un estilo de vida saludable y activo.

2. STRAIGHTENUP+: MONITOREO DE POSTURA DURANTE ACTIVIDADES DIARIAS PARA PERSONAS MAYORES USANDO DISPOSITIVOS PORTÁTILES

2.1. Introducción

El nivel de actividad asociado al movimiento en personas mayores puede ser un determinante de su salud y estado funcional. Existe evidencia de que factores como el bajo nivel de actividad física (Sallis et al., 1985) y el desequilibrio sagital (Glassman et al., 2005) contribuyen al deterioro de la salud y calidad de vida.

El monitoreo de la postura humana y el análisis del movimiento durante las actividades diarias pueden ser útiles para controlar de forma remota la salud de los pacientes, especialmente las personas mayores con movilidad limitada y mayor dependencia (Groessl et al., 2007). A largo plazo, este monitoreo podría usarse para identificar el comportamiento, la forma y la intensidad con la que se llevan a cabo las actividades (Godfrey et al., 2008). Esta información puede ser útil para los médicos e investigadores que buscan comprender el desarrollo y la progresión de una enfermedad, ya que ciertas afecciones crónicas podrían estar relacionadas con el tiempo que pasaron en posturas inapropiadas o inactividad general. La mala postura prolongada puede causar problemas físicos como dolor de espalda, disfunción espinal, enfermedad degenerativa de las articulaciones y fatiga muscular (Kamitani et al., 2013), así como aumentar el riesgo de pérdida de equilibrio y caídas, particularmente en personas mayores (Schwab et al., 2006).

Existen varios enfoques para medir la postura y el movimiento humano, las cuales varían según las necesidades específicas, la viabilidad y la precisión. Los métodos subjetivos, como los diarios, los cuestionarios y las encuestas, son de bajo costo, pero pueden verse afectados por el sesgo de recuerdo o requerir interpretación (Schrack et al., 2016). Los métodos basados en observación, como la grabación de video, tienen los beneficios de la observación directa, pero son difíciles de implementar para grupos grandes (Tedesco et

al., 2017) o personas que no se encuentran en un lugar fijo. Otro enfoque es usar sensores, ya sea sensores de teléfonos inteligentes (Lu et al., 2017), sensores de reloj inteligente (Shahmohammadi et al., 2017) o sensores fijos conectados al cuerpo, que se han usado para medir parámetros físicos y fisiológicos; por ejemplo, midiendo el consumo de energía metabólica (Freedson & Miller, 2000) y la estabilidad de la postura corporal (Bertolotti et al., 2016; Fanchamps et al., 2018; Soangra & Lockhart, 2018); predecir caídas (Bourke et al., 2007; Howcroft et al., 2017; Cola et al., 2015); y detectar actividades diarias regulares (Ermes et al., 2008; Montalto et al., 2015). Los sistemas de clasificación de actividad física basados en sensores se pueden describir en términos de varios factores: conjunto de datos (donde se recopilaban las actividades y qué actividades se eligieron como relevantes), número de sensores, ubicación de sensores, conjunto de características, tamaño de ventana y clasificador (Awais et al., 2016). La gran variedad de estudios (en tipo de dispositivo, ubicación e interpretación de datos) presenta un desafío cuando se comparan resultados entre estudios, y se necesita más investigación para establecer pautas que permitan comparar los datos del acelerómetro para usuarios de edad avanzada (Schrack et al., 2016).

Hay una gran cantidad de investigaciones sobre los dispositivos basados en acelerómetro para controlar las actividades diarias. Una revisión sistemática de la investigación de monitoreo de actividad basada en acelerómetro hasta 2010 encontró que aunque un mayor número de acelerómetros proporciona una mayor precisión, un solo acelerómetro montado en la cintura podría ser un buen acuerdo entre comodidad y precisión (Cheung et al., 2011). Varios estudios recientes han demostrado que esto es cierto. Un acelerómetro se ha utilizado con éxito para detectar algunas actividades (por ejemplo, caminar, saltar, correr, estar parado y transiciones entre sentarse y pararse, arrodillarse y pararse) (Gupta & Dallas, 2014). Se usó un acelerómetro basado en la muñeca para discriminar entre caminar y otras actividades (Papadopoulos et al., 2015), y un acelerómetro colocado en el tronco inferior fue capaz de distinguir caminar y subir escaleras / descenso (Weiss et al., 2016).

Algunos estudios indican que los sensores portátiles colocados en la cintura proporcionan la mayor precisión para predecir los movimientos del cuerpo (Pannurat et al., 2017), ya que el centro de gravedad de una persona está más cerca de la cintura y, por lo tanto, los datos generados pueden ser más confiables (Doughty et al., 2000). Los sensores de fuerza junto con los sensores de aceleración también se han colocado en la superficie plantar del pie para medir la información para el reconocimiento confiable de posturas y actividades diarias típicas (Sazonov et al., 2013; Saito et al., 2011). La posición de los sensores debe equilibrar la discreción y la precisión (Moschetti et al., 2016). La colocación de acelerómetros en múltiples ubicaciones puede ser molesta para el usuario, especialmente en las aplicaciones de supervisión a largo plazo (Cates et al., 2018). La colocación de acelerómetros en la cintura o la cadera ha provocado problemas de cumplimiento, y los participantes han mencionado las molestias y la inconveniencia de usar el dispositivo durante períodos prolongados (Troiano et al., 2014). Además, colocar acelerómetros en la cintura requiere consideración para los participantes con obesidad (Berlin et al., 2006), con algunos estudios que limitan la cantidad de tiempo que los usuarios usan dispositivos por este motivo (Innerd et al., 2018). Un estudio reciente descubrió que la muñeca era la colocación preferida de una prenda de vestir, seguida del pecho y, por último, la cintura (Zhang et al., 2016). Otro estudio encontró que los usuarios mayores no mostraron una clara preferencia sobre la colocación de un dispositivo portátil en el brazo, el cuello, la cintura o la muñeca (Rodríguez et al., 2017).

Sensores flexibles y portátiles, por ejemplo; sensores de tensión flexibles y elásticos, se han utilizado para controlar el movimiento de los cuerpos de los usuarios (Nag et al., 2017). Estos sensores también se han usado para controlar la postura; por ejemplo al colocar los sensores en la rodilla y la cadera los investigadores pudieron clasificar de pie, sentado, sentado con las rodillas extendidas y algunas posturas espinales (Cha et al., 2017). Los desafíos con respecto a estos sensores son similares a los de los dispositivos portátiles basados en acelerómetros, por ejemplo, la comodidad de los usuarios y el efecto de los sensores en el cuerpo (Nag et al., 2017).

Los patrones de movimiento de personas jóvenes y sanos pueden diferir de personas mayores o personas con problemas de movilidad. Por ejemplo, los trastornos de la marcha, la lentitud de la marcha y el uso de un bastón para caminar incrementan los errores del seguidor de pasos (Tedesco et al., 2017). Varios estudios se han centrado en personas con anomalías de la marcha y trastornos neuromusculares (Feldhege et al., 2015) o pacientes con accidente cerebrovascular (Massé et al., 2015). Otros estudios se han centrado en detectar actividades de participantes mayores. Se utilizaron dos acelerómetros (colocados en el tronco y el muslo) para clasificar seis actividades de la vida diaria para mayores, con una tasa de detección de errores del 2,8% (Liu et al., 2017). Otro estudio se centró específicamente en gestos con las manos (por ejemplo, comer, beber, cepillarse el pelo) (Moschetti et al., 2016).

Aunque una gran cantidad de trabajo ha estudiado los algoritmos de clasificación, ubicación y canticación de sensores para la detección de actividad física, se ha enfocado poco en la experiencia del usuario, es decir, cómo los usuarios mayores se relacionan con este tipo de dispositivos portátiles y cómo mejorar su experiencia con ellos. Un trabajo reciente ha resaltado esta necesidad, evaluando el uso de un cinturón para el control de riesgos de caída basado en sensores con una perspectiva de experiencia del usuario (Wu & Munteanu, 2018). Cuando se diseña tecnología portátil para personas mayores, es importante considerar que las personas mayores son un grupo muy heterogéneo que se relacionan con internet y la tecnología de manera diferente a las personas más jóvenes (Stedmon et al., 2012b). Los usuarios mayores se enfrentan a un acceso desigual y barreras de habilidades digitales más bajas para adoptar y usar dispositivos de control de enfermedades crónicas (Hamine et al., 2015). Hay varios desafíos al introducir dispositivos portátiles en personas mayores: posibles limitaciones físicas y neuro-degenerativas deben tenerse en cuenta (Li & Luximon, 2016), y los usuarios de más edad tienen problemas de seguridad y el temor de que este tipo de tecnología aumentará el aislamiento (Hentschel et al., 2016). El diseño de tecnología para personas mayores debe considerar las condiciones de los usuarios, los efectos del envejecimiento, el contexto cultural y las enfermedades crónicas comunes para garantizar que este segmento de la sociedad no quede aislado debido a su incapacidad para

usar un teléfono móvil, acceso a Internet o comprender las últimas interfaces (Mikkonen et al., 2002).

El objetivo principal de este artículo es presentar una evaluación de la experiencia del usuario de personas mayores que interactúan con un dispositivo portátil de bajo costo para controlar las actividades diarias mediante la postura espinal. El diseño, la implementación y la prueba de dispositivos portátiles con esta población y la comprensión de sus necesidades, limitaciones y expectativas, contribuye al conocimiento cada vez mayor sobre cómo los usuarios mayores interactúan con los nuevos tipos de tecnología. El dispositivo propuesto presenta tres sensores inerciales (acelerómetros y giroscopios) distribuidos a través de un arnés que está conectado a la parte posterior del cuerpo. El artículo está estructurado de la siguiente manera. La Sección 2 describe el dispositivo implementado, llamado StraightenUp+. Luego, la Sección 3 describe los materiales y métodos utilizados en la evaluación del dispositivo. La Sección 4 presenta los resultados del experimento realizado con el sistema de reconocimiento de actividad propuesto. La Sección 5 discute los resultados e incluye conclusiones y limitaciones de investigación.

2.2. StraightenUp+: un dispositivo portátil para controlar la postura de usuarios mayores

Esta sección describe el diseño y desarrollo del dispositivo StraightenUp+, que fue una versión mejorada de un prototipo anterior llamado StraightenUp. Describimos el primer prototipo y su evolución en StraightenUp+, junto con los detalles de implementación.

2.2.1. StraightenUp: prototipo para posturas estáticas

Primero, desarrollamos *StraightenUp*, un prototipo inicial para medir estáticamente la inclinación de la columna vertebral. Consistía en tres acelerómetros en un arnés, así como en una caja adherida al costado del arnés, la caja contenía algunos componentes de Arduino. El dispositivo se muestra en la Figura 2.1a)

Utilizamos el cuestionario AttrakDiff (*Attrakdiff*, n.d.), el prototipo StraightenUp y entrevistas semiestructuradas, para evaluar la usabilidad, la funcionalidad y el diseño de este dispositivo. La evaluación fue realizada en 30 estudiantes de educación superior (7 mujeres y 23 hombres), de los cuales, 14 reportaron experimentar dolor de espalda. Los participantes utilizaron el prototipo StraightenUp y realizaron seis posturas corporales diferentes. Cada postura duró aproximadamente 20 segundos (se registraron 50 mediciones durante este período).

Para evaluar si el dispositivo se podía usar para medir ampliamente la inclinación de la columna, se utilizó un modelo de clasificación basado en un árbol de decisión. El modelo de clasificación fue capaz de distinguir con precisión entre seis posturas corporales estáticas; esto representa el 99.5% de los casos identificados correctamente. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estas seis posturas corporales fueron artificiales y varias fueron decididamente distintas, para lograr una validación preliminar del dispositivo. Los datos del sensor ubicado en la parte superior del torso mostraron una mayor dispersión en algunas posturas, probablemente debido a la posición de la cabeza, mientras que el sensor ubicado en la sección media del torso tenía datos heterogéneos con respecto a los datos del otro dos sensores. Esta distribución puede deberse a la presencia de datos atípicos causados por la contextura de participantes particulares. En cuanto a la experiencia del usuario, se percibió que StraightenUp era un dispositivo impresentable, es decir, carecía de la apariencia de un producto terminado. Aunque los participantes pensaron que el dispositivo podría ser útil, plantearon varios problemas de experiencia del usuario: pensaron que el dispositivo era difícil de poner y sintieron que necesitaban ayuda para ajustarlo correctamente porque el dispositivo tenía tres correas ajustables independientemente. Tampoco les gustó el tamaño de la caja en el costado del dispositivo. Puede encontrar una descripción completa del dispositivo y el experimento en (Cajamarca et al., 2017).

2.2.2. StraightenUp+: Diseño y requisitos funcionales

Después de la primera experiencia relacionada con la experiencia del usuario con un dispositivo portátil para monitorear la postura, ideamos cuatro requisitos de diseño para la próxima versión del prototipo, StraightenUp+.

Primero, el dispositivo debería poder usarse con **ajuste mínimo**. La primera versión de StraightenUp tenía varias correas ajustables, que los usuarios estaban nerviosos por manipular. En segundo lugar, el dispositivo debe ser **fácil de poner y quitar**, especialmente teniendo en cuenta las limitaciones físicas de los usuarios mayores. Esto es importante para permitir que los usuarios mayores elijan cuándo desean usar el dispositivo y, en este sentido, se sientan independientes. En tercer lugar, el dispositivo necesitaría ser **autocontenido**, es decir, no requerir componentes adicionales (como la caja, pegada al costado del arnés, presente en la primera versión). La razón de esto es que es difícil para los usuarios finales comprender la necesidad de una caja de este tipo, y especialmente para usuarios mayores, el dispositivo debe ser fácil de entender. Finalmente, la cantidad de correas, especialmente las que se encuentran sobre el estómago, debería ser lo menos posible, para **acomodar diferentes formas del cuerpo** y no incomodar a los usuarios.

2.2.3. StraightenUp+: un dispositivo portátil para personas mayores

Abordamos los problemas de diseño y de experiencia del usuario antes mencionados y creamos un nuevo prototipo de StraightenUp llamado *StraightenUp+*. Las consideraciones de diseño se incorporaron de la siguiente manera: (1) En contraste con el diseño anterior que tenía tres correas ajustables que se cruzaban en la parte superior, media e inferior del torso (ver Fig. 2.1 a), elegimos un chaleco de arnés modificado en forma de una mochila con dos correas que pasan sobre los hombros y una correa adicional alrededor de la cintura (ver Fig. 2.1 b). El arnés solo es ajustable en la cintura. (2) El dispositivo tiene la forma de una mochila, por lo que los usuarios solo necesitan insertar sus brazos y ajustar la correa de la cintura en la parte frontal del dispositivo, asegurando aún así la colocación segura de los sensores. Este diseño es menos confuso y más fácil de poner y

quitar. (3) En contraste con el primer diseño, que tenía una caja ubicada en el lado inferior derecho del dispositivo (ver Fig. 2.1a), los sensores y la tarjeta principal se ubican en la banda posterior (ver Fig. 2.1 b) y podría cubrirse fácilmente con un poco de tela. (4) Se retiró la correa que hacía incómodos a los usuarios, ya que se extendía sobre el estómago.

La primera versión del dispositivo tenía tres acelerómetros que solo se probaron con usuarios que estaban en posiciones fijas y predefinidas. Para mejorar la precisión y la capacidad del prototipo para medir la postura mientras los usuarios realizaban actividades mientras se movían (como caminar o sentarse), se utilizaron tres sensores inerciales, cada uno compuesto por un acelerómetro triaxial y un giroscopio triaxial.



Figura 2.1. Diseño StraightenUp: a) Fase I b) Fase II

2.2.4. StraightenUp+: Implementación

2.2.4.1. Componentes

El dispositivo se basa en una tarjeta principal Lilypad Arduino ATmega32U4, con tres sensores de LSM9DS0 FLORA 9-DOF incluye acelerómetro, giroscopio y magnetómetro conectado a un multiplexor (TCA9548A), y una batería de litio de 3.7V 1Ah. Los componentes se muestran en Figura 2.2.

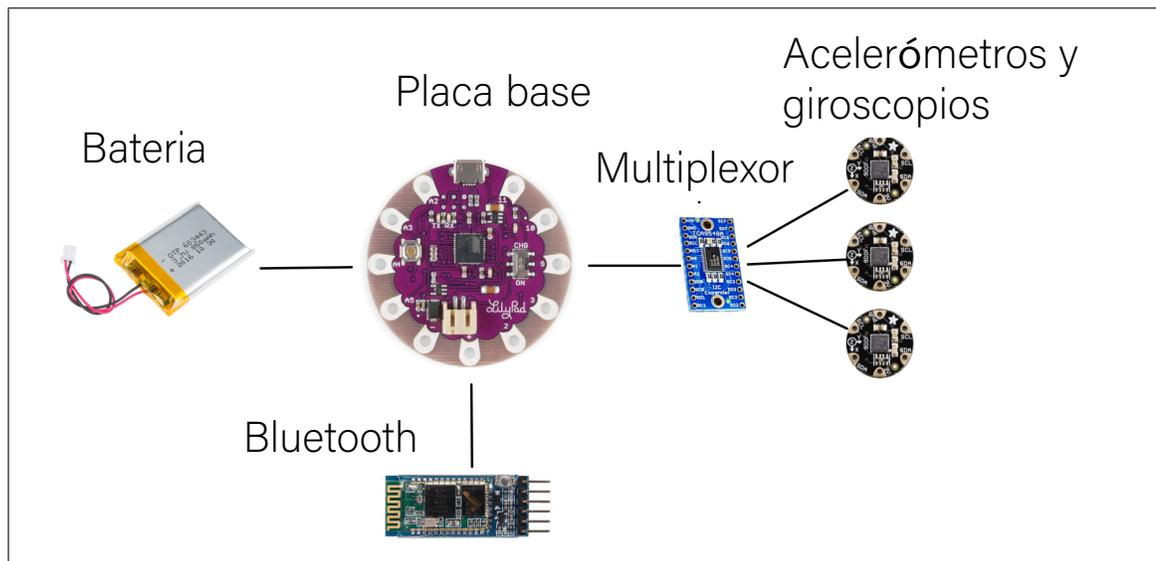


Figura 2.2. Arquitectura general del sistema StraightenUp+

2.2.4.2. Protocolos de comunicación

Los datos del acelerómetro se capturan y transfieren a través de Bluetooth para su procesamiento. El protocolo Bluetooth fue diseñado para comunicación de corto alcance y bajo consumo de batería (J.-S. Lee et al., 2007), y se puede usar, por ejemplo, para conectarse a un teléfono móvil cercano llevado por el usuario para transferir los datos capturados, de manera similar a otros dispositivos portátiles (por ejemplo, Fitbit). Para poder monitorear remotamente las actividades del usuario, el teléfono móvil tendría que transferir los datos a un servidor definido. Para esta implementación y experimento en particular, los datos se transfirieron a través de Bluetooth a una computadora portátil cercana, para su posterior análisis.

2.2.4.3. Medición de la postura del tronco

Los tres módulos de sensores inerciales (acelerómetros y giroscopios) se ubicaron en la parte posterior de los sujetos, en el tronco superior, medio e inferior, con bandas elásticas cruzadas en los hombros y una banda alrededor de la cintura (ver Fig. 2.1b) para medir la

orientación de la parte superior del cuerpo. Al igual que cualquier instrumento de inercia, los acelerómetros / giroscopios deben calibrarse antes de ser utilizados por primera vez. La calibración se definió como el proceso de comparación de salidas de instrumentos con información de referencia conocida (Chatfield, 1997). En este sentido, primero colocamos los sensores horizontalmente con el eje z mirando hacia abajo para reducir los errores de sensibilidad y compensación de las mediciones en bruto (Kim & Golnaraghi, 2004; Shin & El-Sheimy, 2002; Dwiputra et al., 2017). Luego, la orientación del sensor se calculó combinando señales calibradas de acelerómetros y giroscopios (Luinge et al., 1999). Finalmente, utilizamos un filtro complementario para obtener una medición de la orientación completa y precisa en relación con la dirección de la gravedad y el campo magnético de la tierra. Decidimos utilizar un filtro complementario, basado en el prefiltro propuesto en (Ghanbari & Yazdanpanah, 2015), debido a su nivel aceptable de precisión y baja carga computacional. Todo este preprocesamiento se realizó en la placa principal de Arduino.

2.3. Materiales y métodos

En esta sección, describimos los materiales y métodos usados para evaluar StraightenUp+.

2.3.1. Estudio de contexto

Este estudio se realizó en un hogar residencial para personas mayores en Santiago de Chile. En Chile, más del 50% de las personas mayores experimentan problemas de salud relacionados con dolor en la espalda, las rodillas, las caderas o las articulaciones. Uno de cada diez afirma haber experimentado una caída (Herrera et al., 2017). Un total de 1,56% de personas mayores viven en hogares residenciales; instituciones que admiten una tasa creciente de residentes en edad avanzada (7.6%, ≥ 90 años), y en la que las mujeres (61%) y las personas viudas (34%) son particularmente numerosas. Entre las personas mayores con discapacidad, el 15% de las personas que sufren algún tipo de discapacidad física o

parálisis y el 13% de las personas con discapacidad mental viven en instituciones residenciales (Marín et al., 2004). Además, las personas mayores que ya están institucionalizadas experimentan una mayor pérdida de funciones debido a la inactividad (Ouslander, 1989), el aislamiento se vuelve más severo (Diamond, 2009) y las tasas de depresión son altas.

De acuerdo con la información proporcionada por la institución donde se realizó el estudio, el 33% de sus residentes son independientes y el resto son semiindependientes. Más del 50% de los residentes usan un dispositivo para fines de movilidad. En Chile, el 17,4% de los adultos informan no tener experiencia previa con computadoras, y el 52,4% de los adultos tienen un puntaje igual o inferior al nivel 1 en resolución de problemas en entornos ricos en tecnología (OECD, n.d.). Sin embargo, las habilidades digitales de aquellos adultos mayores que residían en la institución eran más bajas. Llevamos a cabo una observación preliminar de 69 sujetos (31 hombres y 38 mujeres) en el hogar residencial, mientras llevaban a cabo sus actividades diarias, para comprender el contexto, las características, las condiciones y las limitaciones de nuestros posibles usuarios. En base a estas observaciones, generamos una lista de las posturas que se evaluarán durante el experimento.

2.3.2. Información recopilada

La evaluación se realizó en octubre de 2017. Se recopilaron los siguientes seis tipos de información:

- **DIGCOMP**: DIGCOMP es un instrumento para evaluar cuatro áreas de competencias digitales: información, creación de contenido, comunicación y resolución de problemas. Cada usuario se clasifica en uno de los cuatro grupos posibles: *no*, *baja*, *básico* o *por encima del básico* (Ferrari, 2012).
- **AttrakDiff**: AttrakDiff es un cuestionario utilizado para medir las cualidades hedónicas y pragmáticas de un dispositivo y permite a los usuarios calificar la usabilidad y el diseño de un producto. Utiliza una escala de -3 a 3 (0 representa neutralidad). El cuestionario de AttrakDiff consta de cuatro dimensiones:

calidad pragmática, cualidad hedónica identidad (H-I), cualidad hedónica estimulación (H-S) y atracción(Isleifsdottir & Larusdottir, 2008).

- **Frail Elderly Functional Assessment (FEFA) questionnaire:** FEFA consta de 19 elementos y evalúa la función entre personas mayores frágiles con un nivel de actividad muy bajo (Gloth et al., 1995).
- **Registro de datos:** El prototipo StraightenUp+ recopiló información continua de las tres unidades de medida inerciales de 9 grados de libertad de los sensores (acelerómetro incorporado y giroscopio). Los datos grabados se relacionan con la inclinación en los ejes “x” y “y”. Para nuestros propósitos de este estudio, el eje “y” captura el movimiento lateral (de izquierda a derecha), mientras que el eje “x” captura el movimiento horizontal (hacia adelante y hacia atrás).
- **Datos observados:** Un investigador observó a los participantes, señalando los tiempos en los que realizaban cada postura en una grabación de audio, así como cualquier problema o problema adicional que surgiera durante el experimento.
- **Datos entrevista:** Se realizó una entrevista semiestructurada para comprender la comodidad, el motivo y la frecuencia de uso del participante en relación con el dispositivo. Cada entrevista fue grabada (audio), transcrita y se le asignó un código (P1 a P30). Se preguntó a los usuarios sobre la comodidad del dispositivo, si lo usarían, cuándo y durante cuánto tiempo y qué les gustaba y no les gustaba del dispositivo.

2.3.3. Participantes

Los participantes fueron 30 personas mayores (15 mujeres y 15 hombres) con edades comprendidas entre los 60 y 83 años (edad promedio: 77,8; desviación estándar: 6,13) y que viven en una casa de reposo. En cuanto a sus habilidades digitales, 28 participantes no tienen ninguno y 2 tienen niveles de habilidad altos o medianos. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: mayores de 60 años y ausencia de problemas cognitivos moderados o severos. De acuerdo con la escala FEFA, en una escala de 0 a 55, los participantes tuvieron un puntaje promedio de 24,3, con un puntaje mínimo de 15 y un puntaje máximo

de 38, lo que denota un deterioro funcional. Cada participante leyó y luego firmó el formulario de consentimiento informado.

2.3.4. Procedimiento

El experimento duró entre 50 y 65 minutos por participante, y dos investigadores participaron en cada experiencia completa. Al comienzo del experimento, un investigador dio una breve introducción sobre el propósito de la investigación, respondió preguntas relevantes y el participante firmó el formulario de consentimiento informado (de 10 a 15 minutos). Luego se le pidió al participante que coloque el dispositivo y realice ocho actividades en un orden predefinido: caminar (Wlk); transición de pie a sentado (Tr1); sentado (Sit), inclinado hacia adelante (Lng); levantando los brazos (Rsn); Bajar los brazos (Lwr); sentado en posición vertical (StU) y transición de sentado a pie (Tr2) (ver Fig. 2.3). Mientras el participante realizaba estas actividades, un investigador observaba y grababa notas en audio, para registrar cada transición entre actividades. La información que fue capturada por el dispositivo se transfirió vía Bluetooth a la computadora portátil de los investigadores, que estaba cerca. Después de completar las actividades, los participantes completaron los cuestionarios DIGCOMP, AttrakDiff y FEFA (8 minutos). Finalmente, los investigadores realizaron una entrevista semiestructurada, haciendo preguntas sobre la experiencia de usar el dispositivo (8 minutos). Después del experimento, los datos capturados se etiquetaron fuera de línea, utilizando las notas de audio, para marcar cada transición y tener un conjunto de datos etiquetados para trabajar en la clasificación de actividades.

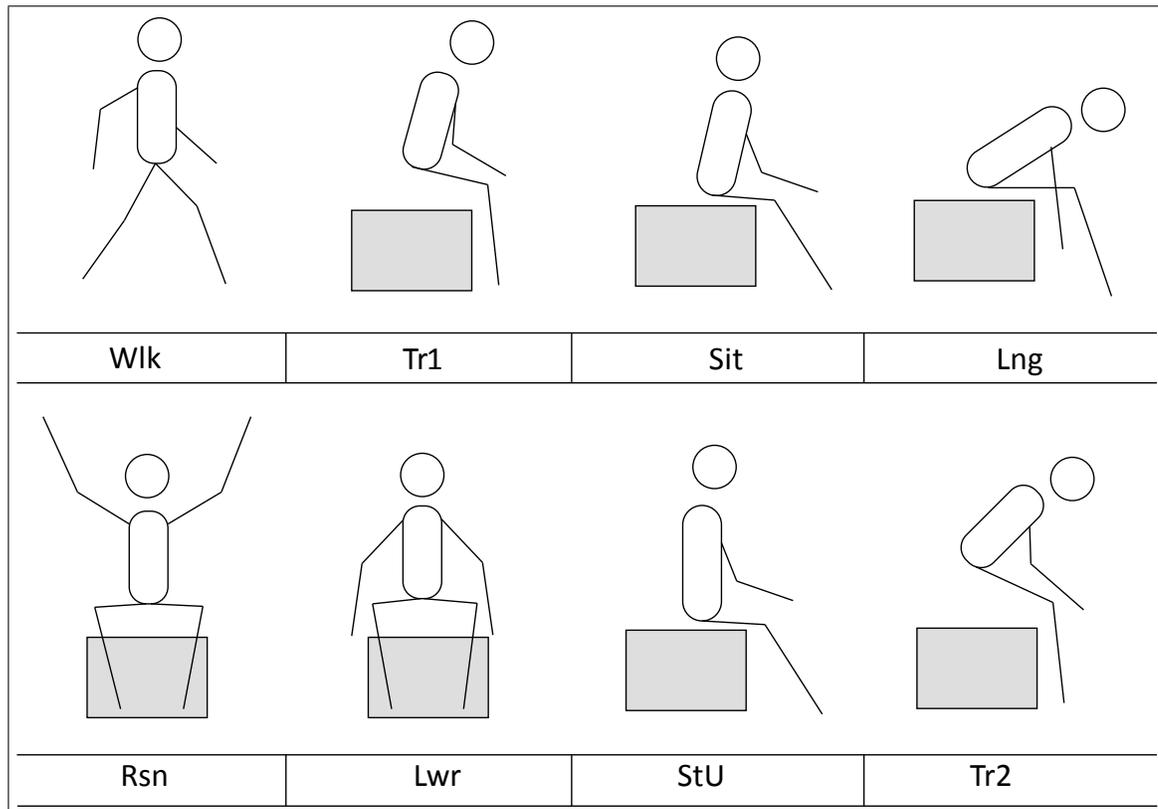


Figura 2.3. Ocho posturas clasificadas

2.4. Resultados

Esta sección describe los resultados de las pruebas realizadas sobre la precisión de los sensores para medir posturas y describe aspectos sobre la experiencia del usuario. Primero, para crear un conjunto de datos etiquetados, dos investigadores etiquetaron los datos de cada sensor y participante con la postura que el participante estaba realizando, obtenida a partir de las notas de audio grabadas. En segundo lugar, para analizar la precisión de los sensores con respecto a las descripciones estadísticas, utilizamos el *R* software (Consortium, 2016). Luego, utilizamos algoritmos basados en un árbol de decisiones usando el software Weka ¹ para la clasificación de actividades. La usabilidad y la apariencia del

¹Weka, disponible en: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>

sistema se evaluaron mediante el cuestionario AttrakDiff ². Finalmente, para evaluar las características cualitativas, dos investigadores codificaron notas de entrevista y utilizaron análisis temáticos para identificar y analizar temas emergentes (Braun & Clarke, 2006).

2.4.1. Descripción estadística

El gráfico en la figura 2.4 muestra la distribución de datos en el eje “x” para cada sensor y cada postura. Es posible ver una diferencia entre el sensor 1 (s1, ubicado en la parte superior del torso) y los sensores 2 y 3 (s2 y s3, ubicados en la parte media e inferior del torso, respectivamente), que son en su mayoría similar. De acuerdo con las actividades supervisadas, durante la postura inclinada hacia delante (Lng), los tres sensores registran datos que varían marcadamente en comparación con las otras actividades. Es posible que esta postura particular requiera un mayor esfuerzo por parte de los participantes, la mayoría de los cuales tienen una condición física inferior a la media. Por el contrario, los datos recopilados por los tres sensores cuando el participante está sentado son homogéneos y muestran una variación mínima.

²AttrakDiff, disponible en: <http://www.attrakdiff.de>

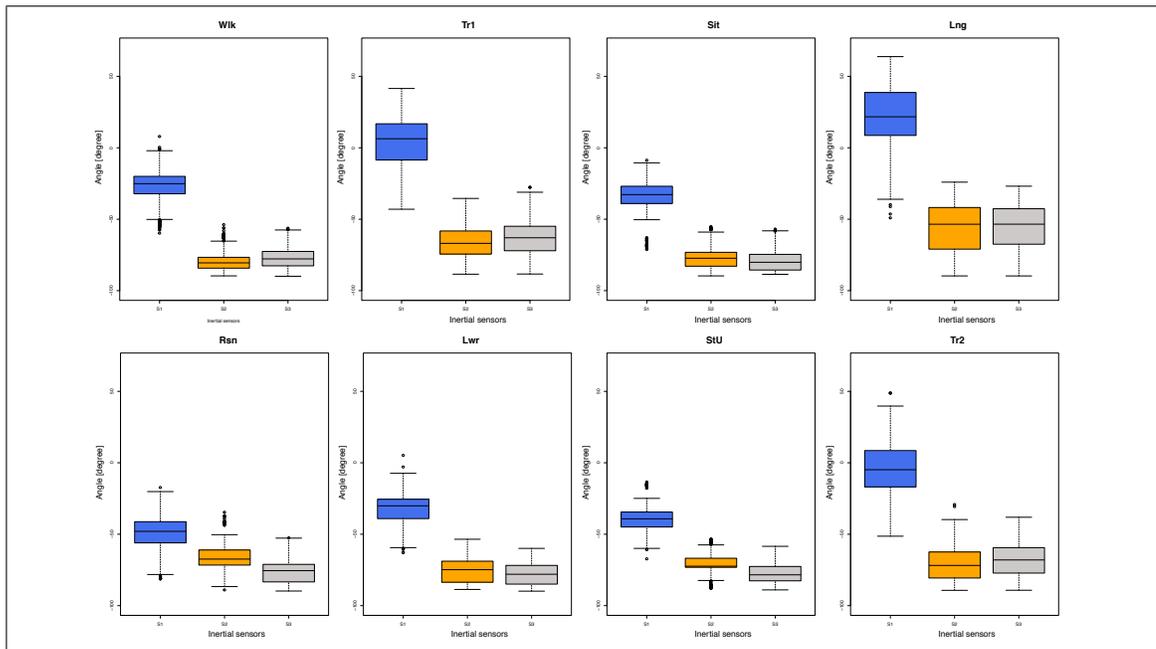


Figura 2.4. Distribución de datos en el eje “x” para cada sensor durante el monitoreo del torso mientras los residentes llevan a cabo actividades específicas

2.4.2. Clasificación de posturas

Clasificamos los datos etiquetados mediante el uso de un árbol de decisiones J48 en Weka. Las posturas se reconocieron con una tasa de precisión del 93,5% para los casos de prueba utilizados en este estudio. La matriz de confusión en la Tabla 2.1 muestra que la mayoría de la confusión fue introducida por la actividad de Caminar. Los ocho estados de movimiento incluyen un período de tiempo de postura erguida en el cual los tres sensores tienden a alinearse a aproximadamente 80 grados, aunque este valor depende de la estructura espinal de cada participante individual. Sin embargo, la actividad que generó la menor cantidad de confusión en relación con la marcha fue *levantar los brazos*, ya que esta actividad requiere más retroceso que la posición vertical.

Tabla 2.1. Matriz de confusión para actividades

	Wlk	Tr1	Lng	Sit	Rsn	Lwr	StU	Tr2	TP Rate %	Precision %
Wlk	3158	6	25	6	4	3	4	3	98.4%	93.1%
Tr1	43	289	2	41	1	0	2	9	74.7%	85.8%
Lng	60	2	772	0	10	5	3	0	90.6%	93.1%
Sit	34	12	5	1213	2	2	1	4	95.3%	94.0%
Rsn	12	3	14	1	709	9	16	0	92.8%	95.1%
Lwr	18	1	4	5	7	443	4	1	91.7%	96.4%
StU	18	1	5	2	9	2	882	0	96%	90.3%
Tr2	49	23	2	23	5	2	3	159	59.8%	93.5%

Después de analizar la distribución de datos (ver Fig. 2.4) y la matriz de confusión (ver Tabla 2.1), podemos observar que el sensor uno (s1) puede ser el mejor para predecir la detección de movimiento. Para explorar más este aspecto, decidimos comparar la clasificación de la postura de acuerdo con la cantidad de sensores utilizados (ver Tabla 2.2). Para esto, clasificamos los datos usando la información de uno de los tres sensores o cualquier combinación de ellos. Los resultados muestran que la mejor clasificación se logra con los tres sensores, aunque cuando se utilizan dos sensores cualquiera, los datos se clasifican correctamente alrededor del 90% de las instancias.

Tabla 2.2. Precisión según la cantidad de sensores utilizados

S1	S2	S3	Correctly classified instances %
X	-	-	73.7%
-	X	-	76.6%
-	-	X	76.8%
X	X	-	90.1%
-	X	X	90.1%
X	-	X	90.4%
X	X	X	93.5%

2.4.3. Experiencia con StraightenUp+

Los puntajes de AttrakDiff (que están en una escala de -3 a 3) fueron positivos para los 30 participantes, y mayores o iguales a 1.5 para 18 participantes (60%), es decir, la experiencia general del usuario de StraightenUp + se clasificó como buena. La característica más alta de puntuación fue la cualidad de atractivo que obtuvo 2,11, seguida de la cualidad hedónico identidad con un puntaje de 1,87. Luego tenemos la característica de cualidad pragmática que obtuvo 1,24. Finalmente, la cualidad con puntuación más baja fue la característica hedónico estimulación con una puntuación de 1,05. Los valores promedio registrados se muestran en la Fig. 2.5. En consecuencia, los usuarios ven que el dispositivo tiene una buena apariencia, pueden identificarse con él y lo encuentran estimulante y motivador. Los participantes clasificaron el dispositivo de una manera altamente positiva en términos de uso prospectivo (puntajes promedio para atractivo, manejable, presentable y creativo fueron 2,3, 2,6, 2,8 y 2,6, respectivamente). Sin embargo, el concepto técnico-humano se clasificó principalmente como técnico (-2,3 puntaje promedio), y asimismo el concepto exigente - poco exigente recibió puntuaciones negativas (-0,8 puntaje promedio), es decir, StraightenUp+ fue clasificado como un dispositivo no exigente, cuyo uso no requiere conocimiento previo.

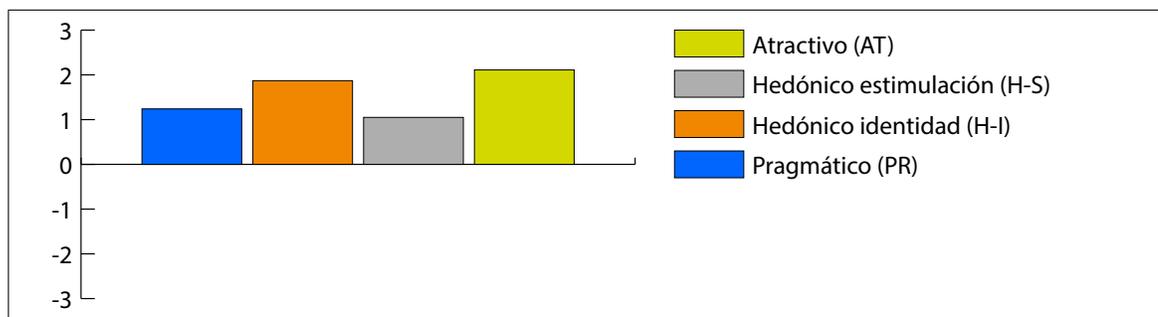


Figura 2.5. Puntuaciones en las cuatro dimensiones de Attrakdiff

2.4.4. Entrevistas

Los principales temas que surgieron del análisis temático incluyen: percepción del dispositivo, motivación para el uso, frecuencia de uso y expectativas. Cada uno se describe a continuación. Se proporcionan citas de los participantes, y los participantes están numerados de P1 a P30. Los participantes dieron espontáneamente algunos comentarios, por lo tanto, aunque se especifica el número de comentarios, esto no significa que el resto de los participantes esté necesariamente en desacuerdo con el comentario.

- (i) **Percepción del dispositivo:** Veintiocho de los participantes consideraron que StraightenUp es cómodo, y dos sintieron que era incómodo. Además, cuatro participantes comentaron que el dispositivo se sentía imperceptible y que las correas lo hacían adaptable a diferentes cuerpos físicos. *“Me parece cómodo, no molesta nada para moverse las bandas no molestaban nada”* (P4). Un participante expresó su percepción del dispositivo usando una comparación: *“Cosa normal, pero no lo sentí, era como cualquier mochila normal”* (P25). Un participante indicó la necesidad de incluir instrucciones o indicadores para mejorar la experiencia del usuario al colocarlo y quitárselo. *“Ponermelo sola me es incómodo, osea ni tan incómodo, pero no es que se ponga como un chaleco”* (P18).
- (ii) **Motivo de uso:** Los participantes valoraron el dispositivo como un artículo que puede tener un impacto positivo en la salud. Cinco participantes declararon que podría evitar que adoptaran malas posturas, tres participantes valoraron que podría ayudarles a comprender o diagnosticar su postura, y dos participantes que podrían mejorar su salud. Un participante ve el dispositivo como una herramienta de soporte. *“Cuando camino, para no caerme para estar segura que voy caminando bien. Yo salgo mucho a la calle, tengo 84 años, tomo micro, tomo el metro, y me gustaría estar segura que no me voy a caer ni me van a empujar ni a botar”* (P24).

- (iii) **Frecuencia de uso:** Catorce participantes pensaron que el mejor momento para usar StraightenUp+ es durante las actividades físicas, por ejemplo; caminando y ejercitando. *“Quiero decir, en lo que tenga más actividad física, como; correr, caminar, andar en bicicleta como en la mañana”* (P10). Por el contrario, tres participantes afirman que el dispositivo se utiliza mejor durante los períodos de descanso, cuando el usuario no puede ser visto o está inactivo en gran medida. *“Es complicado porque comenzarían las bromas los malos comentarios y eso y aquí es muy complicado por eso le digo que sería en el lapso de dos horas en los que uno está dedicado al reposo”* (P7).
- (iv) **Expectativas:** Dieciséis participantes desearían usar StraightenUp+ permanentemente para obtener una mayor comprensión del sistema y acostumbrarse a su funcionamiento. *“... yo no lo he usado nunca, yo digo como voy andar con esto. Pero me imagino que como todas las cosas uno se acostumbra. Yo me he acostumbrado en este tiempo a tantas cosas que yo jamás pensé que llegaría a usar, pero si es por el bien de uno, uno las tienen que usar”* (P23). Diez participantes lo usarían cuando fuera necesario o cuando sintieran dolor o tuvieran un problema de salud. Finalmente, cuatro participantes no estaban interesados en usar el dispositivo, o no estaban seguros de querer usarlo. *“No lo usaría, no estoy habituado, y otra estaría siempre preocupándome de andar perfecto parecería una máquina”* (P1). Además, tres participantes comentaron que el dispositivo debería usarse debajo de la ropa en vez de sobre ellos. *“Para mi debería ser interior eso es lo básico, porque nadie se daría cuenta ni nadie me criticaría ni nadie me estaría diciendo si uso o no uso”* (P4).

2.5. Discusión

Este documento ha descrito y evaluado un dispositivo con forma de chaleco para personas mayores, en el cual se colocan tres sensores en la parte superior, media e inferior del torso. La evaluación del rendimiento del dispositivo mostró una clasificación bastante

precisa, con una tasa de detección incorrecta del 6,5%. Un estudio reciente similar en ancianos tuvo una tasa de detección errónea de 2.8% (Liu et al., 2017). Sin embargo, en ese estudio, los participantes usaron sensores en el tronco y el muslo, y el sistema clasificó seis actividades, mientras que nuestro trabajo clasifica ocho. El error de clasificación en nuestro estudio puede ser causado en parte por el complejo movimiento corporal de los participantes mayores debido a su deterioro funcional. La tasa más alta de clasificación errónea fue la transición de sentado a parado (Tr2, 59.8%). Esto es probablemente debido al complejo movimiento dinámico del tronco para realizar esta acción. En general, los participantes ancianos con baja capacidad funcional soportan una mayor flexión de la parte superior del cuerpo (van Lummel et al., 2018; Scarborough et al., 2007), y la elección de la estrategia de ponerse de pie está relacionada con la reducción de la fuerza muscular (Gross et al., 1998). En este estudio, observamos que la mayoría de los residentes con deterioro funcional utilizan soportes como pasamanos, bastón o andador para realizar el movimiento de sentado a parado. Trabajos previos han demostrado que los trastornos de la marcha, la marcha lenta y el uso de andadores aumentan los errores de seguimiento (Tedesco et al., 2017), por lo que puede ser más fácil clasificar las actividades diarias de las personas mayores cuando su deterioro funcional es menor. Las transiciones son más difíciles de clasificar ya que son cortas, pero al mismo tiempo tienen una gran variabilidad (en tiempo y tipo de movimiento) entre los participantes con distintos grados de movilidad. Debe reconocerse que este estudio no consideró actividades libres, ya que se solicitó a los residentes llevar a cabo una secuencia de actividades que se explicaron anteriormente. Por este motivo, los experimentos futuros deberían usar protocolos de actividad menos controlada (por ejemplo, (Ellis et al., 2014)). Además, el rendimiento de nuestro dispositivo podría mejorarse aún más mediante la incorporación de filtros adicionales (por ejemplo, Ghanbari & Yazdanpanah (2015)).

Estudios previos sobre dispositivos de monitoreo remoto para usuarios mayores han colocado sensores en el tronco, el sacro, el abdomen, el tórax, la muñeca, el bolsillo o el cuello, con algunos sensores ubicados en varios lugares (por ejemplo, pecho, muñeca, muslo y tobillo) Tedesco et al. (2017). Aunque, algunos ha encontrado que la muñeca es

preferida por los usuarios jóvenes He et al. (2014), los usuarios mayores no han declarado una preferencia clara Rodríguez et al. (2017), y en nuestras observaciones, en las personas que usan dispositivos de soporte, la muñeca a menudo permanece estacionaria. Nuestro dispositivo fue colocado en la parte posterior de los usuarios, y los usuarios lo encontraron cómodo y sintieron que proporcionaba algún tipo de soporte.

Durante la evaluación del desempeño del sistema en el entorno de la vida asistida natural, se realizaron entrevistas y cuestionarios sobre aspectos relacionados con el diseño y la experiencia del usuario. Los residentes valoraron bastante el dispositivo, destacando su comodidad, practicidad y familiaridad. Compararon el dispositivo con una prenda de vestir, comparándolo con un chaleco o mochila imperceptible. Estos resultados pueden estar relacionados con la falta de experiencia directa en el uso de la tecnología portátil (Chang & Im, 2014) y la influencia individual y social (Hsiao & Tang, 2015).

Muchos participantes de este estudio declararon que nunca habían usado una computadora o Internet, y algunos solo usaban teléfonos analógicos para hacer o recibir llamadas. Sin embargo, recibieron el dispositivo de manera positiva. Una posible razón para esto es que StraightenUp+ no requiere conocimiento previo ni interacción de los usuarios además de poner el dispositivo, que es uno de los aspectos del dispositivo que comentaron. Esto contrasta hallazgos previos en los que los usuarios querían visualizaciones de sus propios datos y pautas de comportamiento (Wu & Munteanu, 2018), posiblemente debido a las habilidades digitales más bajas de nuestros participantes.

La forma de vida varía entre las personas mayores que viven en un casa de reposo y las personas que residen en sus propias casas (Zamarrón Cassinello & Fernandez Ballesteros, 2000). Para los adultos mayores en instituciones, la disminución de la salud física y mental, el aislamiento y la pérdida de función previenen el envejecimiento activo (Fernández-Mayoralas et al., 2015). Además, niveles más altos de actividad se han correlacionado con niveles más bajos de depresión en personas mayores institucionalizadas y que viven en la comunidad (Salguero et al., 2011). Por estas razones, monitorear la actividad física

y tomar medidas para promover la actividad es especialmente importante en los adultos mayores institucionalizados.

2.5.1. Conclusiones

Presentamos un dispositivo para monitorear la postura corporal utilizando tres sensores adheridos a la columna. El desarrollo, diseño y evaluación del sistema se llevaron a cabo en dos etapas: (1) desarrollo de un dispositivo de monitoreo de la postura que toma en cuenta los factores tecnológicos y los factores de experiencia del usuario; y (2) comprensión de las actitudes y percepciones de las personas mayores en hogares de reposo hacia el monitoreo de la postura corporal utilizando un dispositivo portátil conectado a la columna vertebral. La experiencia de los participantes con el dispositivo fue muy positiva y destacaron su comodidad, usabilidad y familiaridad (decir que era como ponerse una prenda de vestir). En general, los resultados de la evaluación son relevantes ya que demuestran que este tipo de dispositivo es bien aceptado por las personas mayores con poca habilidad digital y deterioro funcional en los hogares de reposo; que se considera atractivo, fácil de usar y produce una sensación de satisfacción entre los usuarios; y que su uso no requiere conocimiento tecnológico avanzado. Sin embargo, se identificó que era necesario agregar un componente de instrucción táctil o auditivo para mejorar la experiencia del usuario al colocar el dispositivo y quitárselo. Estos resultados pueden incorporarse en el diseño de futuros sistemas de monitoreo de la postura y pueden usarse para pruebas más extensas, durante períodos más prolongados y entre un grupo de personas mayores que viven de manera independiente. Esto se debe a que nuestra investigación incluye varias limitaciones. Estos incluyen participantes de personas mayores que no usan nuestro sistema durante un largo período de tiempo; tener competencias digitales limitadas; mostrando un deterioro funcional moderado; y viviendo en una institución particular de casa de reposo en Santiago, Chile.

BIBLIOGRAFÍA

Arif, M., & Kattan, A. (2015). Physical activities monitoring using wearable acceleration sensors attached to the body. *PloS one*, *10*(7), e0130851.

Attrakdiff. (n.d.). <http://www.attrakdiff.de>. (Accessed: 2017-08-15)

Aungst, R. B. (2011). Healthy people 2020. *Perspectives on Audiology*, *7*(1), 29–33.

Awais, M., Palmerini, L., Bourke, A. K., Ihlen, E. A., Helbostad, J. L., & Chiari, L. (2016). Performance evaluation of state of the art systems for physical activity classification of older subjects using inertial sensors in a real life scenario: A benchmark study. *Sensors*, *16*(12). Retrieved from <http://www.mdpi.com/1424-8220/16/12/2105>

Banos, O., Damas, M., Guillen, A., Herrera, L.-J., Pomares, H., Rojas, I., & Villalonga, C. (2015). Multi-sensor fusion based on asymmetric decision weighting for robust activity recognition. *Neural Processing Letters*, *42*(1), 5–26.

Berlin, J. E., Storti, K. L., & Brach, J. S. (2006). Using activity monitors to measure physical activity in free-living conditions. *Physical Therapy*, *86*(8), 1137–1145.

Bertolotti, G. M., Cristiani, A. M., Colagiorgio, P., Romano, F., Bassani, E., Caramia, N., & Ramat, S. (2016). A wearable and modular inertial unit for measuring limb movements and balance control abilities. *IEEE Sensors Journal*, *16*(3), 790–797.

Bourke, A., O'Brien, J., & Lyons, G. (2007). Evaluation of a threshold-based tri-axial accelerometer fall detection algorithm. *Gait & posture*, *26*(2), 194–199.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, *3*(2), 77–101.

Bulling, A., Blanke, U., & Schiele, B. (2014). A tutorial on human activity recognition using body-worn inertial sensors. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, *46*(3), 33.

- Cajamarca, G., Rodríguez, I., Herskovic, V., & Campos, M. (2017). Straightenup: Implementation and evaluation of a spine posture wearable. In *International conference on ubiquitous computing and ambient intelligence* (pp. 655–665).
- Carrigan, M., & Szmigin, I. (1999). In pursuit of youth: what's wrong with the older market? *Marketing Intelligence & Planning*, *17*(5), 222–231.
- Cates, B., Sim, T., Heo, H. M., Kim, B., Kim, H., & Mun, J. H. (2018). A novel detection model and its optimal features to classify falls from low-and high-acceleration activities of daily life using an insole sensor system. *Sensors*, *18*(4), 1227.
- Cha, Y., Nam, K., & Kim, D. (2017). Patient posture monitoring system based on flexible sensors. *Sensors*, *17*(3). Retrieved from <http://www.mdpi.com/1424-8220/17/3/584>
- Chang, S. J., & Im, E.-O. (2014). A path analysis of internet health information seeking behaviors among older adults. *Geriatric Nursing*, *35*(2), 137–141.
- Chatfield, A. B. (1997). *Fundamentals of high accuracy inertial navigation*. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Chen, D., Malkin, R., & Yang, J. (2004). Multimodal detection of human interaction events in a nursing home environment. In *Proceedings of the 6th international conference on multimodal interfaces* (pp. 82–89).
- Cheung, V. H., Gray, L., & Karunanithi, M. (2011). Review of accelerometry for determining daily activity among elderly patients. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, *92*(6), 998–1014.
- Clarke, V., & Braun, V. (2013). Teaching thematic analysis: Overcoming challenges and developing strategies for effective learning. *The psychologist*, *26*(2), 120–123.

Cleland, I., Kikhia, B., Nugent, C., Boytsov, A., Hallberg, J., Synnes, K., ... Finlay, D. (2013). Optimal placement of accelerometers for the detection of everyday activities. *Sensors*, *13*(7), 9183–9200.

Cola, G., Avvenuti, M., Vecchio, A., Yang, G.-Z., Lo, B., et al. (2015). An on-node processing approach for anomaly detection in gait. *IEEE Sensors Journal*, *15*(11), 6640–6649.

Consortium, R. (2016). *Take control of your r code*. <https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/>.

Corbin, J., Strauss, A., et al. (2008). Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory.

Corder, K., Brage, S., & Ekelund, U. (2007). Accelerometers and pedometers: methodology and clinical application. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, *10*(5), 597–603.

Del Popolo, F. (2001). *Características sociodemográficas y socioeconómicas de las personas de edad en américa latina*. Cepal.

Demiris, G., Rantz, M. J., Aud, M. A., Marek, K. D., Tyrer, H. W., Skubic, M., & Hussam, A. A. (2004). Older adults' attitudes towards and perceptions of 'smart home' technologies: a pilot study. *Medical informatics and the Internet in medicine*, *29*(2), 87–94.

Diamond, T. (2009). *Making gray gold: Narratives of nursing home care*. University of Chicago Press.

Doughty, K., Lewis, R., & McIntosh, A. (2000). The design of a practical and reliable fall detector for community and institutional telecare. *Journal of Telemedicine and Telecare*, *6*(1_suppl), 150–154.

- Dwiputra, F. A., Achmad, B., et al. (2017). Accelerometer-based recorder of fingers dynamic movements for post-stroke rehabilitation. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(1), 299–304.
- Ehrenhard, M., Kijl, B., & Nieuwenhuis, L. (2014). Market adoption barriers of multi-stakeholder technology: Smart homes for the aging population. *Technological forecasting and social change*, 89, 306–315.
- Ellis, K., Kerr, J., Godbole, S., & Lanckriet, G. (2014). Multi-sensor physical activity recognition in free-living. In *Proceedings of the 2014 acm international joint conference on pervasive and ubiquitous computing: Adjunct publication* (pp. 431–440).
- Ermes, M., Pärkkä, J., Mäntyjärvi, J., & Korhonen, I. (2008). Detection of daily activities and sports with wearable sensors in controlled and uncontrolled conditions. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, 12(1), 20–26.
- Essén, A., & Östlund, B. (2011). Laggards as innovators? old users as designers of new services & service systems. *International Journal of Design*, 5(3).
- Fanchamps, M. H., Horemans, H. L., Ribbers, G. M., Stam, H. J., & Bussmann, J. B. (2018). The accuracy of the detection of body postures and movements using a physical activity monitor in people after a stroke. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(7).
- Farr, J. N., Going, S. B., Lohman, T. G., Rankin, L., Kasle, S., Cornett, M., & Cussler, E. (2008). Physical activity levels in patients with early knee osteoarthritis measured by accelerometry. *Arthritis Care & Research*, 59(9), 1229–1236.
- Feldhege, F., Mau-Moeller, A., Lindner, T., Hein, A., Marksches, A., Zettl, U. K., & Bader, R. (2015). Accuracy of a custom physical activity and knee angle measurement sensor system for patients with neuromuscular disorders and gait abnormalities. *Sensors*, 15(5), 10734–10752.

Fernández-Mayoralas, G., Rojo-Pérez, F., Martínez-Martín, P., Prieto-Flores, M.-E., Rodríguez-Blázquez, C., Martín-García, S., ... Forjaz, M.-J. (2015). Active ageing and quality of life: factors associated with participation in leisure activities among institutionalized older adults, with and without dementia. *Aging & mental health*, *19*(11), 1031–1041.

Ferrari, A. (2012, 9). *Digital competence in practice: An analysis of frameworks* (Tech. Rep.). Research Centre of the European Commission. Retrieved from <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC68116.pdf>

Freedson, P. S., & Miller, K. (2000). Objective monitoring of physical activity using motion sensors and heart rate. *Research quarterly for exercise and sport*, *71*(sup2), 21–29.

Ghanbari, M., & Yazdanpanah, M. J. (2015). Delay compensation of tilt sensors based on mems accelerometer using data fusion technique. *IEEE sensors journal*, *15*(3), 1959–1966.

Glassman, S. D., Bridwell, K., Dimar, J. R., Horton, W., Berven, S., & Schwab, F. (2005). The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity. *Spine*, *30*(18), 2024–2029.

Gloth, F., Walston, J., Meyer, J., & Pearson, J. (1995). Reliability and validity of the frail elderly functional assessment questionnaire. *Am J Phys Med Rehabil.*, *74*(1), 45-53.

Godfrey, A., Conway, R., Meagher, D., & ÓLaighin, G. (2008). Direct measurement of human movement by accelerometry. *Medical Engineering and Physics*, *30*(10), 1364–1386.

Groessl, E. J., Kaplan, R. M., Rejeski, W. J., Katula, J. A., King, A. C., Frierson, G., ... Pahor, M. (2007). Health-related quality of life in older adults at risk for disability. *American journal of preventive medicine*, *33*(3), 214–218.

Gross, M., Stevenson, P., Charette, S., Pyka, G., & Marcus, R. (1998). Effect of muscle strength and movement speed on the biomechanics of rising from a chair in healthy elderly and young women. *Gait & posture*, 8(3), 175–185.

Gupta, P., & Dallas, T. (2014). Feature selection and activity recognition system using a single triaxial accelerometer. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 61(6), 1780–1786.

Gureje, O., Von Korff, M., Simon, G. E., & Gater, R. (1998). Persistent pain and well-being: a world health organization study in primary care. *Jama*, 280(2), 147–151.

Hamine, S., Gerth-Guyette, E., Faulx, D., Green, B. B., & Ginsburg, S. A. (2015, Feb 24). Impact of mhealth chronic disease management on treatment adherence and patient outcomes: A systematic review. *J Med Internet Res*, 17(2), e52. Retrieved from <http://www.jmir.org/2015/2/e52/>

He, B., Bai, J., Zipunnikov, V. V., Koster, A., Caserotti, P., Lange-Maia, B., ... Crainiceanu, C. M. (2014). Predicting human movement with multiple accelerometers using movelets. *Medicine and science in sports and exercise*, 46(9), 1859.

Heinz, M., Martin, P., Margrett, J. A., Yearns, M., Franke, W., Yang, H. I., ... Chang, C. K. (2013). Perceptions of technology among older adults. *Journal of Gerontological Nursing*, 39(1), 42–51.

Hentschel, M., Haaksma, M., & van de Belt, T. (2016). Wearable technology for the elderly: underutilized solutions. *European Geriatric Medicine*, 7(5), 399–401.

Herrera, M., Fernández, B., Rossel, J., & Rojas, M. (2017). Chile y sus mayores: 10 años de la encuesta calidad de vida en la vejez uc - caja los andes.

Howcroft, J., Kofman, J., & Lemaire, E. D. (2017). Prospective fall-risk prediction models for older adults based on wearable sensors. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, 25(10), 1812–1820.

Hsiao, C.-H., & Tang, K.-Y. (2015). Examining a model of mobile healthcare technology acceptance by the elderly in taiwan. *Journal of Global Information Technology Management*, 18(4), 292–311.

Innerd, P., Harrison, R., & Coulson, M. (2018). Using open source accelerometer analysis to assess physical activity and sedentary behaviour in overweight and obese adults. *BMC public health*, 18(1), 543.

Isleifsdottir, J., & Larusdottir, M. (2008). Measuring the user experience of a task oriented software. In *Proceedings of the international workshop on meaningful measures: Valid useful user experience measurement* (p. 97-101).

Kamitani, K., Michikawa, T., Iwasawa, S., Eto, N., Tanaka, T., Takebayashi, T., & Nishiwaki, Y. (2013). Spinal posture in the sagittal plane is associated with future dependence in activities of daily living: a community-based cohort study of older adults in japan. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 68(7), 869–875.

Kankaraš, M., Montt, G., Paccagnella, M., Quintini, G., & Thorn, W. (2016). Skills matter: Further results from the survey of adult skills. oecd skills studies. *OECD Publishing*.

Kim, A., & Golnaraghi, M. (2004). Initial calibration of an inertial measurement unit using an optical position tracking system. In *Position location and navigation symposium, 2004. plans 2004* (pp. 96–101).

Kinnunen, T. I., Tennant, P. W., McParlin, C., Poston, L., Robson, S. C., & Bell, R. (2011). Agreement between pedometer and accelerometer in measuring physical activity in overweight and obese pregnant women. *BMC public health*, 11(1), 501.

Landi, F., Onder, G., Carpenter, I., Cesari, M., Soldato, M., & Bernabei, R. (2007). Physical activity prevented functional decline among frail community-living elderly subjects in an international observational study. *Journal of clinical epidemiology*, 60(5), 518–524.

- Lee, C. (2013). Adoption of smart technology among older adults: Challenges and issues. *Public Policy & Aging Report*, 24(1), 14–17.
- Lee, J.-S., Su, Y.-W., & Shen, C.-C. (2007). A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, uwb, zigbee, and wi-fi. In *Industrial electronics society, 2007. iecon 2007. 33rd annual conference of the ieee* (pp. 46–51).
- Lee, R. Y., Laprade, J., & Fung, E. H. (2003). A real-time gyroscopic system for three-dimensional measurement of lumbar spine motion. *Medical Engineering and Physics*, 25(10), 817–824.
- Lewis, J. S., & Valentine, R. E. (2010). Clinical measurement of the thoracic kyphosis. a study of the intra-rater reliability in subjects with and without shoulder pain. *BMC musculoskeletal disorders*, 11(1), 39.
- Li, Q., & Luximon, Y. (2016). Older adults and digital technology: A study of user perception and usage behavior. In *Proceedings of the ahfe 2016 international conference on physical ergonomics and human factors* (Vol. 489, pp. 155–163). Springer.
- Liu, J., Sohn, J., & Kim, S. (2017). Classification of daily activities for the elderly using wearable sensors. *Journal of healthcare engineering*, 2017.
- Lou, E., Bazzarelli, M., Hill, D., & Durdle, N. (2001). A low power accelerometer used to improve posture. In *Electrical and computer engineering, 2001. canadian conference on* (Vol. 2, pp. 1385–1389).
- Lu, Y., Wei, Y., Liu, L., Zhong, J., Sun, L., & Liu, Y. (2017, Apr 01). Towards unsupervised physical activity recognition using smartphone accelerometers. *Multimedia Tools and Applications*, 76(8), 10701–10719. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11042-015-3188-y>

Luinge, H. J., Veltink, P. H., & Baten, C. T. (1999). Estimation of orientation with gyroscopes and accelerometers. In *[engineering in medicine and biology, 1999. 21st annual conference and the 1999 annual fall meeting of the biomedical engineering society] bmes/embs conference, 1999. proceedings of the first joint* (Vol. 2, pp. 844–vol).

Machado, L. R., Behar, P. A., & Doll, J. (2015). Pedagogical practices to teacher education for gerontology education. In *Smart education and smart e-learning* (pp. 403–413). Springer.

March, S. T., & Smith, G. F. (1995). Design and natural science research on information technology. *Decision support systems*, 15(4), 251–266.

Marín, P. P., Guzmán, J. M., & Araya, A. (2004). Adultos mayores institucionalizados en Chile: ¿cómo saber cuántos son? *Revista médica de Chile*, 132(7), 832–838.

Martinez-Mendez, R., Sekine, M., & Tamura, T. (2012). Postural sway parameters using a triaxial accelerometer: comparing elderly and young healthy adults. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 15(9), 899–910.

Massé, F., Gonzenbach, R. R., Arami, A., Paraschiv-Ionescu, A., Luft, A. R., & Aminian, K. (2015). Improving activity recognition using a wearable barometric pressure sensor in mobility-impaired stroke patients. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 12(1), 72.

Meijer, G. A., Westerterp, K. R., Verhoeven, F. M., Koper, H. B., & ten Hoor, F. (1991). Methods to assess physical activity with special reference to motion sensors and accelerometers. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 38(3), 221–229.

Mikkonen, M., Va, S., Ikonen, V., Heikkila, M., et al. (2002). User and concept studies as tools in developing mobile communication services for the elderly. *Personal and ubiquitous computing*, 6(2), 113–124.

Ministerio de Desarrollo Social, C. (2012). Política integral de envejecimiento positivo para Chile 2012-2025. , 4.

Montalto, F., Guerra, C., Bianchi, V., De Munari, I., & Ciampolini, P. (2015). Musa: Wearable multi sensor assistant for human activity recognition and indoor localization. In *Ambient assisted living* (pp. 81–92). Springer.

Moschetti, A., Fiorini, L., Esposito, D., Dario, P., & Cavallo, F. (2016). Recognition of daily gestures with wearable inertial rings and bracelets. *Sensors*, 16(8). Retrieved from <http://www.mdpi.com/1424-8220/16/8/1341>

Mots, T. M., Linda Fraas OTR, M., & Kathleen Stanton MS, R. (2002). Elder acceptance of health monitoring devices in the home. *Care Management Journals*, 3(2), 91.

Nag, A., Mukhopadhyay, S. C., & Kosel, J. (2017, July). Wearable flexible sensors: A review. *IEEE Sensors Journal*, 17(13), 3949-3960.

Nevins, R. J., Durdle, N., & Raso, V. (2002). A posture monitoring system using accelerometers. In *Electrical and computer engineering, 2002. IEEE CCECE 2002. Canadian conference on* (Vol. 2, pp. 1087–1092).

OECD. (n.d.). The survey of adult skills. Retrieved from [/content/book/9789264258075-en](#)

OMS. (2015). *Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud*. OMS Ginebra.

Ouslander, J. G. (1989). Medical care in the nursing home. *Jama*, 262(18), 2582–2590.

Pannurat, N., Thiemjarus, S., Nantajeewarawat, E., & Anantavasilp, I. (2017). Analysis of optimal sensor positions for activity classification and application on a different data collection scenario. *Sensors*, 17(4), 774.

Papadopoulos, A., Vivaldi, N., Crump, C., & Silvers, C. T. (2015). Differentiating walking from other activities of daily living in older adults using wrist-based accelerometers. *Current aging science*, 8(3), 266–275.

Peetoom, K. K., Lexis, M. A., Joore, M., Dirksen, C. D., & De Witte, L. P. (2015). Literature review on monitoring technologies and their outcomes in independently living elderly people. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 10(4), 271–294.

Rodríguez, I., Cajamarca, G., Herskovic, V., Fuentes, C., & Campos, M. (2017). Helping elderly users report pain levels: A study of user experience with mobile and wearable interfaces. *Mobile Information Systems*, 2017.

Saito, M., Nakajima, K., Takano, C., Ohta, Y., Sugimoto, C., Ezo, R., . . . others (2011). An in-shoe device to measure plantar pressure during daily human activity. *Medical engineering & physics*, 33(5), 638–645.

Salarian, A., Russmann, H., Vingerhoets, F. J., Burkhard, P. R., & Aminian, K. (2007). Ambulatory monitoring of physical activities in patients with parkinson's disease. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 54(12), 2296–2299.

Salguero, A., Martinez-Garcia, R., Molinero, O., & Marquez, S. (2011). Physical activity, quality of life and symptoms of depression in community-dwelling and institutionalized older adults. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 53(2), 152 - 157. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167494310002542>

Sallis, J. F., Haskell, W. L., Wood, P. D., Fortmann, S. P., Rogers, T., Blair, S. N., & Paffenbarger Jr, R. S. (1985). Physical activity assessment methodology in the five-city project. *American journal of epidemiology*, 121(1), 91–106.

Sazonov, E. S., Hegde, N., & Tang, W. (2013). Development of smartstep: An insole-based physical activity monitor. In *Engineering in medicine and biology society (embc), 2013 35th annual international conference of the IEEE* (pp. 7209–7212).

Scarborough, D. M., McGibbon, C. A., & Krebs, D. E. (2007). Chair rise strategies in older adults with functional limitations. *Journal of Rehabilitation Research & Development, 44*(1).

Schaie, K. W., & Willis, S. L. (2010). *Handbook of the psychology of aging*. Academic Press.

Schrack, J. A., Cooper, R., Koster, A., Shiroma, E. J., Murabito, J. M., Rejeski, W. J., ... Harris, T. B. (2016). Assessing daily physical activity in older adults: unraveling the complexity of monitors, measures, and methods. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences, 71*(8), 1039–1048.

Schwab, F., Lafage, V., Boyce, R., Skalli, W., & Farcy, J.-P. (2006). Gravity line analysis in adult volunteers: age-related correlation with spinal parameters, pelvic parameters, and foot position. *Spine, 31*(25), E959–E967.

Shahmohammadi, F., Hosseini, A., King, C. E., & Sarrafzadeh, M. (2017, July). Smart-watch based activity recognition using active learning. In *2017 IEEE/ACM International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)* (p. 321-329).

Sheehan, K., Greene, B., Cunningham, C., Crosby, L., & Kenny, R. (2014). Early identification of declining balance in higher functioning older adults, an inertial sensor based method. *Gait & posture, 39*(4), 1034–1039.

Shih, P. C., Han, K., Poole, E. S., Rosson, M. B., & Carroll, J. M. (2015). Use and adoption challenges of wearable activity trackers. *ICConference 2015 Proceedings*.

Shin, E.-H., & El-Sheimy, N. (2002). A new calibration method for strapdown inertial navigation systems. *Z. Vermess, 127*, 1–10.

Simon, H. A. (1996). *The sciences of the artificial*. MIT press.

- Soangra, R., & Lockhart, T. E. (2018). Inertial sensor-based variables are indicators of frailty and adverse post-operative outcomes in cardiovascular disease patients. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(6).
- Soaz, C., & Diepold, K. (2016). Step detection and parameterization for gait assessment using a single waist-worn accelerometer. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 63(5), 933–942.
- Stedmon, A. W., Howells, H., Wilson, J. R., & Dianat, I. (2012a). Ergonomics/human factors needs of an ageing workforce in the manufacturing sector. *Health promotion perspectives*, 2(2), 112.
- Stedmon, A. W., Howells, H., Wilson, J. R., & Dianat, I. (2012b). Ergonomics/human factors needs of an ageing workforce in the manufacturing sector. *Health promotion perspectives*, 2(2), 112.
- Steele, R., Lo, A., Secombe, C., & Wong, Y. K. (2009). Elderly persons' perception and acceptance of using wireless sensor networks to assist healthcare. *International journal of medical informatics*, 78(12), 788–801.
- Stisen, A., Blunck, H., Bhattacharya, S., Prentow, T. S., Kjærsgaard, M. B., Dey, A., ... Jensen, M. M. (2015). Smart devices are different: Assessing and mitigating mobile sensing heterogeneities for activity recognition. In *Proceedings of the 13th acm conference on embedded networked sensor systems* (pp. 127–140).
- Suriani, N. S., Rashid, F. N., & Yunus, N. Y. (2018). Optimal accelerometer placement for fall detection of rehabilitation patients. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC)*, 10(2-5), 25–29.
- Tacken, M., Marcellini, F., Mollenkopf, H., Ruoppila, I., & Szeman, Z. (2005). Use and acceptance of new technology by older people. findings of the international mobile survey: 'enhancing mobility in later life'. *Gerontechnology*, 3(3), 126–137.

- Takeda, H., Veerkamp, P., & Yoshikawa, H. (1990). Modeling design process. *AI magazine*, 11(4), 37.
- Tedesco, S., Barton, J., & O'Flynn, B. (2017). A review of activity trackers for senior citizens: Research perspectives, commercial landscape and the role of the insurance industry. *Sensors*, 17(6), 1277.
- Troiano, R. P., McClain, J. J., Brychta, R. J., & Chen, K. Y. (2014). Evolution of accelerometer methods for physical activity research. *Br J Sports Med*, bjsports-2014.
- Vaishnavi, V. K., & Kuechler, W. (2015). *Design science research methods and patterns: innovating information and communication technology*. Crc Press.
- van Lummel, R. C., Evers, J., Niessen, M., Beek, P. J., & van Dieën, J. H. (2018). Older adults with weaker muscle strength stand up from a sitting position with more dynamic trunk use. *Sensors*, 18(4), 1235.
- Walston, J., Meyer, J., Pearson, J., et al. (1995). Reliability and validity of the frail elderly functional assessment questionnaire. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 74(1), 45–53.
- Weiss, A., Brozgol, M., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2016). Can a single lower trunk body-fixed sensor differentiate between level-walking and stair descent and ascent in older adults? preliminary findings. *Medical engineering & physics*, 38(10), 1146–1151.
- Wu, A. Y., & Munteanu, C. (2018). Understanding older users' acceptance of wearable interfaces for sensor-based fall risk assessment. In *Proceedings of the 2018 chi conference on human factors in computing systems* (pp. 119:1–119:13). New York, NY, USA: ACM. Retrieved from <http://doi.acm.org/10.1145/3173574.3173693>
- Yin, D., & Chen, K. (2005). The essential mechanisms of aging: Irreparable damage accumulation of biochemical side-reactions. *Experimental gerontology*, 40(6), 455–465.

Young, R., Willis, E., Cameron, G., & Geana, M. (2014). “willing but unwilling”: Attitudinal barriers to adoption of home-based health information technology among older adults. *Health informatics journal*, *20*(2), 127–135.

Yu, M., Rhuma, A., Naqvi, S. M., Wang, L., & Chambers, J. (2012). A posture recognition-based fall detection system for monitoring an elderly person in a smart home environment. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, *16*(6), 1274–1286.

Zamarrón Cassinello, M., & Fernandez Ballesteros, R. (2000). Satisfacción con la vida en personas mayores que viven en sus domicilios y en residencias: factores determinantes. *Revista Española de Geriátría y Gerontología*, *35*(Supl. 2), 17–29.

Zhang, J. H., Macfarlane, D. J., & Sobko, T. (2016). Feasibility of a chest-worn accelerometer for physical activity measurement. *Journal of science and medicine in sport*, *19*(12), 1015–1019.

Zheng, Y., Wong, W.-K., Guan, X., & Trost, S. (2013). Physical activity recognition from accelerometer data using a multi-scale ensemble method. In *Iaai*.

Zhou, Z., Dai, W., Eggert, J., Giger, J. T., Keller, J., Rantz, M., & He, Z. (2009). A real-time system for in-home activity monitoring of elders. In *Engineering in medicine and biology society, 2009. embc 2009. annual international conference of the ieee* (pp. 6115–6118).

APÉNDICES

A. APÉNDICE

A.1. Codificación

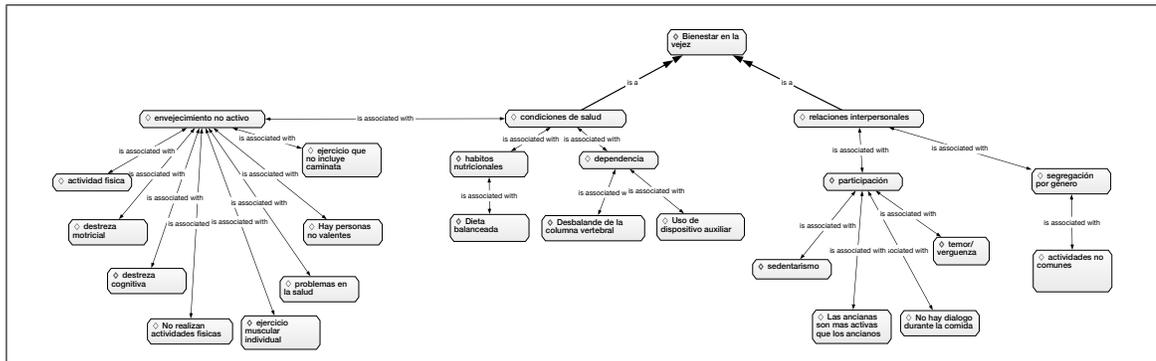


Figura A.1. Codificación