UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
TELECOMUNICACIÓN

**EVALUACIÓN DE LAS CIUDADES INTELIGENTES
COMO HERRAMIENTA PARA LA DETECCIÓN
TEMPRANA DE SIGNOS Y SÍNTOMAS DE
FRAGILIDAD EN ADULTOS MAYORES**

TESIS DOCTORAL

PATRICIA ABRIL JIMÉNEZ

INGENIERA DE TELECOMUNICACIÓN

Madrid, 2019

Departamento de Tecnología Fotónica y Bioingeniería
Grupo Life Supporting Technologies
E.T.S.I de Telecomunicación

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

TESIS DOCTORAL

**EVALUACIÓN DE LAS CIUDADES INTELIGENTES
COMO HERRAMIENTA PARA LA DETECCIÓN
TEMPRANA DE SIGNOS Y SÍNTOMAS DE
FRAGILIDAD EN ADULTOS MAYORES**

Autora: Patricia Abril Jiménez

Ingeniera de Telecomunicación

Directora:

María Teresa Arredondo Waldmeyer

Doctora Ingeniera de Telecomunicación

Madrid, 2019

*A Juan David, Pablo, Julia y
Norah*

Agradecimientos

El proceso de elaboración de una tesis siempre es largo, difícil y complejo, aunque satisfactorio. Y yo me lancé a completarlo, en un momento, en el que, sin el apoyo incondicional de mi entorno, no hubiera sido posible. Pero era el momento. No puedo, por tanto, presentar el resumen de todo este esfuerzo, sin reflejar a todos ellos.

Lo primero, a Teresa, por creer en mí, apoyarme y dejar que nos contagiemos de su entusiasmo, ilusión y capacidad de trabajo. Sin su apoyo en momentos difíciles y su ánimo para emprender segundas oportunidades nunca hubiera llegado hasta aquí.

La “época de propuestas” es un entrenamiento magnífico para afrontar con más calma la escritura de una tesis. Por eso quiero agradecer a Chiqui todo lo que he aprendido y compartido en esos momentos de trabajo a contrarreloj. Estoy segura de que me queda mucho todavía que aprender de ella.

A todos mis compañeros del LST, especialmente, a mi equipo del City4Age, Silvia, Miguel, Javier y Juanba. Y a Rebe y Cecilia por sus “*last minute tips*”.

A mis amigos y familiares, por animarme a acabarla, comprender que os dedicara menos tiempo, y aguantarme en los momentos de crisis, especialmente, a mis padres, mi suegra Paqui y mis tíos Loli y Alejandro, por estar siempre ahí cuando os necesitaba para sacar tiempo, y hacer de “niñeras” improvisadas.

A mis niños, Pablo, Julia y Norah por vuestros abrazos y sonrisas y hacerme disfrutar al máximo mi tiempo con vosotros.

A Juanda por tu paciencia, tu insistencia y tus ánimos incondicionales.

Resumen

Las sociedades del siglo XXI se están caracterizando por dos tendencias a nivel global: el envejecimiento de la población y la urbanización creciente. Ambas, proporcionan a nivel individual y colectivo un horizonte lleno de oportunidades y retos, que demanda una rápida adaptación de los servicios sociales y sanitarios a las crecientes necesidades de una población cada vez más numerosa, activa y con deseos de mantenerse independiente.

Esta urgencia en la adaptación requiere de soluciones disruptivas que permitan proporcionar, de forma accesible a toda la población, servicios integrados específicos que ayuden a los mayores a retrasar y compensar el deterioro funcional normal debido a la edad, de una forma sostenible en el tiempo. En este contexto, las soluciones orientadas al descubrimiento temprano de síntomas y signos de deterioro funcional son fundamentales. De este modo, se pueden establecer intervenciones personalizadas, orientadas a retrasar, frenar o revertir este deterioro antes de que se convierta en una discapacidad adquirida. El retrasar o revertir la discapacidad tiene una repercusión directa en la independencia del individuo, en su entorno y en los costes asociados al sistema sociosanitario.

La investigación presentada en este trabajo pretende explorar como la proliferación de redes de datos y sensores bajo el paradigma de las ciudades inteligentes, puede contribuir a la detección precoz de signos y síntomas de deterioro funcional en sus ciudadanos más mayores, y en particular, signos y síntomas tempranos de fragilidad.

Para ello, analiza los resultados de un experimento desplegado en la ciudad de Madrid durante casi dos años. Las métricas obtenidas por los sensores disponibles, en combinación la infraestructura open data de Madrid, ha servido

para recoger datos de los patrones de movilidad, transporte y lugares visitados de los participantes. Los resultados han demostrado la viabilidad de utilizar un sistema basado en tecnologías de la ciudad inteligente e IoT con personas mayores. Se han recogido satisfactoriamente, una colección de métricas de actividad que nos proporciona un perfil de lo activo que es el participante y los riesgos de fragilidad asociados a este perfil. La variación en el perfil de actividad, se ha podido relacionar con eventos en la salud, en su entorno cotidiano y su familia que pueden relacionarse con incremento del riesgo de deterioro funcional y que permite la identificación de potenciales áreas para la intervención temprana.

Este trabajo desplaza la evaluación de la fragilidad, tradicionalmente realizada en el ámbito doméstico, a la ciudad en su conjunto, como una extensión de su hogar, para mostrar un perfil de actividad completo, que englobe aspectos físicos, cognitivos, sociales, psicológicos y de la vida cotidiana de los ciudadanos mayores.

Abstract

XXI century's societies are characterized by two global trends: population ageing and the growing urbanization. Together, these trends create a whole new horizon full of opportunities and challenges, that requires from a quick adaptation of social and health services to the growing needs of an increasingly numerous population sector, more active and with a desire to remain independent.

This urgent adaptation requires from disruptive solutions that enable, in an accessible and sustainable manner, the provision of specific integrated services to elderly population with objective to delay and compensate the ageing normal functional deterioration. In this context, solutions aimed at the early detection of symptoms and signs of functional deterioration are fundamental. In this way, personalized interventions could be established, aimed at delaying, stopping or reversing this deterioration before a disability occurs. Delay or revert the disabilities has a direct impact on aged adults' independence, their environment and the social health system associated costs.

The research presented in this thesis aims to explore how the proliferation of data and sensor networks under the smart cities paradigm can contribute to the early detection of signs and symptoms of functional deterioration in its older citizens, and in particular, early symptoms of frailty.

This document analyzes the results of an experiment deployed in the city of Madrid for last two years. The metrics obtained by the available sensors, in combination with the open data infrastructure of Madrid, have served to collect data on the mobility, transport and visited places of the participants. The results have demonstrated the feasibility of using a system based on smart city and IoT technologies with older people. A collection of activity metrics has been successfully collected, which gives a profile of how active the participants are and the risks of fragility associated with those profiles. The variation on the activity profiles have been related to events in health, in their daily environment and their family and related to an increased risk of functional deterioration. This allows the identification of potential areas for early intervention.

This work displaces the assessment of fragility, traditionally carried out in the domestic sphere, to the city as an extension of citizens' home, to show a individual profile of complete activity, which encompasses physical, cognitive, social, psychological and the daily life of senior citizens.

Índice

Agradecimientos.....	v
Resumen.....	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
Índice de Figuras	xv
Índice de Tablas	xxi
Notación	xxiii
1 Introducción	1
1.1 <i>Los retos del aumento de la esperanza de vida</i>	<i>3</i>
1.2 <i>Personas mayores y discapacidad. El síndrome del adulto frágil</i>	<i>9</i>
1.2.1 <i>Conceptos sobre fragilidad, distintas formas de evaluación.....</i>	<i>16</i>
1.3 <i>Urbanización, vejez y oportunidades</i>	<i>21</i>
1.4 <i>Motivación y estructura de esta tesis</i>	<i>23</i>
2 Hipótesis y Objetivos	27
2.1 <i>Objetivos</i>	<i>28</i>
2.2 <i>Hipótesis.....</i>	<i>28</i>
3 Materiales y Métodos	31
3.1 <i>Métodos</i>	<i>31</i>
3.1.1 <i>Metodologías de Diseño</i>	<i>32</i>
3.1.2 <i>Metodologías de Desarrollo</i>	<i>35</i>
3.1.3 <i>Metodologías de validación.....</i>	<i>36</i>
3.2 <i>Materiales</i>	<i>39</i>
3.2.1 <i>City4Age</i>	<i>40</i>
3.2.2 <i>Madrid como Smart City</i>	<i>46</i>
4 Madrid: Instrumento para la detección de la fragilidad.....	49
4.1 <i>Etapa I: Planteamiento de la solución de monitorización</i>	<i>50</i>
4.2 <i>Etapa II: Evaluación del escenario de movilidad</i>	<i>62</i>
4.3 <i>Etapa III: Sistema para la captura de la actividad física en la ciudad de Madrid</i>	<i>70</i>

4.4	<i>Etapa IV: Despliegue del piloto y validación.....</i>	82
5	Resultados	97
5.1	<i>Descripción de la muestra</i>	99
5.1.1	Descripción socio-demográfica de la muestra.....	100
5.1.2	Descripción físico cognitiva de la muestra. Línea base	108
5.1.3	Datos de movilidad de la muestra	118
5.1.4	Descripción del nivel tecnológico de la muestra (al inicio del experimento)	121
5.2	<i>Análisis de los datos recogidos por el sistema</i>	124
5.2.1	Análisis de datos de movilidad. Correlación con eventos capturados por observación directa e instrumentos de fragilidad.....	126
5.2.2	Análisis de los datos de puntos de interés y transporte. Comparativa con los datos de movilidad y correlación con los datos de observación directa e instrumentos de fragilidad.....	132
5.2.3	Análisis de la ausencia de datos en largos periodos o reiterativas en algunos participantes.....	139
5.2.4	Análisis de la aceptación y usabilidad del sistema.....	145
6	Discusión y conclusiones.....	155
6.1	<i>Discusión e impacto de los resultados del trabajo de investigación.....</i>	157
6.2	<i>Discusión de las hipótesis planteadas.....</i>	165
6.3	<i>Aportaciones originales de esta tesis.....</i>	172
6.4	<i>Conclusiones y trabajo futuro.....</i>	175
	Referencias	177

Índice de Figuras

Figura 1 Principales influencias en cada uno de los tipos de envejecimiento	2
Figura 2 Determinantes para el envejecimiento según Lalonde.....	9
Figura 3 Actividades básicas e instrumentales de la vida cotidiana.....	10
Figura 4 Variables que estadísticamente ponderan como más riesgo para sufrir fragilidad	12
Figura 5 Niveles de autonomía de un individuo. Adaptada de “A global clinical measure of fitness and frailty in elderly people”	15
Figura 6 Dimensiones que influyen en el desarrollo del síndrome de fragilidad	16
Figura 7 Evaluación de la fragilidad según modelo propuesto por Fried (elaboración propia).....	18
Figura 8 Adaptada de A global clinical measure of fitness and frailty in elderly people (Rockwood K. S., 2005)	19
Figura 9 Dispositivos desarrollados en el piloto de Lecce para poder monitorizar las actividades de la vida diaria mediante la medición del consumo eléctrico (fuente: City4Age Project).....	41
Figura 10 Sesiones de reclutamiento del piloto de Singapur (fuente: City4Age Project).....	42
Figura 11 Reuniones de reclutamiento llevadas a cabo en Montpellier (fuente City4Age Project).....	42
Figura 12 Reunión de seguimiento y control del piloto de Atenas (fuente City4Age Project).....	43

Figura 13 Focus group del piloto de Birmingham (fuente City4Age Project)	43
Figura 14: Ciclo de Monitorización-Detección-Intervención del City4Age.....	44
Figura 15 Proporción de instrumentos para evaluar la fragilidad que incluyen actividad física antes y después de la recomendación de la OMS del 2004 sobre actividad física en mayores.	58
Figura 16 Proporción de instrumentos que evalúan de forma conjunta actividad física y cognitiva, frente a los que evalúan sólo actividad física o sólo actividad cognitiva.....	59
Figura 17 Focus Groups realizados en los Centros de Mayores del Ayuntamiento de Madrid.....	66
Figura 18 Representación a alto nivel del sistema utilizado para la captura de los datos de los usuarios desplegada en la ciudad de Madrid	75
Figura 19 Pantalla de configuración inicial del sistema LEBB.....	78
Figura 20 Pantalla de logs del CBB donde se muestra parte de los cálculos que hace a partir de las LEAs recibidas	79
Figura 21 Imágenes del Smart House Living Lab de la UPM, base para comenzar los experimentos de la Fase I y habilitado como Casa	85
Figura 22 Pantalla de configuración de los usuarios de la fase I. En el se marca zonas del campus de Moncloa que simulan lugares frecuentemente visitados por personas mayores	86
Figura 23 Zona del Campus de Moncloa y líneas de autobuses, utilizadas como área real controlada, durante los test de la fase I.....	86
Figura 24 Preguntas propuestas para evaluar la usabilidad del sistema propuesta y la aceptación y predisposición de los usuarios a su uso.....	96

Figura 25 Mapa de distribución de usuarios en la ciudad de Madrid de la muestra de los centros de mayores.....	100
Figura 26 Distribución de mujeres en la muestra general (izquierda) frente a la procedente de centros de mayores (derecha).....	101
Figura 27 Distribución de usuarios que viven acompañados y solos y distribución por género de estos últimos	103
Figura 28 Datos de nivel de socialización con sus familiares cercanos de la muestra total (n=45).....	104
Figura 29 Nivel de estudios entre los participantes agregados según la muestra a la que pertenecen.....	104
Figura 30 Nivel económico de cada muestra (SECOT y Centros de Mayores).105	
Figura 31 Distribución de ocupaciones de los usuarios en su vida activa general (izquierda) y por muestra (derecha).....	106
Figura 32 Distribución de los niveles de fragilidad de los participantes (muestra total)	111
Figura 33: Clasificación de línea base de los usuarios para el cuestionario de salud física y cognitiva.....	112
Figura 34 Participantes que tienen dificultad para caminar 1 km (a la izquierda) y para subir escaleras (a la derecha) tanto de la muestra total, como agregados por centros.	113
Figura 35 Participantes que han sufrido caídas en los últimos seis meses y consecuencias sobre sus actividades frente a los que no han sufrido caídas en el mismo periodo	114
Figura 36 Distribución de la participación en actividades de deportivas o recreacionales de los participantes de las dos muestras	115

Figura 37 Participantes que realizan actividades de intensidad moderada, frente a los que realizan actividad de intensidad alta	116
Figura 38 Número de usuarios que realizan actividades como voluntarios como parte de sus actividades de ocio.....	117
Figura 39: Distribución del uso de transporte público entre los usuarios participantes.....	119
Figura 40 Distribución de medios de transporte entre usuarios de la muestra SECOT (izquierda) y centros de mayores (derecha).....	120
Figura 41 Distribución del uso de Smartphone y sistemas operativos asociados a los participantes antes del comienzo del estudio	122
Figura 42 Capacidad tecnológica autopercebida	123
Figura 43 Capacidad tecnológica de la muestra SECOT (izquierda) frente a la de la muestra procedente de los centros de mayores (derecha)	123
Figura 44 Número de usuarios que han variado sus patrones de movimiento después de un periodo de inactividad.....	128
Figura 45 Cambio de tendencia de movilidad en algunos usuarios (ejemplo) .	129
Figura 46 Causas principales que se relacionan con pérdida de datos de la aplicación.....	130
Figura 47 Resumen de causas relacionadas con cambios en patrones de movilidad detectados con la aplicación.....	131
Figura 48 Ejemplo de un participante donde se observa los cambios en el patrón de tiempo pasado fuera de casa con respecto al tiempo(en minutos) en centros de salud debido a una enfermedad en el mes 4 (M4)	135
Figura 49 Ejemplo de uso del transporte público en usuarios que permanecieron hasta el final de experimento (línea base)	136

Figura 50 Puntos de interés (línea base) de los participantes que permanecieron en el experimento hasta su finalización.....	137
Figura 51 Ejemplo de cómo los patrones de transportes se ven afectados por eventos adversos.....	138
Figura 52 Comparación de uso del participante MAD2 un periodo habitual (en media) respecto al periodo en el que su pareja estuvo hospitalizada	139
Figura 53 Protocolo de actuación ante la detección de disminución de datos recibidos por parte de un participante.....	141
Figura 54 Causas principales de ausencia o disminución de volumen de datos recibidos detectadas	142
Figura 55 Resultados agregados de las preguntas 1, 2, 7 y 11 del test de usabilidad	147
Figura 56 Resultados de las preguntas 3, 4, 5 y 6 del test de evaluación de la usabilidad	149
Figura 57 Resultados de las preguntas 8, 9 y 10 de los tests de usabilidad	151

Índice de Tablas

Tabla 1 Resumen de los planes de acción del EIPonAHA (elaboración propia) ..	7
Tabla 2 Comparación de las herramientas clínicas para la evaluación de la fragilidad en adultos mayores analizadas para este trabajo.....	56
Tabla 3 Relación entre riesgo de fragilidad y actividades relacionadas con la movilidad de la persona en la ciudad.....	61
Tabla 4 Relación entre los factores geriátricos analizados y las LEAs definidas para el experimento de Madrid.....	72
Tabla 5 Relación entre factores geriátricos identificados y LEAs y medidas monitorizadas.....	80
Tabla 6 Fases de despliegue del experimento de validación.....	83
Tabla 7 Actividades llevadas a cabo por los participantes en la Fase I de validación del sistema.....	87
Tabla 8 Criterios de inclusión, exclusión y eliminación para los participantes en la fase II de evaluación del sistema.....	89
Tabla 9 Esquema de validación durante el experimento.....	92
Tabla 10 Resultados socioeconómicos agregados de la muestra presentada	106
Tabla 11 Resultados agregados de la evaluación inicial, basados en el Índice de habilidades funcionales.....	109
Tabla 12 Descripción rutinas de los participantes.....	118
Tabla 13 Uso del transporte público de la muestra presentada.....	121
Tabla 14 Uso previo de la tecnología y conocimiento tecnológico autopercebido	124

Notación

ABVD	Actividades Básicas de la Vida Diaria
ADL	Actividades de la Vida Diaria
AIVD	Actividades Instrumentales de la Vida Diaria
BLE	Bluetooth Low Energy
CBB	Cloud Building Block
CRTM	Consorcio Regional de Transportes de Madrid
EIPonAHA	European Innovation Partnership on Active and Healthy Ageing
EIPs	European Innovation Partnerships
EIP-SCC	European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities
EMT	Empresa Municipal de Transporte
FPM	Fuerza Prensil de la Mano
IMU	Inertial Measurement Unit
IoT	Internet of the Things
LEAS	Low Elementary Actions
LEBB	Local Environment Building Blocks
NFC	Near field communication
POI	Punto de Interés
TEA	Tercera Edad Activa
TICs	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

1 INTRODUCCIÓN

“Muchas personas no cumplen los ochenta porque intentan durante demasiado tiempo quedarse en los cuarenta”

Salvador Dalí

Fruto de los éxitos sociales, sanitarios y científicos de siglos anteriores, la población mundial ha conseguido unas tasas de supervivencia infantil y de esperanza de vida sin precedente (Organización Mundial de la Salud, 2018). Una vida más larga abre un horizonte de nuevas oportunidades en las personas y en las sociedades, pero no a cualquier precio. Vivir más tiene que significar llegar a etapas de gran longevidad de una forma sana e independiente. Es este uno de los mayores retos que los sistemas sociosanitarios occidentales tienen que afrontar: prevenir la llegada de un número creciente de personas a edades muy avanzadas en unas condiciones físicas, mentales y sociales que les permitan vivir manteniendo sus capacidades funcionales el mayor tiempo posible (Bengtson, 2018).

La heterogeneidad del problema hace difícil una única solución. No existe un fenotipo universal de persona mayor. Envejecer es diverso. La forma en la que cada persona envejece es única, consecuencia de los hechos ocurridos a lo largo del curso de su vida, incluso desde el momento mismo de su concepción (De la Fuente, 2001). De ahí que no exista una definición universalmente aceptada de envejecimiento. Sin embargo, hay una corriente mayoritaria, en la que los autores proponen que el envejecimiento humano es el resultado de la suma de dos

subtipos de envejecimiento¹: El envejecimiento primario (Vaupel, 1998), esto es, el proceso natural y progresivo debido a la edad y el envejecimiento secundario, producido por factores externos, normalmente de tipo ambiental.

Figura 1 Principales influencias en cada uno de los tipos de envejecimiento

Mientras que el envejecimiento primario es inevitable y no está relacionado con la presencia de enfermedades, el envejecimiento secundario se caracteriza por los problemas crónicos de salud. Dada la distinta naturaleza de ambos subtipos de envejecimiento, tradicionalmente la investigación se ha centrado en distintas características de cada uno.

En el caso del envejecimiento primario en los mecanismos genéticos, moleculares y celulares que intervienen en él. En el segundo tipo de envejecimiento, al ser fenómenos no relacionados con la edad ni la naturaleza propia del individuo, los investigadores se han centrado en la causa, prevención, desarrollo, manifestación, pronóstico y tratamiento de la enfermedad, sus consecuencias y como los hábitos

¹ Algunos autores hablan de un tercer tipo de envejecimiento (Birren, 1985; Kleemeier, 1962): El envejecimiento terciario que es el que se produce de forma muy acelerada poco antes de producirse la muerte, de manera que a medida que se acerca la muerte, las capacidades cognitivas y la capacidad de adaptación se deterioran de forma muy marcada, lo que provoca un incremento de la vulnerabilidad. Otros autores, lo consideran una consecuencia del envejecimiento primario (Stuart-Hamilton, 2012).

y estilos saludables de vida pueden retrasar sus consecuencias o incluso evitarlas (De la Fuente, 2001).

Es precisamente el envejecimiento secundario quien más influye en cómo envejece una persona, ya que salvo las variaciones debidas a la herencia genética (envejecimiento primario), la mayor parte se debe a su entorno físico y social. Además, es el envejecimiento secundario quien determina sus posibilidades de desarrollo social y sanitario, no sólo en el momento de la vejez, sino desde la infancia (Organización Mundial de la Salud, 2015; Organización Mundial de la Salud, 2018), por lo que es incidiendo sobre él donde la investigación puede hacer más por mejorar las condiciones de envejecimiento de las personas.

1.1 Los retos del aumento de la esperanza de vida

La tendencia al envejecimiento poblacional es global. Ya hace una década que se superaron los 80 años de esperanza de vida en países como Japón, Francia o España, y en los países en vías de desarrollo se están alcanzando tasas que rozan los 70 años (Organización mundial de la salud, 2014).

Para la Organización Mundial de la Salud (OMS) esto es una consecuencia del éxito a nivel mundial de las políticas de salud pública y de desarrollo económico. Sin embargo, es un éxito con matices, ya que la esperanza de vida al nacer puede constituir uno de los primeros signos de desigualdad entre ciudadanos, no ya entre distintos países (Japón tiene una esperanza de vida de 82,2 años, 40 años más que en algunos países africanos), sino entre poblaciones de un mismo país, dependiendo de características socioeconómicas de cada persona en el momento del nacimiento. Por ejemplo, en los Estados Unidos de América los grupos socioeconómicos más favorecidos tienen una esperanza de vida hasta 20 años mayor que los menos favorecidos (Organización Mundial de la Salud, 2018).

La uniformidad que tiene el problema a nivel global, aunque lleno en sí mismo de particularidades, es una de las paradojas del envejecimiento actual. Afecta a un gran número de países, pero cada país tiene sus propias características, es más, dentro de cada país cada región tiene sus diferencias. Esto hace que haya que tratarlo de una forma plástica, que permita adaptarse a las peculiaridades de cada población concreta, lo que genera unos retos a nivel social, económico y organizativo sin precedentes en la historia.

Aun siendo un problema global, no se puede olvidar que el envejecimiento es de cada persona, y que, a nivel individual, envejecer es un proceso natural, irreversible y con consecuencias directas en la salud de las personas y en su habilidad para realizar las tareas cotidianas. Es pues, el principal riesgo no modificable de discapacidad adquirida (Greene, 2017).

A nivel mundial, se estima que entre un 30% y 60% de las personas con necesidades especiales tienen su origen en causa debidas a la vejez (Verropoulou, 2017). Sin embargo, y pese a este dato, en las últimas dos décadas se ha modificado la percepción de la vejez como algo unívocamente asociado a la decadencia fisiológica y la enfermedad hacia una visión más positiva de la vejez, llena de oportunidades para seguir desarrollándose como persona y contribuyendo a la sociedad. Se ha pasado, pues, de una visión negativa y meramente economicista de la vejez, que sólo se centra en el incremento del gasto sanitario y en pensiones y del número de personas dependientes, a una visión en la que vivir más y mejor puede ser una fuente de nuevas oportunidades que es necesario aprovechar. Surge así el concepto de envejecimiento activo, que la Organización Mundial de la Salud (OMS) define como *"el proceso de optimizar las oportunidades de salud, participación y seguridad en orden a mejorar la calidad de vida de las personas que envejecen"* (Organización Mundial de la Salud, 2015) y que Europa

incorpora en los años 90 del siglo pasado a su estrategia común, adaptándola a la visión del estado del bienestar imperante en los países miembros.

Así, la estrategia europea de envejecimiento activo utiliza la teoría de envejecimiento productivo de corte liberal de Estados Unidos, pero poniendo énfasis en la calidad de vida y el bienestar físico y mental del individuo. De esta manera el concepto de envejecimiento activo europeo se centra en tres ámbitos fundamentales:

- Promover la vida independiente, mediante promoviendo la salud y la asistencia sanitaria preventiva, aumentando el número de años de vida saludable y autónoma.
- Formación permanente a lo largo de la vida para la participación laboral activa de las personas mayores.
- Participación social para evitar problemas asociados al aislamiento y la soledad.

Europa incorpora definitivamente este concepto a la estrategia común, en la *Estrategia Europa 2020* (Unión Europea, 2010), orientada a establecer las condiciones para un crecimiento inteligente, sostenible e inclusivo, haciendo especial hincapié en la necesidad de establecer las pautas para promover un envejecimiento saludable, con el objetivo de retrasar al máximo posible la aparición de las dependencias asociadas a discapacidades en las personas mayores. Para ello, establece una senda de innovación colaborativa, lanzando en 2011 los llamados EIPs (European Innovation Partnerships) (Comisión Europea, 2011).

Estos partenariados nacieron orientados a retos específicos y centrados en modernizar los sectores relacionados en cada uno de ellos, de forma rápida y efectiva, siempre buscando el beneficio social.

El primero de estos partenariados fue precisamente el orientado al Envejecimiento Activo y Saludable: EIPonAHA (*European Innovation Partnership on Active and Healthy Ageing*) (EIP on AHA, s.f.) que se marca como objetivo primario el incrementar en dos años el tiempo en que las personas mayores pueden vivir de forma independiente en el 2020, lo que supone una triple ventaja para Europa:

1. Permite a los ciudadanos vivir saludables, activos e independientes mientras envejecen.
2. Mejorar la sostenibilidad y eficiencia de los sistemas sociosanitarios.
3. Impulsar y mejorar la competencia en los mercados de las empresas que generan productos de innovación, respondiendo al reto del envejecimiento a nivel continental y mundial, creando así nuevas oportunidades de negocio.

EIPonAHA ha conseguido que colaboren los principales y más relevantes actores a nivel europeo, nacional y regional para colaborar en la búsqueda de soluciones que cubran las necesidades de la población mayor. A nivel organizativo, está estructurado en tres áreas prioritarias y seis grupos de acción (cinco específicos de cada uno de los pilares y uno más transversal a todos ellos) que afrontan los aspectos claves para el dominio del envejecimiento activo y la salud.

Un resumen de estos tres pilares, sus objetivos y los planes de acción para cada uno de ellos puede verse en la Tabla 1, que muestra los objetivos de cada uno de los planes de acción.

Tabla 1 Resumen de los planes de acción del EIPonAHA (elaboración propia)

Pilares	Objetivos	Planes de Acción	
Prevención, detección y diagnóstico	Mejorar la eficacia de los resultados clínicos a través de la mejora de la alfabetización en salud, empoderamiento de los pacientes, la ética y los programas de adherencia.	A1 “Acción sobre la prescripción y adherencia a nivel regional”	D4. “Innovación para crear edificios, ciudades y entornos amigables con la edad”
	Producir innovación en la gestión del personal de la salud a través de programas validados y buenas prácticas para el diagnóstico precoz y las medidas de prevención, incluida la promoción de la salud.	A2 “Gestión de la salud personal, a partir de una iniciativa de prevención de caídas”	
	Implementar programas integrados para la prevención, el diagnóstico precoz y el tratamiento del declive funcional, tanto físico como cognitivo, en las personas mayores.	A3 “Acción para la prevención del deterioro funcional y la fragilidad”	
Atención y cuidado	Difundir y poner en práctica, en su caso, protocolos, programas de educación y formación para profesionales de la salud, personal de atención y cuidadores informales/familiares para la gestión integral de casos en la fragilidad, multimorbilidad y telemonitorización.	B3. “Replicación y tutoría de la atención integral de las enfermedades crónicas a nivel regional, incluyendo la tele monitorización	
	Gestionar los casos de multimorbilidad, con nuevos modelos de atención y planes de atención individualizada dirigidos a una serie de enfermedades crónicas.		
	Reducir las hospitalizaciones evitables de personas mayores con enfermedades crónicas, a través los programas de atención integral y		

Pilares	Objetivos	Planes de Acción	
	modelos de gestión para la mejora de la eficiencia de los sistemas de salud.		
Envejecimiento activo y vida independiente	Apoyar a las personas con deficiencias cognitivas en el hogar a través de soluciones innovadoras y evidencia socio-económica sobre modelos de negocio viables para la inversión y la Innovación.	C2. “Desarrollo de soluciones interoperables de vida independiente, incluyendo directrices para los modelos de negocio”	
	Mejora del despliegue y la adopción de soluciones de vivienda independiente interoperables basados en estándares abiertos.		
	Apoyo a la integración social de las personas mayores mediante la replicación de soluciones validadas y aplicando modelos de financiación viables para la Inversión y la Innovación.		

El trabajo de esta tesis directamente se enmarca dentro de la grupo A3 “*Acción para la prevención del deterioro funcional y la fragilidad*”, partiendo de las evidencias que este grupo ha recogido en los últimos cuatro años sobre las evidencias que una detección temprana de estos síntomas y la aplicación de medidas preventivas y rehabilitadoras en estos primeros estadios, podrían mejorar la calidad de vida de las personas mayores, prolongar su vida independiente y evitar hospitalizaciones innecesarias y recurrentes, lo que ayudaría a reducir los costes sanitarios y sociales.

Sin embargo, dado el despliegue propuesto también enlaza con el trabajo que se viene realizando en el grupo de trabajo D4 “*Entornos amigables*”, como actividad transversal, ya que esta tesis explora como el entorno de la persona, a través de la infraestructura inteligente de una ciudad, puede anticipar problemas de salud en

el ciudadano y colaborar con otras instancias del sistema sociosanitario para mejorar su independencia y salud a medio plazo.

1.2 Personas mayores y discapacidad. El síndrome del adulto frágil

El proceso natural de envejecimiento provoca una serie de cambios fisiológicos que conducen en una pérdida progresiva de capacidades para realizar actividades cotidianas. No obstante, no es un proceso ligado, como se ha señalado en apartado anterior, en exclusiva a la edad cronológica, de manera que individuos con la misma edad cronológica pueden tener grandes diferencias en su estado funcional o biológico (Mitnitski A.B. et al., 2002).

Así pues, el proceso natural de envejecimiento tiene varios factores que influyen notablemente en su aceleramiento: La biología del individuo, el medio ambiente, el estilo de vida y el sistema sanitario (M., 1974) (Andersen, 2015) (Partridge, 2018). La concurrencia de estas cuatro condiciones serán determinantes para que el adulto mayor desarrolle algún tipo de discapacidad, esto es, dependencia a la hora de llevar a cabo actividades cotidianas, incluyendo las actividades básicas de la vida diaria y tareas de autocuidado (Abellán, 2011) (May, 2015).

Figura 2 Determinantes para el envejecimiento según Lalonde

En un intento de explicar esta heterogeneidad en la manera de envejecer y de encontrar términos con los cuales identificar aquellos individuos con una capacidad funcional reducida y, por tanto, el aumento de la probabilidad de

dependencia surge el concepto de fragilidad, estrechamente ligado al concepto de discapacidad.

Se estima que entre un 4,9% y 27,3% de los mayores presentan una discapacidad que les hace necesitar ayuda para la realización de las actividades básicas e instrumentales de la vida diaria presentadas en la Figura 3, lo que tiene un impacto socio-sanitario, familiar y económico directo (Bengtson, 2018), ya que la prevalencia de discapacidades en adultos mayores se asocia a un mayor riesgo de mortalidad, aumento del gasto sanitario y hospitalario y necesidad de cuidados a largo plazo (Brummel, 2017) (Neumann, 2017) (Muscedere, 2017).

La Figura 3 muestra algunas de las actividades básicas e instrumentales para la vida diaria. El proceso de discapacidad comenzaría cuando el sujeto pasa de ser independiente para todas ellas, a necesitar ayuda, ser dependiente y finalmente perder totalmente su autonomía para realizarlas.

Figura 3 Actividades básicas e instrumentales de la vida cotidiana

Aunque la discapacidad en personas mayores puede llegar de forma abrupta, lo que se conoce como discapacidad catastrófica, provocada por un evento clínico mayor (ictus, fractura de cadera, etc.), lo más habitual en esta población, es que se

llegue a ella mediante un deterioro paulatino y progresivo de la capacidad funcional del individuo (Chatterji, 2015).

En términos clínicos este deterioro funcional a lo largo del tiempo se define como *“el deterioro paulatino de los sistemas reguladores de la homeostasis y que conduce a una situación de poca o nula capacidad de respuesta a agentes estresantes”* (Checa López, 2016) lo que se conoce como discapacidad no catastrófica.

El estado previo a la aparición de esta discapacidad y donde el riesgo de discapacitarse es máximo se ha denominado **síndrome de fragilidad**.

Este concepto se ha desarrollado para cuantificar la susceptibilidad creciente y la vulnerabilidad de una persona a sufrir un trastorno o discapacidad. Este proceso no es inmediato, sino que puede preceder en varios años al desarrollo y aparición de una discapacidad (Fried, 2001; Kojima, 2017), y además puede ser reversible tanto de forma espontánea (Gill, 2006) (Xue, 2011) como por intervenciones basadas en ejercicio físico o actividad cognitiva (Pahor, 2014).

El proceso es reversible siempre antes de que aparezca la discapacidad. Una vez que ésta aparece y que se ha superado el umbral de fragilidad, es poco probable la recuperación y el pronóstico de fin catastrófico (discapacidad creciente y muerte en un periodo de pocos años, que estadísticamente es inferior a 2 años) se hace evidente. Precisamente la característica de reversibilidad es lo que hace la fragilidad atractiva para aplicar medios en su detección precoz (Ferrucci, 2002; Buckinx, 2015) e intervenciones para revertirla, ya que mejora las expectativas de vida de la persona afectada y mejora su calidad de vida y entorno social (Romero-Ortuno, 2014).

La fragilidad puede tener componentes biológicos, mentales y sociales y multitud de consecuencias diversas (Clegg, 2013; Hogan, 2018; Smetcoren, 2018), siendo un concepto muy valioso en estudios relacionados con la población, porque indica

la presencia o ausencia de recursos para la realización de actividades de la vida cotidiana (Ferrucci, 2002).

En efecto, la evaluación de la fragilidad se ha convertido en un procedimiento geriátrico estándar en las unidades de geriatría, medicina aguda y cuidados de rehabilitación, ya que ofrece una evaluación personalizada de riesgo individual de dependencia y discapacidad y ofrece el potencial de ofrecer intervenciones personalizadas y adaptadas (Mangione, 2010; Cesari M. P., 2016).

Sin embargo, a pesar del uso universalizado del concepto de fragilidad en la práctica médica diaria, no existe un consenso sobre la definición de fragilidad ni sobre cuáles son sus componentes más indicativos y su definición operacional es todavía controvertida (Mangione, 2010). Esta falta de consenso sobre cómo definirla dificulta su identificación clínica, los riesgos asociados a la misma y por tanto, su prevención.

Dependiendo del estudio, la prevalencia de este síndrome en adultos mayores de 65 años se sitúa entre un 4% y 50,1%, siendo muy variable entre las distintas series y aumentando con la edad (Gale, 2014) (Romero-Ortuno, 2014) (Clegg, 2013) (Theou, 2015) (Garcia-Garcia, 2011) (Abellán García, 2017), más frecuente en mujeres que en hombres y como mayor prevalencia en personas con menores niveles educacionales y salariales, peor salud y mayores tasas de comorbilidad y enfermedades crónicas (Hoogendijk, 2018).

Figura 4 Variables que estadísticamente ponderan como más riesgo para sufrir fragilidad

Esta variabilidad puede ser explicada parcialmente por las discrepancias que existen en la definición de fragilidad (Buckinx, 2015), aunque también influyen factores sociodemográficos y geográficos asociados al proceso de envejecimiento (Organización Mundial de la Salud, 2015).

Esta variabilidad en su prevalencia es debida a que la fragilidad fue descrita por primera vez mediante estudios epidemiológicos utilizando principalmente dos marcos metodológicos distintos que explicaremos en detalle a continuación (ver sección 1.2.1 Conceptos sobre fragilidad, distintas formas de evaluación), aunque en la actualidad muchos autores los consideran complementarios (Cesari M. L., 2014), ya que ambos modelos hablan de un estado a partir del cual se inicia con una pérdida de la reserva fisiológica del organismo que lleva al inicio de un deterioro funcional, que si progresa, lleva al individuo a una situación de vulnerabilidad que de no revertirse, puede acabar en dependencia, discapacidad y aumentar el riesgo de mortalidad.

En cualquier caso, esta condición geriátrica representa un reto mayor tanto a nivel social como sanitario debido a sus múltiples consecuencias clínicas y sociales y a su naturaleza dinámica. Su detección es multidimensional y en todas las acepciones se consideran diversos aspectos:

- Síntomas físicos, que pueden incluir también dolor, que revelan enfermedades y trastornos.
- Síntomas de salud mental, incluyendo memoria, estado de ánimo y capacidad organizativa.
- Nivel de autonomía para realizar las actividades cotidianas, tanto de aseo personal (lavarse, vestirse, alimentarse, continencia y movilidad) como habilidad para relacionarse con el entorno (comunicación, comprar, etc.), redes sociales tanto informales (amigos, familia, etc.) como formales

(servicios sociales), entorno donde vive (estado de la casa, confort y habitabilidad de la misma, habilidad para usar los transportes locales y la tecnología) y nivel de conciencia personal, esto es, que el individuo sea consciente de sus deberes, posesiones, recuerdos, actividades y funciones

Atendiendo a nivel de autonomía en cada uno de estos aspectos, todos los modelos consideran diferentes estados de fragilidad, cada uno de los cuales necesitará un tipo de intervención específica:

- Adulto mayor saludable. En este grupo se englobarían los mayores de 60 años sin ningún tipo de disfunción. Tienen una capacidad funcional buena y son capaces de llevar a cabo actividades básicas e instrumentales de la vida diaria (ADL). Además, no hay presentes problemas sociales y hábitos de vida no saludables.
- Pre-frágil. En este grupo se engloban las personas sanas con algún tipo de enfermedad crónica (el mismo comportamiento que un adulto enfermo). Suelen visitar frecuentemente al médico e incluso haber sufrido varias hospitalizaciones debido al mismo proceso, pero no tienen diagnosticado ningún otro problema mental, físico o social. Sus problemas de salud pueden ser tratados mediante los servicios sanitarios tradicionales.
- Frágil. En este grupo dependiendo la definición de frágil que eligiéramos, entrarían un mayor número de personas o menos, pero en general, son personas que mantienen de forma precaria su independencia y con un riesgo bastante alto de convertirse en dependientes. Las distintas definiciones incluyen aquí a individuos con comorbilidades, que están bien balanceadas le permiten una independencia básica. Procesos intercurrentes (infecciones, caídas, cambios de medicación, hospitalizaciones, etc.) pueden desencadenar la situación de pérdida de independencia y que requieran a los servicios socio-sanitarios para que les

den apoyo. La capacidad para desarrollar las actividades básicas de la vida diaria (por ejemplo, el cuidado personal) están preservadas, pero tienen problemas para completar actividades instrumentales de la vida cotidiana complejas. El hecho fundamental, sea cual sea la definición que se aplique, es que la independencia está en riesgo y el individuo tiene alta probabilidad de desarrollar una discapacidad a corto plazo que lo haga dependiente.

- Dependiente. En este caso, incluiríamos aquí a cualquier persona mayor con uno o varios trastornos crónicos que no puedan ser tratados con los sistemas sanitarios básicos. Estos pacientes son personas dependientes para realizar las actividades básicas de la vida cotidiana y necesitan ayuda de otras personas. Son frecuentes la concurrencia de trastornos mentales o sociales. Se describen distintos grados de dependencia en función de las funcionalidades que conserven los individuos.

Figura 5 Niveles de autonomía de un individuo. Adaptada de "A global clinical measure of fitness and frailty in elderly people"

Las características más frecuentes de las personas frágiles para cada uno de los dominios son:

1. Evidencias sociodemográficas: La probabilidad de convertirse en frágil se incrementa con la edad. Es más frecuente en mujeres, con poca formación académica y menores ingresos comparativamente hablando con los adultos no frágiles.

2. Síntomas físicos: Un gran número de trastornos crónicos como hipertensión, infartos, diabetes e intercurrentes como caídas. Suelen ser personas con estilos de vida o hábitos poco saludables, como falta de ejercicio físico y consumo de alcohol y tabaco.
3. Estado cognitivo, psicológico y emocional. Suelen tener algún tipo de discapacidad cognitiva, depresión o distimia.
4. Capacidades funcionales: Necesitan ayuda para la realización de actividades cotidianas, especialmente las instrumentales, problemas de movilidad y necesidad de ayuda a domicilio.

Figura 6 Dimensiones que influyen en el desarrollo del síndrome de fragilidad

Atendiendo a estas cuatro dimensiones hay distintas formas de evaluar la prevalencia de fragilidad tal y como se pasa a describir en el siguiente apartado.

1.2.1 Conceptos sobre fragilidad, distintas formas de evaluación

Como ya se ha señalado anteriormente las bases de los instrumentos para la evaluación de la fragilidad se han realizado mediante dos grandes estudios epidemiológicos en los que se modelaron las dos acepciones principales de fragilidad: *Modelo Fenotipo de Fragilidad* (Fried, 2001) y el *Modelo de Déficit Acumulativo-FRAIL Index* (Rockwood K. &, 2007).

El más antiguo de estos estudios epidemiológicos “*The Cardiovascular Health Study*” desarrolló el “*Modelo Fenotipo de Fragilidad*”, conocido en la práctica clínica como el **Modelo de Fried**, describe un grupo de características del individuo

(pérdida no intencionada de peso, reducción de la masa muscular, reducción de la velocidad del paso, agotamiento y pérdida de energía) que si se presentan, pueden predecir la aparición de discapacidad para la realización de actividades de la vida cotidiana, así como caídas, hospitalización y riesgo de mortalidad.

En este modelo, se considera una persona frágil si tiene tres o más características de las nombradas y se basa fundamentalmente en elementos físicos para considerar que una persona es frágil, convirtiéndose la sarcopenia (pérdida de masa muscular y fuerza) en una causa fundamental de la fragilidad. En el modelo propuesto, no sólo identifica rasgos biológicos fundamentales de la aparición de la fragilidad, sino que sugiere procedimientos para medirlos.

1. Pérdida no intencionada de peso de al menos el 5% en el último año.
2. Cansancio o agotamiento objetivado mediante el *Epidemiologic Studies Depression Scale (CES-D)* (Radloff, 1977).
3. Baja actividad física diaria, valorado mediante el cuestionario *Minnesota Leisure Time Activity* (Taylor, 1978).
4. Lentitud al caminar calculado mediante la velocidad media en 4 metros recorridos
5. Debilidad muscular mediante el cálculo de la fuerza en la mano con un dinamómetro, inferior al 20% del límite de la normalidad para su sexo e índice de masa corporal.

La siguiente figura muestra un resumen de la escala de Fried para la detección de la fragilidad en adultos mayores:

Figura 7 Evaluación de la fragilidad según modelo propuesto por Fried (elaboración propia)

Más recientemente, “*The Canadian Study of Health and Ageing*” desarrolló el “*Modelo de Déficit Acumulativo-FRAIL Index*” propuesto por Rockwood y sus colaboradores. Se basa en la presencia acumulativa de déficits (por ejemplo, pérdida de oído, mal humor, temblores, demencia, etc.) que pueden ocurrir con la edad, incrementan el “índice de fragilidad” que a su vez incrementa el riesgo de tener un episodio adverso que derive en una discapacidad. A diferencia del anterior, considera otras características del individuo, cognitivas o de estado de ánimo, a parte de las físicas, para considerar si una persona está en riesgo de convertirse en frágil. Para el equipo de Rockwood la fragilidad está asociada al equilibrio inestable de una balanza cuya dirección dependerá de los pesos positivos y negativos que sobre ella incidan (Rockwood K. &, 2007).

En el Índice de Fragilidad desarrollado por Rockwood (*Frail Index*) se identifican en concreto 70 déficits, referentes al estado cognitivo, funcional, nutricional, emocional y social, en base a los que establecen 4 grados de discapacidad progresiva, incluidas las actividades básicas de la vida diaria, la deambulación, las continencias y la cognición. La escala finalmente establece tiene 7 grados progresivos de nivel de fragilidad: 1) robusto; 2) bien, sin enfermedad; 3) bien,

con enfermedad controlada; 4) vulnerable aparentemente; 5) leve dependencia en AIVD; 6) ayuda en las AIVD y en las ABVD, y 7) dependiente o terminal.

Un resumen de las principales características de cada uno de los grados definidos puede verse en la Figura 8:

Figura 8 Adaptada de A global clinical measure of fitness and frailty in elderly people (Rockwood K. S., 2005)

Esta escala incluye en la práctica predictores de mortalidad, pero al incluir medidas de discapacidad en sí misma, algunos autores la consideran alejada del concepto primario de fragilidad como un estado precursor de la discapacidad y sobre el que se puede actuar para prevenirla. (Martín, 2010) (Makary, 2010).

A partir de estos trabajos se han ido generando progresivamente nuevos instrumentos basados en criterios epidemiológicos y que aúnan características predictivas de ambas corrientes. También se han abierto nuevas áreas de investigación para determinar las causas de la fragilidad más allá de la observación.

Una de las áreas que más interés ha centrado es el estudio de la sarcopenia como característica definitoria de fragilidad. La fragilidad y la sarcopenia suelen

compartir vías etiopatogénicas entre las que se encuentran factores genéticos, factores nutricionales y energéticos, difusión endocrina, alteraciones neuromusculares y vías metabólicas, existen vías que tratan de determinar marcadores biológicos de fragilidad en cada una de estas áreas. No obstante, estas vías de investigación quedan fuera del ámbito de esta tesis, que se centrará únicamente en la identificación de factores de fragilidad en los dominios referidos en la Figura 6 Dimensiones que influyen en el desarrollo del síndrome de fragilidad, como el estado físico, la capacidad funcional, etc.

Para ello, y utilizando como base el trabajo en el proyecto colaborativo *Elderly-friendly City services for active and healthy ageing* (City4Age) (CITY4AGE project, s.f.), se ha realizado un estudio exhaustivo de los distintos instrumentos y sus variantes que en la práctica clínica se utilizan para determinar la existencia o no de fragilidad.

El objetivo de este estudio fue el de determinar cuáles de las herramientas disponibles para evaluar la fragilidad, puede ser de mayor utilidad para la aplicación a la detección de fragilidad de forma no invasiva, utilizando las estructuras de monitorización (redes de sensores distribuidos) disponibles en las ciudades inteligentes. Los resultados del estudio se encuentra resumidos en el “Capítulo 4 Madrid: Instrumento para la detección de la fragilidad”.

Las revisiones sistemáticas consultadas (Checa López, 2016) (Hoogendijk, 2018) (Romero-Ortuno, 2014) (Rodríguez-Mañas, 2017), así como el estudio general de la literatura, sugieren que, de las herramientas disponibles, no hay ninguna que destaque sobre otra, sino que dependiendo de las características de cada instrumento, el evaluador deberá elegir aquella que considere más apropiada para cada situación específica o se ajuste más a las condiciones de cada ámbito de evaluación. Sin embargo, si se ha observado que, dado que todas son variantes de los dos estudios descritos al principio de este apartado, hay elementos

comunes en todos ellas que pueden ser utilizados como base para la realización de un instrumento de apoyo a la detección de fragilidad en personas mayores.

Tomando como base esta conclusión, esta tesis refleja el trabajo que se ha hecho para determinar que parámetros sintomáticos de la fragilidad, comunes a la mayoría de las herramientas disponibles, son identificables, cuantificables y útiles para de ser detectados de forma no intrusiva usando la infraestructura que disponible en las ciudades inteligentes, con el fin de detectar precozmente síntomas y signos asociados al síndrome de fragilidad y prevenir la aparición de discapacidades asociadas a esté en adultos mayores.

1.3 Urbanización, vejez y oportunidades

En los apartados anteriores se ha explicado que al proceso natural de envejecimiento, hasta ahora irreversible, se añaden dos factores que ponderan para el desarrollo de una discapacidad en el adulto mayor: El estilo de vida y las enfermedades desarrolladas. El entorno en el que vive una persona influye en gran medida en estos dos factores.

Al observar las tendencias de envejecimiento poblacional a nivel mundial, destaca las peores perspectivas que el reto del envejecimiento tiene en las ciudades, debida fundamentalmente a la tendencia creciente a urbanización de la población y a que la generación de los llamados “*baby-boomers*”² es fundamentalmente urbana. En 2030 más de la mitad de la población mundial vivirá en ciudades, y un cuarto de ellos, tendrá más de 65 años (Department of Economic and Social Affairs - WHO, 2014). El modelo tradicional de salud pública tiene que afrontar el reto de nuevos modelos sociales y ambientales que las ciudades del siglo XXI demandan (Van Lierop, 2015; Bengtson, 2018).

² Baby boomer es un término usado para describir a las personas que nacieron durante el baby boom, que sucedió en algunos países, en el período contemporáneo y posterior a la Segunda Guerra Mundial, entre los años 1946 y 1964

En este sentido, las ciudades inteligentes (Smart Cities), han emergido como un paradigma que ve en el reto de la urbanización creciente de la población una ventaja para mejorar la vida de los ciudadanos. La gran cantidad de datos disponibles permite mejorar la vida de las personas, haciendo sus actividades diarias, como la movilidad, la salud o el ocio, más eficiente y mejorando la salud pública, mediante control de la calidad del aire, el agua, etc (Pramanik, 2017).

Al igual que con el envejecimiento activo y saludable, la Unión Europea ha creado un European Innovation Partnership (EIP) orientado a ciudades y comunidades inteligentes: The European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities (EIP-SCC). El objetivo principal del EIP-SCC es hacer la vida urbana más sostenible a través de soluciones integrales que afronten los retos de las ciudades en materias como la energía, la movilidad y el transporte y las TICs.

En este sentido, dadas las enormes áreas de trabajo común que tienen el EIP-AHA D4 y el EIP-SCC, durante el año 2018 se han establecido grupos de trabajo conjuntos. Estos grupo de trabajo están orientados a establecer un plan de acción que permita llevar a cabo las recomendaciones y las acciones, impulsadas por la OMS e identificadas por el EIP-SCC para el soporte y mantenimiento de comunidades “*smart and aged-friendly*”, esto es ciudades que fomenten, de forma sostenible, el envejecimiento, adaptándose a las necesidades de este colectivo e integrándolo en el sociedad.

En este grupo de trabajo se han reconocido varias tecnologías y acciones con mayor potencial para desarrollar e implementar los objetivos del EIPonAHA dentro de una ciudad. Como resultado de su trabajo conjunto se ha publicado un documento que pretende ser una guía de desarrollo y de buenas prácticas para la construcción de la Ciudad Inteligente del futuro, más inclusiva, más accesible y más colaborativa (EIPonAHA, 2018).

Una Ciudad Inteligente se construye sobre la tecnología que dote a las infraestructuras de la ciudad de “inteligencia”. De entre todos los avances tecnológicos necesarios para dotar de inteligencia a las ciudades, el *Internet of Things* (IoT) se prevé juegue un rol principal en el desarrollo sostenible, colaborativo y accesible de las ciudades inteligentes. De acuerdo con el *European Research Cluster on the Internet of Things* (IERC , 2016), IoT es una infraestructura de red global y dinámica auto configurable donde las “cosas” físicas y virtuales son identificables y se comunican mediante protocolos estándares e interoperables. Esta capacidad abre un nuevo paradigma en la gestión y desarrollo de entornos inteligentes.

Hasta ahora, la monitorización no intrusiva de individuos y la gestión de entornos inteligentes se habían limitado, en el caso de las soluciones para el envejecimiento activo y vida independiente, fundamentalmente a casas o edificios. Sin embargo, la tecnología IoT y las ciudades inteligentes, permiten desarrollar plataformas para capturar datos en múltiples entornos urbanos de manera simultánea. Esta posibilidad, permite extender el paradigma de *Ambient Assisted Living* (Rashidi, 2013) de las casas a las ciudades, generando nuevas oportunidades para la detección precoz de deterioro cognitivo y fragilidad.

1.4 Motivación y estructura de esta tesis

El cribado de la fragilidad y la implantación de intervenciones en sus fases iniciales puede prevenir el riesgo de pérdida de autonomía y la aparición de discapacidades y otros incidentes sanitarios (por ejemplo, caídas, depresiones, aislamiento social, etc.) en mayores de 65 años, lo que tendría un impacto positivo colectivo a nivel económico y social, pero también a nivel individual, con un impacto directo en la calidad de vida de los ciudadanos mientras envejecen.

Dado que la fragilidad es una condición progresiva que comienza con un estado preclínico, es posible la detección precoz y por tanto, la prevención y la rehabilitación.

Sin embargo, al no existir un consenso universal sobre su definición, existen multitud de herramientas de cribado e instrumentos de valoración, que hace imposible determinar cuál es la mejor herramienta de cribado. Esto dificulta la generación de herramientas TIC que agilicen la detección temprana de síntomas y la aplicación de políticas de prevención de manera que los mayores costos de las sociedades en las personas mayores sean los de los beneficios perdidos en no aplicar políticas adecuadas que promuevan el envejecimiento de una forma saludable e integrada en la sociedad.

En la práctica, y según hemos visto en 1.2.1 **Conceptos sobre fragilidad, distintas formas de evaluación**, distintas formas de evaluación, dependerán de la experiencia del facultativo y las condiciones de entorno en las que vive la persona mayor.

El trabajo presentado en esta tesis pretende dar respuesta a los puntos desarrollados en este capítulo, planteando un marco para la monitorización continua de los patrones de comportamiento de los ciudadanos a través de la infraestructura de la Ciudad Inteligente. Este marco no intrusivo, pretende determinar qué factores son los más determinantes para valorar el riesgo que una persona en concreto tiene de convertirse en frágil, incluso antes de que las herramientas actualmente utilizadas en atención primaria y urgencias, donde es frecuente que el diagnóstico de fragilidad sea dado una vez que aparece la discapacidad, una vez que ya no es reversible. El fin último sería, por tanto detectar los primeros signos y síntomas de fragilidad, que habitualmente pasan desapercibidos, incluso para el propio individuo, con el fin de enviar intervenciones personalizadas que ayuden a revertir el riesgo de convertirse en

frágil, y por tanto, contribuyan a la independencia de la persona, alargando y mejorando la calidad de vida de nuestros mayores.

El documento se ha estructurado en diferentes capítulos para explicar el proceso de investigación:

- Capítulo 1. Introduce el problema que la tendencia al envejecimiento poblacional tiene, unido a la creciente urbanización de la población, poniendo en riesgo los sistemas sociosanitarios tal y como están desarrollados en la actualidad. Hace un análisis de la estrategia europea para combatirlo y se centra en el problema de la fragilidad como principal causa de discapacidades adquiridas, aunque reversibles, con atención primaria personalizada, identificando así, los elementos y factores que pueden generar un impacto positivo en el problema del envejecimiento y entendiendo los límites y las barreras actuales para afrontarlo, aunque también las soluciones que se están implementando.
- Capítulo 2: Se expone las hipótesis de investigación y los objetivos del trabajo de investigación
- Capítulo 3: Se describe la aproximación metodológica del trabajo de investigación y las actividades para verificar las hipótesis planteadas, así como los métodos y materias seleccionados para implementar estas actividades.
- Capítulo 4: Se desarrolla la metodología y describe las actividades desarrolladas para llevar a cabo el trabajo de investigación.
- Capítulo 5: Se presenta y analiza los resultados que el sistema propuesto ha recogido durante su aplicación y se comparan con resultados de los mismos participantes obtenidos por métodos clínicos clásicos, así como la

relación de sus eventos clínicos mayores (caídas, hospitalizaciones, etc.) y otros datos recogidos por observación directa.

- Capítulo 6: Se discuten las hipótesis planteadas en base a los resultados conseguidos. Este capítulo presenta además las contribuciones originales del trabajo de investigación presentado y finaliza con las líneas de investigación futura que se han iniciado.

2 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

*“La formulación de un problema es más importante
que su solución”*

Albert Einstein

Este trabajo de investigación pretende evaluar si nuevos mecanismos de monitorización continua de los ciudadanos, usando la creciente disponibilidad de infraestructura IoT y “Smart” en las ciudades, son aptos para la detección precoz de síntomas asociados al adulto frágil.

Determina que parámetros, de los actuales instrumentos usados para medir la fragilidad, son más adecuados para la monitorización continua de individuos usando la infraestructura de redes y sensores de las ciudades inteligentes y en base a esto, valida el sistema propuesto comparando los potenciales hallazgos del sistema, con instrumentos clínicos habitualmente usados para evaluar la fragilidad.

Este capítulo presenta las preguntas de investigación o hipótesis que se han planteado para la realización de esta tesis. También presenta los objetivos específicos que se han ido definiendo para probar estas hipótesis.

2.1 Objetivos

El objetivo principal de esta tesis es:

Entender y explorar cómo las Ciudades Inteligentes pueden contribuir a mejorar la detección temprana de los riesgos relativos a la fragilidad

Además, se han definido los siguientes objetivos relacionados:

O1 Definir parámetros comunes a los instrumentos de evaluación de la fragilidad actuales trasladables a un sistema de monitorización TIC que use la infraestructura de una ciudad inteligente para monitorizar a los adultos mayores mientras realizan sus actividades por la ciudad de manera no intrusiva.

O2 Analizar y evaluar si los datos recogidos por el sistema planteado son útiles para la evaluación de la fragilidad de forma temprana y de una forma homologable a los instrumentos clínicos actuales.

O3 Entender las necesidades de los ciudadanos mayores cuando se mueven por su ciudad y analizar si el sistema propuesto se adapta a tales necesidades.

O4 Evaluar la aceptación de nuevos paradigmas de interacción, como el planteado IoT, propuesto por el sistema por parte de personas mayores.

2.2 Hipótesis

Las Ciudades Inteligentes pueden proveer de información sobre sus ciudadanos, sustancial y relevante para mejorar la condición física, cognitiva y psicológica, útil para prevenir y detectar de forma temprana los síntomas asociados a la fragilidad.

Preguntas de investigación:

PI1: ¿Es posible realizar una monitorización continua no invasiva de los patrones de movimiento de las personas mayores en la ciudad usando la propia infraestructura urbana e IoT? ¿Puede esta monitorización realizarse de forma totalmente transparente para el usuario?

PI2: ¿Es esta información relevante para la detección temprana de síntomas asociados a la fragilidad?

PI3: ¿Cuáles son los factores clave para la aceptación del sistema por parte de los usuarios finales? ¿Son eficaces las intervenciones realizadas a través de un sistema IoT para prevenir la fragilidad?

PI4: ¿Mejora la interacción transparente e intuitiva propuesta por la tecnología IoT la utilización del sistema por parte de las personas mayores?

3 MATERIALES Y MÉTODOS

*“Nada tiene tanto poder para ampliar la mente
como la capacidad de investigar de forma
sistemática y real todo lo que es susceptible de
observación en la vida”*

Marco Aurelio

Esta tesis surge como respuesta a dos de los mayores retos que los sistemas de salud contemporáneos están haciendo frente. Por un lado, la creciente esperanza de vida y por otro lado la urbanización creciente de la población.

Para plantear y resolver las hipótesis y objetivos seleccionados en esta tesis, se han tenido que aplicar distintos métodos y materiales que se describen a continuación.

Dada la complejidad del tema planteado, así como las dificultades inherentes al despliegue del experimento resultante, cada metodología y método planteado describe su utilidad y objetivos y en qué etapa se ha utilizado.

3.1 Métodos

Este trabajo de investigación utiliza como laboratorio de pruebas para validar sus hipótesis la ciudad de Madrid en su conjunto. El involucrar a una ciudad de las dimensiones de Madrid para llevar a cabo el experimento más adelante descrito, implica comprender las necesidades de una gran cantidad de actores. Esto requiere utilizar varias metodologías que faciliten su participación activa en la vida del proyecto, para una recogida eficaz de sus requisitos y necesidades de forma que sea útil para la investigación.

Se ha de aclarar que durante el despliegue del trabajo descrito en esta tesis se ha utilizado una metodología centrada en el usuario en todas las fases del mismo, concretamente metodología centrada en objetivos. Esta metodología cíclica facilita la involucración de los usuarios finales. Sin embargo, en cada uno de los ciclos se han utilizado metodologías adicionales atendiendo al grado de desarrollo que en ese momento tenía la solución.

Esta sección recoge las principales metodologías utilizadas agrupadas en:

- Metodologías de diseño (utilizadas durante la fase de diseño de la solución para recoger los requisitos, expectativas y necesidades iniciales de los distintos actores).
- Metodologías de desarrollo (utilizadas durante la fase de desarrollo para asegurar que los datos recogidos durante el diseño se tienen en cuenta en el desarrollo de la solución)
- Metodologías de validación (utilizadas durante el todo el proceso para evaluar la solución y más concretamente en la fase final de despliegue y validación de la solución).

3.1.1 Metodologías de Diseño

Estas metodologías han sido utilizadas para descubrir las necesidades reales de los usuarios finales e involucrarlos en el diseño de la solución que se desarrollará y desplegará en la ciudad de Madrid.

3.1.1.1 Metodología dirigida a objetivos (Goal directed design)

Alan Cooper (Cooper, 2007) propuso esta metodología para el diseño de la Interacción Hombre Máquina, basándonos en seis pasos:

1. Investigación se centra en los usuarios y su dominio (en este caso personas en riesgo de fragilidad que viven en entornos urbanos). Diversas técnicas se utilizan en esta fase para tomar datos relevantes directamente de los

usuarios, revisiones de literatura e investigaciones similares. En este paso los objetivos de los usuarios son definidos.

2. Modelado. En esta fase los usuarios son modelados definiendo personas que representa a un arquetipo de usuario. Las personas son definidas basadas en una serie de parámetros que son identificados durante la fase de investigación.
3. Requisitos. Esta fase emplea como metodología de diseño los escenarios: el contexto de uso descrito desde el punto de vista de los objetivos de usuario, sus necesidades y las expectativas, que es definido en forma de relato.
4. Marco. En esta fase las necesidades de datos y funcionales son identificadas y mapeadas con los elementos funcionales de diseño. El proceso incluye la definición de los elementos de entrada y salida, los elementos funcionales, la forma de interacción con el sistema. Como veremos más tarde en la sección 4.4, esta fase se ha modificado para poder adaptarla a las especiales características que la interacción IoT demanda.
5. Refinamiento donde la solución se vuelve más consistente y se parece más al prototipo final con el que interactúa el usuario.
6. Soporte. El diseñador ahora da soporte al programador para el desarrollo del sistema. Debe ser capaz en todo momento de responder a las preguntas del programador y en caso de no ser posible, investigar y forzar cambios en el diseño, que den respuesta a éste, sin perder la esencia del diseño de los usuarios.

No obstante, para recoger la información de los usuarios se plantearon una serie de técnicas orientadas a capturar las impresiones de los distintos actores que

potencialmente serian usuarios del sistema desplegado en el piloto de Madrid. Destaca el uso de Focus groups y Entrevistas.

Estas metodologías han sido aplicadas en el marco de esta investigación en las fases Etapa II: Evaluación del escenario de movilidad (descrita en la sección 4.2), aunque una versión adaptada, orientada a la validación, de Entrevistas han sido utilizadas también como formato para recoger información semiestructurada durante la fase de evaluación, concretamente en la Etapa IV: Despliegue del piloto y validación (descrita en la sección 4.4).

3.1.1.2 Focus groups

Los “Focus groups” son debates entre 5-10 participantes conducidos por un moderador, que se utilizan durante la fase de diseño de nuevos productos, servicios y experiencias para conseguir las impresiones de la gente e información relevante de lo que quiere el cliente/consumidor.

Powell (Powell, 1996) lo define como *“A group of individuals selected and assembled by researchers to discuss and comment on, from personal experience, the topic that is the subject of the research.”*³

En investigación, esta metodología se usa frecuentemente para identificar las expectativas, necesidades y deseos de los consumidores, dando así a los investigadores diversas perspectivas sobre el problema de diseño de la solución.

3.1.1.3 Entrevistas

Una entrevista es una conversación en la que una serie de preguntas son planteadas a fin de obtener respuestas (Turner III, 2010). El objetivo es descubrir aspectos relacionados con el contexto de las personas de los que no son conscientes.

³ Un grupo de individuos seleccionados y guiados por investigadores para debatir y comentar, desde su experiencia personas, el tema sobre el que se está investigando.

Esta información es muy útil ya que expone aspectos necesarios para el desarrollo del sistema fundamentales, ya que nos revelan aspectos personales y puntos de vista individuales de los potenciales usuarios.

3.1.2 Metodologías de Desarrollo

El objetivo de las metodologías propuestas en este apartado es proporcionar un desarrollo eficaz del sistema diseñado, permitiendo la incorporación de las mejoras requeridas en cada ciclo de innovación, producido por la evaluación iterativa de los sucesivos diseños/desarrollos producidos.

Estas metodologías se han usado durante la fase Etapa III: Sistema para la captura de la actividad física en la ciudad de Madrid descrita en la sección 4.3.

Aunque si bien los detalles pormenorizados del desarrollo del sistema, quedan fuera del ámbito de esta tesis.

3.1.2.1 Metodología Agile

El desarrollo y despliegue de piloto Madrid ha tenido que asegurar la continua participación de los usuarios en el desarrollo de la solución para asegurar que sus requisitos realmente fueran cubiertos por el sistema propuesto. Esta necesidad impuso que las metodologías *Rapid Application Development* (Mackay, 2000) sean las más apropiadas para el desarrollo técnico.

Una de las metodologías de este tipo más populares es la Metodología Agile, que está asociada a una lista de términos y reglas que deben seguirse durante el desarrollo como esta descrito en el *Agile Manifesto* (Fowler, 2001). La metodología Agile implica y refuerza la colaboración entre equipos autónomos y multifuncionales. Promueve el plan iterativo de acciones, el desarrollo evolutivo y el despliegue, mientras que proporciona mecanismos para dar respuesta a los cambios de forma rápida y flexible. En particular, para el desarrollo del software del proyecto, dado que es un proyecto colaborativo por etapas se ha utilizado

SCRUM. SCRUM (Nonaka, 1986) es una metodología agile que se centra en la gestión de proyectos en situaciones en las que es difícil planificar el futuro, con mecanismos de control de proceso empírico, como es un proyecto de investigación y en donde los bucles de realimentación constituyen el elemento central, por lo que la realimentación de los usuarios es fácil de implementar. En SCRUM, el equipo se auto-organiza en incrementos (sprints), empezando por la planificación y finalizando con un comentario. Las minutas con las características que deben aplicarse en el sistema se registran en un sistema de logs, que se debe desarrollar en el sprint siguiente. Un miembro del equipo es el SCRUM master, que en la práctica es el coordinador del proyecto, que guiará los sprints y resolverá los problemas que impidan avanzar al equipo.

3.1.3 Metodologías de validación

Este estudio tiene que ser validado usando métodos cuantitativos que verifiquen las hipótesis del trabajo. Para ello, se ha establecido una estrategia de validación en la que se han combinado herramientas ya existentes, con herramientas específicamente diseñadas orientadas a testar la solución y determinar los efectos sobre los usuarios.

El uso de estas metodologías se describe en profundidad en la sección 4.4 Etapa IV: Despliegue del piloto y validación.

3.1.3.1 Validación desde el punto de vista geriátrico

Con el fin de hacer una validación de la utilidad de los datos del sistema como instrumento para la detección de síntomas asociados al síndrome de fragilidad era necesario compararlos con instrumentos habitualmente utilizados en la práctica clínica.

Como base para la evaluación de la independencia de los participantes se usaron los criterios del baremo aplicado en Ley 39/2006, de 14 de diciembre, de

Promoción de la Autonomía Personal y Atención a las personas en situación de dependencia (Jefatura de Estado, 2006), conocida como Ley de Dependencia. Además, estos criterios se complementaron con tres instrumentos comúnmente usados para la evaluación clínica y sencillos de aplicar por personal no sanitario: La medición de la fuerza prensil de la mano, el test Mini-Cog y el Índice de habilidad funcional basado en la escala de Lawton y Brody

La medición de la fuerza prensil de la mano (Mathiowetz, 1985), constituye el método más simple y recomendado en la práctica clínica para la evaluación de la fuerza muscular. Esto es debido a que la fuerza prensil de la mano tiene una fuerte asociación con la fuerza muscular de las extremidades inferiores y el área de sección transversal muscular de la pantorrilla. Además es fácil de medir usando un dinamómetro calibrado para medir la fuerza isométrica máxima de la mano alrededor de él.

El Mini-Cog (Borson, 2000) es una de las pruebas breves de detección para ayudar a identificar a los individuos que podrían beneficiarse con la evaluación adicional para determinar la presencia de demencia o problemas cognitivos asociados a la edad. El test es sencillo de efectuar e interpretar a través de unas sencillas pruebas de memoria y el dibujo de un reloj.

Finalmente, el índice de habilidad funcional basado en la escala Lawton y Brody (Lawton, 1969). Las preguntas de esta prueba pueden verse en la Tabla 11 Resultados agregados de la evaluación inicial, basados en el Índice de habilidades funcionales.

Además, durante la evaluación se recogieron todos los elementos, eventos y situaciones que durante el periodo de seguimiento han podido impactar en el estado físico y cognitivo de los participantes en el estudio, tales como caídas, fracturas, admisiones hospitalarias y sus causas, cambios familiares o en su

círculo de amistad, problemas financieros, etc. Estos datos se recogieron de forma individual mediante entrevistas personales no estructuradas.

La metodología específica seguida para la comparación de los resultados de estas pruebas con los resultados del sistema se describe en profundidad en la sección 5.2.1 .

3.1.3.2 Validación de la usabilidad del sistema

La interacción IoT presenta una serie de retos que las heurísticas tradicionales usadas para medir la usabilidad y la interacción no contemplan. Puesto que la tecnología IoT es relativamente nueva, la interacción con este tipo de soluciones es un campo donde queda mucho por explorar y no existe una metodología o listado de heurísticas consensuado ni sistemático que se pueda aplicar para evaluar el trabajo de esta tesis. Sin embargo, evaluar este punto era crítico para el propósito de este trabajo, ya que dentro de la definición de no intrusivo se incluía la necesidad de no interferir con las actividades cotidianas del usuario ni ser estigmatizante, siendo la comodidad y la adherencia al sistema dos requisitos fundamentales del mismo.

La interacción IoT debe ser más sencilla, pero a la vez es más compleja de evaluar, porque no sólo influyen factores personales (preferencias personales) sino también variables del entorno, que además pueden estar en constante cambio.

La ISO 9241-11 (The international organization for standardization, Iso, W. , 1998) define usabilidad como *“the competency of a product to be understood, learned, operated and is attractive to the users’ when they are used to achieving certain goals with*

*effectiveness and efficiency in specific environments*⁴ y como *“the quality which characterizes the functional use of a program and application*⁵”.

Partiendo de estas definiciones, se ha generado un marco de validación específico para el sistema propuesto en este trabajo que se describe en el capítulo 4 y cuyo cuestionario final puede verse en el capítulo 4 *Figura 24 Preguntas propuestas para evaluar la usabilidad del sistema propuesta y la aceptación y predisposición de los usuarios a su uso.*

3.2 Materiales

La vida de una persona no se centra únicamente en el ámbito personal, en su casa, sino que interactúa continuamente con la comunidad que le rodea. El contexto del proyecto City4Age (CITY4AGE project, s.f.), ha preparado el marco para que los sistemas de detección de fragilidad y deterioro cognitivo salgan del ámbito doméstico al entorno cercano de las personas, hablando por primera vez de ciudadano y no de individuo.

En este contexto, el proyecto City4Age y la ciudad de Madrid, a través del consorcio de transportes, han dado la oportunidad de diseñar y desarrollar el marco teórico sobre el que sustentan las hipótesis de este trabajo. De esta manera, además, se ha tenido acceso al soporte de experto geriatras que han contribuido a validar la viabilidad del sistema, y la infraestructura tecnológica necesaria para desplegar la validación planteada.

⁴ La capacidad de un producto de ser entendido, aprendido, operado y ser atractivo a los usuarios cuando lo están usando para conseguir ciertos objetivos con eficiencia y eficacia en un entorno específico

⁵ La cualidad que caracteriza el uso funcional de un programa o aplicación

3.2.1 City4Age

El proyecto City4Age es un proyecto de investigación e innovación financiado por el programa europeo H2020 creado con el ánimo de facilitar la creación de ciudades amigables para la población anciana.

El proyecto tiene como objetivos crear un marco innovador basado en herramientas TIC y servicios que puedan ser desplegados por las ciudades europeas para fomentar la detección precoz de los riesgos asociados a fragilidad y deterioro cognitivo y proveer de intervenciones personalizadas que puedan ayudar a la población mayor a mejorar su vida diaria mediante la promoción de cambios positivos de comportamiento.

El reto de proyecto es demostrar en sí mismo que las ciudades pueden jugar un rol primordial en la “prevención” de los riesgos asociados al deterioro cognitivo.

La idea central es que la red de sensores desplegada por los escenarios del proyecto puede usar los datos recogidos para:

- Identificar los segmentos de la población potencialmente en riesgo para comenzar una monitorización personalizada;
- Monitorizar de forma precisa a los individuos para empezar una intervención proactiva. En ambos casos, es crucial comparar datos de varias fuentes para entender los cambios globales de comportamiento de los individuos detectados.

El proyecto se despliega simultáneamente en seis ciudades en condiciones reales de validación: Lecce (Italia), Singapur (Republica de Singapur), Montpellier (Francia), Atenas (Grecia), Birmingham (Reino Unido) y Madrid (España).

En cada una de las ciudades el escenario planteado responde a una necesidad real y concreta identificada en esa ciudad. A continuación, se describen muy brevemente el enfoque de cada uno de los pilotos desplegados en cada ciudad:

Lecce (Italia)

En el piloto de Lecce se pretende la obtención de datos de forma continua de factores geriátricos relacionados con la dependencia y las actividades básicas de la vida diaria, con el objeto de obtener un screening del estado geriátrico de los ciudadanos. El piloto finalmente consistió en 24 participantes de edades en torno a los 70 años.

Figura 9 Dispositivos desarrollados en el piloto de Lecce para poder monitorizar las actividades de la vida diaria mediante la medición del consumo eléctrico (fuente: City4Age Project)

Singapur (República de Singapur)

En el piloto de Singapur se pretende asegurar la participación social y la seguridad en el hogar y en el entorno cercano de las personas mayores en riesgo potencial de deterioro cognitivo y fragilidad. El piloto se centra en observar cambios de comportamiento relacionadas con la involucración social del individuo o desorientaciones en el vecindario.

Figura 10 Sesiones de reclutamiento del piloto de Singapur (fuente: City4Age Project)

Montpellier (Francia)

El piloto de Montpellier es descubrir comportamientos anómalos relacionados con las actividades de la vida cotidiana en el hogar. Un total de 25 voluntarios mayores de 70 años participaron en el piloto.

Figura 11 Reuniones de reclutamiento llevadas a cabo en Montpellier (fuente City4Age Project)

Atenas (Grecia)

El piloto de Atenas centra su interés en el fomento de las actividades sociales de las personas mayores, con el fin de reducir la soledad y los riesgos de institucionalización precoz asociados a ella. El piloto consta de 40 participantes mayores de 65 años.

Figura 12 Reunión de seguimiento y control del piloto de Atenas (fuente City4Age Project)

Birmingham (Reino Unido)

El piloto de Birmingham es detectar comportamientos negativos de salud en los individuos y fomentar el compromiso con hábitos de vida saludables. Se centra en personas de entre 60 y 91 años con un total de 55 participantes en Sutton Coldfield y Yardley.

Figura 13 Focus group del piloto de Birmingham (fuente City4Age Project)

Madrid (España)

Finalmente el piloto de Madrid, que centra el caso de uso de validación propuesto en esta tesis, es detectar patrones de fragilidad a través de la monitorización de la actividad física que las personas mayores realizan en su vida cotidiana mientras se mueven por su ciudad. Contó con la participación de 45 voluntarios mayores de 75 años. El piloto de Madrid y su despliegue será ampliamente documentado en el capítulo 4 Madrid: Instrumento para la detección de la fragilidad.

3.2.1.1 Marco tecnológico del proyecto City4Age

Con el fin de dar soporte a la variedad de objetivos de cada uno de los pilotos, City4Age ha generado un marco que combina distintos tipos de desarrollos técnicos, según la ciudad y las circunstancias de despliegue: ciudades inteligentes, IoT, sensores vestibles, tecnología móvil, redes de sensores, analítica y razonamiento de datos, tecnologías de información y comunicación (TIC).

La siguiente figura (Figura 14) presenta el ciclo general de monitorización-detección-intervención del proyecto City4Age basada en tres acciones interrelacionadas la detección de los patrones de movimiento y cambios en los mismos, gracias a la monitorización de datos personales, que en el caso de Madrid, además utiliza datos de la ciudad, para realizar una intervención personalizada orientada a revertir cambios negativos o fomentar los cambios positivos.

Figura 14: Ciclo de Monitorización-Detección-Intervención del City4Age

Estas tres acciones se desarrollan en visiones que pasan a describirse a continuación:

- Wellbeing y prevención: En el sector de la salud los datos son habitualmente recopilados con el propósito de detectar los marcadores de una posible enfermedad. City4Age tiene la ambición de usar datos de

varias fuentes para identificar comportamientos relevantes para la detección del deterioro cognitivo y la fragilidad.

- Recogida de datos y detección. La gran cantidad de datos actualmente disponibles de fuentes diversas: las bases de datos de las ciudades, los dispositivos móviles y vestibles, servicios públicos (por ejemplo, el transporte), sensores en casa y en la ciudad, en las tiendas, en los bancos, etc. La visión de City4Age es aglomerar todos esos datos para identificar comportamientos o cambios de comportamiento ligados a la aparición de fragilidad y deterioro cognitivo.
- Intervención: En el caso de City4Age una intervención consiste en varias acciones: crear un canal de comunicación con cada individuo que ayude a establecer acciones sobre un individuo que necesita una ayuda específica. En definitiva, una intervención es un sistema de comunicación capaz de establecer una relación persuasiva y empática con un individuo.

Como parte de este marco, se han generado una serie de herramientas que despliegan una plataforma de sensores IoT basada en sensores no intrusivos que permiten la recopilación de datos a gran escala de datos personales de los entornos tanto del hogar como de la ciudad y un sistema de gestionado de datos de la ciudad (open data) que sirve como repositorio central del proyecto.

La innovación del proyecto City4Age es que abre el concepto de *Ambient Assisted Living* (Costa, 2008) de las casas y edificios a la ciudad, permitiendo capturar datos y gestionar los contextos de múltiples entornos inteligentes, tomando datos de la infraestructura IoT desplegada en la ciudad. En el caso del piloto de Madrid, hace un uso intensivo de la infraestructura de la red de transportes municipal y de los repositorios de datos abiertos del Ayuntamiento de Madrid.

3.2.2 Madrid como Smart City

La ciudad de Madrid y su área metropolitana conforman la tercera ciudad más poblada de la Unión Europea y posee una de las redes más extensas y modernas de transporte público del mundo, con capacidad para que el 74% de la población lo use en sus desplazamientos diarios habituales. La densidad de la red de transporte es de 2813 m/km², ratio que desciende si se considera la población, lo que da una idea de la eficiencia de la red (Empresa Municipal de Transportes de Madrid, S. A., 2015).

Se ha hecho un especial esfuerzo para dotar de tecnología “smart” en la red de autobuses urbanos de la ciudad de Madrid, donde la Empresa Municipal de Transportes de Madrid (EMT) ha ido incorporando sensores inteligentes y mecanismos IoT a sus autobuses. En 2012, se estableció una Plataforma de Open Data (EMT, 2015), que ofrece información en tiempo real para que terceros puedan utilizarla en el desarrollo de nuevas aplicaciones. A finales de ese año, se integró la plataforma con Google Transit, lo que permite disponer de ofrecer en tiempo real información de incidencias y avisos y geo posicionamiento de los autobuses.

En 2013 comenzaron a instalarse paradas con acceso a internet y posteriormente, se continuó el servicio al interior del autobús, ofreciéndose en la actualidad WIFI gratis en el 100% de la flota. A finales de ese año, se implantaron en todas las paradas información sobre tiempos de espera y de interés turístico mediante tecnología NFC y código QR.

Además, desde el año 2015 se ha ido sustituyendo la tradicional boleta magnética para validar los viajes por tarjetas de proximidad NFC que permite el conteo inteligente de usuarios.

Por otro lado, el ayuntamiento de Madrid ha centrado su política de acercamiento al IoT y las ciudades inteligentes en el ámbito de la movilidad y el medio ambiente, por lo que la red de datos abiertos del ayuntamiento posee numerosa información ambiental y de transporte que pueden ser utilizados sin restricción (<http://datos.madrid.es/portal/site/egob>).

4 MADRID: INSTRUMENTO PARA LA DETECCIÓN DE LA FRAGILIDAD

*“Son vanas y están plagadas de errores las ciencias
que no han nacido del experimento, madre de toda
incertidumbre”*

Leonardo Da Vinci

Esta sección describe el procedimiento seguido para el planteamiento, despliegue y validación del experimento para determinar si la ciudad de Madrid ofrece suficientes datos medibles para detectar de forma temprana síntomas asociados a la fragilidad, usando las tecnologías propias de una ciudad inteligente. La metodología seguida durante todo el proceso está hecha para armonizarla con la seguida en el proyecto City4Age, donde se ha desarrollado el sistema y desplegado el piloto asociado.

Cada una de las etapas del proceso es descrita por objetivo, metodología aplicada y resultados obtenidos. Aclarar en este punto, que el resultado de cada etapa, alimenta a la etapa siguiente.

4.1 Etapa I: Planteamiento de la solución de monitorización

Objetivo: Descubrir qué parámetros comunes a la mayoría de los instrumentos habituales para evaluar la fragilidad son útiles y medibles para plantear un escenario en el que la ciudad inteligente de Madrid sea el instrumento para detectar la fragilidad de los adultos mayores.

Metodología: Revisión y análisis sistemático de la literatura relacionada con los instrumentos de evaluación de fragilidad disponibles.

Resultados: El único parámetro que se repite en todos los instrumentos encontrados es la movilidad, relacionada con la actividad física.

Como hemos visto en el apartado 1.2 *Personas mayores y discapacidad. El síndrome del adulto frágil*, existen multitud de instrumentos para evaluar la fragilidad y ninguno es mejor que otro. Esto dificulta la selección y aplicación de uno concreto en un ambiente tan heterogéneo como es la ciudad y para unos potenciales usuarios tan diversos como son sus ciudadanos.

Teniendo en cuenta el anhelo de universalidad de la solución, el punto de partida para descubrir si realmente hay un factor clave para medir la fragilidad, detectable y medible en una ciudad inteligente de una forma no intrusiva, era analizar los instrumentos disponibles y su ámbito de aplicación. Con este propósito, se hizo una revisión bibliográfica de los instrumentos clínicos y no clínicos usados para evaluar la fragilidad, y descubrir si había suficientes parámetros que fueran potencialmente medibles usando la infraestructura de la ciudad.

Debido a las restricciones que la infraestructura de la ciudad nos puede dar, a priori, fuera del análisis inicial quedaron aquellos instrumentos que tienen biomarcadores de la fragilidad, ya sean del sistema endocrino (descenso de la producción de hormonas), sistema inmune y cardiovascular (coagulación, sistemas de inflamación, etc.) sistema musculoesquelético (sarcopenia), sistema

metabólico (niveles sanguíneos de perfil básico), ni tampoco aquellos que usan marcadores de estrés oxidativo ni las variantes genéticas de los individuos.

Tradicionalmente, en la literatura se ha trabajado con siete instrumentos básicos, de los que en la actualidad y debido a la importancia que el estudio de la fragilidad está adquiriendo, han derivado en un gran número dependiendo de las características específicas de la población en la que se aplique. Esto es consecuencia directa del uso del estado de fragilidad como predictor de la mortalidad en pacientes ancianos y la falta de consenso en la definición de fragilidad en sí misma. A continuación se describen brevemente cada uno de estos instrumentos.

4.1.1 Fenotipo de fragilidad

Este instrumento define la fragilidad como un proceso biológico relacionado con el deterioro físico debido a la edad. Esta escala se focaliza en cinco componentes físicos de la fragilidad (agotamiento, inactividad física, velocidad de marcha, fuerza y pérdida de peso). En la actualidad es uno de los instrumentos más utilizados en la literatura. El instrumento (Fried, 2001) consta de una serie de pruebas realizadas por un médico que incluyen la medida de la fuerza prensil de la mano mediante un dinamómetro y un test de medida de velocidad de marcha en cinco metros, además de medidas de la apreciación propia del paciente sobre la pérdida de peso, tolerancia al ejercicio físico y actividad física.

Hay multitud de modificaciones de este instrumento debido a su amplia utilización en estudios para subgrupos concretos, incluyendo otras medidas como auto reportes de medida del apetito en lugar de pérdida de peso o pruebas alternativas para medir la velocidad de marcha.

4.1.2 Índice de fragilidad SHARE (SHARE-FI)

Este instrumento fue desarrollado a partir de la *Survey of Health Ageing and Retirement in Europe* (Börsch-Supan, 2008) y consiste en una serie de variables relacionadas con el fenotipo de fragilidad que se agrupan en cinco dominios: Fatiga, pérdida de apetito, fuerza prensil de la mano, dificultades funcionales y actividad física. Está concebido como una validación rápida de la fragilidad en atención primaria en el contexto europeo.

Se basa de forma muy directa en la definición de fenotipo de fragilidad descrito en 4.1.1, con la diferencia que la pérdida de peso y la lentitud en el paso, se sustituyen por pérdida de apetito y un cuestionario para descubrir la limitación funcional, en ambos casos, de forma auto percibida.

4.1.3 La escala CGA

La versión moderna de la escala CGA (Stuck AE, 1993) hace una validación de las variables psicosociales, médicos, funcionales y de entorno, incorporando además el índice de Barthel de las Actividades Cotidianas (FI, 1965), la escala OARS (Older Americans Resource and Services) (E P. , 1975), el test cognitivo Pfeiffer (E P. , 1975) y la escala Yesavage (D'ath P, 1994) de depresión geriátrica. En estas condiciones, esta validado como instrumento para medir la fragilidad en la población geriátrica general, y da una buena visión de las medidas funcionales, sociales y cognitivas de la fragilidad, incluyendo discapacidades y comorbilidades frecuentes en este síndrome.

4.1.4 La escala DAI

También conocida como el índice de fragilidad (Mitnitski, 2001) conceptualiza la fragilidad como una acumulación de déficits. Fue elaborada a partir del *Canadian Study of Health and Ageing* e incluye la validación de múltiples factores incluyendo

1) las habilidades para el cuidado personal, 2) necesidad de dispositivos de asistencia, 3) condición médica, 4) índice de masa corporal y 5) depresión.

4.1.5 Indicador de Fragilidad Tilburg

Este instrumento se basa en la definición de que la fragilidad es consecuencia de la combinación de varios determinantes a lo largo de la vida y enfermedades que provocan el deterioro de la persona en los dominios físico, psicológico y social. La acumulación de este deterioro acaba causando discapacidad, necesidad recurrente del sistema sanitario y finalmente la muerte. La evaluación consiste en dos partes: la primera una validación de variables sociodemográficas y la segunda 15 preguntas auto-administradas divididas en preguntas físicas, psicológicas y sociales (Gobbens, 2010).

4.1.6 Sistema de fragilidad Staging (FSS)

Es una modificación de los sistemas anteriormente vistos, orientado fundamentalmente a evaluar la discapacidad funcional de los individuos (Cacciatore, 2005). Contiene 15 áreas en los 7 dominios de funcionalidad principal: discapacidad, movilidad, función cognitiva, función visual, función auditiva, continencia urinaria y soporte social.

4.1.7 Canadian Study of Health and Ageing Clinical Frailty Scale

Esta escala, de la que se describió al principio de este documento, conocida como CSHA-CFS (Rockwood K. S., 2005) divide a los individuos en una serie de rangos que van del muy en forma al severamente frágil. Esta escala provee información relevante sobre la necesidad de institucionalización y la predicción de la mortalidad del individuo.

4.1.8 Análisis general de los instrumentos de fragilidad en la literatura

Además de estos siete instrumentos básicos, se estudiaron variantes de estos. La razón de ampliar el número de estudios es que dado que no existe un consenso universal sobre que instrumento utilizar, se han buscado aplicaciones y variantes de cada instrumento en poblaciones distintas, a fin de validar que dominios se repiten con más frecuencia y con mejores resultados.

La selección de los estudios analizados se hizo en base al número de citas y publicaciones de cada uno, la muestra analizada, el número de variantes/mecanismos diferenciadores respecto a los siete instrumentos base identificados. Finalmente, la lista de estudios seleccionada se validó con los geriatras del consorcio del proyecto City4Age.

Como base para la comparación de los distintos instrumentos se utilizó el trabajo de Vries en *Outcome instruments to measure frailty: a systematic review* (De Vries, 2011), donde se agrupan las medidas de los instrumentos en los siguientes factores: Estado nutricional, actividad física, movilidad, energía, fuerza, cognición, estado de ánimo y relaciones sociales.

Teniendo en cuenta las necesidades del proyecto City4Age y más específicamente, que elementos serían reconocibles en la ciudad de Madrid , se agruparon, tras varias iteraciones, en las siguientes categorías: Estado físico, estado cognitivo, estado social y movilidad.

Esta categorización es resultado de la agrupación de los distintos factores geriátricos encontrados en los instrumentos de medida y el contexto donde se han tomado esas medidas de manera que se agrupan en torno a:

- Estado físico agrupa a los factores relacionados con el estado nutricional, equilibrio, fuerza y energía;
- Estado cognitivo agrupa todas aquellas medidas que tengan que ver con cognición (memoria, orientación, etc.), así como las actividades de la vida cotidiana;
- Estado social relaciona todo aquello que tenga que ver con la persona como ser social, incluyendo su relación con el entorno y sus integrantes y su relación consigo mismo, incluyendo estado de ánimo y problemas mentales derivados (ansiedad, depresión, problemas de relación);
- Actividad física que integra cualquier movimiento del cuerpo que hace que los músculos trabajen y que requiere de más energía que si estuviéramos en reposo, esto es focalizando en parámetros sobre la función física, relacionados con la actividad cotidiana de las personas analizadas (andar, subir escaleras, actividades domésticas, etc.).

La lista definitiva de instrumentos y variantes seleccionada se muestra en la Tabla 2, donde además se categorizan los elementos que evalúan cada uno de ellos.

La razón de inclusión de estos instrumentos y no otros es:

1. el número de citas y publicaciones relacionadas con cada uno,
2. introducen algún mecanismo diferenciador sobre las dos visiones tradicionalmente usadas para medir la fragilidad (FRAIL y Canadian Health and Ageing Study),
3. propuestas por los geriatras consultados en el marco del proyecto City4Age.

Tabla 2 Comparación de las herramientas clínicas para la evaluación de la fragilidad en adultos mayores analizadas para este trabajo

	Estado físico	Estado cognitivo	Estado social	Actividad física
<i>Frailty Phenotype</i> (Fried, 2001)	X			X
<i>Deficit Accumulation Index</i> (Rockwood K, 1999)	X	X	X	X
<i>Tilburg Frailty Indicator</i> (Gobbens, 2010)	X		X	X
<i>Comprehensive Geriatric Assessment</i> (Stuck, 1993)	X	X	X	X
<i>Frailty Staging System</i> (Lachs, 1990) (Cacciatore, 2005)	X	X	X	
<i>Canadian Health and Ageing</i> (Pasture, 1994)	X		X	
<i>Clinical Frailty Scale</i> (Mitnitski, 2001)			X	
<i>SHARE Frailty Index</i> (Börsch-Supan, 2008)	X	X		X
<i>Frailty measure</i> (Strawbridge, 1998)	X	X		
Dayhoff, N. E., Suhrheinrich, J., Wigglesworth, J., Topp, R., & Moore, S. (1998). (Dayhoff, 1998)	X			
<i>The Gérontopôle Frailty Screening Tool</i> Morley. (Morley, 2013)	X	X		X
<i>Marigliano-Cacciafesta Polypathologic al Scale</i> (Amici, 2008).	X	X		X
<i>Gill Frailty Measure</i> Gill TM, Baker DI, Gottschalk M, Peduzzi PN, Allore H, Byers A (Gill TM, 2002)	X			
<i>Frailty/Vigor Assessment</i> Speechley M, Tinetti M (Speechley M, 1991)	X	X	X	X
<i>Vulnerable Elders Survey (VES-13)</i> (Saliba D, 2001)	X	X		
<i>FRAIL Scale</i> (Abellan van Kan G, 2008)	X			
<i>Winograd Screening</i> (Winograd CH, 1991)	X	X	X	
<i>Groning en Frailty Indicator</i> (JP., 2006)	X		X	X
<i>Frailty and autonomy</i> (De Lepeleire J, 2004)	X	X		X
<i>Edmond Frail Scale</i> (Rolfson DB, 2006)	X	X		X

El elemento más frecuentemente analizado en los instrumentos es el estado físico del individuo, lo que incluye medidas de sobre las funcionalidades de su cuerpo, esto es, función visual, auditiva, discapacidades, continencia urinaria, fuerza, equilibrio, etc. En principio se descartó analizar estas medidas de forma pormenorizada, por no ser, a priori, fácilmente medible, de una forma no

intrusiva, con la infraestructura que ya está desplegada en una ciudad inteligente, en particular, en Madrid.

De los instrumentos analizados y las medidas operacionales de cada una de ellas, se comprueba que aparece con más frecuencia parámetros y medidas asociadas a la actividad física (velocidad de paso, cantidad de actividad física realizada, etc.). En concreto, de los siete instrumentos base utilizados (los siete primeros en la tabla anterior), todos incluyen una pregunta específica sobre la función física y cuatro de ellos incluyen, además, instrumentos específicos para medir la velocidad de marcha, la actividad física o la tolerancia o agotamiento a la hora de realizar ejercicio físico.

De las variantes de estos instrumentos relacionadas con atención primaria o validaciones sobre poblaciones sin enfermedades específicas (esto es fallo cardíaco, diabetes, demencia, etc.), la actividad física adquiere especial importancia, especialmente a partir de la publicación de la estrategia mundial sobre régimen alimentario actividad física y salud de la OMS (World Health Organization, 2004). Así, de los instrumentos analizados posteriores a dicha recomendación, sólo dos no introducen alguna medida sobre la actividad física del individuo, frente a los anteriores a dicha recomendación donde sólo 4 si la incluyen.

Figura 15 Proporción de instrumentos para evaluar la fragilidad que incluyen actividad física antes y después de la recomendación de la OMS del 2004 sobre actividad física en mayores.

Sin embargo, pese a su alta presencia en los instrumentos analizados, sería simplista determinar que una persona es frágil o no atendiendo únicamente a su actividad física.

Se observa que un segundo parámetro ampliamente utilizado en los instrumentos que utilizaban la actividad física es el estado cognitivo.

La relación entre estado cognitivo y fragilidad es controvertida. Como se aprecia en la Tabla 2 algunos instrumentos no contemplan el estado cognitivo como relevante, centrándose sólo en criterios funcionales y nutricionales. Sin embargo, la mayoría de los instrumentos recientes analizados (posteriores a 2004) si la consideran variable fundamental. Por otro lado estudios recientes han demostrado que el deterioro cognitivo y la baja actividad física son los factores que más contribuyen al deterioro funcional (Ngandu, 2015), incluso varios autores analizados (Landi, 2010) (Bherer, 2013) (Ruan, Cognitive frailty, a novel target for the prevention of elderly dependency., 2015) (Kennedy, 2017), relacionan actividad física y deterioro cognitivo como variables relacionadas de forma directa, de manera que la ausencia de actividad física acelera el deterioro cognitivo de una persona y por ende la aparición de síntomas de fragilidad.

Así el 53% de los instrumentos analizados evalúan de forma conjunta actividad física y estado cognitivo, frente menos del 27% que sólo evalúan la situación cognitiva, sin evaluar de ninguna forma la actividad física y un 20% que sólo evalúa la actividad física y no la cognitiva, como se ve en la siguiente figura.

Figura 16 Proporción de instrumentos que evalúan de forma conjunta actividad física y cognitiva, frente a los que evalúan sólo actividad física o sólo actividad cognitiva

La relación entre actividad física y estado cognitivo parece pues íntimamente relacionada con la fragilidad y el deterioro físico y cognitivo de una persona debido a la edad. Esto es debido, explican estos autores, a que las regiones del cerebro vulnerables a la atrofia producida por la edad son menos permeables a estos cambios degenerativos en respuesta a cambios aeróbicos moderados, lo que sugiere que la actividad física moderada es un buen indicador de una buena salud cerebral y un buen estado cognitivo.

Finalmente, un tercer punto en los instrumentos analizados era el estado de ánimo y el soporte o las relaciones sociales, también presente en un amplio número de sistemas. De hecho, el 100% de los instrumentos que analizaban actividad física y estado cognitivo relacionaban directamente el estado social y la salud psicológica.

Así pues la primera hipótesis a comprobar del análisis de los instrumentos de fragilidad realizada fue:

La actividad física de las personas mayores, entendida como la movilidad de la persona por su ciudad mientras realiza sus actividades cotidianas, puede ser un elemento clave para la detección precoz de síntomas de fragilidad en ancianos.

La movilidad y la intensidad de la actividad física realizada es fácilmente medible, de forma no intrusiva⁶, en una persona utilizando elementos comunes en una ciudad, tales son el GPS de los Smartphones, redes wi-fi, etc. Además, el análisis de los lugares visitados con frecuencia, la cantidad de tiempo de ocio y el tiempo que pasa en casa, entre otros, es un indicador del estado de ánimo de esa persona y su nivel de socialización.

Diversos estudios, sugieren una relación directa entre tiempo de ocio, depresión y fragilidad (Savela, 2013) (de Rezende, 2014). Además existen elementos cognitivos tales como la orientación, la energía (entendida como capacidad e intención para realizar actividades), la memoria, etc. que pueden ser relacionados por cómo se mueve la persona por su ciudad, la relación y uso con infraestructuras de la ciudad, tales como el transporte público (Risser, 2015) (Wettstein M. W., 2015).

La siguiente tabla muestra información específica incluida como riesgo de fragilidad en el modelo de City4Age relacionando comportamiento y movilidad y que sirvió de base para plantear el sistema que finalmente se desarrolló.

⁶ A consideración para esta tesis del significado de no intrusiva a que no interfiere en la realización de sus tareas cotidianas ni genera una estigmatización social de la persona. Si bien hay controversia desde la aplicación de la nueva directiva de protección de datos que entró en vigor a mediados de 2018 sobre que la monitorización continua puede considerarse una forma de intrusión en la intimidad de la persona y diversos servicios móviles ligados a Google dejaron de permitir esta monitorización, es un campo controvertido, que sólo la educación y el análisis de coste beneficio podrá determinar y que queda fuera del ámbito de esta tesis.

Tabla 3 Relación entre riesgo de fragilidad y actividades relacionadas con la movilidad de la persona en la ciudad

Actividad	<p>Gasto físico en actividad por semana en 18 elementos (andar, actividades de cuidado del hogar, cuidado del jardín, cortar el césped, salir a correr, montar en bicicleta, hacer ciclo en sala, bailar, ejercicio aeróbico, jugar a los bolos, golf, tenis, excursionismo, nadar.</p> <p>Se usa la fórmula: $\text{kcal/semana} = [\text{activity-specific MET (kcal/kg} \times \text{hour)}] \times [\text{duration per session (min)} / 60 \text{ min}] \times [\text{body weight (kg)}] \times [\text{number of sessions in the last 2 weeks} / 2] \times [\text{number of months per year activity was done}]$</p> <p>¿Cada cuánto practicas actividades que requieran un gasto bajo o moderado de energía, como por ejemplo, caminar, limpiar el coche o cuidar del jardín?</p>
Entorno	Suelo moverme por mi vecindario
Cansancio	La persona siente que todo lo que hace esta semana le supone un gran esfuerzo
Movilidad	<p>Puede andar de forma autónoma y sin ayuda para realizar sus tareas diarias</p> <p>Tiempo de marcha / velocidad del paso</p> <p>Tiempo de caminado fuera de casa</p> <p>Tiempo de caminado por ocio</p>
Socialización	Sale de casa por motivos de ocio
Transporte	<p>Modo de transporte usado</p> <p>Usa transporte público</p> <p>Es autónomo en el uso del transporte</p>

Como muestra la anterior tabla, estos son los indicadores de movilidad que pueden determinar cambios de comportamiento que nos ayuden a inferir posible inicio de fragilidad. A partir de estos indicadores, se han de buscar

elementos en la ciudad inteligente que nos ayuden a obtener datos para cada categoría de forma no intrusiva de cada individuo.

4.2 Etapa II: Evaluación del escenario de movilidad

Objetivo: Planteamiento y validación de un escenario de monitorización de una persona mayor residente en Madrid mientras que hace sus actividades cotidianas diarias con el fin de detectar tendencias de cambio de comportamiento que denoten síntomas asociados a un potencial diagnóstico de fragilidad.

Metodología: Focus groups y creación de personas. Entrevistas con los distintos actores.

Resultado: Personas y escenarios validados.

Después de evaluar que la actividad física de una persona puede ser un factor determinante para obtener datos relevantes que ayuden descubrir signos de fragilidad, fue necesario involucrar a los distintos actores que formarían parte del piloto, para diseñar una solución útil y poder desplegarla en Madrid. Para ello se siguieron los siguientes pasos:

1. Identificación de los actores que formarían parte de la solución.
2. Recogida la información de los actores identificados.
3. Análisis de la información y elaboración de la propuesta de solución.

A continuación, se describen cada uno de los pasos de forma pormenorizada:

4.2.1 Identificación de actores

La fragilidad es estadísticamente más posible en adultos mayores de 80 años, mujeres y nivel socioeconómico bajo (Abellán, 2011). Teniendo en cuenta estas premisas se seleccionaron una serie de centros de mayores de la ciudad de Madrid (ver sección 4.4) donde poder realizar las sesiones de cocreación y poder obtener una primera validación del usuario tipo (persona) y del propio sistema. Para la realización de esta selección se contó con la ayuda de Tercera Edad Activa, empresa dedicada al sector asistencial que trabaja en multitud de centros de

mayores dependientes del Ayuntamiento de la ciudad de Madrid y de la Comunidad de Madrid que contactaron a personas con estas características de su red de asistidos.

4.2.2 Recogida de la información de los actores identificados

Una vez identificados los actores, se diseñaron varias actividades y se eligieron distintos métodos para involucrarlos a fin de obtener la información relevante para el diseño de la solución de acuerdo a cada uno de los puntos de vista⁷. El proceso fue cíclico, a fin de incorporar los datos recogidos durante las diversas fases del proceso.

Se ha utilizado la Metodología Orientada a Objetivos (*Goal directed design*), dado el carácter central que los usuarios finales y los pilotos tienen en el Proyecto City4Age. Esta metodología garantiza un alto grado de detalle de la experiencia de usuario.

Para recoger los requisitos de usuario de los actores identificados y validar los escenarios y personas se utilizaron *focus groups* en el caso de tecnólogos y usuarios finales, ya que permiten que las ideas discordantes fluyeran de una forma más sencilla y obtener diversos puntos de vista, mientras que para los miembros institucionales y proveedores de servicios se utilizaron entrevistas para obtener la información que previamente habíamos identificado como relevante.

El proceso comenzó realizándose varias sesiones multidisciplinarias en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) en la intervinieron expertos en envejecimiento activo, geriatras e ingenieros que propusieron escenarios y soluciones tecnológicas teniendo en cuenta el planteamiento inicial del problema.

⁷ Este proceso fue común a todos los pilotos del City4Age y se llamó “*Stakeholders Involvement and Insight Gathering Process*” (SIIGP)

Los objetivos de estas sesiones eran tener una primera versión de escenarios y personas tecnológicamente viable de acuerdo con los requisitos planteados en el proyecto City4Age. Durante estas sesiones se discutieron cuáles eran los aspectos fundamentales que el piloto de Madrid debería plantear respecto a la fragilidad, teniendo en cuenta la infraestructura disponible en la ciudad y como plantear un escenario real tecnológicamente factible.

Los resultados de estas sesiones se recogieron en un primer borrador de escenario llamado *Madrid Test Bed*, donde se recoge la peculiaridad de los movimientos de las personas mayores madrileñas en lo referente al transporte público (qué transporte suelen utilizar, principales líneas utilizadas, horas, número de paradas y destinos más frecuentes fuera de su barrio, entre otros), algo que dado el tamaño de la ciudad es dato fundamental para describir su patrón de movilidad.

Contexto
Las personas mayores madrileñas usan normalmente el autobús para realizar sus actividades cotidianas, siendo el primer grupo de usuarios de este medio de transporte.
Servicios urbanos involucrados
La infraestructura desplegada en los autobuses urbanos (tanto en las líneas de autobuses como en las paradas) se compone de tarjetas de transporte NFC (las habituales para el abono transporte y billetes múltiples), la red de open data del consorcio de Transportes de Madrid y Smartphones (Wi-Fi, GPS, acelerómetros). Adicionalmente se plantean proveer de una banda de actividad a los usuarios para detección de actividades complementarias, frecuencia cardiaca, etc.

Población objetivo
Personas mayores, en torno a 80 años que usen el transporte público y tengan la Tarjeta de Transporte Público. Nos centraremos en las áreas de Madrid donde más frecuentemente la población mayor usa el autobús como transporte público de preferencia.
Datos personales disponibles de una forma no intrusiva
<p>Los datos de los que disponemos son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Número de personas mayores de 80 años que usan la Tarjeta de Transporte Público • Áreas de Madrid y líneas de autobús más frecuentemente usadas por mayores de 80 años. <p>Los datos que podemos recoger son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Datos de actividad, como frecuencia y tiempo de uso de una línea de autobús, parada en la que sube o baja el usuario, tiempo caminando y descansando. Tiempo dentro y fuera de casa.
Intervenciones planteadas
<p>Se involucrarán a personas de entorno 80 años (con riesgo inherente de fragilidad por edad) que estén inicialmente activas con movilidad por la ciudad usando el transporte público. El piloto detectará su actividad y comportamiento normal y en caso de cambio hacia un mal hábito (por ejemplo, que reduzca su actividad física y/o social) se realizará una intervención temprana personalizada orientada a restablecer ese hábito.</p> <p>La intervención será inicialmente mediante un cuestionario o cualquier otro instrumento utilizado en la práctica clínica actual que corrobore el riesgo de fragilidad en cualquiera de las dimensiones descritas. Una vez que se detecte</p>

la razón del cambio de comportamiento, una intervención adecuada y personalizada será lanzada.

Con este planteamiento inicial, se hizo una primera versión de escenarios y personas que fue presentada al *focus group* de usuarios. Este grupo de usuarios eran cinco personas mayores de 80 años (tres mujeres y dos hombres), independientes y sin diagnóstico previo de fragilidad ni deterioro cognitivo, que acudían regularmente a los centros de mayores municipales de Madrid. El objetivo del *focus group* de usuarios finales para esta primera sesión era adaptar los escenarios iniciales, a las necesidades específicas de los madrileños mayores y evaluar el interés de éstos por el sistema. Durante estas sesiones se tomaron ideas de que dispositivos estaban dispuestos a usar, que actividades cotidianas solían hacer y cuáles eran más importantes para ellos.

Figura 17 Focus Groups realizados en los Centros de Mayores del Ayuntamiento de Madrid

Con el mismo objetivo se presentaron los escenarios a proveedores de servicios geriátricos y personal institucional del Ayuntamiento de Madrid, en concreto de la empresa Tercera Edad Activa, que trabaja en centros municipales de mayores de Madrid y al municipio de Madrid, a través de la Empresa Municipal de Transportes de Madrid (EMT) y el gobierno regional de Madrid, a través del

Consortio Regional de Transportes de Madrid (CRTM). En este caso, la metodología usada para recoger la información fue la entrevista. El objetivo era recoger información sobre la disponibilidad de infraestructura tecnológica de la ciudad de Madrid y evaluar la viabilidad técnica de la solución propuesta.

Con los resultados de los *focus groups* de usuarios finales y las entrevistas se rediseñaron los escenarios y personas iniciales a las condiciones específicas para Madrid descubiertas en estas sesiones.

Finalmente, los resultados fueron de nuevo presentados al grupo de usuarios. En general, los escenarios planteados tuvieron una evaluación positiva, las personas reconocidas como usuarios potenciales y el interés por el sistema se mantuvo muy alto. Tres de estos usuarios plantearon su interés en convertirse en usuarios pilotos del sistema una vez desarrollado.

A continuación, se presentan la versión final de las personas y escenarios que se crearon para el piloto de Madrid.

Amaro	
	Edad	87
	Profesión	Profesor Universitario jubilado
	Estado	Vive con su mujer Josefa (74)
Entorno Amaro vive en Madrid desde joven. Se casó con María al finalizar sus estudios de ingeniería de comunicación. En 1962 se doctoró en comunicación por satélite y unos años más tarde se convirtió en profesor universitario de comunicaciones por radar. Actualmente está jubilado y le gusta jugar a las cartas con los amigos en el centro de mayores mientras conversan de fútbol.		

Es seguido del Atlético de Madrid y abonado. Asiste con frecuencia al Estadio Vicente Calderón cuando el tiempo es bueno. Se mueve de forma autónoma por Madrid usando el transporte público, principalmente el autobús urbano.

Objetivos del usuario

Su mujer Josefa está preocupada porque nota que la memoria de Amaro está empeorando. Amaro se ha pasado de parada de autobús dos veces en el último mes, cuando iba al centro de mayores y a veces tiene dificultad para recordar que línea de autobús va a sitios que frecuentemente visita. Él quiere continuar yendo a estos sitios y seguir siendo independiente.

Objetivos del Proyecto City4Age para el usuario

El Proyecto deberá proveer de herramientas y servicios para ayuda en las actividades cotidianas, detectar errores en el uso habitual de transporte público (paradas de autobús) y proponer ejercicios de memoria.

Escenario

Amaro (87 años) habitualmente va a jugar a las cartas al centro de día “La Almudena”. Para ir coge el autobús 52, que le deja en la puerta. Últimamente, Amaro tiene dificultad para reconocer la parada en la que se tiene que bajar. Le ha pasado varias veces y a su mujer Josefa le preocupa. Este cambio de comportamiento puede ser indicador de deterioro cognitivo y fragilidad. El proyecto City4Age generará herramientas para detectar este cambio de comportamiento y monitorizará su movilidad e interacción con la infraestructura de la ciudad. Intervenciones “ad hoc”, como ejercicios para la memoria, de acuerdo a las causas que hayan provocado el cambio de comportamiento.

Elena	
	Edad	83
	Profesión	Enfermera jubilada
	Estado	Vive con su hija María

Entorno

Elena vive en Madrid con su hija. Su marido Juan murió hace 15 años y ahora vive con su hija María. Trabajó de enfermera durante 50 años antes de jubilarse. A Elena le gusta salir a comprar y quedar con su amiga a tomar un café y jugar a las cartas.

Objetivos del usuario

Elena está preocupada porque se siente cada vez más cansada, camina menos y usa cada vez más el autobús. Le gustaría mejorar esta situación y siempre intentar ir andando a comprar y al centro de mayores.

Objetivos del Proyecto City4Age para el usuario

El proyecto debe proporcionar intervenciones que permitan mejorar la condición física de Elena

Escenario

Elena (83 años) habitualmente camina todos los días de casa al supermercado, atravesando el Retiro, que le encanta. Desde hace unos días se siente cansada y coge el autobús en lugar de dar su paseo habitual. Este cambio puede ser un indicador de fragilidad, que la aplicación City4Age detecta y valida la causa de este cambio de comportamiento enviándola un

cuestionario a su teléfono móvil. El resultado es revisado por un geriatra, que determinará la intervención adecuada para rehabilitar esa tendencia.

Durante una segunda fase, ya con el piloto en marcha, a fin de obtener una validación desde el punto de vista más del negocio del sistema, esto es, que los usuarios finales, estuvieran dispuestos, no sólo a usarlo, sino a adquirir el sistema, se incluyeron usuarios de la asociación de empresarios SECOT. Esta asociación de empresarios seniors acostumbra a dar asesoramiento a nuevas empresas, y participaron, como se explicará más adelante en la validación del sistema, aportando importantes comentarios para su mejora técnica.

4.2.3 Análisis de resultados y propuesta de solución

Una vez validados los escenarios, el proceso concluye con el análisis de los principales resultados recogidos del proceso de consulta con los actores. El análisis fue hecho teniendo en cuenta las necesidades del proyecto City4Age y las conclusiones del mismo consensuadas con el consorcio a fin de proveer de una solución válida, conceptual y técnicamente con el diseño general del proyecto que además armonice con la hipótesis principal que se quería demostrar en el experimento de Madrid.

4.3 Etapa III: Sistema para la captura de la actividad física en la ciudad de Madrid

Objetivos: Diseñar y desarrollar un sistema de monitorización no intrusivo de la actividad física de las personas mayores de acuerdo a los escenarios planteados en el marco arquitectónico del proyecto City4Age y desplegarlo en la ciudad de Madrid para la recogida de datos relevantes para el análisis de factores geriátricos asociados a la aparición de fragilidad.

Metodología: Agile

Resultados: Sistema no intrusivo de monitorización y recogida de datos geriátricos de la movilidad de una persona mientras realiza su actividad diaria en la ciudad de Madrid.

En el proyecto City4Age, a fin de armonizar los datos de los distintos pilotos, se han definido una serie de parámetros que definen lo que recogen los sensores que agregan acciones simples para determinar acciones complejas que puedan ser analizadas por el sistema completo.

Estos parámetros se llaman LEAS (Low Elementary Actions) y han sido ampliamente discutidos y definidos en (Paolini, 2016) (Almeida, 2017).

A modo de resumen y para contextualizar el sistema que se describe a continuación, una LEA es la unidad más pequeña de acción que representa el comportamiento de una persona mayor. Captura el comienzo o el fin de un evento causados por una acción básica e incluye información adicional sobre el tiempo y la posición donde la acción está teniendo lugar. En el proyecto City4Age se distinguen tres tipos de LEAs:

- Personales: Relacionadas con la información sobre la movilidad del usuario (tiempo de pie, en movimiento, caminando, etc.) o que recogen datos sobre el uso que se está haciendo del dispositivo móvil (número de llamadas, número de visitas que ha hecho a un determinado lugar o que recibido).
- Del hogar: Relacionadas con la posición del usuario dentro de la casa (dónde está más tiempo, tiempo anormal en una determinada estancia de la casa o horas anormales), uso de aparatos del hogar y mobiliario (frigorífico, lavadoras, armarios, etc.) y parámetros ambientales (temperatura, humedad, ruido, etc.).
- De la ciudad: Usadas para seguir la posición del usuario en los lugares monitorizados de la ciudad (centros de día, centros de salud, tiendas, etc.) y espacios al aire libre (calles, parques, etc.), para seguir las interacciones

del usuario con la infraestructura de la ciudad (sistemas de transporte público).

El objetivo del sistema de monitorización desplegado es capturar las LEAs tan pronto como suceden y almacenarlas para su interpretación futura. Para esta interpretación, en el marco del proyecto City4Age, se introduce el concepto de *Measure* (Medida), también definido y discutido ampliamente en (Almeida, 2017) (Paolini, 2016).

Una *Measure* es un indicador diario que sintetiza la larga lista de veces que sucede una LEA, por ejemplo, analizando el número de veces que el usuario sale y entra de casa en un día, se puede determinar el tiempo que pasa dentro de casa y fuera de ella.

El objetivo del piloto de Madrid en este sentido, es analizar que *Measures* son relevantes, desde el punto de vista geriátrico, para evaluar los cambios de comportamiento en la movilidad de la persona, relevantes para detectar fragilidad. La siguiente tabla muestra las LEAs asociadas a los factores geriátricos que se tienen en cuenta en el piloto.

Tabla 4 Relación entre los factores geriátricos analizados y las LEAs definidas para el experimento de Madrid

FACTOR GERIÁTRICO	LEA	DESCRIPCIÓN
DETECCIÓN CON LOS SENSORES QUE LLEVA LA PERSONA MAYOR (SMARTPHONE, BANDA DE ACTIVIDAD, ETC.)		
Movilidad	WALKING_START	Timestamp del usuario cuando entra en estado de CAMINANDO Comienza una sesión de caminar
	WALKING_STOP	Timestamp del cuando el usuario deja de estar en estado CAMINANDO e información relevante sobre la sesión de caminar

FACTOR GERIÁTRICO	LEA	DESCRIPCIÓN
		(por ejemplo: distancia, tiempo total, velocidad, etc.) La sesión de caminar acaba
	STAY_START	Timestamp de cuando el usuario estado de PARADO
	STAY_STOP	Timestamp de cuando el usuario deja el estado PARADO
DETECCIÓN CON LOS SENSORES DISPUESTOS EN EL ENTORNO (POR EJEMPLO: BLE BEACONS)		
Socialización	SENIOR_CENTER_ENTER	Timestamp de cuando el usuario entra en el centro de mayores con un ID del lugar al que ha entrado
	SENIOR_CENTER_EXIT	Timestamp de cuando el usuario sale del centro de mayores con un ID
Cultura y Ocio	POI_ENTER	Timestamp de cuando el usuario entra en un POI (por ejemplo, un cine, teatro o museo) con un ID
	POI_EXIT	Timestamp de cuando el usuario sale en un POI (por ejemplo, un cine, teatro o museo) con un ID
	HOME_ENTER	Timestamp de cuando el usuario entra en casa con un ID
	HOME_EXIT	Timestamp de cuando el usuario entra en casa con un ID
DETECCIÓN CON SENSORES DE LA CIUDAD INTELIGENTE (OPEN DATA)		
Actividades instrumentales de la vida cotidiana (transporte)	TRANSPORT_ENTER	Timestamp de cuando el usuario entra en un autobús con un ID y asociada a la información del número de autobús y la parada donde se subió
	TRANSPORT_EXIT	Timestamp de cuando el usuario se baja del autobús con un ID y asociada a una información como la línea de autobús y la parada

Vemos que, aunque sólo se tienen en cuenta parámetros asociados a la actividad física, se pueden inferir comportamientos asociados a otros aspectos útiles en la evaluación geriátrica de la fragilidad como son la socialización y la independencia a la hora de realizar actividades instrumentales de la vida diaria.

Teniendo en cuenta esta lista de LEAs y la infraestructura con la que estaba dotada la ciudad, se diseñó el sistema que se iba a desplegar en la ciudad. Durante la fase de diseño, se determinó que el teléfono móvil era un elemento fundamental en la arquitectura del sistema, por su amplia difusión en la población en general y en especial, por su alta tasa de penetración en la población urbana mayor de 65 años (Montaña, 2015). Esto supuso una ventaja, ya que el Smartphone se convirtió en un multi-sensor no invasivo básico en el sistema, gracias a que tiene embebidos una IMU, un GPS, un módulo de Bluetooth y un módulo de WI-FI.

Usando como hardware primario el teléfono móvil, se diseñó un sistema capaz de recoger grandes cantidades de datos del entorno físico de la persona a través de la infraestructura de sensores de la ciudad de Madrid y procesarlas para producir LEAs y *Measures* que serán mandadas al servidor central de la arquitectura común del proyecto City4Age para su puesta a disposición de los geriatras del consorcio.

Así, el sistema diseñado se compone de dos subsistemas básicos: El *Local Envioirement Building Blocks* (LEBB) que se encarga de la comunicación con los distintos sensores y recoger la información de ellos; y el *Cloud Building Blocks* (CBB), que se encarga de añadir a la información recibida del LEBB, información procedente de otras fuentes (por ejemplo, datos abiertos de la ciudad) y calcular las *Measures* que serán enviadas al servidor central de Madrid

Figura 18 Representación a alto nivel del sistema utilizado para la captura de los datos de los usuarios desplegada en la ciudad de Madrid

Local Environment Building Blocks (LEBB)

El llamado *Local Environment Building Block* que es un conjunto de componentes software modulares desplegados en el teléfono móvil del usuario que se comunican con las distintos sensores del teléfono, de acuerdo a sus respectivos estándares y protocolos.

Se recuerda en este punto, que el móvil nos proporciona una unidad de GPS, una IMU, un módulo de Bluetooth y un módulo WI-FI.

A objeto de mejorar la detección se han introducido dos sensores adicionales: un par de motas Bluetooth (Beacons), para determinar regiones cubiertas por cada mota Bluetooth y una pulsera de actividad.

Del GPS recoge las localizaciones y tiempos en movimiento, lo que permite calcular medidas como la velocidad media (km/h), la distancia (km) o el paso (min/km) de la actividad física del individuo que porta el teléfono.

Mediante el Bluetooth reconoce las regiones BLE que han sido previamente pre-configuradas para cada usuario. Estas regiones BLE son utilizadas para mejorar la precisión del GPS y saber exactamente si está entrando o saliendo de un edificio (su casa, el centro de mayores o una tienda o espacio concreto). La forma en la

que se han desplegado estas regiones BLE, es para todos los participantes en el proyecto se ha instado una pareja de Beacons en su casa de manera que no cubran el mismo rango de espacio, normalmente una dentro de la casa y otra en el buzón o cerca de la salida principal es suficiente para que se cumpla esta condición en la tipología de viviendas de Madrid, normalmente pisos.

Con la ayuda de este sistema de localización y el GPS, la aplicación es consciente del contexto geográfico en donde está el usuario y donde está el propio usuario, permitiendo al sistema propuesto hacer un modelo de la actividad diaria del usuario (lugares que visita, patrones de entrada y salida de casa, etc.) y distinguir entre actividad *indoor* y *outdoor*, y así tomar decisiones sobre la desactivación de módulos y hardware innecesarios para ahorrar energía en el dispositivo.

Los datos abiertos de la ciudad de Madrid y la plataforma de open Wi-Fi de la EMT, integrada en cada autobús urbano, completan los datos de movilidad de cada usuario, mientras se mueven por la ciudad y dan datos de contextualización de estos movimientos.

El sistema requiere ser configurado para una mejor adaptación al usuario y facilitar así el reconocimiento de los patrones de actividad de cada usuario. Para ello, se determinan áreas de interés y que suele visitar con frecuencia, para el usuario concreto (POIs). Estas áreas de interés se clasifican en Parques, Lugares culturales, Entornos urbanos, Casas de amigos, Casa de familiares, Centros de salud, Centros comerciales, Centros deportivos, Centros religiosos y Centros de Mayores.

La asistencia o no a estos lugares facilitará la identificación de episodios físicos (actividad, energía, movilidad, etc.), sociales (capacidad de autogestión, relaciones sociales, etc.) y psicológicos asociados a la fragilidad (soledad, depresión, falta de energía, etc.). Su duración, incidencia y el hecho de ser un

evento esporádico, una tendencia o un cambio de rutina, indicará si realmente es un riesgo de fragilidad o no.

Además, se contó con la ayuda de una pulsera de actividad. La pulsera de actividad tiene como fin el obtener datos que nos ayuden a corroborar los episodios de riesgo detectados, analizando los patrones de sueño (número de veces que se levanta por la noche, tiempo deambulando por la noche) y la actividad cardíaca de la persona. Finalmente, de forma experimental, en un grupo reducido de usuarios (4) se introdujo una báscula de bioimpedancia a fin de evaluar la posible relación entre la aparición de sarcopenia con eventos de riesgo asociados a la aparición de fragilidad.

La siguiente figura muestra la pantalla de configuración inicial del LEBB. A efectos de configuración el LEBB es una aplicación móvil (desarrollada para Android) que una vez configurada funciona como un *daemon*⁸ en el móvil y que no requiere ninguna acción por parte del usuario final, lo que facilita el uso del sistema por parte de los usuarios y responde al requisito de no ser invasivo que debe cumplir el sistema de monitorización propuesto de acuerdo a los resultados de la fase anterior (ver sección 4.1).

⁸ Un Deamon es un tipo especial de proceso informático no interactivo, es decir, que se ejecuta en segundo plano en vez de ser controlado directamente por el usuario.

Figura 19 Pantalla de configuración inicial del sistema LEBB

Cloud Building Block (CBB)

El LEBB sólo detecta acciones simples y los traduce a LEAs, esto es, a acciones individuales. Un comportamiento no es sólo un conjunto de acciones, sino un patrón (más o menos complejo) de acciones. Interpretando los datos de las acciones simples podemos inducir comportamientos.

Para ello, el LEBB envía las LEAs al segundo componente del sistema: el CBB, que añade a las LEAs información adicional procedente de los propios sensores de acción y del entorno, mediante incorporación de información procedente de datos abiertos de la ciudad de Madrid (estado del tráfico, obras en la vía pública, tiempo atmosférico, etc.) y de la red de transportes municipal (incidencias, línea de autobús, paradas de subida y bajada, etc.), generando *Measures*. La siguiente figura muestra la pantalla de logs del sistema donde se muestran algunos de los cálculos que el CBB añade a las LEAs para formar las *Measures*.

Figura 20 Pantalla de logs del CBB donde se muestra parte de los cálculos que hace a partir de las LEAs recibidas

De esta forma se puede pasar de una acción simple a un comportamiento por ejemplo:

El individuo ha comenzado a andar: acción simple. El individuo ha comenzado a andar de forma normal (añadimos a la acción andar, datos sobre su velocidad, paso e incluso ritmo cardiaco)

Finalmente, el CBB envía ambas, LEAs y MEASURES al servidor central del City4Age.

En caso, de que un riesgo potencial pueda ser detectado por el sistema City4Age la aplicación muestra los mensajes de la intervención personalizada enviados por el geriatra de una forma comprensible, accesible y usable. Aunque esta parte queda fuera del objetivo de esta tesis.

La siguiente tabla relaciona los factores geriátricos, sub-factores geriátricos LEAs y Measures que finalmente detecta el sistema descrito en este apartado y que finalmente fue desplegado y validado con objeto de esta tesis en la ciudad de Madrid.

Tabla 5 Relación entre factores geriátricos identificados y LEAs y medidas monitorizadas

Factor geriátrico	Subfactor geriátrico	Leas	MEDIDA
Movilidad	Andar	BODY_STATE_START BODY_STATE_IN BODY_STATE_STOP state_type: Walking	WALK_DISTANCE WALK_SPEED_OUTDOOR WALK_STEPS WALK_TIME_OUTDOOR
	Moviéndose	BODY_STATE_START BODY_STATE_STOP state_type: Still	STILL_TIME
Actividades básicas de la vida cotidiana Actividades instrumentales de la vida cotidiana	Salir fuera de casa	POI_ENTER POI_EXIT location_type: Home	HOME_TIME OUTDOOR_NUM OUTDOOR_TIME
	Comprar	POI_ENTER POI_EXIT location_type: Shop	SUPERMARKET_TIME SUPERMARKET_VISITS
	Transporte	TRANSPORT_ENTER TRANSPORT_EXIT location_type: PublicTransportationMean. Bus TRANSPORT_ENTER TRANSPORT_EXIT location_type: TransportationMean.Other	PUBLICTRANSPORT_DISTANC E_MONTH PUBLICTRANSPORT_RIDES_M ONTH PUBLICTRANSPORT_TIME TRANSPORT_TIME

Factor geriátrico	Subfactor geriátrico	Leas	MEDIDA
Socialización	Hacer/recibir visitas	POI_ENTER POI_EXIT location_type: SocializingPlace.FriendHome POI_ENTER POI_EXIT location_type: SocializingPlace. FamilyMemberHome	OTHERSOCIAL_TIME OTHERSOCIAL_TIME_OUT_PERCENT OTHERSOCIAL_VISITS
	Ir a centros de mayores	POI_ENTER POI_EXIT location_type: SocializingPlace.SeniorCenter	SENIORCENTER_TIME SENIORCENTER_TIME_OUT_PERCENT SENIORCENTER_VISITS SENIORCENTER_VISITS_MONTH
	Atender otros lugares culturales	POI_ENTER POI_EXIT location_type: SocializingPlace.PublicPark POI_ENTER POI_EXIT location_type: SocializingPlace.OtherSocialPlace	OTHERSOCIAL_TIME OTHERSOCIAL_TIME_OUT_PERCENT OTHERSOCIAL_VISITS PUBLICPARK_TIME PUBLICPARK_VISITS_MONTH PUBLICPARK_VISITS

Factor geriátrico	Subfactor geriátrico	Leas	MEDIDA
Cultural engagement	Visitar lugares de entretenimiento y/o culturales	POI_ENTER POI_EXIT location_type: CulturalPlace	CULTUREPOI_VISITS_MONTH CULTUREPOI_VISITS_TIME_PERCENT_MONTH

4.4 Etapa IV: Despliegue del piloto y validación

Objetivos: Diseñar el protocolo de validación del sistema y analizar de acuerdo al mismo los resultados del experimento

Metodología: Diversas metodologías de evaluación de modo que se valide el sistema desde el punto de vista geriátrico (utilidad médica) y de los usuarios (usabilidad del sistema IoT)

Resultados: Utilidad o no del sistema como instrumento para detectar la fragilidad en adultos mayores residentes en la ciudad de Madrid.

El propósito de la validación del sistema descrito es refundar las hipótesis de este trabajo de investigación y contribuir a descubrir que parámetros extraídos de los disponibles en una ciudad inteligente pueden contribuir a la detección temprana de la fragilidad, sin que la monitorización realizada interfiera en las actividades diarias de los ciudadanos y únicamente teniendo en cuenta esa rutina en el día a día, mientras se mueve por su ciudad.

4.4.1 Procedimiento de validación

El experimento llevado a cabo en la ciudad de Madrid se dividió en dos fases orientadas a la validación técnica, de usabilidad y geriátrica del sistema propuesto. La segunda fase se dividió a su vez en varias sub-fases incrementales por motivos de facilidad en la gestión de los usuarios finales.

La Tabla 6 resume el horizonte temporal de cada una de las fases y el número de participantes en cada una de ellas y el objetivo final de cada una de ellas.

Cabe destacar, que en cualquiera de las fases de la validación, los datos personales de los participantes han estado totalmente protegidos, así como su privacidad, de acuerdo a la normativa vigente de la Unión Europea (Regulation, G. D. P., 2016) y también por la normativa nacional de protección datos.

Tabla 6 Fases de despliegue del experimento de validación

Fase I	Fase I.I	Oct 2016-Nov 2016	5 participantes no mayores	Evaluación técnica sistema en laboratorio
	Fase II.I	Nov 2016-Feb 2017	3 participantes mayores de 80 años	Evaluación técnica en condiciones reales controladas
Fase II	Fase II.II	Marzo 2017-Abril 2017	Incorporación paulatina hasta 10 participantes mayores de 80 años	Evaluación técnica en condiciones reales libres y evaluación de usabilidad
	Fase II.III	Mayo 2017 a Sept 2017	Incorporación paulatina hasta 20 participantes mayores de 80 años	Evaluación técnica en condiciones reales libres y evaluación de usabilidad
	Fase II.IV	Sept 2017 a Noviembre 2018	20 participantes mayores de 80 años simultáneos	Evaluación usabilidad y validación de la utilizad del sistema geriátrico.

		Mayo 2018 – Noviembre 2018	25 participantes SECOT	Evaluación de la utilidad del sistema
--	--	-------------------------------	---------------------------	--

Las dos fases principales consistieron en:

- Fase I: Testeado en laboratorio. Esta fase consistió en la validación llevada a cabo bajo condiciones controladas de laboratorio por sujetos ya experimentados en el uso del sistema, que además ya eran expertos en TIC y usabilidad. El principal objeto de esta fase es la validación de la tecnología.
- Fase II: Testeado en condiciones reales. Esta fase consistió en la validación del sistema en condiciones reales con usuarios reales (esto es personas mayores). El objetivo principal era la evaluación de la aceptación por parte de los usuarios y la usabilidad del sistema. Además esta fase incluye a los demás actores involucrados en el funcionamiento del sistema (geriatras y cuidadores) con el objeto de validar la solución desde un punto de vista médico y de utilidad para detectar riesgo de fragilidad de los usuarios.

4.4.2 Evaluación Técnica del sistema

La fase I de la validación llevada a cabo entre Octubre a Noviembre de 2016 consistió en el testeado desde el punto de vista técnico del sistema en un entorno controlado: El Smart House Living Lab junto con el Campus Internacional de Excelencia de Moncloa (Life Supporting Technologies Research Group, 2015) que constituyen un Smart City Living Lab con las condiciones idóneas para simular de forma controlada, la ciudad de Madrid.

Con este entorno de pruebas controlado, se pudieron evaluar las soluciones tanto a nivel de entorno exterior, como los entornos interiores (casa, tiendas, centros públicos de ocio) donde potencialmente interactúa el ciudadano, así como la

movilidad con el uso del transporte público que hay en el campus, principalmente autobuses.

Esto permitió evaluar el sistema en condiciones reales, pero con líneas de bus concretas y en un área geográfica limitada y con usuarios controlados, con lo que la evaluación de los datos obtenidos fue más fácil de depurar.

Figura 21 Imágenes del Smart House Living Lab de la UPM, base para comenzar los experimentos de la Fase I y habilitado como Casa

Durante esta fase, cinco sujetos sanos, sin ningún tipo de discapacidad, con edades entre 25 y 35 años, que eran expertos en TIC y usabilidad, participaron en los experimentos.

El experimento requirió la instalación en el Smart House Living Lab dos BLE Beacons para utilizar el laboratorio como “casa”. Después se configuró la aplicación de los usuarios como si de una persona mayor real se tratara. En el mapa, siempre dentro del área controlada, se marcaron distintos lugares usualmente visitados por una persona mayor en su rutina diaria (como parques, casas de amigos y familiares, centros de salud, tiendas, centros de mayores, etc.).

Figura 22 Pantalla de configuración de los usuarios de la fase I. En el se marca zonas del campus de Moncloa que simulan lugares frecuentemente visitados por personas mayores

Los sujetos participantes tenían que realizar 5 sesiones distintas de una misma rutina descrita a continuación en la Tabla 7, durante un periodo inferior a 2 horas por sesión. Durante la sesión al menos tendría que coger un autobús.

Figura 23 Zona del Campus de Moncloa y líneas de autobuses, utilizadas como área real controlada, durante los test de la fase I.

Las actividades que tenían que realizar en cada una de las sesiones fueron seleccionadas porque son las típicamente descritas por los usuarios participantes en los *focus groups* (ver 4.2.2) como actividades que hacen con mayor frecuencia en su rutina diaria.

Tabla 7 Actividades llevadas a cabo por los participantes en la Fase I de validación del sistema

ACTIVIDAD	LEAS
Andar	BODY_STATE_START BODY_STATE_IN BODY_STATE_STOP
Entrar en el laboratorio (casa) o cualquier POI señalado en el mapa	ENTER_POI EXIT_POI
Usar el transporte publico	TRANSPORT_ENTER TRANSPORT_EXIT

4.4.3 Evaluación del sistema

Para la evaluación del sistema se diseñó un estudio longitudinal en el que estableció un grupo experimental de 45 usuarios a los que se les realizó una valoración inicial y evaluaciones intermedias que sirvieran de punto de línea base y para comprobar su estado cognitivo y físico. A continuación, se describen las variables del estudio y el procedimiento de captura de datos de control.

Procedimiento de reclutamiento

El proceso de reclutamiento se ha llevado a cabo con la colaboración de la empresa Tercera Edad Activa (TEA). TEA es un proveedor de servicios para la 3ª edad que tiene una relación muy estrecha con el Ayuntamiento de Madrid y en particular, con los Centros de Mayores de la red municipal y de la comunidad autónoma. Estos centros de mayores proporcionan programas socioculturales, ocupacionales, de entrenamiento y acceso a nuevas tecnologías, además de servicios de fisioterapia preventiva y otros servicios médicos y sociales (podología, peluquería, etc.). De los más de 90 centros de la ciudad de Madrid, TEA seleccionó 6 de ellos:

- La Unión Democrática de Pensionistas y Jubilados de España
- Casa del reloj
- Centro de Municipal de Mayores Isaac Rabin de Moratalaz
- Centro de Mayores Sagasta

- Centro de Mayores Arganzuela
- Centro de Mayores de Ginzo de Lima

En una etapa posterior (ver Tabla 6 para más información sobre las fases de validación) se incorporaron otros 20 usuarios procedentes de la asociación SECOT⁹ (Seniors Españoles para la Cooperación Técnica). Esta asociación es una asociación de empresarios y directivos que una vez retirados, ofrecen su experiencia y conocimiento en gestión empresarial a jóvenes emprendedores de manera voluntaria.

En este caso, se utilizó su participación en el experimento como una forma además de atraer con las actividades de la asociación a los asociados más mayores, que tienen a mostrarse menos activos en la asociación.

Criterios de selección

Los estudios de fragilidad analizados en la Etapa I establecen el criterio de inclusión en una edad mínima de 70 años, pero dado que la prevalencia aumenta con la edad, y dado el corto periodo de tiempo (inferior a 24 meses) en el que se iba a realizar el estudio, se estableció en 75 años. No se establece edad máxima para la entrada al experimento, ya que la edad máxima, dependiendo el estudio consultado, puede variar entre 88 y 101 años. TEA fue la encargada de contactar a los participantes entre las personas asistentes a los centros de mayores seleccionados, mientras que a SECOT se le contactó a través del CRTM.

A continuación se resumen los criterios de inclusión, exclusión y eliminación de la muestra.

⁹ <https://www.secot.org/>

Tabla 8 Criterios de inclusión, exclusión y eliminación para los participantes en la fase II de evaluación del sistema

Criterios de inclusión	<ul style="list-style-type: none"> • Personas mayores activas y con buen estado de salud general • No afectados por ningún grado de dependencia • Mayores de 75 años • Usuarios regulares y autónomos de autobuses públicos municipales • Ambos sexos permitidos
Criterios de exclusión	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel de dependencia que no permita ser autónomo para alguna de las actividades cotidianas. • Participante diagnosticado como frágil
Criterios de eliminación	<ul style="list-style-type: none"> • El participante es diagnosticado como frágil durante el periodo de pruebas. En este caso el usuario será considerado para la fase de validación, y focus groups, pero no para la validación final en condiciones reales. • El participante no es capaz de continuar los test antes de que el periodo de validación termine por causas relacionadas con su entorno o personales. • El participante pierde su independencia antes de que acabe el periodo de test.

A los participantes reclutados se les proveyó de todos los elementos hardware necesarios para llevar a cabo el experimento pre-configurados (BLE Beacons, Smartphone con la aplicación del piloto Madrid instalada y una banda de actividad). La aplicación móvil debe ser configurada para cada participante con las regiones del interés (POIs), que representan regiones que el usuario visita

durante sus actividades cotidianas. Esto se realiza de forma sencilla en la aplicación mediante un mapa seleccionable interactivo. Además, dos BLE Beacons son necesarias para discriminar la región de la casa u otro espacio interior (como el centro de mayores). Usando dos de estas motas activas se puede discriminar si el usuario está entrando o saliendo de la región. Habitualmente se situaba una en casa y otra en el portal, en el caso de las casas de los participantes.

Dado que la aplicación funciona totalmente de forma autónoma sin ningún tipo de acción por parte de usuario, el usuario sólo es advertido de que es necesario llevar el móvil encima cuando salga de casa y de cargarlo cuando sea necesario.

El nivel de dependencia de los candidatos se valoró de forma previa a la inclusión en el piloto, aplicando los criterios del baremo de la Ley de la Autonomía Personal y Atención a la Dependencia del 21 de abril de 2006, en sus artículos 26 y 27 (Jefatura de Estado, 2006), instrumento habitualmente utilizado por TEA.

En esta ley se clasifican en 3 grandes grados la dependencia: grado I o dependencia moderada, cuando la persona necesita ayuda para realizar varias Actividades Básicas de la Vida Diaria (ABVD) al menos una vez al día; grado II o dependencia severa, cuando la persona necesita ayuda para realizar varias ABVD 2 o 3 veces al día, pero no requiere la presencia permanente de un cuidador, y grado III o gran dependencia, cuando la persona necesita ayuda para realizar varias ABVD varias veces al día y, por su pérdida total de autonomía física, mental, intelectual o sensorial necesita la presencia indispensable y continua de otra persona. Los candidatos no debían estar calificados según este criterio por ningún grado de dependencia.

Durante todas las fases del experimento, se mantuvieron a los usuarios integrados en el experimento mediante:

- Llamadas regulares cada dos semanas aproximadamente para asegurar que la experiencia de usuario con el piloto es la adecuada y visitarles en caso de problemas y recoger sus impresiones sobre el uso y el testado del mismo.
- Disponibilidad para recibir llamadas de los usuarios en caso de dudas o problemas.
- Disponibilidad para quedar con ellos cuando así lo requirieran (para chequear los dispositivos, o resolver alguna cuestión).
- Proveer de una tarjeta mensual de abono para el uso del transporte público de forma gratuita (proporciona por CRTM).
- Proveer de entradas a eventos del Club de Amigos de CRTM.

4.4.4 Evaluación de la utilidad geriátrica del sistema

Con el fin de tener una línea base contra la que comparar los resultados obtenidos a lo largo del experimento, era necesario establecer umbrales comparativos con herramientas ya validadas. La comparación de los resultados obtenidos, frente a estas herramientas ya aceptadas establecería si los resultados obtenidos podrían ser validos o no. Así, se establecen dos elementos contra los que se compararon los datos recogidos por el sistema propuesto: Pruebas geriátricas y datos de observación directa.

En el primer caso, se propusieron una serie de pruebas, sencillas de administrar, pero de gran utilidad geriátrica a la hora de sospechar de fragilidad: El test de fuerza prensil de la mano (FPM), el Mini-Cog y el Índice de habilidad funcional. Estas pruebas, además, son complementarias entre sí y no requieren de un geriatra o médico especializado para su administración, tal y como se ha descrito en la sección 3.1 Métodos.

Para la recogida de datos de los usuarios se estableció un protocolo de contacto con los mismos, que incluía llamadas periódicas (espaciadas no más de un mes y medio entre sí) donde se recogían los datos de observación directa y de estado del usuario y visitas personales, mínimo cada dos meses y nunca más de tres, en las que se realizaban las pruebas geriátricas seleccionadas, completándolas en este caso, también con datos de observación directa obtenidos de las entrevistas no estructuradas.

El procedimiento de validación se muestra resumido en la Tabla 9 Esquema de validación durante el experimento:

Tabla 9 Esquema de validación durante el experimento

Validación	Bisemanal	Bimensual
Cuestionario de usabilidad IoT	X	
Criterios de la Ley de Dependencia		X
Entrevista semi-orientada para ver la utilidad percibida de la solución y cuestiones de privacidad y seguridad	X	
Mini Cog		X
Test de fuerza prensil de la mano		X
Test de habilidad funcional		X
Entrevista semiestructurada orientada a descubrir eventos que hayan impactado en su vida cotidiana	X	

En la primera visita, que además sirvió para poner en marcha el sistema y configurarlo, se administraron por primera vez las pruebas indicadas, sirviendo como línea base para la evaluación posterior de cada uno de los individuos.

Durante la entrevista inicial además se tomó la información sobre las características del participante (genero, edad, cómo y con quién convive, actividad social, nivel educacional, nivel tecnológico y nivel de ingresos). Además

de la evaluación de su grado de dependencia según la Ley de Autonomía Personal y Atención a la Dependencia, se les evaluó las condiciones físicas y cognitivas con los instrumentos anteriormente indicados. El resultado de estas pruebas, serviría de línea base con la que comparar los resultados posteriores y al final del estudio.

4.4.5 Evaluación de la usabilidad del sistema y del “user-engagement”

Como ya se ha comentado en capítulos anteriores el requisito fundamental para este sistema es que fuera no intrusivo. Esto, según la definición que se ha aplicado durante la fase de diseño del experimento implica que no interfiera en las actividades cotidianas del usuario y que además no supusiera ninguna estigmatización social. En este punto hay que añadir un elemento clave más. Dado que se está planteando un sistema para la detección precoz de la fragilidad y este síndrome aparece de forma progresiva en un tiempo que puede ser largo, el nivel de adherencia al sistema tiene que ser lo suficientemente alto para que el usuario no lo abandone con el tiempo y la monitorización, de este modo, pueda resultar inefectiva.

Como se ha señalado en el capítulo 3 Materiales y Métodos, no existe ninguna metodología que sistemáticamente evalúe estas dos características en un sistema IoT como el que se plantea en este trabajo. Sin embargo, existe trabajo previo en sistemas de monitorización a largo plazo que han servido como base para la metodología adoptada en este trabajo (Thomas, Usability evaluation criteria for internet of things, 2016)

Como se ha explicado en el *Capítulo 3: Materiales y Métodos*, se ha tomado como punto de partida la definición de usabilidad de la ISO 9241-11. Esta definición caracteriza los principales elementos que debe tener un sistema para ser considerado usable:

- Eficacia
- Eficiencia
- Satisfactorio

Sin embargo, los entornos IoT son entornos cambiantes, donde los elementos que miden las propuestas anteriores pueden ser cambiantes y los usuarios diversos, incluidos aquellos que necesiten algún tipo de adaptación, como además es el caso de las personas mayores. Por lo que, estas características, dependiendo del contexto en el que se despliegue el sistema, pueden ser descompuestas en varias medidas operacionales (T.Frühwirth, 2015) que hagan más fácil la evaluación de la usabilidad del sistema global, en todas sus circunstancias y entornos:

1. Flexibilidad: Debido a la propia naturaleza de los sistemas IoT, estos deben ser capaces de adaptarse a nuevos entornos sin ningún tipo de interrupción del servicio hacia el usuario (C.Prehofer). Además, debe ofrecer al mismo, distintas maneras de acceder al servicio para adaptarse a sus necesidades y/o preferencias. Esto es especialmente relevante en el caso de que vayan a usar el sistema grupos heterogéneos de personas que incluyan por ejemplo discapacidades.
2. Operabilidad: Dado que un sistema IoT se compone de múltiples dispositivos y sistemas, es necesario que el conjunto de todos ellos provea de una forma sencilla y usable la funcionalidad de todos ellos de una forma que resulte familiar al usuario. las distintas interfaces deberán tener especial atención a los estándares de usabilidad.
3. Aprendizaje: Un aprendizaje sencillo del uso del sistema, con una curva de aprendizaje idealmente nula, es una de las principales características de calidad y de predisposición al uso, especialmente en el caso de las personas mayores (A.J Jara, 2015).

4. Comprensión del sistema: El usuario debe tener siempre el control de lo que está haciendo el sistema. Puesto que los sistemas IoT son de naturaleza cambiante, el sistema debe evitar tener comandos u operaciones ambiguas que puedan provocar malinterpretaciones de los usuarios a la hora de utilizarlo.

Así, usando como punto de partida estas cuatro características y aplicando norma general de usabilidad, se ha definido para la evaluación de estas funcionalidades una serie de preguntas orientadas a cada uno de los ámbitos descritos, que tienen como fin, ver cómo se relaciona el ciudadano mayor con la tecnología IoT propuesta. La Figura 24 muestra el cuestionario base utilizado para esta evaluación. Se basa en 11 preguntas sobre su experiencia y valoración sobre el sistema y los dispositivos que lo componen. Los participantes tienen que valorar la afirmación en una escala de 1 a 7, donde 1 es nada de acuerdo y 7 absolutamente de acuerdo. De este modo se dan tres grados de satisfacción y tres grados de insatisfacción. El 4 se considera neutro.

Este cuestionario era administrado de forma personal durante una entrevista semiestructura, en la que además el participante era instado a hablar libremente de su experiencia con el sistema durante el tiempo entre entrevistas. Ambas fuentes de información, los resultados del test, y la información recogida en la entrevista, fueron usadas para evaluar la usabilidad general del equipo y la adherencia del participante al sistema. Los resultados obtenidos se analizarán en la sección 5.2.2.

		1	2	3	4	5	6	7	NS/NC
1	Estoy satisfecho con lo fácil que es usar el sistema								
2	Es sencillo usar el sistema								
3	Me siento cómodo usando el sistema								
4	Nadie nota que estoy usando el sistema								
5	El sistema no ha hecho cambiar mis actividades								
6	Los dispositivos proporcionados son cómodos de llevar								
7	Me supone una carga estar pendiente de tener que llevar los dispositivos								
8	Se me olvida frecuentemente donde dejo los dispositivos del sistema cuando no los llevo encima								
9	Se me olvida frecuentemente cargar los dispositivos								
10	Me gustaría que el sistema me indicara que está funcionando correctamente de vez en cuando								
11	He experimentado algún mal funcionamiento del sistema								

Figura 24 Preguntas propuestas para evaluar la usabilidad del sistema propuesta y la aceptación y predisposición de los usuarios a su uso.

Para la realización del test propuesto se aprovechaban las visitas realizadas bimensualmente para la realización de las pruebas geriátricas y la entrevista personal. En estas visitas, se comprobaba que el sistema estuviera funcionando de forma adecuada y se resolvían además dudas y problemas que hubieran podido surgir durante el tiempo entre visitas.

5 RESULTADOS

*“Dime y lo olvido, enséñame y lo recuerdo,
involúcrame y lo aprendo”*

Benjamín Franklin

La validación tiene como objetivo determinar la efectividad de la solución propuesta para monitorizar de forma no intrusiva la movilidad de los adultos mayores por la ciudad y si estos datos son relevantes para determinar su estado de fragilidad. La relevancia de los parámetros capturados se ha determinado en función de si obtienen el mismo resultado (frágil/no frágil) que instrumentos clínicos habitualmente usados para evaluar la fragilidad.

El método de evaluación usado para validar la utilidad del despliegue del sistema propuesto, se ha definido como parte de este trabajo de investigación y tiene tres objetivos principales:

- 1 Evaluar la utilidad el sistema para detectar cambios significativos en los patrones de movimiento de las personas mayores susceptibles de poder ser causa de eventos que pongan en riesgo la robustez (desde el punto de vista geriátrico) de esa persona.
- 2 Evaluar la utilidad de los cambios de patrones de movimiento detectados para prevenir el riesgo aumentado de fragilidad en adultos mayores.
- 3 Comparar e identificar correlaciones entre los eventos detectados y los resultados obtenidos por esos individuos en torno a cada evento, en herramientas geriátricas tradicionales para la detección y evaluación de la fragilidad.

Estos objetivos se han conseguido siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Análisis de los datos recogidos de forma automática por la aplicación. Esta tarea comprende la selección, limpieza y clasificación de los datos a analizar, así como el análisis socio-demográfico de la muestra (genero, edad, nivel socio-educativo y económico).
2. Determinación de la línea base de los datos recogidos para cada usuario de manera que sirva como comparativa para cualquier cambio de comportamiento.
3. Datos cuantitativos del análisis de los datos recogidos por la aplicación. Una vez clasificados y limpiados, se analizan los datos referentes a la actividad diaria (número de pasos, distancia recorrida y velocidad media de caminado), visitas semanales (POI, número de visita a cada POI y duración media de la misma) y datos diarios de uso de transporte público diaria (línea utilizada, distancia recorrida y tiempo de viaje). El objetivo final de esta fase es descubrir cambios en los patrones de actividad, visitas a lugares de interés y uso del transporte público que sean susceptibles de variaciones con respecto a la línea base establecida para cada usuario.
4. Datos cuantitativos del análisis de datos obtenidos de los resultados de los instrumentos geriátricos para medir la fragilidad y eventos médicos relevantes (caídas, enfermedades, hospitalizaciones, etc.) en ambos casos obtenidos durante las entrevistas bimensuales.
5. Comparación de los resultados a fin de determinar correlaciones entre los datos obtenidos en el sistema desplegado y los datos obtenidos mediante el uso de instrumentos geriátricos tradicionales y la observación directa.

6. Datos cualitativos del análisis sobre la aceptación de la tecnología y su impacto sobre su calidad de vida obtenidos de la valoración subjetiva de los participantes.

5.1 Descripción de la muestra

El sistema propuesto se ha validado desde un punto de vista geriátrico con el fin de determinar la utilidad del sistema para la detección y evaluación del síndrome de fragilidad en personas mayores. Pero dado que es un sistema que tiene que usarse durante un periodo largo del tiempo y donde la adherencia al mismo es fundamental, también se ha analizado la usabilidad del sistema y la relación de los participantes respecto a la tecnología IoT desplegada en el sistema propuesto.

El piloto se extendió durante un total de 24 meses, con el objetivo de recoger datos suficientes y variaciones en los comportamientos de los usuarios y de esta manera, obtener datos relevantes para la determinación de un cambio significativo de comportamiento, mientras se evaluaba la viabilidad y la aceptación del sistema por parte de los participantes.

Los participantes fueron voluntarios reclutados de los seis centros de mayores dependientes del Ayuntamiento de Madrid seleccionados, descritos en el *capítulo 4 Madrid: Instrumento para la detección de la fragilidad* y de la asociación SECOT, todos del área urbana de Madrid.

La siguiente figura muestra la distribución aproximada de los voluntarios procedentes de los centros de mayores.

Figura 25 Mapa de distribución de usuarios en la ciudad de Madrid de la muestra de los centros de mayores

Un total de 45 voluntarios han participado en el despliegue del piloto de Madrid. De ellos, 20 participantes fueron reclutados de los centros de mayores de Madrid y 25 más de la asociación SECOT, en una segunda fase. De los participantes iniciales, al final del proyecto se han mantenido activos 31 (13 de la muestra de los centros de mayores y 18 de SECOT, con un tiempo medio de permanencia en el primer caso de 21,7 meses en el primer caso y 7,3 meses en el segundo).

5.1.1 Descripción socio-demográfica de la muestra

Del total de los 45 participantes 31 eran hombres (68%) y 14 eran mujeres (32%). Cabe destacar que el grueso de los varones del estudio provenía de la asociación SECOT, dado que el número de mujeres asociadas es muy bajo en esta asociación, explicándose por causas socioculturales debidas a la edad de los asociados. La Dirección de la asociación confirmó que tiene muy pocas asociadas de mayores de 70 años porque hasta los años 80 del siglo pasado, el número de mujeres empresarias a nivel directivo era ínfimo y las emprendedoras de entonces no han conseguido asociarlas.

Así, centrándonos únicamente en la muestra de los centros de mayores, tenemos 13 participantes mujeres, frente a 7 hombres.

Figura 26 Distribución de mujeres en la muestra general (izquierda) frente a la procedente de centros de mayores (derecha)

La distribución de edad es de media 79,51 años. La edad media del grupo procedente de los centros de mayores era significativamente mayor (81,2 años frente a la media de 75,4 de SECOT). Los participantes en el estudio usaron el sistema durante una media de 71 semanas de uso $\pm$ 24 semanas.

El protocolo de estudio planteaba la recolección de distintos tipos de datos recogidos por el sistema de forma automática. Para ello, como se ha explicado en el Capítulo 4, se ha usando los sensores del Smartphone y de la ciudad y en los instrumentos y entrevistas descritas en 4.3 *Etapa III: Sistema para la captura de la actividad física en la ciudad de Madrid* y 4.4 *Etapa IV: Despliegue del piloto y validación*. Una vez recogidos los datos de ambas fuentes, se han comparado los resultados, tanto al principio del experimento (base) como al final.

En el caso de los usuarios que abandonaron prematuramente el experimento (antes de Diciembre de 2018) el procedimiento fue el mismo: la evaluación de los datos en el momento de la inclusión, bisemanalmente y al abandonar el experimento. No obstante, no se tuvieron en cuenta sus datos de evaluación de la fragilidad para la primera fase de la evaluación y análisis observacional que se describe en la sección 5.2.1 por considerar que el abandono prematuro era debido a falta de adherencia al sistema y por tanto, los datos recogidos pudieran ser poco realistas y no expresar de una forma adecuada su rutina.

Si se tuvieron en cambio, para la evaluación de la usabilidad y de la tecnología, ya que el abandono prematuro del experimento, en muchas ocasiones estaba

relacionado con esa causa y se consideró una fuente de información adecuada para mejorar en un futuro el sistema.

Los participantes que abandonaron el experimento prematuramente lo hicieron entre 3 y 5 meses después de ser reclutados en el experimento. Fueron 14 participantes, un 31% de los inicialmente reclutados.

Las causas más comunes fueron en primer lugar el cuidado de familiares, fundamentalmente su pareja o nietos pequeños (un total de 7 participantes), seguido de sentirse sobrecargados por los procedimientos del piloto (6 participantes). Finalmente, 1 abandonó el piloto por mudarse a otra ciudad.

En el momento de la inclusión en el piloto, todos los participantes se declaran capaces de moverse de forma independiente tanto en el hogar como por la ciudad de Madrid (ver *Tabla 11 Resultados agregados de la evaluación inicial, basados en el Índice de habilidades funcionales.*). Tras pasar las pruebas de evaluación descritas en 4.4, los resultados corroboraron que todos los participantes viven de forma independiente, sin ningún nivel de dependencia, y un nivel de fragilidad de entre 1 y 3.

La mayoría de los usuarios viven en pisos en propiedad (85%). El resto de los usuarios viven en viviendas unifamiliares o adosadas, también en propiedad.

Casi todos viven acompañados (80% de los participantes), en la mayoría de los casos por sus parejas (casi el 94% de las personas que viven acompañadas, ya sea con hijos conviviendo en su domicilio o no). Un pequeño número (el 6% de los que viven acompañados) convive con hijos o con otros miembros de su familia (nietos, sobrinos hermanos) (4% del total de los participantes). Cabe resaltar que el 90% de los participantes que viven solos, son mujeres, como muestra la *Figura 27 Distribución de usuarios que viven acompañados y solos y distribución por género de estos últimos.*

Figura 27 Distribución de usuarios que viven acompañados y solos y distribución por género de estos últimos

También es muy frecuente que vivan en zonas cercanas a familiares de primer grado, independientemente de si viven solos o no, como hermanos e hijos como se muestra en la *Figura 28 Datos de nivel de socialización con sus familiares cercanos de la muestra total (n=45)*. La proporción es ligeramente superior en la muestra procedente de los centros de mayores, donde el 90% de los usuarios viven el mismo barrio que hermanos o hijos a los que además visitan o les visitan con frecuencia. En el caso de la muestra procedente de SECOT, el dato es ligeramente inferior, con un 62% de los participantes viviendo en el mismo barrio que hijos o hermanos, aunque no se aprecian diferencias entre la frecuencia con la que hacen o reciben visitas de estos, afirmando en el caso de SECOT que un 92% de los participantes mantiene relaciones buenas y frecuentes con sus familiares, independientemente de que vivan cerca o no, frente a un 95% de los usuarios de la muestra procedente de los centros de mayores.

Figura 28 Datos de nivel de socialización con sus familiares cercanos de la muestra total (n=45)

Todos los participantes eran capaces de leer y escribir al menos de forma básica a excepción de un participante que tenía dificultades para ello. También se aprecia una diferencia cuantitativa del nivel de estudios entre las muestras, siendo el nivel de estudios superior en el caso de la muestra de SECOT (ver tabla Tabla 10).

Figura 29 Nivel de estudios entre los participantes agregados según la muestra a la que pertenecen

Entre la muestra de los centros de mayores destaca la formación superior entre las mujeres solteras, claramente superior al de las casadas donde fundamentalmente tienen, salvo dos de las participantes, estudios básicos o

primarios, frente a estudios universitarios o superiores de las mujeres solteras participantes.

Finalmente, también cabe destacar que el nivel socio económico de la muestra de SECOT es más alto en media que la de procedente de la muestra de centros de mayores.

Figura 30 Nivel económico de cada muestra (SECOT y Centros de Mayores)

De nuevo puede ser por un sesgo de género, ya que en la segunda muestra hay mayor número de mujeres, una gran parte viudas, que no han realizado trabajo remunerado durante su vida activa (amas de casa en su mayoría o trabajos tradicionalmente relacionados con la economía sumergida, como limpieza domiciliaria o cuidado de niños y personas mayores).

También influye el nivel de estudios y el tipo de trabajo que han realizado durante su vida activa. En este punto cabe recordar que los participantes de la muestra de SECOT han sido, al menos durante la última etapa de su vida laboral empresarios de éxito o altos directivos de empresas, mientras que en el caso de la otra muestra, predominan los trabajadores manuales no especializados o los técnicos especialistas. Un resumen de la distribución de los trabajos realizados durante la vida activa de los participantes de cada una de las muestras puede

verse en la *Figura 31 Distribución de ocupaciones de los usuarios en su vida activa general (izquierda) y por muestra (derecha)*

Figura 31 Distribución de ocupaciones de los usuarios en su vida activa general (izquierda) y por muestra (derecha)

En la *Tabla 10 Resultados socioeconómicos agregados de la muestra presentada* se muestran los resultados de las variables analizadas hasta el momento. En ella, se muestran los datos agregados de las dos muestras y los datos por separado de la muestra de SECOT y de los centros de mayores, ya que se han establecido campos que pueden ponderar que en este segundo grupo aparezcan usuarios con mayor predisposición a sufrir síntomas de fragilidad (mayor número de mujeres de nivel socio económico más bajo y que viven solas).

Tabla 10 Resultados socioeconómicos agregados de la muestra presentada

	Total (n=45)		SECOT (n=25)		Centros de mayores (n=20)	
	n	%	n	%	N	%
Género						
Hombre	31	68%	25	100%	6	30%
Mujer	14	32%	0	0%	14	70%

	Total (n=45)		SECOT (n=25)		Centros de mayores (n=20)	
	n	%	n	%	N	%
Edad						
Promedio	79.51		75.56		84.45	
< 75	6	13%	6	24%	0	0%
75-80	10	22%	10	25%	0	0%
80-85	18	40%	5	20%	13	65%
85-90	11	25%	4	16%	7	35%
Estado Civil						
Soltero	2	5%	0	0%	2	10%
Casado	34	75%	25	100%	9	45%
Divorciado	0	0%	0	0%	0	0%
Viudo	9	20%	0	0%	9	45%
Composición del hogar						
Vive solo	10	20%	0	0%	10	50%
Pareja sin hijos conviviendo en el domicilio	24	53%	17	68%	7	35%
Pareja con hijos conviviendo en el domicilio	9	23%	8	32%	1	5%
Convive sólo con sus hijos	1	2%	0	0%	1	5%
Varios miembros de la familia (nietos, sobrinos, hermanos, etc.)	1	2%	0	0%	1	5%
Relación con otros miembros de la familia						
Vive en el mismo barrio que familiares de primer grado y se ven a menudo	28	62%	10	40%	18	90%
No vive en el mismo barrio que familiares de primer grado, pero se ven a menudo	6	13%	6	24%	0	0%
Vive en otra ciudad/provincia que familiares de primer grado pero se comunican con frecuencia	8	18%	7	28%	1	5%
No se comunica con frecuencia con sus familiares de primer grado	3	7%	2	8%	1	5%

	Total (n=45)		SECOT (n=25)		Centros de mayores (n=20)	
	n	%	n	%	N	%
Nivel de estudios						
Sin estudios	1	2%	0	0%	1	5%
Primarios	10	22%	0	0%	10	50%
Secundarios	16	35%	14	56%	7	35%
Universitarios	13	30%	11	44%	2	10%
Ingresos mensuales						
< 700€	6	13%	0	0%	6	30%
700-1200€	4	9%	0	0%	4	20%
1200-1900€	16	35%	8	32%	8	40%
1900-2700€	8	18%	8	32%	0	0%
> 2700€	2	4%	2	8%	0	0%
NC	9	20%	7	28%	2	10%
Trabajo en vida activa						
Trabajo sin cotización (ama de casa, limpieza, cuidado...)	8	18%	0	0%	8	40%
Trabajador no cualificado (con cotización)	8	18%	0	0%	8	40%
Trabajador cualificado	14	31%	10	40%	4	20%
Funcionario	2	4%	2	8%	0	0%
Autónomo	7	15%	7	28%	0	0%
NC	6	14%	6	24%	0	0%

5.1.2 Descripción físico cognitiva de la muestra. Línea base

Como ya se ha dicho con anterioridad, los participantes fueron incluidos en la muestra si no presentaban síntomas evidentes de fragilidad. Para ello, antes de su inclusión se les evaluó de acuerdo a los criterios del baremo de Ley de la Autonomía Personal y Atención a la Dependencia del 21 de abril de 2006, tal y como se describe en la sección 4.4.3, para lo que se usaron datos de su historial médico, listado de medicamentos, etc.

Durante la primera entrevista también se les realizó la prueba de Índice de habilidades funcionales con la siguiente distribución cuyos resultados agregados

pueden verse en la *Tabla 11 Resultados agregados de la evaluación inicial, basados en el Índice de habilidades funcionales*. y en la *Figura 33: Clasificación de línea base de los usuarios para el cuestionario de salud física y cognitiva, el test mini-cog y el de fuerza prensil, para mantenerlos como línea base en la evaluación posterior*.

Tabla 11 Resultados agregados de la evaluación inicial, basados en el Índice de habilidades funcionales.

	Total (n=44)		SECOT (n=25)		Centros de mayores (n=20)	
	N	%	n	%	N	%
Pérdida no intencionada de peso						
Si	0	0%	0	0%	0	0%
No	45	100%	25	100%	20	100%
Dificultad para caminar un kilómetro						
Si	2	5%	1	4%	1	5%
No	43	95%	24	96%	19	95%
Dificultad para subir 10 escalones o más						
Si	2	5%	1	4%	1	5%
No	43	95%	24	96%	19	95%
Dificultad en salir o entrar al autobús y/o coche						
Si	3	7%	1	4%	2	10%
No	42	93%	24	96%	18	90%
Durante la última semana, ¿cómo de a menudo has salido a pasear?						
5-7 días	21	47%	7	28%	14	70%
3-5 días	15	33%	10	40%	5	25%
1-3 días	6	13%	5	20%	1	5%
Nunca	3	17%	3	12%	0	0%
Durante el último periodo, ¿has tenido alguna caída?						
Si	5	22%	2	8%	3	15%
No	40	88%	23	92%	17	85%

	Total (n=44)		SECOT (n=25)		Centros de mayores (n=20)	
	N	%	n	%	N	%
¿Eres capaz de caminar 500 metros a paso ligero?						
Si	41	91%	23	92%	18	90%
No	4	9%	2	8%	2	10%
Durante la última semana ¿cuántas veces has participado en actividades físicas o recreacionales de intensidad moderada?						
5-7 días	7	15%	5	20%	2	10%
3-5 días	10	22%	6	24%	4	20%
1-3 días	28	62%	14	56%	14	70%
Nunca	0	0%	0	0%	0	0%
Durante la última semana ¿cuántas veces has participado en actividades físicas o recreacionales de intensidad intensa?						
5-7 días	1	3%	1	4%	0	0%
3-5 días	4	8%	3	12%	1	5%
1-3 días	3	7%	2	8%	1	5%
Nunca	37	82%	19	76%	18	90%
¿Has participado como voluntario en alguna actividad en la última semana?						
Si	25	56%	17	68%	8	40%
No	20	44%	8	32%	12	60%
¿Ha limitado tu actividad el miedo a sufrir caídas?						
Si	9	20%	5	20%	4	20%
No	36	80%	20	80%	16	80%

De acuerdo con los resultados de estas primeras pruebas, los geriatras del proyecto valoraron el índice de fragilidad base de cada participante, estableciendo que en un nivel de fragilidad de entre 1 a 3 (robusto), de acuerdo a la distribución que puede verse en la Figura 32.

Figura 32 Distribución de los niveles de fragilidad de los participantes (muestra total)

La entrevista inicial, además de para la evaluación del estado de dependencia y fragilidad del participante, se aprovechó para mantener una conversación informal con los participantes y conocer sus rutinas, a fin de configurar el sistema y conocerles un poco más. Durante la entrevista, los participantes tenían total libertad para expresar lo que quisieran y los comentarios más relevantes sobre sus rutinas, hábitos, así como su estado físico y cognitivo y las acciones que hacían para mantenerse activos y saludables, fueron anotados y clasificados para su posterior utilización en la fase de comparación de datos recogidos por el sistema y como línea base para el experimento.

Algunos de los más relevantes se muestran en la discusión de los datos del cuestionario a continuación.

Figura 33: Clasificación de línea base de los usuarios para el cuestionario de salud física y cognitiva

La gran mayoría de los usuarios no tienen dificultad alguna en desplazarse, ya sea caminando o utilizando algún medio de transporte (porcentaje superior a 90% en ambos casos). Sólo dos usuarios (uno de SECOT y otro procedente de la muestra de los centros de mayores) manifiestan alguna dificultad no incapacitante para subir escalones y/o caminar distancias moderadas. En ambos casos son debidos a problemas de rodilla (ambos pendientes de una operación de prótesis de rodilla en el año 2019). Esta dificultad sin embargo, no es limitante en ninguno de los casos y no es calificada como discapacidad. Los resultados agregados sobre la capacidad de desplazarse de los participantes pueden verse en la *Figura 34 Participantes que tienen dificultad para caminar 1 km (a la izquierda) y para subir escaleras (a la derecha) tanto de la muestra total, como agregados por centros.*

Figura 34 Participantes que tienen dificultad para caminar 1 km (a la izquierda) y para subir escaleras (a la derecha) tanto de la muestra total, como agregados por centros.

Un total de 5 participantes (un 22%) han sufrido caídas en el último periodo (6 meses). Ninguno con consecuencias graves y todos ellos en la calle, mientras paseaban o hacían sus actividades diarias. Todos ellos atribuyen la caída al mal estado de las aceras o el pavimento (boquetes, obras o escalones mal señalizados).

Un total de 9 participantes (el 20% del total) manifestaron haber reducido sus actividades por miedo a caerse, independientemente de que no hubieran sufrido caídas o al menos no, de forma reciente, 2 de ellos (un 4,44% del total), incluso hablan de evitar actividades abiertamente que consideran potencialmente peligrosas (caminar por sitios mal iluminados, subirse a escaleras de mano, etc.).

De los que habían sufrido caídas en los últimos 6 meses, 3 de ellos (el 60% de los que habían sufrido caídas) manifestaron cierto temor a que el episodio volviera a repetirse y que habían reducido actividades por miedo a que se repitiera, en todos los casos manifestaban "Ir con más cuidado" para evitar la situación en la que se produjo la caída.

La otra mitad de los que manifestaron abiertamente haber limitado sus actividades por miedo a caídas, aunque no habían sufrido caídas en los últimos 6 meses, 2 de ellos (67% de los que habían limitado sus actividades por miedo a caerse) habían sufrido caídas anteriormente de consecuencias moderadas. El otro no dio razones para justificar su temor.

Los resultados agregados sobre caídas pueden verse en la Figura 35 Participantes que han sufrido caídas en los últimos seis meses y consecuencias sobre sus actividades frente a los que no han sufrido caídas en el mismo periodo.

Figura 35 Participantes que han sufrido caídas en los últimos seis meses y consecuencias sobre sus actividades frente a los que no han sufrido caídas en el mismo periodo

Es destacable, que algunos de los participantes, aunque no manifestaban miedo abierto a sufrir caídas, comentaron que habían reducido actividades que consideraban peligrosas, especialmente las mujeres en referencia a las actividades domésticas, como por ejemplo, subirse a escaleras para la limpieza de cortinas y armarios.

En referencia a las actividades sociales y de ocio, los participantes muestran una gran predisposición a participar en actividades lúdicas y consideran que llevan una vida activa. La totalidad de los participantes participa en alguna actividad lúdica o recreacional al menos un día a la semana con otras personas y un 70% de los participantes al menos participa un día a la semana en alguna actividad con otras personas y hasta un 12% casi todos los días de la semana.

No se aprecian diferencias significativas entre los dos grupos (centros de mayores y SECOT), observándose niveles semejantes de actividad. Los resultados agregados sobre actividades y la frecuencia de realización se muestran la *Figura 36 Distribución de la participación en actividades de deportivas o recreacionales de los participantes de las dos muestras*

Figura 36 Distribución de la participación en actividades de deportivas o recreacionales de los participantes de las dos muestras

Respecto al tiempo que llevaban haciendo la actividad, muchos de ellos (en torno al 70%) manifestaron que llevan haciendo la actividad durante más de 1 año y que deseaban seguir realizándola en el futuro porque les resultaba satisfactoria y ya tienen relaciones de amistad en torno a esa actividad. Sin embargo, la participación en actividades intensas o que resulten exhaustas es bastante baja.

El 82% declara no haber participado en ninguna actividad considerada exhausta en la última semana y la mayoría de ellos comenta que no lo hacen de forma habitual (de acuerdo con la *Figura 37 Participantes que realizan actividades de intensidad moderada, frente a los que realizan actividad de intensidad alta*).

La razón más repetida para no participar en actividades físicas consideradas de alta intensidad fue que ellos buscan sentirse bien con la actividad y pasar un rato divertido. Creen que con la actividad física que hacen (fundamentalmente caminar, nadar o algún tipo de gimnasia guiada) es suficiente y se sienten en forma para su edad y condición física.

Figura 37 Participantes que realizan actividades de intensidad moderada, frente a los que realizan actividad de intensidad alta

En este punto se observa, que la realización de actividades físicas o recreacionales entre los participantes está fuertemente impulsada por ocio, más que por un deseo de mejorar la condición física. Esto se relaciona de forma clara con la definición de actividad física realizada al principio de este trabajo y base para el comienzo del estudio planteado, donde se descartaba la definición habitualmente ligada con el deporte y la mejora de la condición física y se centraba en actividades cotidianas (ver 4.1).

Respecto al lugar donde realizan estas actividades los centros de mayores tienen una gran aceptación entre las personas mayores (un 32%), de acuerdo con los resultados de la *Tabla 12 Descripción rutinas de los participantes*. Aunque en este caso, si se observan diferencias entre ambas muestras. La visita a los centros de mayores, es más frecuente en los participantes de fuera de la asociación SECOT, ya que en el caso de los asociados a SECOT, las sedes de la asociación y sus reuniones eran el principal lugar de reunión y ocio para la mayoría de los participantes de esa muestra, especialmente para los más jóvenes, disminuyendo la participación en actividades de SECOT a mayor edad, donde se revierte la

situación, adquiriendo más importancia las actividades para mayores dirigidas desde los centros de mayores o centros deportivos.

Cabe destacar el número de participantes que actúan como voluntarios. Casi un 56% de los participantes participan como voluntarios en alguna actividad. La proporción es mayor en la muestra procedente de SECOT, donde un 68% de los participantes es voluntario de la propia asociación, lo cual coincide con el objetivo de la propia asociación. En efecto, entre los participantes de la muestra de SECOT que no son voluntarios actualmente, han sido voluntarios en el pasado y coincide que son los participantes de mayor edad de la muestra. La propia dirección de SECOT confirmó que los asociados de mayor edad o con mayores problemas físicos y cognitivos dejan de participar en las actividades que organizan y una de las más afectadas es la de voluntariado.

El número de voluntarios también es alto entre los participantes de la muestra procedente de centros de mayores con 8 participantes (un 40% de la muestra). Entre estos últimos, las actividades donde son voluntarios son múltiples y en la mayoría de los casos, relacionadas con las actividades que han ejercido durante su periodo de vida laboral activa y/o ligada a su centro de mayores, parroquia u otras asociaciones sociales, colaborando en las actividades del mismo.

Figura 38 Número de usuarios que realizan actividades como voluntarios como parte de sus actividades de ocio

Esta voluntad de continuar con las actividades relacionadas con su vida laboral, que además coincide con uno de los objetivos de la estrategia de Envejecimiento

Activo y Saludable impulsada por Europa (ver *capítulo 1, sección 1.1*) podría relacionarse de alguna forma también con ausencia de fragilidad, y el abandono de esta iniciativa y la falta de deseo de mantenerse activo, como un primer síntoma de fragilidad o deterioro cognitivo. No obstante, esa variable queda fuera del ámbito de estudio de este trabajo de investigación.

Tabla 12 Descripción rutinas de los participantes.

	Total (n=45)		SECOT (n=25)		Centros de mayores (n=20)	
	N	%	n	%	N	%
Pasea por la ciudad						
Si	40	89%	20	80%	20	100%
No	5	11%	5	20%	0	0%
Suele ir al centro de mayores						
Si	22	49%	7	28%	15	75%
No	23	51%	18	72%	5	5%
Acostumbra a ir a eventos culturales						
Si	35	78%	19	76%	16	80%
No	10	22%	6	24%	4	20%
Suele realizar actividades de ocio colectivo						
Si	45	100%	25	100%	20	100%
No	0	0%	0	0%	0	0%
Es miembro activo de alguna asociación, club, etc.						
Si	40	89%	25	100%	15	75%
No	5	11%	0	0%	5	25%

5.1.3 Datos de movilidad de la muestra

Con respecto a la movilidad urbana, la gran mayoría de los participantes son fieles usuarios del transporte público. Aunque se encuentran diferencias entre las dos muestras.

En términos generales, un 80% de los participantes usaban las distintas formas de transporte público como primera opción de transporte, siendo, en su gran mayoría el autobús urbano el medio de transporte favorito (más de la mitad de los participantes afirma que es el principal medio de transporte usado), frente a otros como el Metro o el Cercanías¹⁰. Esto coincide con las estadísticas de la EMT donde unos de los principales usuarios son los mayores de 65 años.

Figura 39: Distribución del uso de transporte público entre los usuarios participantes

Cabe destacar que el segundo medio de transporte usado, entre los usuarios de transporte público, es el Metro. Sólo el 15% de los usuarios totales prefieren medios de transporte privado, todos ellos de la muestra de SECOT, donde es el segundo medio de transporte más usado empatado con el transporte privado (coche propio). Además, en la muestra de SECOT se observa una diversificación mayor del transporte público usado, siendo el Metro el tercer medio de transporte preferido y aparece el Cercanías, incluso entre desplazamientos urbanos a muy poca distancia del metro.

Los medios de transporte utilizados son menos variados entre los participantes de la muestra de los centros de mayores, donde el autobus es claramente el medio de transporte favorito. Esta diferencia se muestra de forma gráfica en la *Figura 40*

¹⁰ En la Comunidad de Madrid el Cercanías es la red ferroviaria de RENFE de corta distancia, que comunica núcleos principales de población en la región, con la capital, existiendo una amplia red que circula de forma urbana y coincidente en estaciones con la red urbana de Metro.

Distribución de medios de transporte entre usuarios de la muestra SECOT (izquierda) y centros de mayores (derecha).

Figura 40 Distribución de medios de transporte entre usuarios de la muestra SECOT (izquierda) y centros de mayores (derecha)

La diferencia entre muestras y patrones de uso del transporte se pueden explicar por variables socio-económicas, de acuerdo a la *Tabla 10 Resultados socioeconómicos agregados de la muestra presentada*. En ella se observa que los usuarios de SECOT tienen ingresos superiores en media que los usuarios procedentes de la otra muestra, lo que podría explicar un mayor uso del vehículo privado incluso para desplazamiento en el centro de la ciudad. Aunque el uso del transporte privado también pueden explicarse por causas relativas al género. Sólo dos de las participantes mujeres tenía carné de conducir frente a la totalidad de los participantes varones. Dada la prevalencia de mujeres en la segunda muestra, puede que sea también una variable que pondere a favor de esta gran diferencia.

La *Tabla 13 Uso del transporte público de la muestra presentada* muestra un resumen por agregado por estudio y por muestra de las variables asociadas a los hábitos de transporte de los participantes.

Tabla 13 Uso del transporte público de la muestra presentada

	Total (n=45)		SECOT (n=25)		Centros de mayores (n=20)	
	n	%	n	%	N	%
Primera opción de medio de transporte						
Bus	23	51%	7	28%	16	80%
Metro	9	20%	6	24%	3	15%
Cercanías	4	9%	4	16%	0	0%
Transporte privado	7	15%	7	28%	0	0%
Otros	2	5%	1	4%	1	5%
Como de frecuente se desplaza en medios de transporte publico						
A diario	18	40%	4	16%	14	56%
Semanalmente	13	29%	7	28%	6	24%
Ocasionalmente (frecuencia mensual o superior)	11	24%	11	24%	0	0%
Nunca	3	7%	3	12%	0	0%

5.1.4 Descripción del nivel tecnológico de la muestra (al inicio del experimento)

Con el objetivo de validar la comodidad del uso del sistema propuesto entre los usuarios y usabilidad de un sistema IoT de estas características con el propósito de usarlo para medir la fragilidad de forma no intrusiva, se recogieron datos sobre la relación con la tecnología de los participantes antes del inicio del estudio.

Todos los participantes tenían teléfono móvil y eran capaces de realizar y recibir llamadas con él. Sólo 7% de los usuarios no tenían Smartphone al inicio del estudio (3 usuarios, todos ellos de la muestra procedente de los centros de mayores).

La mayoría de los participantes con Smartphone (un 78%), tenía un teléfono con sistema Android, 6 participantes (13%) con sistema iOS y uno de ellos (2%) un teléfono con sistema Windows Phone, tal y como se muestra en la *Figura 41*

Distribución del uso de Smartphone y sistemas operativos asociados a los participantes antes del comienzo del estudio.

Figura 41 Distribución del uso de Smartphone y sistemas operativos asociados a los participantes antes del comienzo del estudio

Cabe destacar que la totalidad de los participantes con sistema operativo iOS eran de SECOT, con estudios superiores e ingresos altos. Habían sido, antes de retirarse del mundo laboral activo, cargos medios y altos de empresas tecnológicas y su conocimiento y familiaridad con la tecnología era alto.

Respecto a la capacidad autopercebida del uso de tecnologías (ver *Figura 42 Capacidad tecnológica autopercebida*), la mayoría de los usuarios se declara usuario medio (un 49% de los usuarios), seguido de usuario de perfil bajo con un (el 33% de los participantes). Solo un 18% de los participantes se declara con un nivel de alto de capacidad tecnológica.

La mayoría de los usuarios con Smartphone y capacidad autopercebida de uso baja, son capaces de usar las funciones básicas del teléfono, incluyendo WhatsApp, pero declaran que ante problemas que puedan surgir (actualizaciones, etc.) no son capaces de resolverlos sin ayuda y tampoco de usar aplicaciones nuevas sin guiado previo.

Figura 42 Capacidad tecnológica autopercibida

De nuevo, se encuentra un claro sesgo sociodemográfico en la muestra de la autopercepción del uso de tecnologías.

Al analizar por separado las muestras de SECOT y de los centros de mayores, se observa que en términos absolutos, la capacidad tecnológica autopercibida es más alta entre el grupo de SECOT que en el otro, como se muestra en la *Figura 43 Capacidad tecnológica de la muestra SECOT (izquierda) frente a la de la muestra procedente de los centros de mayores (derecha)*.

Figura 43 Capacidad tecnológica de la muestra SECOT (izquierda) frente a la de la muestra procedente de los centros de mayores (derecha)

A parte de la aplicación móvil instalada en el teléfono Android proporcionado o propio, como complemento, 20 de los participantes recibieron una banda de actividad FITBIT modelo Charge 2 de los que se recogieron los datos de actividad con intención de compararlos con los datos recogidos de la aplicación.

La aceptación de esta banda de actividad tuvo muy buena acogida entre los participantes en un primer momento. La totalidad de los usuarios que la recibieron nunca antes había usado una, y muy pocos (en torno al 10%) habían oído hablar de este tipo de pulseras.

Además, 4 participantes de la muestra de los centros de mayores, que tenían el hábito de pesarse a diario recibieron una báscula de bioimpedancia, con el objetivo de detectar algún tipo de variación en su masa muscular que pudiera ser relevante para determinar un cambio en su grado de fragilidad.

Un resumen de los datos sobre conocimiento tecnológico de la muestra al inicio del experimento se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14 Uso previo de la tecnología y conocimiento tecnológico autopercibido

	Total (n=45)		SECOT (n=25)		Centros de mayores (n=20)	
	n	%	n	%	N	%
Teléfono móvil						
Si	45	100%	25	100%	20	100%
No	0	0%	0	0%	0	0%
Sistema operativo del teléfono						
Android	35	78%	18	72%	17	85%
IoS	6	13%	6	24%	0	0%
Windows Phone	1	2%	1	4%	0	0%
No es smartphone	3	7%	0	0%	3	15%
Capacidad tecnológica autopercibida						
Baja	15	33%	2	8%	13	65%
Media	22	49%	15	60%	7	35%
Alta	8	18%	8	32%	0	0%
¿Conoces las bandas de actividad?						
Si	17	38%	15	60%	2	10%
No	28	62%	10	40%	18	90%

5.2 Análisis de los datos recogidos por el sistema

Con el propósito de establecer una línea base sobre la que comparar las variaciones de los datos recogidos, se estableció que los datos recogidos durante el primer mes de uso del sistema (30 días naturales desde la primera recepción de datos) se utilizaran para establecer la línea base de comportamiento en los

distintas variables a analizar. El periodo de 30 días da una ventana lo suficientemente amplia para mostrar las rutinas de comportamiento diarias de los participantes en su entorno cotidiano y es compartida por otros sistemas de monitorización continua en adultos mayores como (Eisa, 2017) (Kaye, 2011).

Esto incluye la rutina para patrones de actividad diaria (Distancia recorrida diaria, número de pasos, tiempo caminando total y media de la velocidad), lugares de interés visitados semanalmente (tipo de lugar de interés, frecuencia de visita y tiempo de duración de la visita) y patrón de utilización del transporte público diario (líneas de bus, frecuencia de uso y distancia recorrida por uso).

Sobre esta línea base de comportamiento se analizaron cambios significativos en los patrones de cada una de las tres categorías, definiéndose el cambio en el patrón de comportamiento de la siguiente manera, atendiendo a la categoría en la que se detecta:

- Cambio en los patrones de actividad de un usuario: Se define como una variación significativa respecto a la línea base para ese usuario en el número de pasos diarios y/o distancia recorrida diaria y/o tiempo en movimiento diario y/o velocidad media de paso. Se estableció un límite para la determinación del cambio significativo en variación del 15% sobre la línea base en número de pasos, distancia y tiempo y un 10% sobre la velocidad media del paso atendiendo a los criterios bibliográficos y de los geriatras del proyecto City4Age (ver sección 4.1 y (Abellan van Kan G, 2008) (Pahor, 2014) (Papachristou, 2017).
- Cambio en los patrones de visitas de un usuario. Se define como la variación significativa de visitas a un punto de interés (reducción del número de visitas y/o tiempo de duración de esas visitas) y/o el cambio en el punto de interés visitado (Etman, 2014).

- Cambio en los patrones de uso de transporte de un usuario. Se define como la variación significativa en el uso del transporte público (bus) sobre la línea base respecto a la frecuencia de uso y tiempo de uso (Musselwhite, 2017).

Siguiendo los criterios descubiertos en 4.1 *Etapa I: Planteamiento de la solución de monitorización*, el patrón de actividad de los participantes fue usado como principal elemento para relacionar cambios en el comportamiento de los usuarios que pudieran ser relevantes para evaluar su estado de fragilidad.

Estos cambios en los patrones de detección se mapearon con eventos obtenidos en las evaluaciones bisemanales con los distintos instrumentos utilizados. A continuación, sobre los resultados de este primer análisis, se incorporaron los datos de los puntos de interés y transporte. En los siguientes apartados se describen los análisis efectuados de forma pormenorizada.

5.2.1 Análisis de datos de movilidad. Correlación con eventos capturados por observación directa e instrumentos de fragilidad.

Dado que la actividad física es uno de los principales elementos de evaluación de la fragilidad, el análisis de datos se inició con los datos de movilidad recogidos por el sistema. Se limpiaron, clasificaron y analizaron los datos recibidos por la aplicación y se completaron con los datos de las bandas de actividad en aquellos usuarios que las habían recibido (20 de los participantes).

Para ello, se descartó en primer lugar como ya se ha explicado, aquellos usuarios que habían abandonado el experimento de forma prematura: 7 usuarios de la muestra de los centros de mayores y 7 de SECOT, cuyas causas y datos se analizaron después, quedando, por tanto, una muestra total de 31 usuarios (13 de la muestra procedentes de la muestra de los centros de mayores y 18 de los procedentes de la muestra de SECOT).

Una vez tratados los datos, teniendo en cuenta los referentes al número de pasos, distancia recorrida, velocidad de paso y tiempo en movimiento se pudieron identificar cambios significativos en los patrones de movimientos, que se mostraron de las siguientes formas:

1. Reducción significativa en el volumen de datos recogidos y/o ausencia total de datos recogidos durante un periodo igual o superior a un mes. Este fue el patrón de cambio más repetido. Los participantes, que habían estado enviando de forma regular datos de forma casi diaria, se detecta una bajada abrupta o ausencia sobrevenida en el volumen de datos recibidos, con recuperación abrupta o progresiva de datos y tendencia a la recuperación del volumen habitual de datos en semanas posteriores.
2. Mantenimiento del volumen de datos, pero con una reducción en el número de pasos con o sin reducción en la velocidad de paso. Dentro de esta categoría se caracterizó, a aquellos usuarios que habían pasado de tener patrones de número de paso normales a inferiores a 3000 pasos.

Se encontraron cambios de estas características en 20 de participantes. En todos ellos, una disminución significativa o ausencia de datos por más de un mes.

En particular, en 2 participantes se encontraron reducciones medias (entre un 25% y 50%) en el volumen de datos recogidos, en 4 participantes se encontraron reducciones significativas (de más de 50% y menos de 75%) en el volumen datos recogidos, en 3 participantes reducciones muy significativas de más de 75% en el volumen de datos recogidos. En 11 participantes se registró una ausencia total de datos recogidos.

Entre los participantes que si habían mandado datos, aunque con importantes reducciones en su volumen, en 8 de los participantes se apreció, además, una

reducción significativa del número de pasos, acompañada de una reducción de la velocidad del paso durante este periodo.

Figura 44 Número de usuarios que han variado sus patrones de movimiento después de un periodo de inactividad

Al mismo tiempo, un número importante de participantes (6 participantes) registraron un número de pasos inferior a 3000 durante los periodos en torno a la pérdida de datos por más de un mes o a la vuelta, tras recuperar el patrón de envío de datos normal. La *Figura 44 Número de usuarios que han variado sus patrones de movimiento después de un periodo de inactividad*, muestra gráficamente la distribución de participantes descrita.

Esta reducción en el número de pasos y velocidad se aprecia también en 5 participantes de los que no se redujo la cantidad de datos recibidos durante más de un mes, durante periodos concretos del tiempo de uso. En estos últimos participantes se aprecia claramente que hay meses o periodos, donde reducen su movilidad (tanto número de pasos, como velocidad y distancia recorrida) y después van recuperando su antiguo patrón de movilidad progresivamente.

La *Figura 45 Cambio de tendencia de movilidad en algunos usuarios (ejemplo)* muestra, un periodo de 4 meses en que se observa estas bajadas de actividad en 5 de los

participantes. En la figura, se observa cómo hay meses (Mes 2 y Mes 3 en el caso del usuario 1, Mes 3 en el caso del usuario 2, usuario 3, usuario 4 y usuario 5) en los que bajan la distancia recorrida, pero tienen progresivamente a recuperar su línea base.

Figura 45 Cambio de tendencia de movilidad en algunos usuarios (ejemplo)

De los participantes que habían manifestado una reducción significativa en el número de pasos y/o velocidad de paso, ya sea con variación en el volumen de datos recogidos (8 participantes) o sin variación en el volumen de datos recogidos (5 participantes), se analizaron los datos de observación directa obtenidos con las entrevistas, para esos periodos y los resultados de los instrumentos de fragilidad en el periodo inmediatamente anterior y posterior.

Se encontró que en los 5 participantes de los que no hubo pérdida de datos, los periodos coincidían con eventos que impactaban de forma directa con sus actividades cotidianas que hacía que el número de pasos fuera menor y/o la velocidad del paso se viera afectada.

Las causas fundamentales que pudieron ser directamente relacionadas con estos periodos fueron enfermedades (catarros de distinta gravedad y enfermedades gastrointestinales, fundamentalmente), hospitalizaciones de la pareja y cuidado ocasional de nietos pequeños.

A pesar de que estos eventos manifiestan de forma clara una variación en hábitos saludables de comportamiento (salir a caminar) y/o estado general de salud, los instrumentos de fragilidad utilizados en las evaluaciones bisemanales, no tuvieron ninguna repercusión importante en sus resultados, ya que los resultados obtenidos durante o inmediatamente después del evento, no variaron respecto a los administrados justo antes del evento.

En el caso de los participantes en los que hubo una reducción significativa en el volumen de datos recogidos, las causas fundamentales fueron hospitalizaciones, caídas y enfermedades (gripe y neumonía) atendiendo a la distribución mostrada en la *Figura 46 Causas principales que se relacionan con pérdida de datos de la aplicación*.

Figura 46 Causas principales que se relacionan con pérdida de datos de la aplicación

En este caso, tampoco hubo un cambio significativo en los instrumentos de fragilidad, aunque si se aprecia que en algunos casos a la pregunta: “Durante los últimos 7 días, ¿cómo de a menudo has participado en actividades o deportes de intensidad moderada?” la respuesta es significativamente inferior en muchos de los casos, a la misma del periodo inmediatamente anterior, lo que puede explicarse por el periodo de convalecencia debido a la enfermedad.

También es relevante que aumenta el número de participantes que responden “SI” a la pregunta de “¿Has limitado tus actividades por miedo a caerte?” especialmente entre los que han sufrido caídas y hospitalizaciones.

El resto de los instrumentos administrados durante o después del periodo detectado no se aprecian cambios significativos, salvo en el de fuerza prensil, con resultados ligeramente inferiores, después del periodo de covalencia, especialmente después de enfermedades y hospitalizaciones.

Los 7 participantes en los que había cambio de patrón de movimientos sin asociación con una reducción de número de pasos o de la velocidad de caminado, no pudo encontrarse ninguna relación con los datos de observación directa ni de los instrumentos de fragilidad y la ausencia de datos sólo sería explicable por olvido del dispositivo móvil o fallo en la transmisión de datos debido a fallo en la red o en la recepción en los servidores del sistema.

Estas dos circunstancias serán analizadas posteriormente, ya que es una fuente importante de datos para la mejora del sistema y aumentar la aceptación y adherencia del mismo.

La siguiente figura resume los datos obtenidos del análisis del patrón de movimientos:

Figura 47 Resumen de causas relacionadas con cambios en patrones de movilidad detectados con la aplicación

5.2.2 Análisis de los datos de puntos de interés y transporte. Comparativa con los datos de movilidad y correlación con los datos de observación directa e instrumentos de fragilidad.

Los patrones de movilidad de los participantes tienen también un modelo relacionado con los puntos de interés que visitan a diario. Esto es especialmente relevante en el caso de patrones relacionados con cuándo y cuánto están en esos lugares visitando a amigos y familiares, comprando, centros de ocio, etc.

En general, todos los participantes tienen una vida activa en la que participan en distintos eventos de ocio y se ocupan de actividades cotidianas, como salir a la compra y ocuparse de sus finanzas a diario.

Para facilitar el análisis de datos, los puntos de interés declarados por los participantes fueron agrupados en categorías relacionadas con distintos ámbitos de la vida cotidiana, incluyen IADL y ocio y socialización:

1. Actividades de la vida cotidiana:
 - a. Banco
 - b. Comercio
 - c. Centro de salud
 - d. Casa
2. Actividades de ocio y socialización:
 - a. Centro cultural
 - b. Visita a familiares
 - c. Visita a amigos
 - d. Centro de mayores
 - e. Área deportiva o centro deportivo

f. Biblioteca

g. Centro religioso o espiritual

Al igual que para los datos de movilidad, se hizo una limpieza y análisis de los datos de cada uno de los participantes, para evitar falsos positivos (por ejemplo, el participante ha pasado cerca de uno de los puntos de interés, pero no ha pasado al mismo).

Una vez los datos limpios, se han buscado patrones anómalos o ausencias no explicables por errores del sistema (falta de carga o transmisión de datos).

En general, todos los usuarios tenían patrones regulares de actividad, pero de nuevo, en determinadas alteraciones que se intentaron relacionar con los datos procedentes de la observación directa e instrumentos de fragilidad. Como en el caso de los patrones de actividad, se ha excluido a los usuarios que abandonaron prematuramente el experimento.

En este caso, los cambios de patrones de actividades se han definido de la siguiente forma:

1. Reducción significativa en el volumen de datos recogidos y/o ausencia total de datos recogidos durante un periodo igual o superior a un mes. Este fue el patrón de cambio más repetido. Los participantes, que habían estado enviando de forma regular datos de forma casi diaria, se detecta una bajada abrupta o ausencia sobrevenida de en el volumen de datos recibidos, con recuperación abrupta o progresiva de datos y tendencia a la recuperación del volumen habitual de datos en semanas posteriores.
2. Dejar de forma abrupta de asistir a un punto de interés o disminuir significativamente el tiempo que se pasa en ese punto de interés (en más de un 75%).

3. Aumentar de forma significativa el tiempo que se pasa en un punto de interés (más de 50% más de tiempo) y/o aumentar el número de visitas mensuales (en más de un 100%).
4. Ir a un punto de interés nuevo de forma constante y mantenida durante un tiempo igual y superior a un mes.

Se observó que los participantes que habían visto alterados de alguna forma sus patrones de movimiento (ver 5.2.1) también se observaron alteraciones en los patrones de visita de sus puntos de interés.

Era especialmente significativo, en estos participantes, la reducción (entre un 100% y un 40% menos) del tiempo consumido en lugares relacionados con ocio (Centro cultural, Visita a familiares, Visita a amigos, Centro de mayores, Área deportiva o centro deportivo, y biblioteca). Esta reducción en el tiempo que pasan en lugares de ocio es inversamente proporcional al tiempo que pasan en casa.

Es importante, señalar en este caso, que los días en los que no se registra actividad alguna (ausencia de envío de volúmetrías de datos) aumenta en estos casos.

En al menos el 90% de los participantes que habían registrado un cambio el patrón de recogida de datos relacionado con algún problema de salud de acuerdo con el análisis del apartado anterior, se observa además un aumento (entre un 50% y un 300% más) de número de visitas al centro de salud, acompañadas en casi un 80% de los casos del aumento del tiempo medio por visita.

A modo de ejemplo la *Figura 45 Cambio de tendencia de movilidad en algunos usuarios (ejemplo)*, se observa cómo en un participante tiene unos valores de media de tiempo fuera de casa que rondan los 500 minutos en varios meses consecutivos (unas 7 horas fuera de casa). Contrasta el poco tiempo al mes que invierte en visitar centros de salud. La tendencia se revierte en el mes 4 (M4 de la gráfica) donde aumenta considerablemente el tiempo que permanece en centros de salud

(más de 8 horas al mes) frente a penas 60 minutos diarios de media fuera de casa. También se observa como la tendencia es a recuperarse en el siguiente mes. Este usuario en concreto sufrió una gripe en el mes 4, lo que explica esta modificación en los patrones de tiempo gastado dentro y fuera de casa.

Figura 48 Ejemplo de un participante donde se observa los cambios en el patrón de tiempo pasado fuera de casa con respecto al tiempo(en minutos) en centros de salud debido a una enfermedad en el mes 4 (M4)

De nuevo, los instrumentos de fragilidad no reflejaron cambios especialmente relevantes que indicaran un cambio en la fragilidad.

La única diferencia apreciable se refiere a la contestación a la pregunta “*Durante la última semana ¿cuántas veces has participado en actividades físicas o recreacionales de intensidad moderada?*”, que ha visto reducida a ninguna en la visita bisemanal inmediatamente posterior al evento.

Finalmente, se analizaron los datos de uso de transporte público. Se encontró que los participantes tenían un patrón muy marcado en el uso del transporte público, con unas líneas de autobuses muy concretas que usan siempre y unos periodos de uso también muy concretos. La *Figura 49 Ejemplo de uso del transporte público en usuarios que permanecieron hasta el final de experimento (línea base)*, muestra el patrón de uso habitual de transporte de algunos de los participantes que permanecieron

en el experimento hasta su finalización. Pese a la dificultad en la apreciación de algunos valores. Se observa que las líneas de autobuses más frecuentemente usadas son siempre las mismas por parte de cada participante.

Figura 49 Ejemplo de uso del transporte público en usuarios que permanecieron hasta el final de experimento (línea base)

Un rasgo común es que los participantes más activos, con índices de fragilidad más bajos y con mayor número de POIs relacionados con el ocio, son los que usan líneas de autobús más frecuentemente y para viajes más largos. En particular, se ha encontrado que, de media, estos participantes asistían entre 1,5 y 3 veces más a centros de ocio fuera de su barrio y consumían en tiempo dedicado a ocio entre 2 y 4,2 veces más de tiempo.

La figura siguiente muestra la línea base para los POIs de parte de los participantes que permanecieron en el experimento hasta el final. En ella es apreciable, la correlación entre más uso (en tiempo y líneas del transporte

público) y tiempo de ocio. Además, el análisis de puntos de ocio fuera del barrio de residencia de estos participantes es tan bien mayor.

Figura 50 Puntos de interés (línea base) de los participantes que permanecieron en el experimento hasta su finalización

Dado que el transporte público, en particular, el autobús urbano es el principal medio de transporte para los participantes de ambas muestras, la variación en su patrón de movimientos y de los puntos de interés visitados afecta directamente a la forma en la que hacen uso del transporte público, tanto en tiempo, como las líneas que toman.

Cabe destacar que en aquellos usuarios que variaron su patrón de movimientos, reduciendo el número de pasos y reduciendo las actividades de ocio (visitando menos lugares de ocio) vieron su patrón de transporte también afectado en un casi 78% de los casos. En particular, se observó que estos participantes hacían viajes más cortos, aunque menos frecuentes. Todos estos participantes habían estado afectados con enfermedades y/o convalecencias.

La Figura 51 Ejemplo de cómo los patrones de transportes se ven afectados por eventos adversos muestra como varia el tiempo que pasan 4 de los participantes en

autobuses urbanos. En la figura, en el mes 3 (M3) muestra el mes en el que sucede el evento adverso. Se observa como el número medio de viajes (grafica de la izquierda) aumenta en el mes del evento, pese a que el tiempo en el transporte es menor (grafica de la derecha), lo que indica viajes más frecuentes, pero de menos recorrido.

Figura 51 Ejemplo de cómo los patrones de transportes se ven afectados por eventos adversos

Ejemplo de cuatro participantes en los que se ve que en el mes que sufren el evento adverso, representado en la gráfica como M3, hay un cambio de tendencia a la hora de utilizar el transporte público, con más número de viajes de media al mes (grafica de la izquierda) y menos tiempo de viaje de media (grafica de la derecha)

También es frecuente, que en usuarios que han tenido que hacerse cargo de familiares enfermos (hospitalización de la pareja) o cuidado temporal de nietos en periodos vacacionales o por enfermedades de los niños, varíen las líneas de autobús que solían tomar y la frecuencia de uso, con el fin de adaptarse a la nueva rutina diaria que tienen que hacer.

Este cambio se observa en 5 de los participantes, donde comienzan a coger líneas que antes no cogían (27% de los casos) o durante más tiempo y/o frecuencia (62%). La siguiente figura muestra, a modo de ejemplo, como varían las líneas de autobús y el tiempo de uso de un participante desde su uso habitual, al que tenía que hacer para visitar a su pareja enferma en el hospital, durante el tiempo que está estuvo hospitalizada. En este participante se observa con claridad el aumento de tiempo la línea que más frecuentemente usa para desplazarse al hospital, y

proporcionalmente la disminución del tiempo de uso del resto de sus líneas habituales.

Figura 52 Comparación de uso del participante MAD2 un periodo habitual (en media) respecto al periodo en el que su pareja estuvo hospitalizada

5.2.3 Análisis de la ausencia de datos en largos periodos o reiterativas en algunos participantes.

Al principio de esta sección se había descrito que una de las causas a estudiar de cambios en la recepción de volumetría de datos, era la ausencia o disminución significativa en el volumen de datos recogidos y transmitidos. Para tener en cuenta esta afirmación se tomaron los datos enviados por la aplicación móvil y se completaron con los datos recibidos de la FitBit.

Después del análisis descrito en 5.2.1 en 7 de los participantes no se apreció ninguna relación entre ausencia de datos y hecho significativo en su vida diaria.

Este número sube a 16 participantes si eliminamos los datos de la Fitbit que completaban los recibidos por los participantes en aquellos casos que se había complementado la aplicación en el teléfono móvil con la pulsera de actividad.

Dado que la ausencia en la recepción de datos era un evento frecuente, durante el experimento se estableció un protocolo para el chequeo periódico de que estaban llegando datos procedentes de la aplicación móvil al servidor de sistema, detectándose de este modo periódicamente fallos en la transmisión de datos y pudiéndose establecer medidas para revertir la situación.

Puesto que los participantes avisan con tiempo si se marchaban de viaje por periodos prolongados, algo que las llamadas de teléfono periódicas ayudaban a contralar de forma sencilla, en la mayoría de los casos, ante ausencias en la recogida de datos prolongas, no justificadas, se estableció un protocolo de actuación orientado a evitar que esa ausencia fuera debida a fallos en el sistema, configuración del equipo o fallo del propio equipo.

Este protocolo se iniciaba con una llamada por teléfono al usuario tras haber detectado la usencia de datos recibidos. Si el participante, tras la llamada, confirmaba que había tenido un evento mayor que justificara esa pérdida de datos (enfermedades, hospitalizaciones, eventos familiares que justificaran la perdida de adherencia al sistema, etc.) se tomaba nota del evento a fin de relacionarlo con una posible causa detectada durante el análisis de datos y para confirmar si afecta a las pruebas periódicas de validación de la fragilidad.

Por el contrario, si el usuario no manifestaba ningún evento mayor y aseguraba que lo había llevado, se pasaba a quedar con él para comprobar la configuración del sistema. El esquema de este protocolo se muestra en la *Figura 53*.

Figura 53 Protocolo de actuación ante la detección de disminución de datos recibidos por parte de un participante

Sólo se detectaron errores del sistema en aproximadamente un 5% de los casos, debido a las siguientes causas:

- cambio accidental en el nombre de usuario de la aplicación móvil.
- cambio accidental (o voluntario) en la configuración de la red del teléfono móvil (apagado de datos, WI-FI y/o GPS). La aplicación instalada en el teléfono móvil se encargaba de chequear diariamente que los sensores necesarios para la recogida de datos, especialmente la WI-FI y el GPS, pero los usuarios podían deshabilitarla, accediendo a los ajustes del teléfono.
- robo de alguna de las motas Bluetooth del buzón y fallo no justificado del teléfono móvil.

Durante las entrevistas para intentar encontrar explicación a estas ausencias de datos, se encontró, que aunque no era fallo directo del sistema, en un amplio número de casos (en torno al 35%) la aplicación había dejado de enviar datos porque el teléfono móvil se había quedado sin batería y los usuarios olvidaban cargarlo o lo cargaban a destiempo, esto es, lo cargaban cuando estaban en casa,

pero olvidaban comprobar si estaba cargado al salir, con lo cual dejaban de transmitir eventos de actividad a la salida.

Sin embargo, la causa más frecuente de fallo en el envío de datos (ausencia de datos en el servidor) era el olvido del dispositivo móvil en casa, explicando más del 50% de los casos de las ausencias reiteradas en la recogida de datos en participantes concretos.

Finalmente, un número pequeño de participantes (en torno al 4%) manifestaron que no es que se les olvidara el teléfono en casa, si no que les resultaba una carga y no lo llevaban si iban a estar poco tiempo fuera de casa o no iban a salir fuera del barrio o zona habitual de movimiento.

Figura 54 Causas principales de ausencia o disminución de volumen de datos recibidos detectadas

La primera causa, esto es, *descarga o carga a destiempo del dispositivo móvil*, era la más común entre personas con un bajo interés en la tecnología (100% de los usuarios que no tenían Smartphone y cerca del 90% de los que se declaraban con un nivel bajo de capacidad técnica auto percibida), la segunda causa, *olvido del teléfono móvil en casa*, era la más frecuente en usuarios que tenían un móvil adicional para la aplicación de monitoreo (todos los participantes procedentes de centros de mayores y los usuarios de iPhone del SECOT).

En concreto, estos participantes, manifestaban que al no usar el móvil para nada, solían olvidarlo en el bolso o el abrigo y no percibían que estaba descargado, ni se preocupaban de una forma tan ordenada de mantener en condiciones óptimas de batería.

Finalmente, para los participantes que directamente manifestaban que *se lo dejaban en casa si salían para poco tiempo y/o no salían del barrio*, se intentó hacer un especial esfuerzo en tratar de mejorar la adherencia al sistema, ya que los datos del entorno cercano, son especialmente significativos a la hora de determinar cambios de comportamiento.

En aquellos usuarios que tenían banda de actividad, los datos se completaron con los resultantes de este dispositivo. En aquellos casos que el número de datos mensuales no era relevante para sacar conclusiones sobre cómo había sido la actividad del participante, se eliminaron los datos y se consideró ese mes hueco.

Si ampliamos la muestra a los participantes que en el análisis final no se incluyeron por haber abandonado prematuramente el estudio, se observa que la cantidad de datos recogidos es significativamente menor en un 67% de estos participantes. Así, se detectó que la falta de recogida de datos, sin causa técnica o de malos hábitos en la carga del móvil era la primera muestra de que el usuario iba a abandonar el estudio prematuramente.

De esta forma se puede decir que la falta de recepción de datos demuestra una falta de adherencia al estudio, de manera que entre todos los participantes (muestra completa, N=45) que mostraron reducción en el volumen de datos recibidos un 85% (12 participantes) de estos participantes dejaron el estudio antes de su finalización oficial con un periodo medio en el estudio de 19 semanas frente a unas 79 semanas de los participantes que si enviaban datos con mayor frecuencia.

La ausencia reiterada de datos fue uno de los precursores de abandono prematuro del experimento

A esta afirmación, hay que hacer una salvedad, aquellos usuarios que se les proporcionó pulsera de actividad. La pulsera de actividad les mantenía en el estudio y aunque no recibíamos datos con frecuencia, era porque los participantes no sincronizaban la pulsera con el móvil y por tanto, no se recibían datos de la pulsera.

Esto también era extensible a los participantes que solían olvidar cargar el móvil. La adherencia a la banda de actividad era muchísimo mayor, aunque se repetía el problema de falta de sincronización.

La banda de actividad muestra una adherencia superior al teléfono móvil, especialmente entre los que participan con baja capacidad tecnológica autopercebida y los que usaban un teléfono adicional

Finalmente, cabe destacar un comportamiento general en las dos muestras (tanto SECOT, como centros de mayores) representada como una ausencia total de datos capturados por la aplicación móvil, entre todos los participantes, independientemente de si tenían una alta o baja adherencia al sistema.

En este caso la causa estaba bien definida y eran vacaciones o viajes fuera de la comunidad de Madrid. Esto se observa en una ausencia total de datos de los participantes con índice de fragilidad más pequeño (normalmente aquellos que tenían 1 o 2 de índice de fragilidad) en torno a diciembre/enero, abril y meses de junio, julio y agosto. También es significativo en algunos usuarios en los fines de semana, especialmente a partir del mes mayo, donde no se reciben datos ni de movilidad, ni de puntos de interés ni de transporte público.

Muchos de los participantes, especialmente los de la muestra de los centros de mayores, al llevar dos móviles (el suyo propio y el del experimento) preferían dejar el móvil en casa durante sus viajes y vacaciones. Es significativo en este

punto, que los usuarios de esta misma muestra, que tenían banda de actividad en un alto porcentaje (17 de 20) si viajaron con la banda de actividad en estos periodos, sincronizando los datos a la vuelta.

La totalidad de los participantes con teléfono móvil adicional manifiestan una ausencia de envío de datos en periodos vacacionales y fines de semana a partir de mayo. Esta ausencia no se muestra en los usuarios de banda de actividad.

5.2.4 Análisis de la aceptación y usabilidad del sistema

El hecho de estar usando un nuevo paradigma de interacción, distinto al tradicional marco de interacción basado en interfaces graficas habría una serie de retos con los participantes que había que analizar en profundidad.

Como se ha adelantado en la sección anterior, una de las principales causas de ausencias de datos recogidos por el sistema que no podían ser explicados por su correspondencia a eventos que hubieran impactado en la vida cotidiana de los participantes, era la falta de adherencia al sistema por parte de algunos participantes o un mal uso de este. Si bien, había participantes que si manifiestan haber estado usando la aplicación, pero no se han recibido datos sobre el periodo.

Esto se puede explicar fundamentalmente por dos razones:

1. la falta de mensajes y retroalimentación al usuario que tenía el sistema al intentar hacerlo totalmente transparente para el usuario y
2. la falta de adherencia a los dispositivos usados, sobre todo en el caso del móvil para llevar la aplicación, que en la mayoría de los usuarios era un segundo móvil adicional al suyo propio.

Como se ha explicado en la sección 4.4, se ha planteado un protocolo de evaluación para ver como el usuario mayor se relacionaba con nuevos paradigmas de interacción, no basados en tradiciones interfaces gráficas, como es el caso de la tecnología IoT. El cuestionario planteado analiza la usabilidad del

sistema y sus resultados se presentan en la Figura 55, Figura 56 y Figura 57 y que se analizan a continuación.

5.2.4.1 Análisis de las preguntas 1, 2, 7 y 11 del test

Esta sección analiza las preguntas:

- 1) Estoy muy satisfecho con lo fácil que es usar el sistema.
- 2) Es sencillo usar el sistema.
- 7) Me supone una carga tener que estar pendiente del móvil.
- 11) He experimentado algún mal funcionamiento del sistema.

La mayoría de los usuarios responden con un Totalmente de acuerdo o Bastante de acuerdo a las preguntas *“Estoy satisfecho con lo fácil que usar el sistema”* con casi un 85% de los participantes y *“Es sencillo usar el sistema”* con un 82% de valoraciones positivas. Es también destacable, que la mayoría de los usuarios considera que el sistema no es pesado de utilizar, con un 64% de valoraciones de Nada o Poco pesado a la afirmación *“Me supone una carga el tener que estar pendiente de llevar el móvil”*. También cabe destacar, que en términos generales los usuarios perciben que el sistema funciona bien, ya que sólo el 13% de los usuarios ha manifestado su acuerdo a la afirmación *“He experimentado algún mal funcionamiento del sistema”*.

Figura 55 Resultados agregados de las preguntas 1, 2, 7 y 11 del test de usabilidad

El análisis cruzado de estas preguntas puede dar respuestas a varios aspectos del diseño del sistema y de la evaluación y abandono prematuro del estudio por parte de los usuarios.

Respecto a las preguntas “*Estoy satisfecho con lo fácil que usar el sistema*” con la que se pretendía evaluar las expectativas del participante respecto a la sencillez del sistema, se aprecia que casi el 85% de los participantes está muy satisfecho con el sistema (7 y 6 puntos), lo que presume que el sistema desarrollado cumple las expectativas de los usuarios respecto a las sesiones de co-diseño realizadas durante el proyecto (ver sección 4.1). La decisión de que el sistema fuera totalmente transparente para el usuario, también es avalada por el 82% de los participantes que manifiestan que el sistema es muy o bastante fácil de usar.

Esta opinión, que si bien mayoritaria, contrasta con el 11% de usuarios que manifestaron que no están nada satisfechos con el sistema, y sobre todo con el número de participantes que manifiestan que el sistema es *algo difícil* de usar, teniendo en cuenta que no requiere ninguna acción por parte del usuario (16% de los participantes).

Un análisis más pormenorizado de las causas de esta valoración arroja que los participantes que peor calificación daban a la pregunta *“Estoy satisfecho con lo fácil que usar el sistema”* eran los más críticos respecto a la solución global, y respondieron, el 100% de ellos, de forma también negativamente a la pregunta *“Me supone una carga el tener que estar pendiente de llevar el móvil”* valorando en Totalmente de acuerdo o Bastante de acuerdo esta pregunta¹¹.

Encontramos también un amplio número de participantes que valoran como una carga el estar pendiente del móvil, a aquellos que abandonaron prematuramente el estudio, siendo en un 48% la causa directa o indirecta de abandono del estudio, entre los participantes que valoraron Totalmente de acuerdo o Bastante de acuerdo esta pregunta. También se aprecia una relación entre los usuarios que dijeron contestaron afirmativamente a *“Me supone una carga el tener que estar pendiente de llevar el móvil”* con los usuarios que contestaron afirmativamente a la pregunta *“He experimentado algún mal funcionamiento del sistema”*, con un 67% de participantes, por lo que se puede suponer que los participantes que habían sufrido o percibido, que el sistema no funcionaba adecuadamente, les suponía una preocupación adicional, siendo esta una causa más para la valoración negativa del sistema en su conjunto y a medio plazo, una causa más de abandono (falta de adherencia al sistema).

¹¹ 7 puntos sobre 7 y 6 puntos sobre 7 respectivamente.

5.2.4.2 Preguntas 3, 4, 5 y 6 del test

Esta sección analiza las preguntas:

- 3) Me siento cómodo usando el sistema.
- 4) El sistema no me ha hecho cambiar mis actividades.
- 5) Nadie nota que estoy usando el sistema.
- 6) Los dispositivos proporcionados son cómodos de llevar.

En términos generales el sistema es percibido como cómodo por parte los usuarios. El 74% de los usuarios afirma que “*se siento cómodo usando el sistema*” y aquellos que consideran que “*Los dispositivos proporcionados son cómodos de llevar*” se acercan al 80%.

La proporción aumenta aún más, llegando casi al 90% cuando los participantes que afirman que perciben que “*nadie (de su entorno) nota que está siendo monitorizado*”. Un amplio número de participantes afirma (un 69%), además que “*El sistema no me ha hecho cambiar mis actividades*”

Figura 56 Resultados de las preguntas 3, 4, 5 y 6 del test de evaluación de la usabilidad

Que tan amplio número de participantes afirme que no perciben que nadie note que está siendo monitorizado por el sistema, es una característica muy apreciada por un sistema de este tipo, para la prevención del deterioro debido a la edad, y así evitar la estigmatización que su uso podría suponer, que impactaría probablemente en la adherencia del uso del sistema.

Es relevante, el contraste con el 11% de los usuarios que afirmar categóricamente que sí, que notan que están siendo monitorizados. Todos los participantes que afirmaron esto pertenecían a la muestra de los centros de mayores, que la participación en el estudio implicaba tener que portar dos móviles, el suyo propio y el del estudio, por lo que ésta podría ser una de las causas de esta afirmación. El uso de los beacons en los buzones también podría ser una de las causas, ya que algunos usuarios reportaban su disconformidad a tener algo permanentemente el buzón, “por si lo robaban”. Estas causas pueden ser también las más probables para el 20% de los participantes que sólo califican de Algo cómodos¹² los dispositivos proporcionados.

La mayoría de los participantes (en torno al 69%) declara que el tener que portar el sistema, no le hecho cambiar sus actividades. Esto es precisamente, uno de los principales requerimientos de diseño del sistema. El 22% que declara no estar seguro, expresaba dudas ante la necesidad de tener que ir cargado con un móvil adicional o tener que estar pendiente de llevarlo si salía de casa, sobre todo aquellos usuarios que, no bien porque no tenían Smartphone, o porque no solían usarlo con frecuencia, se sentían incomodos con el hecho de tener que portarlo siempre.

¹² 3 puntos sobre 7 donde 1 significaba nada de acuerdo y 7 totalmente de acuerdo.

5.2.4.3 Preguntas 8, 9 y 10 del test

Este apartado analiza las siguientes preguntas:

- 8) Se me olvida frecuentemente donde dejo los dispositivos.
- 9) Se me olvida frecuentemente cargar los dispositivos.
- 10) Me gustaría que el sistema me indicara de vez en cuando que está funcionando correctamente.

Para hacer más transparente al usuario el sistema, se tomó la decisión que el usuario no tuviera que interactuar nada con el sistema, de modo que una vez instalado y configurado el sistema corría en segundo plano en el móvil.

Esto, que fue considerado en una primera fase como una forma de mejorar la usabilidad del sistema con buena aceptación durante la fase de co-diseño con los participantes, ya que no requería prácticamente curva de aprendizaje para los usuarios y en principio, reducía considerablemente la carga mental de uso del sistema. Sin embargo, durante el experimento ha sido visto como una fuente de incertidumbre para los usuarios, que no sabían si el sistema funcionaba o no correctamente.

Figura 57 Resultados de las preguntas 8, 9 y 10 de los tests de usabilidad

Así, el 36% de los participantes desearía que el sistema le devolviera algún mensaje para saber que está funcionando adecuadamente. Es relevante en este punto el alto número de participantes que tiene una opinión neutra al respecto (un 33%) lo que indica que, aunque no lo ven como una característica totalmente necesaria como los anteriores, no lo verían como una mala funcionalidad.

La falta de mensajes de retroalimentación al usuario, junto a que muchos de los participantes tenían un móvil adicional dedicado para el sistema, pueden explicar que más 67% de los usuarios declare que se olvidaba frecuentemente de donde deja el móvil. Cabe destacar en este punto, que pese a este alto número de participantes que declaraba olvidar donde dejaba el móvil, el número de participantes que manifestaba esto con la pulsera de actividad, era nulo. Todos los participantes declaraban que usaban la pulsera a diario o casi a diario.

Esto está relacionado de nuevo con la pregunta *“Se me olvida frecuentemente cargar el móvil y/o los otros dispositivos utilizados”*. Como ya se ha indicado en la sección 5.2.2 el olvido o la carga a destiempo del teléfono móvil era una causa frecuente de vacíos en los datos recibidos. El alto consumo de batería que el GPS, Wi-Fi y Bluetooth, junto a que los usuarios no utilizan el móvil para otra cosa que para la monitorización, podría ser la causa de estos olvidos, ya que además, la aplicación no avisaba de que se estaba quedando sin batería, algo que como se ha visto fue para hacer lo más transparente posible el sistema a los usuarios.

De nuevo cabe destacar, que esto no les sucedía a aquellos usuarios con pulsera de actividad. En este punto, hay que resaltar que la pulsera si se queda sin batería durante un tiempo, hace falta volver a sincronizarla, para que marque bien la hora. Normalmente, los participantes avisaban si pasaba esto y pasáramos a sincronizarla. Esto era relativamente frecuente (entre el 25-40% de los participantes) en la primera fase del proyecto (durante los 2 a 4 meses tras la recepción de la pulsera). Más tarde, debido a la alta adherencia de los

participantes a la pulsera, prácticamente no pasaba, lo que indica que los participantes se preocupaban de cargar la pulsera de forma correcta y además entendían cuándo y cómo había que cargarla. En este caso, cabe señalar que el sistema operativo de la pulsera si emite un mensaje tanto visual como por vibración cuando se está quedando sin batería, algo que en el caso de la aplicación de monitorización base en el teléfono móvil no hace.

6 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

“Necesitamos especialmente de la imaginación en las ciencias. No todo es matemáticas y no todo es simple lógica, también se trata de un poco de belleza y poesía”

María Montessori

Este capítulo presenta las conclusiones del trabajo de investigación completado, contrastando las hipótesis y objetivos planteadas al principio de este documento.

El planteamiento de esta tesis doctoral se centra en una serie de hechos:

1. Aumento del número de personas mayores que viven en las ciudades y la tendencia a una creciente urbanización de la vejez.
2. Fragilidad como estado reversible y anticipador de la discapacidad y de la dependencia.
3. Fomento del envejecimiento activo y saludable como estrategia para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y reducir el impacto de la creciente población mayor en las sociedades europeas.
4. La creciente importancia de revoluciones tecnológicas como el IoT y las ciudades inteligentes en la vida de los ciudadanos.

Soportando estos pilares, los resultados de esta tesis corroboran que los eventos que pueden llevar a la fragilidad están ligados a una menor movilidad y a una mayor dificultad para realizar las actividades de la vida diaria, con una mayor frecuencia de visitas a centros sanitarios y una reducción del tiempo de ocio fuera de casa.

No obstante, el experimento realizado tiene limitaciones. La primera, más evidente, es el reducido número de participantes de la muestra ($n=45$), debido a dificultades operacionales del propio despliegue en condiciones reales del sistema. También hay que destacar que los participantes eran totalmente independientes en el momento de la entrada al experimento. Esto contrasta con los estudios epidemiológicos que muestran, por ejemplo, que en torno al 75% de los mayores de 80 años tienen problemas para realizar una o más actividades de su vida cotidiana (Abellán García, 2017). Esta diferencia entre los valores habituales en la literatura y la muestra con la que se ha trabajado es atribuible a que uno de los criterios de exclusión era precisamente es ser dependiente (ver 4.4). Esta condición era indispensable para que se pudieran seguir los cambios a lo largo del tiempo en las métricas recogidas y así predecir el futuro desarrollo de fragilidad o discapacidades.

La segunda limitación de este estudio se refiere a los participantes que lo abandonaron de forma prematura por diversas causas (ver 5.2.3) y ya no regresaron al estudio. El seguimiento posterior de estos participantes durante el periodo de vigencia del piloto (hasta diciembre de 2018) indican una ligera mayor tendencia al aumento de las hospitalizaciones y peor salud auto percibida, pero no se puede establecer como relevante por las limitaciones de la metodología utilizada, ya que no contempla este evento de forma sistemática.

Por último, debido al periodo de experimentación reducido (tan solo 24 meses), no se han apreciado variaciones significativas en el estado de fragilidad de los participantes. Los instrumentos tradicionales de evaluación de fragilidad utilizados no han arrojado cambios entre el estado de fragilidad al inicio y al fin del estudio. Sin embargo, las métricas recogidas por el sistema, si han detectado eventos que temporalmente han puesto en peligro el equilibrio entre los estados robusto y post-robusto de algunos participantes.

Pese a estas limitaciones, se han obtenido resultados claros y precisos con los que discutir las hipótesis y objetivos de partida de este trabajo de investigación, que se pasan a discutir en la siguiente sección.

6.1 Discusión e impacto de los resultados del trabajo de investigación

Con los avances socio sanitarios del siglo XX se ha generalizado que las personas vivan más de 60 años (Organización Mundial de la Salud, 2018). Resueltas las altas tasas de mortalidad infantil, el hecho de que cada vez más personas lleguen a ancianos, es ya una realidad a nivel global (United Nations, 2017).

Como consecuencia del mayor número de años de vida y el creciente peso de la vejez, los sistemas socio sanitarios se enfrentan a un reto sin precedentes, que afecta tanto a su sostenibilidad como a sus protocolos y formas de actuación.

El menor peso de las enfermedades infecciosas como principal causa de enfermedad y muerte, ha dado paso a un aumento de las enfermedades crónicas y degenerativas y de discapacidades adquiridas que requieren más intervenciones y cuidados prolongados (Beard, 2016). Esta circunstancia tiene un enorme influencia en la sostenibilidad de los sistemas sanitarios y un impacto social extraordinario (McPhail, 2016). Como consecuencia directa, desde principios del siglo XXI, la OMS haya cambiado su perspectiva de salud global de conseguir mejorar la esperanza de vida a vivir más años, con mejor calidad de vida (Organización Mundial de la Salud, 2002).

Surgen así conceptos como envejecimiento activo y saludable o envejecimiento satisfactorio¹³, manejados a nivel global por la Unión Europea, Japón o EE. UU., con un denominador común:

¹³ Aunque se ha traducido para el presente trabajo, normalmente *successful aging* no es un término habitual en la literatura en castellano, no así, en la inglesa.

La vejez pasa de ser vista como la última etapa en la vida de una persona, a una etapa más en el crecimiento personal del individuo, que, por otra parte, cada vez ocupa más tiempo en la vida de una persona, y puede estar llena de oportunidades a nivel físico, psicológico y social.

Como hemos visto en el capítulo 1, envejecer es diverso, por lo que construir un marco para el envejecimiento activo y saludable que englobe al conjunto de la población es muy complicado y costoso. Con el fin de acotar los ámbitos de actuación y enfrentar el problema de una forma más precisa, la producción científica y las políticas a nivel gubernamental (EIP on AHA, s.f.), se han centrado, por su frecuencia, su impacto en la calidad de vida y sus consecuencias a nivel físico, psicológico y social, (Lafortune, 2016) (Urtamo, 2018) en el riesgo de caídas, la fragilidad y la soledad.

Si bien, este trabajo de investigación se centraba originalmente en las causas de la fragilidad, el análisis preliminar de herramientas para su evaluación descrito en el 4.1 *Etapa I: Planteamiento de la solución de monitorización* describe un escenario en el que la fragilidad, por sus representaciones físicas, cognitivas y psicológicas, tiene frecuentes manifestaciones de soledad y episodios de caídas, siendo estos parámetros que se evalúan de forma habitual en los distintos instrumentos analizados (Rolfson, 2018) (Sutton, 2016) (De Vries, 2011).

Por otro lado, cada vez es más frecuente definir la fragilidad como un conjunto multidimensional de riesgos acumulados en todos los ámbitos de la vida de una persona, tanto físico, como psicológico, social y ambiental (Smetcoren, 2018) (Hogan, 2018). Este es precisamente el planteamiento que sostiene este trabajo de investigación.

El estado de fragilidad de una persona tiene que ser evaluado de una forma holística, en el entorno en el que su vida se desarrolla.

En este sentido, esta investigación contribuye a esta nueva visión de evaluación de la fragilidad, cada vez más cercana a convertirse en una realidad, gracias al desarrollo de nuevas tecnologías, como las aquí evaluadas.

Está documentado que los mayores suelen percibirse más activos de lo que realmente son (Dyrstad, Comparison of self-reported versus accelerometer-measured physical activity, 2014), así como obtener mejores resultados en pruebas bajo observación como las de caminado y fuerza prensil (Aguilar-Farias, 2018). Estas nuevas formas de evaluación no intrusiva eliminan la intervención externa, con un esperable impacto positivo en la calidad de la evaluación.

Dado que todos los participantes en el experimento habían sido diagnosticados como robustos en su origen, el objetivo era detectar cambios en los patrones de comportamiento que puedan asociarse a empeoramiento en sus hábitos de salud y relacionarlos con riesgo aumentado de empeorar su estado de fragilidad.

Al final del estudio, **ninguno de los participantes ha variado su diagnóstico de fragilidad**, observándose una tasa menor de prevalencia de fragilidad en la muestra que en la población en general a la misma edad (Abellán García, 2017).

Esta baja incidencia de fragilidad entre los participantes puede ser relacionada directamente con sus altas tasas de actividad, socialización e independencia y buen estado de salud en general. Así, 70% de los participantes realiza actividades de intensidad moderada semanalmente, lo que está directamente relacionado con bajas tasas de fragilidad (Landi, 2010) (Blodgett, 2015). Además, estas actividades son habitualmente en compañía de otras personas en el 100% de los casos, lo que además habla de las altas cotas de socialización de los participantes, coincidiendo con los estudios, entre otros, de (Sivasankar, 2017) (Poli, 2016).

La literatura sugiere una actividad física diaria de mínimo 3000 pasos (30 minutos) de actividad diaria. Los datos analizados en el capítulo 5, muestran que

los 6 participantes en los que se ha detectado una actividad por debajo de los 3000 pasos, ha sido debido a causas que han impactado de forma directa en su salud, lo cual es un predictor de riesgo incrementado de fragilidad en caso de que la situación no se revierta de forma espontánea (Tudor-Locke, 2011) (Bassett, 2017).

Además, se han detectado 8 casos de disminución de velocidad en el paso, lo cual, según la literatura, en caso de mantenimiento sostenido en el tiempo, también es un riesgo incrementado de fragilidad (Pamoukdjian, 2015). En este caso también ha sido asociado a eventos que impacta de forma negativa en su salud.

Se observa, por tanto, la alta tasa de reconocimiento de riesgos incrementado de fragilidad del sistema de monitorización, al detectar eventos, que, de no ser revertidos por el propio individuo, suponen un riesgo de pre-fragilidad. Contrasta con que estos eventos han pasado inadvertidos por los instrumentos de control utilizados (ver 5.2).

La actividad física tiene una relación directa con la socialización. Las personas físicamente activas tienden a tener una vida social más rica (Tsutsumimoto, 2017) (Collard, 2012) (Woo, 2005). Esta circunstancia queda perfectamente plasmada en los resultados analizados en el capítulo 5, ya que el 13 de los participantes en los que se había detectado una reducción notable de su actividad física, se observa una menor actividad social, representando por un aumento en el tiempo en casa y un menor tiempo y frecuencia de visita a lugares de ocio. Unida a esta reducción en el tiempo y visitas a lugares de ocio, en estos participantes se ha incrementado también el tiempo y la frecuencia de visitas a centros de salud. Este parámetro es reconocido como un riesgo incremental de fragilidad en algunos instrumentos para su valoración (Gobbens, 2010).

La correlación que se ha encontrado entre el aumento en tiempo en casa y en los centros de salud, respecto a los tiempos pasados en lugares de ocio muestra la alta capacidad del sistema para encontrar situaciones multivariantes para la detección de riesgo aumentado de fragilidad.

Aunque no directamente relacionada con la fragilidad, pero si con el envejecimiento activo y saludable, encontramos el turismo. Son numerosas las políticas orientadas a fomentar los viajes culturales, de ocio y turismo entre las personas mayores, tanto por los beneficios directos en su salud física y cognitiva (Ferrer, 2016) (Ferri, 2013), como para la promoción de la economía en general (Zsarnoczky, 2016). Se han encontrado grandes ausencias de datos encontradas durante los periodos de buen tiempo y vacacionales, directamente relacionadas, como se ha explicado en 5.2.1 con viajes fuera de la ciudad realizados por motivos de ocio y turismo, lo que indica el algo grado de participación en actividades de este tipo de los participantes.

Si bien, este dato no se tiene en cuenta de forma sistemática en ninguno de los instrumentos de para evaluar la fragilidad analizados (ver 4.1), si es un dato que evidencia su compromiso por mantenerse activos y participantes en la sociedad (Tsartsara, 2018), lo que evidencia ausencia de fragilidad, como se señala en (Rolfson, 2018), entre otros autores.

Aunque no se usa de forma sistemática para evaluar la fragilidad, la participación activa en actividades de turismo y ocio es muestra de ausencia de fragilidad.

Como ya se ha señalado al principio de esta sección, el aumento del número de personas de más de 65 años implica una serie de adaptaciones que no sólo afectan a los sistemas de salud, sino a la sociedad en su conjunto. En este sentido, la adaptación de las ciudades a las necesidades cambiantes de las personas conforme envejecen, es fundamental y es parte de la estrategia lanzada por la ONU de generación de ciudad amigables con las personas mayores

(Organización Mundial de la Salud, 2007), y que recogieron los grupos de trabajo de EITonAHA (EIPonAHA, 2018). Dentro de esta estrategia, el transporte es una de las principales áreas de actuación ya que es fundamental para la independencia de este colectivo (Oxley, 2015) (Musselwhite, 2017).

En los datos analizados, se ve una clara preferencia por los medios de transporte en superficie, con una alta correlación con la edad. Esto es coherente con los resultados de los análisis de uso de transporte del Ayuntamiento de Madrid (Ayuntamiento de Madrid, 2018). La causa fundamental, analizada por el CRTM, que coinciden además con las analizadas en 5.1.3 y es la falta de accesibilidad del metro.

El uso que hacen de forma diaria del transporte público está muy relacionado con su estado físico y las actividades cotidianas que tienen que hacer.

Durante el análisis del capítulo 5, se ha señalado que, la reducción en la actividad física que se había detectado en algunos participantes tiene una expresión directa en la variación de su uso del transporte.

El incremento de viajes cortos, aunque más frecuentes, está directamente relacionado con la disminución en su actividad física.

Este dato coincide con los datos de (Smith, 2017), (Aigner-Walder, 2017) y (Shrestha, 2017), donde en todos ellos se muestra una relación directa entre un mayor uso del transporte público, para viajes dentro de su propio barrio, con una disminución de la condición física en general.

Finalmente, un dato interesante obtenido de este estudio, que no tiene relación alguna con la literatura revisada es la baja tasa de fragilidad entre las mujeres participantes, pese a su longevidad. Habitualmente, la fragilidad se asocia con más frecuencia a mujeres que viven solas y con bajo nivel de ingresos (Zaslavsky, 2016) (Hoogendijk, 2018), **pero:**

los resultados de este estudio no han demostrado diferencias en los niveles de actividad, transporte o socialización, ni en los eventos adversos detectados, entre sexos,

a pesar que las mujeres participantes, eran, en media mayores que los hombres (81 años en el caso de las mujeres, frente a 77 en el caso de los hombres) y con ingresos más bajos (habitualmente procedentes de pensiones de viudedad de entorno a 600€).

Finalmente, se ha realizado una evaluación de la usabilidad del sistema propuesto, ya que la adherencia al mismo es fundamental para una determinación real de los patrones de actividad del participante y la determinación de riesgos. Si bien el uso del teléfono móvil para monitorización de las personas mayores no es algo nuevo, ni siquiera para intentar evaluar la fragilidad (Tedesco, 2017), el trabajo aquí presentado incorpora matices que lo hacen distinto: La total transparencia de la aplicación de monitorización para el usuario, la incorporación de bandas de actividad en algunos participantes y la interacción del teléfono móvil con otros elementos de la ciudad, hace que tenga diferencias a la hora de evaluar la interacción.

El entorno de experimentación también lo hacen distinto. Las evaluaciones de sistemas de monitorización basados en el teléfono móvil no son habitualmente a largo plazo, y suelen ser con un número reducido de participantes o son entornos controlados de uso (LeMoyne, 2017).

En cualquier caso, los resultados de evaluación del uso de smartphone para monitorización de la actividad y movilidad suelen tener aceptaciones entre medias y altas (en cualquier caso, de más de un 50% de los participantes), lo que coincide con los resultados obtenidos en este trabajo. Sin embargo, tal y como se señala en (Klimova, 2016) depende enormemente de factores socioculturales, del entorno y de la motivación de la persona para utilizar la aplicación.

No se ha encontrado en la revisión de la literatura que se evalúe de forma sistemática cómo incorpora el usuario el sistema a su vida cotidiana¹⁴, a diferencia del marco de evaluación propuesto en este trabajo.

El rechazo a usar tecnologías asistidas por miedo a “*parecer viejo*” es una de las causas de la difícil incorporación al mercado de este tipo de tecnologías y de la adherencia a largo plazo en estos sistemas (The Economist). La incorporación sistemática de preguntas y dinámicas en las sesiones de co-creación y evaluación de este tipo de proyectos, contribuirá a hacer soluciones que realmente quieran usar nuestros mayores.

Los sistemas que incorporan tecnologías vestibles, especialmente bandas de actividad y sistemas análogos, en general tienen una mejor aceptación, o al menos se percibe un entusiasmo mayor con respecto al teléfono móvil, especialmente para aplicaciones, que como la que se usa en este trabajo, no requieren una interfaz gráfica al uso (Pinto, 2017, March). Esto coincide con los resultados de la evaluación (ver 5.2.4) y de uso real de los dispositivos utilizados en esta tesis, la

Baja tasa de olvidos del dispositivo en el caso de la banda de actividad, frente al teléfono móvil.

Con estos resultados, la principal contribución de esta tesis es:

¹⁴ La metodología de evaluación de este trabajo incorpora preguntas específicas al respecto como “El sistema no me ha hecho cambiar mis actividades” o “Nadie nota que estoy usando el sistema”

Apoyar a un mejor entendimiento de la fragilidad con el objeto de mitigar sus efectos a nivel individual, anticipando la detección de los eventos de riesgo potencial para el adulto robusto, mantener la calidad de vida y la independencia de las personas mayores y a nivel colectivo proporcionando nuevas líneas de investigación que faciliten el desarrollo de herramientas TIC que puedan hacer intervenciones que pueden mitigar esos riesgos, retrasar el deterioro funcional, revertir los estados iniciales de fragilidad y estimular y proveer a los adultos mayores de incentivos para que permanezcan activos e involucrados en la sociedad.

La aproximación propuesta podría empoderar a los ciudadanos a tomar el control de su estado de salud y bienestar, mientras que los políticos y profesionales de la salud a usar estos datos para desplegar servicios preventivos de salud y aplicar intervenciones específicas donde sean más necesarias, permitiendo una mejor gestión de los recursos y reduciendo los costes asociados.

6.2 Discusión de las hipótesis planteadas

PI1: ¿Es posible realizar una monitorización continua no invasiva de los patrones de movimiento de las personas mayores en la ciudad usando la propia infraestructura urbana e IoT? ¿Puede esta monitorización realizarse de forma totalmente transparente para el usuario?

El desarrollo del experimento, durante los 24 meses que ha estado adquiriendo datos, ha demostrado que si es posible y útil utilizar la infraestructura de la ciudad y dispositivos IoT para la monitorización no invasiva y transparente de las personas mayores mientras que se mueven por la ciudad.

Si bien, la infraestructura con la que en un principio contaba el sistema es limitada, se ha demostrado que el sistema propuesto era capaz de monitorizar el uso que los ciudadanos mayores hacen de las infraestructuras de la ciudad (por ejemplo, los autobuses públicos urbanos) sin que se interfiera en las actividades

de su vida cotidiana y sin que ellos o su entorno perciban que están siendo monitorizados.

La validación de la usabilidad del sistema arroja varios puntos de mejora. Aunque durante el diseño del sistema se optó por un sistema totalmente transparente para el usuario, no requiriéndose ninguna acción por su parte una vez configurado, con el fin de que el usuario no tuviera ninguna carga adicional ni curva de aprendizaje, durante la evaluación se ha demostrado que no fue una decisión totalmente acertada.

La total transparencia para el usuario implica que tampoco mandaba ningún tipo de mensaje al usuario una vez puesto en funcionamiento. Como se ha visto en la sección 5.2.2, algunos participantes les creaban una cierta incertidumbre sobre el funcionamiento del sistema y deseaban que el sistema de vez en cuando les indicara que funcionaba correctamente.

Futuras versiones del sistema tendrán que tener en cuenta este requerimiento, analizando y explorando nuevas formas de interacción en el marco de los dispositivos IoT, tales como el uso de pulseras y mensajes tangibles mediante vibración, luz, etc.

PI2: ¿Es esta información relevante para la detección temprana de síntomas asociados a la fragilidad?

Como se ha indicado al principio de este capítulo la duración limitada del experimento, la buena salud y buenos hábitos que en general tenían los participantes, han hecho que ninguno de ellos varíe significativamente su estado de fragilidad antes y después de su entrada en el experimento. Sin embargo, durante el periodo de estudio, si se han detectado variaciones temporales de su estado de robustez, pasando de robusto a post-robusto y viceversa.

La actividad física era el principal elemento bajo estudio en este trabajo, ya que su ausencia y/o disminución está fuertemente relacionado con riesgo incrementado de fragilidad. Este trabajo de investigación ha encontrado relación directa entre cambios significativos en la actividad física de los participantes con eventos que han incidido en su vida cotidiana, especialmente en su salud, detectando en particular, disminuciones importantes en la velocidad de paso, número de pasos y distancia recorrida, lo que está relacionado con riesgo incrementado de fragilidad (Tudor-Locke, 2011) (Bassett, 2017) (Pamoukdjian, 2015) (Middleton, 2015).

El uso del GPS del smartphone ha ofrecido datos de especial relevancia para localizar puntos de interés nuevos, no identificados durante la configuración inicial del sistema. El análisis de los puntos obtenidos corrobora los resultados de estudios específicos sobre la movilidad de las personas mayores como (York Cornwell, 2017) y (Wettstein M. W., 2018), que inciden en que los adultos mayores sanos y activos tienden a visitar multitud de lugares relacionados con el ocio y el tiempo libre, incluso fuera de sus barrios y zonas de residencia, a diferencia de los que están en riesgo de fragilidad o dependencia.

Es especialmente relevante la caracterización de los hábitos de movimiento que el sistema ha hecho usando el GPS y la interacción con los servicios open data de la ciudad de Madrid, especialmente del transporte público. Con estas dos caracterizaciones se ha podido determinar no sólo su patrón de movimiento y si es activo, variaciones relacionadas con eventos que impactan de forma directa con su estado de salud como se ha explicado en 6.1. Los hallazgos de 5.1.3, que relacionan problemas de salud, con una menor actividad física y un mayor uso del transporte público para viajes más cortos, también hallados en (Smith, 2017) (Shrestha, 2017), muestran que es posible utilizar estas medidas para alertar de situaciones de riesgo incrementado de fragilidad.

En contraste con estas múltiples detecciones de riesgo incrementado de fragilidad, los instrumentos de medición de fragilidad médicos, usados a modo de control del sistema, no han detectado cambios significativos en el estado de fragilidad de los participantes. Sólo se han apreciado variaciones ligeras en algunas preguntas de la prueba de habilidades funcionales (referentes a actividades físicas y ocio, en disminución) y la prueba de fuerza prensil, pero dentro de los rangos de normalidad, con tendencia a recuperarse en las siguientes visitas de control.

La diferencia entre los eventos que el sistema ha detectado como de riesgo incrementando y la falta de detección de las pruebas de control puede deberse a varias causas inherentes a los instrumentos de evaluación de fragilidad utilizados en asistencia primaria y que detalla (Ricevuti, 2017, September).

Se puede concluir de este modo que eventos que no son detectados por los instrumentos de fragilidad en un estado inicial (enfermedades en su mayoría, aunque también accidentes y/o muertes de familiares o amigos cercanos), si son detectados de algún modo por el sistema, ya que modifican sustancialmente los hábitos de los participantes en cuando cómo y cuándo recogen los datos.

Estos eventos detectados por el sistema pueden poner el riesgo el estado de robustez de los afectados, incrementando su nivel de fragilidad si no se revierte la situación de forma espontánea en un periodo medio de tiempo. Su detección precoz, antes de que sus consecuencias sean irreversibles, abre nuevas posibilidades de intervenciones preventivas, antes de lo que ahora podrían aplicarse. De esta manera, ante un evento detectado como los analizados en este trabajo de investigación, se pueda poner en observación a la persona afectada, personalizándose las intervenciones y que en caso de que el afectado no revierta la situación de riesgo por sí mismo, se le ayude a salir de la situación de riesgo antes de que está ya no sea reversible.

PI3: ¿Cuáles son los factores clave par a la aceptación del sistema por parte de los usuarios finales? ¿Son eficaces las intervenciones realizadas a través de un sistema IoT para prevenir la fragilidad?

Términos generales, los resultados de satisfacción del uso del sistema han sido altos y los participantes han mostrado su conformidad con el sistema, obteniéndose altas cuotas de confort auto percibido en el uso de este, con importantes tasas de aceptación en lo referente a la facilidad de uso.

Sin embargo, se han detectado ausencias de datos no justificadas que pueden alterar una determinación efectiva del patrón de comportamiento de los usuarios y que pueden comprometer, por tanto, la detección temprana de signos de fragilidad, directamente relacionadas con la falta de adherencia al sistema como demuestra que casi un tercio de las ausencias de datos en participantes que permanecieron en el estudio hasta el final el piloto, estuvieran directa o indirectamente relacionadas con no llevar el móvil encima o no llevarlo de forma adecuada.

PI4: ¿Mejora la interacción transparente e intuitiva propuesta por la tecnología IoT la utilización del sistema por parte de las personas mayores?

Esta falta de adherencia al sistema no es observable en las pulseras de actividad, como demuestra que los datos recogidos de éstas, las portan incluso cuando viajan fuera de la Comunidad de Madrid, a diferencia de los Smartphone, que como se ha explicado en la sección 5, tienden a dejarlo en el domicilio durante los viajes y se preocupan de que estén siempre bien cargadas.

El hecho, que algunos de los participantes usaran dos teléfonos móviles (el suyo y el del piloto), podría suponer una carga adicional para el participante al estar pendiente de cargar los dos dispositivos, portar los dos encima cuando sale de casa, etc. y la ausencia de mensajes de retroalimentación de la aplicación (al correr en segundo plano) pueden ser causas de la diferencia de adherencia entre las

pulseras de actividad y los Smartphones. No obstante, esta falta de adherencia requiere de estudio más profundo para determinar las causas del mismo.

Mejoras en el sistema, que optimicen el uso de la batería y nuevas formas de interacción con el usuario que evite olvidos, ya sea con otros dispositivos o con el Smartphone son necesarias para mejorar la adherencia al sistema y evitar la determinación de falsos patrones de comportamiento que comprometan la estimación real del estado de fragilidad del usuario.

Después de contestar a estas preguntas de investigación, se analiza la hipótesis principal originada al principio de este trabajo de investigación.

Las Ciudades Inteligentes pueden proveer de información sobre sus ciudadanos, sustancial y relevante para mejorar la condición física, cognitiva y psicológica, útil para prevenir y detectar de forma temprana los síntomas asociados a la fragilidad.

Son numerosos los sistemas de monitorización para la detección temprana de signos y síntomas de fragilidad desplegados en el hogar (Liu, 2016) (Charlon, 2018), pero el uso de la ciudad como elemento para la monitorización no invasiva de la fragilidad es en sí mismo un área todavía inexplorada. Sin embargo, el uso de las tecnologías ligadas a las ciudades inteligentes para el uso preventivo de la salud tiene un enorme potencial (Pramanik, 2017).

El sistema desplegado en la ciudad de Madrid está orientado a recoger y gestionar, de una forma no intrusiva, los patrones de comportamiento de sus ciudadanos más mayores. La solución propuesta, en el marco del proyecto City4Age, utiliza tecnologías ampliamente difundidas en nuestra sociedad como son los Smartphones y las pulseras de actividad, en colaboración con los cada vez más frecuentes y precisos, registros de datos abiertos presentes en las ciudades inteligentes. Esto hace que el sistema sea asequible por la mayor parte de la población mayor europea.

En términos generales, el sistema propuesto parece recoger de forma adecuada los datos de movilidad por la ciudad de Madrid de las personas implicadas en el piloto, tanto de la actividad física de los participantes, como del uso del transporte público y la asistencia a los puntos de interés habituales que indicaron durante la configuración individual de la aplicación móvil, como se ha verificado en apartados anteriores. Estos datos, en su conjunto de manera cruzada se han demostrado relevantes para la determinación de la ausencia de fragilidad en los participantes y para la detección de situaciones de riesgo incrementado de discapacidad y/o fragilidad, lo que coincide ampliamente con la más reciente literatura.

La interacción de esta aplicación con los elementos de la ciudad involucrados ha sido satisfactoria, a decir del amplio número de datos recogidos de la interacción de los usuarios con los autobuses, en términos de líneas, duración de los viajes, paradas, etc. El bajo número de incidencias técnicas directamente atribuibles a elementos del sistema desplegado demuestra la robustez del sistema propuesto.

El hecho que se haya podido relacionar de forma directa cambios en el comportamiento del patrón de recogida de datos con eventos que directamente impactan en el estado de salud o psicológico del participante en más de 2/3 de los casos muestra que si se cumple la hipótesis de partida inicial de este trabajo de investigación.

Además, que los eventos que muestran estos cambios en el comportamiento no sean detectados como variaciones en los instrumentos de evaluación de la fragilidad utilizados en el estudio, corrobora que parte de los eventos o situaciones de riesgo que pueden derivar en estados de fragilidad, pueden pasar inadvertidos por los actuales sistemas sociosanitarios, incluso para el propio individuo y su entorno (Beaton, 2015) (Rodríguez-Mañas, 2017).

6.3 Aportaciones originales de esta tesis

Con la prevalencia cada vez mayor de los síndromes y enfermedades asociadas a la edad, es de vital importancia producir nuevos modelos que soporten servicios de salud y cuidado preventivos y personalizables. La principal aportación de este trabajo de tesis es contribuir a la predicción de los síntomas tempranos de fragilidad y con ello predecir eventos negativos en la salud de las personas. Los resultados demuestran por primera vez la viabilidad de un sistema orientado a usar la infraestructura de una ciudad inteligente para detectar la usencia de síntomas de fragilidad en sus ciudadanos mayores.

Análisis de los resultados de un sistema de monitorización exterior multivariable para evaluar la fragilidad en adultos mayores.

Una de las principales contribuciones originales de esta tesis, es que monitoriza a las personas en su actividad física fuera de casa, frente a las aproximaciones más habituales de la literatura, que lo hacen dentro de casa (Liu, 2016). La caracterización de los eventos de riesgo de los participantes y su ausencia de fragilidad no se ha hecho sólo en base a datos GPS, algo habitual en sistema de monitorización exterior (Kalogiannis, 2018, July). Se han usado datos inherentes a su actividad física (distancia recorrida, número de pasos y velocidad) y de la relación que cada participante tiene con la ciudad y sus servicios (salud, transporte, etc.). Todos los parámetros, en su conjunto, dan una visión holística del comportamiento del ciudadano en su día a día. De este modo, es posible una detección multicomponente de las causas que mantienen (o no) activo y comprometido con su ciudad a una persona mayor, tanto, en términos físicos, cognitivos, sociales y psicológicos y descubrir barreras y facilitadores para que contienen o se mantengan independientes durante más tiempo.

Metodología para la determinación de que parámetros, de los disponibles en una ciudad (inteligente) son posibles adquirir de forma no intrusiva y asociar a eventos que potencialmente puedan influir en un empeoramiento (o mejora) del grado de fragilidad de un individuo, antes incluso que sea detectado por los servicios de salud tradicionales.

El modelo propuesto permite la detección y análisis sistemático de eventos potencialmente problemáticos sobre los que diseñar intervenciones concretas y personalizadas que ayuden a frenar o revertir el estado de fragilidad de la persona en cuestión. La ventana de 30 días propuesta para la detección de los cambios, estima de forma adecuada la oportunidad de observar la rutina típica de actividad de los participantes en torno a los controles bisemanales y así permite la detección de cambios que habitualmente no son reportados a los servicios médicos en estadios iniciales.

Además, la monitorización continua permite capturar la actividad de las personas en el entorno típico donde habitualmente se mueve el individuo, sin intervención externa y así representar una medida más realista de las actividades y del comportamiento de estos. De este modo, se evitan autoevaluaciones que a veces muestran sobreestimaciones sobre la salud o la actividad auto percibida (Harada, An evaluation of three self-report physical activity instruments for older adults, 2001) (Dyrstad, Comparison of self-reported versus accelerometer-measured physical activity, 2014).

Los resultados de esta tesis muestran que las comunidades urbanas de personas mayores viviendo en ciudades inteligentes pueden beneficiarse de la monitorización de sus datos de movilidad mientras que están en casa o moviéndose por la ciudad de una forma totalmente no intrusiva

Este trabajo muestra cómo métricas básicas obtenidas de manera continua mientras hacen sus actividades cotidianas (número de pasos, distancia recorrida, velocidad media de paso, puntos de interés visitados y durante cuánto tiempo,

transporte público usado, durante qué tiempo y hacia dónde) pueden determinar el comportamiento de los ciudadanos.

Una de las limitaciones de estos datos, es que no existen estándares para reportarlos, pero esta monitorización continua no ha sido diseñada como punto único de evaluación del estado de fragilidad de los participantes, sino como potenciales catalizadores para detectar signos tempranos de cambios que se pueden relacionar de forma directa o indirecta con riesgos relacionados con fragilidad o discapacidad cognitiva, especialmente enfermedades o eventos que afectan a su independencia.

Metodología de evaluación y adherencia a nuevas tecnologías de interacción basadas en el uso de IoT para personas mayores

La metodología seguida para la evaluación de la usabilidad y adherencia al sistema propuesto ha sido diseñada específicamente para este trabajo. El grupo de preguntas ha sido diseñado para descubrir parámetros cuantitativos y cualitativos que ayuden a comprender como las nuevas tecnologías basadas en el paradigma de IoT pueden mejorar el acceso TIC de las personas mayores.

Los resultados y sus limitaciones del experimento descrito en este trabajo son representativo de la vida saludable e independiente de los participantes y de su mentalidad abierta a la hora de ofrecerse como voluntarios para probar un sistema como el descrito. Sin embargo, más del 50% de los participantes tenía 80 años o más lo que sugiere que este grupo de “mayores más mayores”, tradicionalmente considerado como reactivo a usar tecnología, tiene deseos de usar tecnología si percibe que puede mejorar la gestión de su salud y calidad de vida.

6.4 Conclusiones y trabajo futuro

Aunque debido a las limitaciones del trabajo de investigación realizado comentadas al principio de este capítulo, no se ha podido evaluar la fragilidad de ninguno de los participantes si se ha podido evaluar la no fragilidad de los mismos, es decir, que las personas participantes continuaban siendo robustas como al entrar en el experimento. Además, se han detectado eventos, que ponían en riesgo ese estado de robustez, que si bien, han sido revertidos de forma natural por los propios participantes, podrían a ver sido el origen de un estado de pre-fragilidad y por tanto, de inicio de discapacidades.

Además se han detectado, importantes líneas de investigación futura. Es especialmente importante, dado que está documentado que la fragilidad está más frecuentemente asociada a mujeres que a hombres, que los resultados de este trabajo de investigación, no muestran diferencias de actividad, de uso del transporte, socialización o eventos adversos entre géneros, a pesar que las mujeres participantes tenían una edad, en media, superior a las de los participantes varones (4 años más de media), mejor nivel de ingresos (normalmente procedente de pensiones de viudedad muy bajas) y viviendo en su mayoría solas. Sería necesario estudios más profundos en esta área para encontrar factores que muestren el porqué de la prevalencia de la fragilidad en este sector.

La influencia de los roles de género en las IADLs pueden tener un claro sesgo que influye en su movilidad y actividad física y de ocio. Eventos unívocamente femeninos como los partos y menopausia influyen en el estado físico actual de las participantes. Considerar el adaptar los sistemas de monitorización y valoración a estas circunstancias podría tener un impacto mayor en los sistemas, ya no de detección, si no de intervención, que mejoren la calidad de vida a largo plazo de las mujeres intervinientes.

En términos generales, una futura versión de sistema, tiene que trabajar en refinar y resolver la detección automática de riesgos, combinando nuevos datos procedentes de los cada vez más numerosos sensores disponibles en las ciudades con técnicas de gestión del conocimiento que puedan proveer al sistema de las habilidades de aprender y personalizar el conocimiento experto de actividades concretas. El objetivo sería permitir modelos personalizados de comportamiento que pueden mejorar la detección automática de cambios de comportamiento a largo plazo y así permitir estudios comunitarios más extensos.

Además, nuevos métodos de interacción deben ser explorados, como el uso de relojes inteligentes como principal instrumento de monitorización en lugar del teléfono móvil. Esto según los resultados de este trabajo, podría mejorar la adherencia al sistema y reducir la pérdida de datos producida por el olvido del móvil en casa o la descarga de la batería. Este trabajo además debe ir enfocado a evitar la dependencia de los sensores del teléfono, e incrementar el uso de los datos de la infraestructura inteligente de la ciudad.

Esto abre una oportunidad a muchos nuevos caminos para evaluar desde la socialización y participación de los adultos mayores en la sociedad hasta la evaluación del deterioro cognitivo debido a la edad. El potencial a largo plazo de las ciudad inteligentes amigables con las personas mayores para su utilización como principal recurso en la evaluación de la fragilidad o el deterioro cognitivo podría conseguir la personalización efectiva de las políticas de envejecimiento activo y saludable y reducir el impacto socio-económico de la fragilidad en los sistemas socio-sanitarios.

REFERENCIAS

A.J Jara, Y. B. (2015). Social internet of things: The potential of the internet of things for defining human behaviours. *Int Conf Inteel Network Collaboration IEEE INCoS*.

Abellán García, A. A. (2017). *Un perfil de las personas mayores en España, 2017. Indicadores estadísticos básicos*. CSIC.

Abellan van Kan G, R. Y. (2008). The I.A.N.A Task Force on frailty assessment of older people in clinical practice. *Nutr Health Aging*, 12(1), 29-37.

Abellán, A. E. (2011). Epidemiología de la discapacidad y la dependencia de la vejez en España. *Gaceta Sanitaria*(25), 5-11.

Aguilar-Farias, N. &.R. (2018). Measurement of Physical Activity Among Older People. En *The Palgrave Handbook of Ageing and Physical Activity Promotion* (págs. 631-652). Palgrave Macmillan.

Aigner-Walder, B. &. (2017). *Reduced Consumption for Transport due to Population Ageing? An Analysis of Expenditures of Private Households in the European Union and Potential Implications for the Public Sector*.

Almeida, A. &. (2017). Activity recognition approaches for smart cities: The City4Age use case. *Research and Technologies for Society and Industry (RTSI), 2017 IEEE 3rd International Forum on* (págs. 1-5). IEEE.

Amici, A. B. (2008). The Marigliano–Cacciafesta polypathological scale: A tool for assessing fragility. *Archives of gerontology and geriatrics*, 46(3), 327-334.

Andersen, Z. J.-A. (2015). A study of the combined effects of physical activity and air pollution on mortality in elderly urban residents: the Danish Diet, Cancer, and Health Cohort. *Environmental health perspectives*, 123(6), 557.

Ayuntamiento de Madrid. (2018). *E.M.T. y Metro de Madrid*. Obtenido de <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/El-Ayuntamiento/Estadistica/Areas-de-informacion-estadistica/Trafico-transportes-y-comunicaciones/Transportes/E-M-T-y-Metro-de-Madrid/?vgnextfmt=default&vgnextoid=0c9ef2cb6e5d9210VgnVCM1000000b205a0aRCRD>

Bassett, D. R. (2017). Step counting: a review of measurement considerations and health-related applications. *Sports Medicine*, 47(7), 1303-1315.

Beard, J. R. (2016). The World report on ageing and health: a policy framework for healthy ageing . *The Lancet*, 387(10033), 2145-2154.

Beaton, K. M. (2015). Identifying indicators of early functional decline in community-dwelling older people: A review. *Geriatrics & gerontology international*, 15(2), 133-140.

Bengtson, V. (2018). *Global aging and challenges to families*. Routledge.

Berenguer, A. G. (2017). Are Smartphones Ubiquitous?: An in-depth survey of smartphone adoption by seniors. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 6(1), 104-110.

Bherer, L. E.-A. (2013). A review of the effects of physical activity and exercise on cognitive and brain functions in older adults. *Journal of aging research*, 2013.

Birren, J. E. (1985). *Research on the psychology of aging: Principles, concepts and theory*.

- Blodgett, J. T. (2015). The association between sedentary behaviour, moderate-vigorous physical activity and frailty in NHANES cohorts. *Maturitas*, 80(2), 187-191.
- Börsch-Supan, A. B. (2008). *First results from the Survey of Health, Ageing and Retirement in Europe (2004-2007). Starting the longitudinal dimension*. Mannheim: MEA.
- Borson, S. S. (2000). The mini-cog: a cognitive 'vital signs' measure for dementia screening in multi-lingual elderly. *International journal of geriatric psychiatry*, 15(11), 1021-1027.
- Bouillon, K., Kivimaki, M., Hamer, M., Sabia, S., Fransson, E. I., Singh-Manoux, A., ... & Batty, G. D. (2013). Measures of frailty in population-based studies: an overview. *BMC geriatrics*, 13(1), 64.
- Brummel, N. E. (2017). Frailty and subsequent disability and mortality among patients with critical illness. . *American journal of respiratory and critical care medicine*, , 196(1), 64-72.
- Buckinx, F. R. (2015). Burden of frailty in the elderly population: perspectives for a public health challenge. *Archives of Public Health*, 73(1), 19.
- C.Prehofer. (s.f.). From the internet of things to trusted apps for things. *IEEE Int Conf Green comput commun*. 2013.
- Cacciatore, F. A. (2005). Frailty predicts long-term mortality in elderly subjects with chronic heart failure. *European journal of clinical investigation*, 35(12), 723-730.
- Cesari, M. L. (2014). Sarcopenia and physical frailty: two sides of the same coin. *Frontiers in aging neuroscience*(6).
- Cesari, M. P. (2016). Frailty: an emerging public health priority. *Journal of the American Medical Directors Association*, 17(3), 188-192.

Charlon, Y. C. (2018). Design and evaluation of a smart insole: Application for continuous monitoring of frail people at home. *Expert Systems with Applications*, 95, 57-71.

Chatterji, S. B. (2015). Health, functioning, and disability in older adults—present status and future implications. *The lancet*, 385(9967), 563-575.

CITY4AGE project. (s.f.). Obtenido de <http://www.city4ageproject.eu/>

Clegg, A. J. (2013). Frailty in elderly people. *The Lancet*, 381(9868), 752-762.

Collard, R. M. (2012). Prevalence of frailty in community-dwelling older persons: a systematic review. *Journal of the American Geriatrics Society*, 60(8), 1487-1492.

Comisión Europea. (2011). *Europe 2020 Flagship Initiative Innovation Union*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.

Cooper, A. R. (2007). *About face 3: the essentials of interaction design*. John Wiley & Sons.

Costa, R. C. (2008). Ambient assisted living. In *3rd Symposium of Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence* (págs. 86-94). Springer Berlin/Heidelberg.

D'ath P, K. P. (1994). Screening, detection and management of depression in elderly primaty care attend-Geriaric Depression Scale (GDS15) and the development of short versions. *Fam Pract*, 11, 260-266.

Dayhoff, N. E. (1998). Balance and muscle strength as predictors of frailty among older adults. *Journal of gerontological nursing*, 24(7), 18-27.

De la Fuente, C. (2001). Fundamentos demográficos y biomédicos para una atención sanitaria específica al anciano. En *Bases de la Atención Sanitaria al Anciano* (págs. 15-55). Madrid: Sociedad Española de Medicina Geriátrica.

De Lepeleire J, Y. M. (2004). The validity of the Frail instrument in general practice. *Archives of Public Health*, 62, 185-196.

de Rezende, L. F.-L. (2014). Sedentary behavior and health outcomes among older adults: a systematic review. *BMC public health*, 14(1), 333.

De Vries, N. M.-V. (2011). Outcome instruments to measure frailty: a systematic review. *Ageing research reviews*, 10(1), 104-114.

Department of Economic and Social Affairs - WHO. (2014). *Concise Report on the World Population Situation in 2014*. Ginebra: WHO.

Dyrstad, S. M. (2014). Comparison of self-reported versus accelerometer-measured physical activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(1), 99-106.

E, P. (1975). A short portable mental status questionnaire for the assesment of organic brain deficit in elerly patients . *J Am Geriatr Soc*, 23, 433-441.

E, P. (1975). *Multidimensional functional assessment. The OARS methodology: A manual*. Centre for the Study of Aging an Human Development. Duke University.

EIP on AHA. (s.f.). *EIP on AHA*. Recuperado el 2018, de https://ec.europa.eu/eip/ageing/home_en

EIPonAHA. (2018). *Mid Term results of the Collaborative Works between Action Groups C2 and D4 on the EIPonAHA*. Obtenido de https://ec.europa.eu/eip/ageing/news/mid-term-results-collaborative-works-between-action-groups-c2-and-d4-eiponaha_en

Eisa, S. &. (2017). A Behaviour Monitoring System (BMS) for Ambient Assisted Living. *Sensors*, 9, 1946.

Empresa Municipal de Transportes de Madrid, S. A. (2015). *Página oficial de la EMT Madrid*. Obtenido de <https://www.emtmadrid.es>

EMT. (2015). *Plataforma Open Data*. Obtenido de <http://www.opendata.emtmadrid.es>

Etman, A. K. (2014). Do lifestyle, health and social participation mediate educational inequalities in frailty worsening? *The European Journal of Public Health*, 25(2), 345-350.

Ferrer, J. G. (2016). Social tourism and healthy ageing. *International Journal of Tourism Research*, 18(4), 297-307.

Ferri, M. D. (2013). Functional health benefits for elderly people related to social tourism policy promotion. *International Journal of Multidisciplinary Social Sciences*, 1, 1-8.

Ferrucci, L. P.-R. (2002). Change in Muscle Strength Explains Accelerated Decline of Physical Function in Older Women With High Interleukin-6 Serum Levels. *Journal of American Geriatrics Society*, 50(12), 1947-1954.

FI, M. (1965). Functional evaluation: The Barthel index. *Md State Med J*, 14, 61-65.

Fowler, M. &. (2001). The agile manifesto. *Software Development*, 9(8), 28-35.

Fried, L. P. (2001). Cardiovascular Health Study Collaborative Research, G. Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 56(3), M146-156.

Gale, C. R. (2014). Prevalence of frailty and disability: findings from the English Longitudinal Study of Ageing. *Age and ageing*, 44(1), 162-165.

Garcia-Garcia, F. J.-A.-M. (2011). The prevalence of frailty syndrome in an older population from Spain. The Toledo Study for Healthy Aging. *The journal of nutrition, health & aging*, 15(10), 852-856.

Gill TM, B. D. (2002). A program to prevent functional decline in physically frail, elderly persons who live at home. *Engl J Med*, 347(14), 1068-1074.

Gill, T. M. (2006). Transitions between frailty states among community-living older persons. *Arch Intern Med*, 166(4), 418-423. doi:10.1001/archinte.166.4.418

- Gobbens, R. J.-S. (2010). The Tilburg frailty indicator: psychometric properties. *Journal of the American Medical Directors Association*, 11(5), 344-355.
- Greene, R. R. (2017). *Social work with the aged and their families*. Routledge.
- Harada, N. D. (2001). An evaluation of three self-report physical activity instruments for older adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(6), 962-970.
- Hogan, D. B. (2018). Models, definitions, and criteria for frailty. En *Conn's Handbook of Models for Human Aging* (págs. 35-44).
- Hoogendijk, E. O. (2018). Socioeconomic inequalities in frailty among older adults: results from a 10-year longitudinal study in the Netherlands. *Gerontology*, 64(2), 157-164.
- IERC . (2016). *European Research Cluster on the Internet of Things*. Obtenido de <http://www.internet-of-things-research.eu/>
- Jefatura de Estado. (2006). Ley 39/2006, de 14 de diciembre, de Promoción de la Autonomía Personal y Atención a las personas en situación de dependencia. Boletín Oficial del Estado BOE n.º 299/2006.
- JP., S. (2006). Vulnerability in the elderly: frailty. . *Medical Clinics*, 90(4), 593-601.
- Kalogiannis, S. Z. (2018, July). Geriatric group analysis by clustering non-linearly embedded multi-sensor data. *2018 Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)* (págs. 1-7). IEEE.
- Kaye, J. A. (2011). Intelligent systems for assessing aging changes: home-based, unobtrusive, and continuous assessment of aging. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 66(suppl_1), i180-i190.
- Kennedy, G. H. (2017). How does exercise reduce the rate of age-associated cognitive decline? A review of potential mechanisms. *Journal of Alzheimer's Disease*, 55(1), 1-18.

Kleemeier, R. W. (1962). Intellectual changes in the senium. *In Proceedings of the social statistics section of the American statistical association.*

Kojima, G. (2017). Frailty as a predictor of disabilities among community-dwelling older people: a systematic review and meta-analysis. *Disability and rehabilitation*, 39(19), 1897-1908.

Lachs, M. S. (1990). A simple procedure for general screening for functional disability in elderly patients. *Annals of Internal Medicine*, 112(9), 699-70.

Lafortune, L. M. (2016). Behavioural risk factors in mid-life associated with successful ageing, disability, dementia and frailty in later life: a rapid systematic review. *PLoS One*, 11(2).

Landi, F. A. (2010). Moving against frailty: does physical activity matter? *Biogerontology*, 11(5), 537-545.

Lawton, M. P. (1969). Assessment of older people: self-maintaining and instrumental activities of daily living. *The gerontologist*, 9(3 part 1), 79-186.

Life Supporting Technologies Research Group. (2015). *Smart House*. Obtenido de www.lst.tfo.upm.es/living-labs

Liu, L. S.-C. (2016). Smart homes and home health monitoring technologies for older adults: A systematic review. *International journal of medical informatics*, 91, 44-59.

M., L. (1974). A more positive approach to health promotion. *Can Nurse*, 70(1), 19-20.

Makary, M. A.-R. (2010). Frailty as a predictor of surgical outcomes in older patients. *Journal of the American College of Surgeons*, 210(6), 901-908.

- Mangione, K. K. (2010). Cochrane review: improving physical function and performance with progressive resistance strength training in older adults. *Physical therapy*, 90(12), 1711-1715.
- Martín, I. G. (2010). El anciano frágil. Detección y tratamiento en AP. *Aten Primaria*, 42(7), 388-393.
- Mathiowetz, V. K. (1985). Grip and pinch strength: normative data for adults . *Arch Phys Med Rehabil*, 66(2), 69-74.
- May, A. M.-M. (2015). The impact of a healthy lifestyle on Disability-Adjusted Life Years: a prospective cohort study. , 13(1), 39. *BMC medicine*, 13(1), 39.
- McPhail, S. M. (2016). Multimorbidity in chronic disease: impact on health care resources and costs. *Risk management and healthcare policy*, 9, 143.
- Middleton, A. F. (2015). Walking speed: the functional vital sign. *Journal of aging and physical activity*, 23(2), 314-322.
- Mitnitski A.B. et al. (2002). Frailty, fitness and late-life mortality in relation to chronological and biological age. *BMC Geriatrics*, 2(1).
- Mitnitski, A. B. (2001). Accumulation of deficits as a proxy measure of aging. *The Scientific World Journal*, 1, 323-336.
- Montaña, M. E. (2015). Internet y nuevos medios. Estudio sobre usos y opiniones de las personas mayores en España. *El profesional de la información*, 24(6).
- Morley, J. E. (2013). Frailty consensus: a call to action. *Journal of the American Medical Directors Association*, 14(6), 392-397.
- Morley, J. E., Vellas, B., Van Kan, G. A., Anker, S. D., Bauer, J. M., Bernabei, R., ... & Fried, L. P. (2013). Frailty consensus: a call to action. *Journal of the American Medical Directors Association*, 14(6), . (s.f.). 14(6), 392-397.

Muscedere, J. W. (2017). The impact of frailty on intensive care unit outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Intensive care medicine*, 43(8), 1105-1122.

Musselwhite, C. (2017). *Transport, Travel and Later Life*. Emerald Publishing Limited.

Neumann, L. D.-K. (2017). Health promotion and preventive care intervention for older community-dwelling people: Long-term effects of a randomised controlled trial (RCT) within the LUCAS cohort. . *The journal of nutrition, health & aging*, 21(9), 1016-1023.

Ngandu, T. L. (2015). A 2 year multidomain intervention of diet, exercise, cognitive training, and vascular risk monitoring versus control to prevent cognitive decline in at-risk elderly people (FINGER): a randomised controlled trial. *The Lancet*, 385(9984), 2255-2263.

Nimrod, G. (2016). The hierarchy of mobile phone incorporation among older users. . *Mobile Media & Communication*, 4(2), 149-168.

Nonaka, H. T. (1986). *The new new product development game*. Harvard Business Review.

Organización Mundial de la Salud. (2002). *Active Aging. A Policy Framework*. Ginebra: OMS.

Organización Mundial de la Salud. (2007). *Ciudades Globales Amigables con los Mayores: Una guía*. Organización Mundial de la Salud.

Organización mundial de la salud. (2014). *Estadísticas sanitarias*. Ginebra: OMS.

Organización Mundial de la Salud. (2015). *Informe Mundial sobre el envejecimiento y la salud*. Ginebra: OMS.

Organización Mundial de la Salud. (Febrero de 2019). *Envejecimiento y salud*.
Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/envejecimiento-y-salud>

Oxley, J. (2015). Understanding travel patterns to support safe active transport for older adults. *Journal of Transport & Health*, 2(1), 79-85.

Pahor, M. G. (2014). Effect of structured physical activity on prevention of major mobility disability in older adults: the LIFE study randomized clinical trial. *Jama*, 311(23), 2387-2396.

Pamoukdjian, F. P. (2015). Measurement of gait speed in older adults to identify complications associated with frailty: A systematic review. *Journal of geriatric oncology*, 6(6), 484-496.

Paolini, P. D. (2016). City4Age: Smart cities for health prevention. *Smart Cities Conference (ISC2), 2016 IEEE International* (págs. 1-4). IEEE.

Papachristou, E. W. (2017). Ability of self-reported frailty components to predict incident disability, falls, and all-cause mortality: results from a population-based study of older British men. *Journal of the American Medical Directors Association*, 18(2), 152-157.

Partridge, L. D. (2018). Facing up to the global challenges of ageing. *Nature*, 561(7721), 45.

Pasture, O. &. (1994). Canadian Study of Health and Aging: study methods and prevalence of dementia. *Canadian Medical Association Journal*, 150(6), 899-913.

Poli, S. &. (2016). Social Factors & Elderly Frailty-An Application of the Frail Scale in Italy. *Bulletin of Sociological Methodology/Bulletin de Méthodologie Sociologique*, 1, 31(1), 92-100.

Powell, W. W.-D. (1996). Interorganizational collaboration and the locus of innovation: Networks of learning in biotechnology. En *Administrative science quarterly* (págs. 116-145).

Pramanik, M. I. (2017). Smart health: Big data enabled health paradigm within smart cities. *Expert Systems with Applications*, 370-383.

Radloff, L. S. (1977). The CES-D scale: A self-report depression scale for research in the general population. . *Applied psychological measurement*, 1(3), 385-401.

Rashidi, P. &. (2013). A survey on ambient-assisted living tools for older adults. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 17(3), 579-590.

Regulation, G. D. P. (2016). Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46. *Official Journal of the European Union (OJ)*, 59(294), 1-88.

Ricevuti, G. V. (2017, September). Data driven MCI and frailty prevention: Geriatric modelling in the City4Age project. *Research and Technologies for Society and Industry (RTSI)*, 2017 IEEE 3rd Int.

Risser, R. L. (2015). Use of local public transport among people with cognitive impairments—A literature review. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 29, 83-97.

Rockwood K, S. K. (1999). A brief clinical instrument to classify frailty in elderly people. *Lancet*, 353(9148), 205-206.

Rockwood, K. &. (2007). Frailty in relation to the accumulation of deficits. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 62(7), 722-727.

- Rockwood, K. S. (2005). A global clinical measure of fitness and frailty in elderly people. *Canadian Medical Association Journal*, 173(5), 489-495.
- Rockwood, K., Stadnyk, K., MacKnight, C., McDowell, I., Hébert, R., & Hogan, D. B. (1999). A brief clinical instrument to classify frailty in elderly people. *The Lancet*, 353(9148), 205-206. .
- Rodríguez-Mañas, L. &. (2017). Frailty, what are we talking about? Implications for the daily clinical practice. *Revista española de geriatría y gerontología*, 52(4), 179.
- Rolfson DB, M. S. (2006). Validity and reliability of the Edmonton Frail Scale. *Age Ageing*, 35(5), 526-529.
- Rolfson, D. (2018). Successful Aging and Frailty: A Systematic Review. *Geriatrics*, 34(4), 79.
- Romero-Ortuno, R. &. (2014). A Frailty Instrument for primary care for those aged 75 years or more: findings from the Survey of Health, Ageing and Retirement in Europe, a longitudinal population-based cohort study (SHARE-FI75+). A Frailty Instrument for primary care for those aged 75. *BMJ open*, 4(12).
- Ruan, Q. Y. (2015). Cognitive frailty, a novel target for the prevention of elderly dependency. *Ageing research reviews*, 20, 1-10.
- Saliba D, E. M. (2001). The Vulnerable Elders Survey: a tool for identifying vulnerable older people in the community. *J Am Geriatr Soc*, 49(12), 1691-1699.
- Savelle, S. L. (2013). Leisure-time physical activity in midlife is related to old age frailty. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and and Medical Sciences*, 68(11), 1433-1438.
- Searle, S. D., Mitnitski, A., Gahbauer, E. A., Gill, T. M., & Rockwood, K. . (2008). A standard procedure for creating a frailty index. *BMC geriatrics*, 8(1), 24.

Shrestha, B. P. (2017). Review of public transport needs of older people in European context. *Journal of population ageing*, 10(4), 343-361.

Sivasankar, M. J. (2017). *Effects of Socialization on Emotional Efficacy of Elderly*.

Smetcoren, A. S. (2018). Detection and prevention in later life: risk profiles for physical, psychological, social and environmental frailty. *ijdschrift voor gerontologie en geriatrie*, 49(1), 1-11.

Smith, M. H. (2017). Systematic literature review of built environment effects on physical activity and active transport—an update and new findings on health equity. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 14(1), 158.

Soler-Vila, H. G.-E.-M.-G.-A. (2016). Contribution of health behaviours and clinical factors to socioeconomic differences in frailty among older adults. *Epidemiol Community Health*, 70(4), 354-360.

Speechley M, T. M. (1991). Falls and injuries in frail and vigorous community elderly persons. *J Am Geriatr Soc*, 39(1), 46-52.

Strawbridge, W. J. (1998). Antecedents of frailty over three decades in an older cohort. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 53(1), S9-S16.

Stuart-Hamilton, I. (2012). *The psychology of ageing: An introduction*. Jessica Kingsley Publishers.

Stuck AE, S. A. (1993). Comprehensive geriatric assessment: A meta analisis of controlled trials. *Lancet*, 342, 1032-1036.

Sutton, J. L. (2016). Psychometric properties of multicomponent tools designed to assess frailty in older adults: A systematic review. *BMC geriatrics*, 16(1), 55.

T.Frühwirth, L. K. (2015). Dependency demands and state of the art in internet of things. *IEEE int conf Emerg technol Fact Autom ETFA*.

- Taylor, H. L. (1978). A questionnaire for the assessment of leisure time physical activities. *Journal of chronic diseases*, 31(12), 741-755.
- Theou, O. C. (2015). Modifications to the frailty phenotype criteria: Systematic review of the current literature and investigation of 262 frailty phenotypes in the Survey of Health, Ageing, and Retirement in Europe. *Ageing research reviews*(21), 78-94.
- Thomas, M. O. (2016). Usability evaluation criteria for internet of things. *International Journal of Information Technology and Computer Science*, 8(12), 10-18.
- Tsartsara, S. I. (2018). Definition of a new type of tourism niche—The geriatric tourism. *International Journal of Tourism Research*,, 20(6), 796-799.
- Tsutsumimoto, K. D. (2017). Association of social frailty with both cognitive and physical deficits among older people. *Journal of the American Medical Directors Association*, 18(7), 603-607.
- Tudor-Locke, C. C. (2011). How many steps/day are enough? For older adults and special populations. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 8(1), 1.
- Turner III, D. W. (2010). Qualitative interview design: A practical guide for novice investigators. *The qualitative report*, 15(3), 754.
- Uchmanowicz, I. Ł.-R.-P.-G. (2014). Frailty in heart failure. *Current heart failure reports*, 11(3), 266-273.
- Unión Europea. (2010). *EUROPA 2020. Una Estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador*. UE-DG. COM.
- United Nations. (2017). *2017 Revision of World Population Prospects*. Obtenido de <https://population.un.org/wpp/>

Urtamo, A. K. (2018). Association of midlife value priorities with health-related quality of life, frailty and mortality among older men: a 26-year follow-up of the Helsinki Businessmen Study (HBS). *Qualit. Quality of Life Research*, 27(5), 1269-1275.

Van Lierop, C. (2015). *Developing an EU Urban Agenda*. Brussels: European Parliament Research Service.

Vaupel, J. W. (1998). Biodemographic trajectories of longevity. *Science*, 280(5365), 855-860.

Verropoulou, G. &. (2017). Disability trends among older adults in ten European countries over 2004–2013, using various indicators and Survey of Health, Ageing and Retirement in Europe (SHARE) data. *Ageing & Society*, 37(10), 2152-2182.

Wettstein, M. W. (2015). Out-of-home behavior and cognitive impairment in older adults: findings of the SenTra Project. *Journal of Applied Gerontology*, 34(1), 3-25.

Wettstein, M. W. (2018). Life Space in Older Adults. En *Oxford Research Encyclopedia of Psychology*.

Winograd CH, G. M. (1991). Screening for frailty: criteria and predictors of outcomes. *American Geriatr Soc.*, 39(8), 778-784.

Woo, J. G. (2005). Social determinants of frailty. *Gerontology*, 51(6), 402-408.

World Health Organization. (2004). *Estrategia mundial sobre régimen alimentario, actividad física y salud*.

Xue, Q. L. (2011). The frailty syndrome: definition and natural history. *Clin Geriatr Med*, 27(1), 115.

York Cornwell, E. &. (2017). Aging in activity space: Results from smartphone-based GPS-tracking of urban seniors. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 72(5), 864-875.

Zaslavsky, O. R.-S. (2016). Association between anthropometric measures and long-term survival in frail older women: Observations from the Women's Health Initiative Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 64(2), 277-284.

Zsarnoczky, M. (2016). Silver tourism. *Conference paper. International Scientific Days*, (pág. 88).