



UNIVERSIDAD DE CASTILLA - LA MANCHA

Escuela Superior de Informática

Departamento de Tecnologías y Sistemas de Información

TESIS DOCTORAL

**Sistema móvil para la detección y valoración del
síndrome de fragilidad en el adulto mayor**

Autor:

D. Jesús Fontecha Diezma

Directores:

Dr. José Bravo Rodríguez

Dr. Ramón Hervás Lucas

Memoria presentada para optar al título de
Doctor en Informática

Noviembre, 2013

Jesús Fontecha Diezma
Universidad de Castilla-La Mancha
<http://jesusfontecha.name>
@2013

Resumen

La fragilidad es un síndrome clínico relacionado con la edad y la dependencia, en el que su detección y diagnóstico temprano constituye un indicador clave para mejorar la calidad de vida de las personas mayores. Sin embargo, ofrecer una valoración de la fragilidad es una tarea complicada aún hoy en día, debido a la cantidad de factores que deben tenerse en cuenta para dar lugar a un diagnóstico integral y valioso. Bien es cierto, que no todos los factores albergan la misma importancia en la valoración de la fragilidad. En este sentido, ámbitos como el funcional y el nutricional suelen albergar un mayor peso en la valoración.

Los numerosos avances en el campo de la tecnología y más concretamente relacionados con la computación móvil permiten desplegar cualquier tipo de funcionalidad o servicio, incluso en entornos tan heterogéneos como los entornos clínicos. El constante crecimiento de dispositivos móviles, así como el aumento de sus prestaciones convierten a estos dispositivos en aparatos idóneos para el desempeño de tareas diarias en entornos sanitarios.

En esta tesis doctoral se propone un sistema de apoyo a facultativos y geriatras en la detección y diagnóstico de la fragilidad, mediante el uso de dispositivos móviles con suficientes capacidades de procesamiento y sensores acelerómetros, en combinación con un conjunto de parámetros clínicos asociados a la fragilidad. Además de desarrollar el sistema, se exponen los métodos y aspectos necesarios para construir herramientas de valoración en entornos sanitarios y ubicuos, basados en servicios.

La aplicación de mecanismos de clasificación y algoritmos de similitud como parte de la valoración, constituye otra de las aportaciones de este trabajo, teniendo en cuenta la dificultad que supone una valoración integral de la fragilidad hoy en día. De igual forma, se pretende ofrecer al geriatra una herramienta móvil que favorezca la visualización de estos resultados y su interpretación, facilitando la toma de decisiones.

Abstract

Frailty is a clinical syndrome related to ageing and dependence, in which detection and early diagnosis are key indicators to improve the quality of life of elderly people. However, providing a frailty assessment is a complicated task nowadays, because of the number of factors to be taken into account for providing a comprehensive and valuable frailty diagnosis. Additionally, some factors are more important than others in the frailty assessment. In this sense, functional and nutritional domains have a greater weight in the final assessment.

Advances in the field of technology and more specifically related to mobile computing allow us to deploy any kind of service, even in heterogeneous environment as clinical. The steady growth of mobile devices and the increasing of their functionalities make these devices suitable to perform daily tasks in healthcare environments.

This doctoral thesis proposes a system for supporting physicians and geriatricians in frailty detection and diagnosis, by using smartphones and accelerometer sensors in combination with a set of clinical parameters associated with fragility. In addition to developing the system, this work also presents the methods and procedures needed to set up several aspects of frailty assessment in ubiquitous and healthcare environments, by using a service-based approach.

Applying classification mechanisms and similarity algorithms as part of the assessment, is another contribution of this work, taking into account the difficulty of a comprehensive assessment of frailty nowadays. Similarly, a mobile application has been developed to provide the geriatrician a tool which encourages the visualization and interpretation of frailty results facilitating the clinical decision-making.

Dedicatoria

A mi madre,

por su constante apoyo, sus consejos y sus valores. A ella le agradezco todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida.

A mi abuela,

por su fortaleza, por lo que me ha enseñado y aún me sigue enseñando desde su interminable lucha contra el Alzheimer.

Agradecimientos

En primer lugar quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Ramón Hervás y José Bravo, directores de esta tesis doctoral, sin los cuales no habría sido posible su planteamiento y desarrollo. Gracias a ellos por su trabajo y dedicación, y por la calidad humana que atesoran.

Dar las gracias también a todos los miembros que han pasado por el grupo de investigación *MAMI* durante estos años, y con los que he compartido momentos inolvidables, en especial a Vladimir Villarreal, quien me enseñó la importancia de la familia aún cuando él estaba lejos de la suya.

A Kike y Alberto, amigos y compañeros con los que he podido desconectar en determinados momentos y recargar las pilas para seguir adelante, y también al resto de miembros del grupo *3D Visual Computing & Robotics*.

A mi familia, en particular a mi madre y a mi abuela, a quienes dedico este trabajo, y a todos los que me han apoyado durante esta aventura, incluyendo aquellas personas que se ausentaron antes de tiempo y siempre serán recordadas, sobre todo en momentos como este. A Dios, que cuide de ellas como se merecen.

A Gus, fiel compañero y seguidor incondicional, capaz de dar cariño sin esperar nada a cambio. *“Los perros no son todo en nuestra vida, pero ellos la hacen completa”* Roger Caras.

Quiero agradecerle a Lourdes Sánchez y Javier Navarro, su compromiso y dedicación con la tesis desarrollada. Sin su experiencia y conocimientos no hubiera sido posible abordar la parte clínica de este trabajo, ambos tienen y tendrán mi reconocimiento. Igualmente, mi agradecimiento a todas las personas mayores de la *Residencia Asistida de Mayores de Ciudad Real* que se prestaron incondicionalmente a realizar las distintas pruebas que se les propusieron durante el transcurso de esta tesis.

A todas las personas con las que me he cruzado en la vida y de las que he aprendido y desaprendido. Y a toda institución que directa o indirectamente apoya y promueve la investigación y la ciencia, motores de nuestro desarrollo.

Índice general

Índice de figuras	XV
Índice de tablas	XIX
Lista de acrónimos	XXI
1. Introducción	1
1.1. Motivación	2
1.2. Hipótesis y Objetivos	3
1.3. Metodología	5
1.4. Estructura de la memoria	7
2. Fundamentos Teóricos. Antecedentes	11
2.1. Introducción	11
2.2. Fragilidad en el adulto mayor	12
2.2.1. Envejecimiento. Fundamentos	12
2.2.1.1. Reseña histórica	13
2.2.1.2. Tipología de ancianos	14
2.2.2. Síndrome de Fragilidad	14
2.2.3. Evaluación del estado de Fragilidad	17
2.2.3.1. Dependencia y actividades de la vida diaria	17
2.2.3.2. Indicadores funcionales. La marcha y el equilibrio	20
2.2.3.3. Marcadores biológicos y nutricionales	22
2.2.3.4. Indicadores cognitivos	25
2.2.3.5. Marcadores antropométricos	27
2.2.3.6. Síndromes geriátricos y patologías	28
2.2.3.7. Aclaraciones y conclusiones	29
2.3. Computación Móvil e Inclusión	29

ÍNDICE GENERAL

2.3.1. Inteligencia Ambiental y Computación Ubicua	31
2.3.2. Healthcare	33
2.3.2.1. Ambient Assisted Living. Visión general y perspectiva	34
2.3.2.2. Mobile Health (<i>mHealth</i>)	36
2.3.2.3. Aplicaciones para <i>Healthcare</i>	37
2.4. Estudio del movimiento humano y de la actividad física	38
2.4.1. Evolución histórica	38
2.4.2. Mecanismos Sensoriales. Acelerometría	40
2.4.2.1. Propósito Específico vs Propósito General	41
2.4.3. Detección y Reconocimiento de Actividades	43
2.5. Análisis y Procesamiento de la señal	46
2.5.1. Pre-procesamiento. Segmentación y Filtrado	46
2.5.2. Análisis estadístico	49
2.5.3. Clasificación y Minería de datos	50
2.5.3.1. Análisis de Clusters	51
2.5.3.2. Coeficiente de Similitud de Gower	52
3. Trabajos Relacionados	55
3.1. Introducción	55
3.2. Marco para la revisión	56
3.3. Inclusión tecnológica en entornos <i>Healthcare</i>	58
3.4. Acelerometría en entornos <i>Healthcare</i>	61
3.4.1. Reconocimiento de actividades	61
3.4.2. Detección de Caídas	63
3.4.3. Rehabilitación	65
3.4.4. Análisis de la marcha	67
3.5. Valoración de la Fragilidad	69
3.6. Clasificación y Similitud	71
3.7. Análisis y conclusiones	72
4. Propuesta móvil para la detección y valoración de la fragilidad	77
4.1. Introducción	77
4.2. Diseño Conceptual y Modelado	78
4.2.1. Descripción taxonómica	78
4.2.1.1. Usuarios	79

4.2.1.2. Dispositivos	79
4.2.1.3. Artefactos	80
4.2.1.4. Procedimientos	82
4.2.2. Identificación de roles	83
4.2.3. Representación Ontológica	85
4.3. Diseño Funcional	87
4.3.1. Descripción de la arquitectura	87
4.3.2. Enfoque orientado a servicios	89
4.3.2.1. Identificación de servicios	90
4.3.3. Adquisición y tratamiento de los datos de acelerometría	91
4.3.3.1. Segmentación	93
4.3.3.2. Resultados Experimentales 1	94
4.3.3.3. Filtrado	97
4.3.3.4. Extracción de características de la señal	97
4.3.3.5. Resultados Experimentales 2	99
4.3.3.6. Conclusiones	102
4.3.4. Factores clínicos de riesgo	103
4.3.5. Modelo de instanciación	104
4.3.6. Generación de resultados	106
4.4. Cálculo de similitudes. Aplicación del coeficiente de Gower	107
4.4.1. Consideraciones previas	107
4.4.2. Obtención de Rangos	110
4.4.3. Obtención de Pesos	111
4.4.4. Cálculo del coeficiente de Gower	112
4.4.5. Creación de nodos	113
4.5. Representación jerárquica de información. Treemaps	115
4.5.1. Visualización de resultados	116
4.6. Integración en una aplicación móvil	117
5. Implementación de la solución	119
5.1. Introducción	119
5.2. Requisitos del sistema	120
5.3. Almacenamiento de instancias	122
5.4. Servicios Web	126
5.4.1. Servicios de adquisición	126

ÍNDICE GENERAL

5.4.1.1. Adquisición de pacientes	126
5.4.1.2. Adquisición de instancias	128
5.4.1.3. Adquisición de actividades	128
5.4.1.4. Adquisición de medidas	129
5.4.1.5. Adquisición de pesos	129
5.4.2. Servicios de almacenamiento	129
5.4.2.1. Almacenamiento de instancias	132
5.4.2.2. Almacenamiento de medidas de dispersión	132
5.4.2.3. Almacenamiento de pesos	133
5.4.3. Servicios de generación de resultados	134
5.5. Aplicación Móvil	136
5.5.1. Comunicación con los servicios web	138
5.5.2. Adquisición y cálculo de medidas de dispersión	140
5.5.2.1. SMB380 Bosch Sortotec	142
5.5.3. Creación y visualización del mapa en árbol	142
5.6. Consideraciones y conclusiones	145
6. Evaluación y resultados	151
6.1. Introducción	151
6.2. Análisis Descriptivo	152
6.3. Evaluación de la fragilidad	154
6.3.1. Resultados globales	157
6.3.2. Resultados en el ámbito nutricional y antropométrico	159
6.3.3. Conclusiones	161
6.4. Evolución nutricional de la fragilidad	161
6.4.1. Valoración inicial	162
6.4.2. Evolución espontánea	163
6.4.3. Evolución tras suplementación	165
6.4.4. Conclusiones	167
6.5. Evaluación de la aplicación móvil	167
6.5.1. Metodología	168
6.5.2. Análisis de resultados	169
6.5.3. Conclusiones	174

7. Conclusiones y Trabajo Futuro	177
7.1. Conclusiones	177
7.2. Contribuciones	181
7.3. Trabajo Futuro	183
Referencias	185
Anexos	191
A.1. Escalas cognitivas y funcionales	193
A.2. Muestra de análisis clínico	205
A.3. Hoja de especificación SMB380 Bosch Sensortech	209
A.4. Cuestionario evaluación aplicación móvil	211

ÍNDICE GENERAL

Índice de figuras

1.1. Representación gráfica de la estructura de la memoria de tesis	10
2.1. Modelo de envejecimiento óptimo	13
2.2. Fenotipo de la Fragilidad	16
2.3. Valoración marcha y equilibrio. (a) Tinetti (marcha), (b) Get-Up and Go	23
2.4. Componentes de la intervención integral	28
2.5. Componentes y elementos tecnológicos de la Inteligencia Ambiental . . .	32
2.6. Porcentajes de tiempo sobre actividades y perfiles hospitalarios	34
2.7. Respuesta de los países miembros de la OMS a proyectos mHealth [43].	37
2.8. Tipos de componentes MEMS	42
2.9. Posiciones de los sensores acelerómetros en el cuerpo humano	44
2.10. Gráfico de ejemplo señal <i>aceleración/tiempo</i> de un acelerómetro triaxial .	45
2.11. Representación gráfica: (a) Señal sin ruido, (b) Señal con ruido.	47
3.1. Dispositivo de teleasistencia de la Cruz Roja	66
3.2. Criterios de evaluación de los trabajos <i>Healthcare</i> analizados	73
3.3. Criterios de evaluación de los trabajos de acelerometría analizados . . .	74
3.4. Criterios de evaluación de los trabajos de fragilidad analizados	75
3.5. Criterios de evaluación de los trabajos de clasificación basados en simi- litud analizados	76
4.1. Capas principales de la arquitectura	78
4.2. Representación de los elementos principales del modelo	79
4.3. Representación de las entidades <i>Usuario</i> del modelo	80
4.4. Representación de las entidades <i>Dispositivo</i> del modelo y sus relaciones .	80
4.5. Representación de las entidades <i>Artefacto</i> del modelo y sus relaciones . .	81
4.6. Representación de las entidades <i>Procedimiento</i> del modelo y sus relaciones	82

ÍNDICE DE FIGURAS

4.7. Representación del modelo y las relaciones entre clases	85
4.8. Bloques/Capas de la arquitectura	88
4.9. Diagrama de despliegue de la arquitectura	88
4.10. Posición del dispositivo en el paciente	93
4.11. Etapas procesamiento señal del acelerómetro	93
4.12. Segmentación de la señal basada en indicadores sonoros	96
4.13. Procedimiento para la extracción de medidas de dispersión	102
4.14. Factores de riesgo de la fragilidad	103
4.15. Creación e integración de nuevas instancias en la pila	105
4.16. Almacenamiento de una nueva instancia de un nuevo paciente en la pila	105
4.17. Estructura de una instancia	106
4.18. Estructura del árbol de afinidad	108
4.19. Aplicación de la fórmula de Gower para el cálculo de similitudes basadas en los datos de la tabla 4.10	110
4.20. Ejemplo de estructura del árbol de afinidad con $S_G \geq 0,52$ y 3 niveles de profundidad	115
4.21. Ejemplo de treemap: Representación de la cuota de mercado de los dis- positivos Android existentes.	116
4.22. Ejemplo de treemap correspondiente a un árbol de afinidad a partir de una lista de nodos	117
5.1. Etapas del desarrollo del sistema basado en prototipos	119
5.2. Diagrama EER: Factores de riesgo de fragilidad e instancias	123
5.3. Diagrama EER: Relación entre instancias y pacientes	123
5.4. Tabla Unidades de las variables cuantitativas	124
5.5. Diagrama EER: Pesos de los factores de riesgo de fragilidad para las instancias	124
5.6. Diagrama EER general de la pila de instancias	125
5.7. Tabla Log de las excepciones y errores del sistema	125
5.8. Papel de la clase consultas en el sistema	126
5.9. Diagrama de casos de uso de los servicios web	127
5.10. Diagrama de secuencia: Llamada a servicios de adquisición	127
5.11. Diagrama de secuencia: Llamada a servicios de almacenamiento	132
5.12. Diagrama de casos de uso de la aplicación móvil.	137
5.13. Diagrama de flujo con las acciones llevadas a cabo por la aplicación móvil	138

5.14. Capturas de pantalla: visualización de datos y análisis de actividad . . .	139
5.15. Capturas de pantalla: Asignación de pesos y visualización de resultados .	139
5.16. Diagrama de secuencia: comunicación con servicio web	140
5.17. Diagrama de secuencia: Adquisición de datos del acelerómetro y cálculo de medidas estadísticas	141
5.18. Diagrama de secuencia: Adquisición de datos del acelerómetro y cálculo de medidas estadísticas	143
5.19. Captura de pantalla: mapas en árbol resultado	143
5.20. Ejecución de la aplicación móvil en los dispositivos Galaxy S y Galaxy tab 10 de Samsung	147
5.21. Estado de la adquisición de movimiento según el tamaño del dispositivo	148
5.22. Captura de pantalla Samsung Galaxy tab 10”: Configuración de paráme- tros de fragilidad y aplicación.	148
5.23. Captura de pantalla Samsung Galaxy tab 10”: Visualización del treemap resultado con el total de nodos hijos, desplegado en un dispositivo de tipo tablet.	149
5.24. Esquema general de implementación de la arquitectura. Elementos, al- goritmos y servicios web	149
6.1. Cantidad de enfermedades y síndromes geriátricos del grupo inicial. (a) Enfermedades clasificadas por grupos terapéuticos. (b) Síndromes ge- riátricos comunes	153
6.2. Valores promedio del IMC en hombres y mujeres	154
6.3. Resultados de similitud globales y desde el ámbito antropométrico y nu- tricional	160
6.4. Comparativa valores antropométricos y bioquímicos durante la evolu- ción espontánea	165
6.5. Promedio de valores de las variables de fragilidad estudiadas para hom- bres y mujeres. Evolución espontánea y tras suplementación	166
6.6. Puntuaciones de los usuarios a las cuestiones de usabilidad	169
6.7. Resultados de evaluación generales en base a las puntuaciones obtenidas	170
6.8. Resultados de evaluación pertenecientes a las cuestiones 1 a 4	171
6.9. Resultados de evaluación pertenecientes a las cuestiones 5 a 8	171
6.10. Resultados de evaluación pertenecientes a las cuestiones 9 a 12	172
6.11. Resultados de evaluación pertenecientes a las cuestiones 13 a 16	173

ÍNDICE DE FIGURAS

6.12.Resultados de evaluación pertenecientes a las cuestiones 17 a 19	174
---	-----

Índice de tablas

2.1. Tipología de ancianos	14
2.2. Ejemplos de ABVD y AIVD	18
2.3. Indicadores nutricionales relevantes	25
2.4. Parámetros antropométricos relevantes de un individuo	27
2.5. Diferencias entre AmI y Computación Ubicua [37]	33
2.6. Comparación de características entre dispositivos con acelerómetro integrado	43
3.1. Puntuación de los criterios de evaluación para sistemas de inclusión tecnológica en entornos <i>Healthcare</i>	72
3.2. Puntuación de los criterios de evaluación para sistemas de análisis de la marcha basados en acelerometría.	73
3.3. Puntuación de los criterios de evaluación asociados a procedimientos y/o frameworks para la valoración de la fragilidad.	74
3.4. Puntuación de los criterios de evaluación asociados a procedimientos de clasificación basados en similitud.	75
4.1. Usuarios	79
4.2. Dispositivos	81
4.3. Artefactos	81
4.4. Procedimientos	83
4.5. Descripción de las relaciones entre entidades	86
4.6. Características de los servicios identificados	91
4.7. Tiempo de procesamiento de la señal (ms) en Smartphone y PC	101
4.8. Resumen de prestaciones del smartphone y PC utilizados en el experimento	102
4.9. Clasificación de los parámetros clínicos de la fragilidad	109
4.10. Extracto de factores clínicos de fragilidad para 4 pacientes	109

INDICE DE TABLAS

5.1. Detalles del servicio de adquisición de pacientes	127
5.2. Detalles del servicio de adquisición de instancias	128
5.3. Detalles del servicio de adquisición de actividades	128
5.4. Detalles del servicio de adquisición de medidas	130
5.5. Detalles del servicio de adquisición de pesos	131
5.6. Detalles del servicio de almacenamiento de instancias	132
5.7. Detalles del servicio de almacenamiento de medidas de dispersión	133
5.8. Detalles de los servicios de almacenamiento de pesos	134
5.9. Detalles del servicio de almacenamiento de pesos de dispersión	135
5.10. Detalles del servicio de generación de resultados	135
5.11. Detalles de los métodos internos asociados a la generación de resultados	136
6.1. Extracto descriptivo inicial de los pacientes seleccionados	153
6.2. Valores recogidos de las variables de fragilidad (dominios: antropométrico, funcional, nutricional)	155
6.3. Valores recogidos de las variables de fragilidad (dominios: cognitivo, síndromes geriátricos, medidas de dispersión)	156
6.4. Valores existentes. Indica el total de valores conocidos para las variables de fragilidad en cada iteración.	156
6.5. Lista de nodos calculada para la instancia 1	157
6.6. Lista de nodos calculada para las instancias 12, 16 y 2	158
6.7. Resultados de la valoración de fragilidad asociados a la instancia 1.	159
6.8. Lista de nodos calculados para la instancia 1, desde un punto de vista antropométrico y nutricional	159
6.9. Valores medios de los parámetros antropométricos	162
6.10. Valores medios de los parámetros bioquímicos e inmunológicos	163
6.11. Valores medios de los parámetros antropométricos de los pacientes a suplementar y no suplementados	164
6.12. Valores medios de los parámetros bioquímicos e inmunológicos de los pacientes a suplementar y no suplementados	164
6.13. Valores medios de los parámetros bioquímicos e inmunológicos de los pacientes a suplementar y no suplementados	165

Lista de acrónimos

- AAL** Ambient Assisted Living. 11, 34–36, 59, 64
AAVD Actividades avanzadas de la vida diaria. 18
ABVD Actividades básicas de la vida diaria. 15, 17, 18
AIVD Actividades instrumentales de la vida diaria. 15, 17–19
AmI Inteligencia Ambiental. 31–33, 35
API Application Program Interface. 138
AVD Actividades de la vida diaria o ADL. 1, 17, 19, 36, 44, 61–63, 69, 104, 109, 110
- BM** Masa Corporal o MC. 109
- CRP** Protocolo de la Cruz Roja. 26, 109
CSC Conteo Sanguíneo Completo. 25
- EER** Esquema Entidad-Relación. 122–125
EMG Electromiografía. 70
ENT Ear Noise Throat diseases. 109
EPOC Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica. 66
- GDS** Geriatric Depression Scale. 71
GPS Global Positioning System. 38, 64, 70
- IIS** Internet Information Services. 146
IMC Índice de Masa Corporal o BMI. 27, 81, 109, 154, 162–164
- MEMS** Microelectromechanical systems. 32, 41, 42, 62
- mHealth** Mobile Health. 36, 37
MMS Mini-Mental State Examination. 26, 70, 71, 104, 109, 152
NFC Near Field Communication. 59
OMS Organización Mundial de la Salud. 36, 37, 163
PC Personal Computer. 62, 101, 102
PDA Personal Digital Assistant. 58, 59
PS Pila de Pacientes o Patient Stack. 82
- RAE** Real Academia Española de la Lengua. 89
RF Requisitos Funcionales. 120
- SEMEG** Sociedad Española de Medicina Geriátrica. 2
SGBD Sistema Gestor de Base de Datos. 146
SMS Short Message Service. 64
SOAP Simple Object Access Protocol. 146
SVM Super Vector Machine. 64, 68
- TIC** Tecnologías de la información y las comunicaciones. 33, 35
TMWT Ten Meters Walking Test. 94
- URL** Uniform Resource Locator. 146
WS-I Web Services Interoperability Organization. 89

Lista de acrónimos

Capítulo 1

Introducción

Cuando una persona envejece se ven disminuidas tanto su resistencia como sus reservas fisiológicas, lo que se traduce en un mayor riesgo de sufrir efectos adversos para la salud. De forma generalizada, el envejecimiento conduce a un estado de fragilidad, y en numerosos casos a una condición de dependencia. Por tanto, retrasar o reducir el estado de fragilidad se convierte en una necesidad para mejorar la calidad de vida de nuestros mayores. Sin embargo, la detección y diagnóstico de la fragilidad no es una tarea sencilla, ya que depende de factores biológicos, funcionales, sociales, cognitivos e institucionales de la persona anciana. De igual forma, aunque se estima la aparición de los primeros síntomas de pre-fragilidad a partir de los 65 años de edad, esto no supone un hecho fehaciente debido a que existen personas que alcanzan edades muy avanzadas manteniendo un buen estado de salud.

En la actualidad, la valoración del estado de fragilidad se realiza, mayoritariamente, a través de la observación en la ejecución de las denominadas Actividades de la vida diaria o ADL (AVD), pruebas de marcha y equilibrio, y evaluación de parámetros nutricionales y cognitivos. Sin embargo, los resultados que se desprenden de estas acciones albergan un grado de subjetividad dependiente en gran parte de la visión del facultativo o geriatra, a la vez que se muestran muy dispersos dada la diferente naturaleza de las pruebas. Hasta el momento, los esfuerzos por crear modelos o sistemas de medida capaces de abordar el estado de fragilidad desde un punto de vista más objetivo y centralizado no han ofrecido los resultados esperados.

La mayoría de los autores relevantes en este ámbito, tal y como veremos, coincide en destacar la actividad y el ejercicio físico como el componente de mayor importancia en la valoración de la fragilidad. En este caso, un amplio número de pruebas realizadas por especialistas médicos se fundamentan en ejercicios elementales como puede ser la

1. INTRODUCCIÓN

marcha, mostrándose esta como un claro indicador para la detección de la fragilidad, así como el principal medio para la prevención y seguimiento de numerosas patologías y enfermedades. En este sentido, la inclusión de nuevas tecnologías basadas en dispositivos móviles, tales como teléfonos móviles y mecanismos acelerómetros facilitan la obtención e interpretación del movimiento de una manera cuantitativa y exacta, a diferencia de los métodos tradicionales. La correcta combinación de esta información con los resultados obtenidos en el resto de los dominios clínicos, favorece la detección y el diagnóstico de la fragilidad de forma más precisa y objetiva, valoración que ha de presentarse al usuario de forma natural, intuitiva y no intrusiva, teniendo en cuenta el entorno en el que se determina.

1.1. Motivación

Desde hace varias décadas, el estudio de la fragilidad en personas mayores ha conformado un área de especial relevancia en diversos sectores de la comunidad científica. Ofrecer mecanismos que faciliten su análisis y valoración supone uno de los principales retos en la actualidad. Gracias al crecimiento tecnológico en nuestra sociedad, se plantean nuevas posibilidades para desarrollar herramientas que, mediante el uso de nuevas tecnologías, sean capaces de ayudar de una forma eficiente a profesionales de la salud a detectar, disminuir e incluso retrasar los efectos de este y otros síndromes y enfermedades.

La detección precoz de la fragilidad permite modificar positivamente los datos esperados de la discapacidad en una persona anciana. Es importante reconocer que no todos los adultos mayores son frágiles en la misma medida y que la condición de fragilidad pone al individuo en el umbral del deterioro funcional. En este sentido, queda patente la importancia de evitar situaciones de riesgo que aumenten el deterioro de las personas ancianas. Por ejemplo, circunstancias tan cercanas y frecuentes como las caídas ocasionadas entre la población anciana pueden suponer fracturas de considerable gravedad. En este aspecto, las temidas fracturas de cadera pueden localizarse como consecuencia del seguimiento y detección incorrectos del estado de fragilidad, agravando el deterioro general del anciano. De igual forma, un diagnóstico objetivo de este estado se erige como vital para evitar y/o retrasar este tipo de situaciones adversas.

En el año 2012, la Sociedad Española de Medicina Geriátrica (SEMEG) demandó de forma oficial un plan integral de atención al anciano frágil y con discapacidad para fomentar lo que se denomina *Envejecimiento Activo*. El elevado y creciente número de per-

sonas mayores en nuestra sociedad, y más concretamente en España y Europa, reafirma la necesidad de mejorar los mecanismos asistenciales en torno a nuestros ancianos. Focalizar este trabajo en personas mayores frágiles o pre-frágiles es prioritario ya que según Macías, presidente de SEMEG (*a 15 de marzo del 2012*), constituye el colectivo en el cual hay mayores posibilidades de actuación, adelantándose a la dependencia, ya que cuando esta aparece, las posibilidades de intervenir se reducen significativamente. En este sentido, el hecho de no poder responder adecuadamente a las necesidades de los ancianos frágiles corresponde a la necesidad de buscar nuevos servicios y fórmulas para atajar este problema.

La inclusión tecnológica y el despliegue de las posibilidades de las tecnologías móviles en entornos clínicos, junto con la escasez de herramientas que estudian la fragilidad en su conjunto (teniendo en cuenta todos los factores que participan en su desarrollo), supone otro de los principales retos que pretende abordar esta tesis doctoral.

1.2. Hipótesis y Objetivos

La detección y el diagnóstico del estado de fragilidad de un sujeto determinado comprenderá dos aspectos claramente diferenciados. Por una parte la obtención y manejo de información procedente de las actividades físicas propuestas, así como de los datos extraídos del propio entorno clínico del paciente. Y por otra parte se encuentra el estudio, análisis y tratamiento de esa información, cuya finalidad es la disposición de resultados válidos y objetivos sobre el estado del paciente anciano en el momento de su valoración.

Por tanto, la hipótesis general planteada en esta tesis doctoral es la siguiente:

- **Hipótesis.** *Es posible modelar, diseñar y desarrollar un sistema computacional, que haciendo uso de dispositivos móviles, sea capaz de ofrecer un soporte esencial al facultativo en la detección y diagnóstico del estado de fragilidad y pre-fragilidad de una persona adulta mayor, de una forma objetiva y centralizada, considerando el conjunto de factores clínicos de riesgo implicados en la evolución de la fragilidad y las prestaciones de los recursos tecnológicos utilizados.*

Teniendo en cuenta la hipótesis general, el principal objetivo que dará lugar a su validación y cuya finalidad es la elaboración de la presente tesis, es el citado a continuación:

1. INTRODUCCIÓN

- **Objetivo General.** Modelar, diseñar y desarrollar un sistema computacional, basado en el uso de dispositivos móviles, para guiar al facultativo, de una forma objetiva y complementaria, en la valoración y diagnóstico de pacientes mayores en estado de pre-fragilidad y fragilidad, con la finalidad de disminuir y/o retrasar sus efectos, teniendo en cuenta los principales factores involucrados en su evolución.

Para la consecución del objetivo general, se deben llevar a cabo los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar un exhaustivo estudio de campo con el fin de conocer el modo de trabajo y métodos usados en la actualidad por geriatras y facultativos, relacionados con la evaluación de las capacidades motoras, sociales, biológicas y cognitivas de la población anciana.
2. Analizar de forma conveniente los procedimientos utilizados y parámetros significativos a tener en cuenta, partícipes en la valoración de diferentes aspectos relacionados con la fragilidad.
3. Estudiar la viabilidad operacional de los medios tecnológicos y recursos necesarios para el despliegue arquitectural del sistema en los complejos médicos y asistenciales existentes, prestando especial atención a la interacción de dichos medios con los usuarios del entorno.
4. Definir un modelo para la representación de todas las entidades que intervendrán en el proceso de detección de la fragilidad, lo que implica:
 - a) Realizar una clasificación de los principales elementos identificados según su origen y tipología. Se deben establecer las relaciones entre dichos elementos, así como el rol que tienen en la arquitectura o sistema planteado.
5. Diseñar e implementar las distintas capas de la arquitectura, así como los módulos que la componen. En este punto se establecen los siguientes sub-objetivos:
 - a) Definir y desarrollar los módulos necesarios para la adquisición y análisis de los datos procedentes de la actividad física del sujeto a estudio.
 - b) Definir y desarrollar los módulos correspondientes a la obtención y análisis de los parámetros relevantes para el diagnóstico de la fragilidad, incluidos en el historial clínico del paciente.

- c) Definir y desarrollar los módulos para facilitar el almacenamiento persistente de la información obtenida y posibilitar la realimentación de la información en futuras aplicaciones.
 - d) Definir y desarrollar los módulos necesarios para ofrecer un marco de comunicaciones entre las entidades implicadas.
 - e) Definir y desarrollar los módulos encargados de la generación formal de los resultados obtenidos, favoreciendo su interpretación final por el profesional o facultativo. Teniendo que:
 - 1) Generar y presentar los resultados calculados de forma adaptada y conveniente al entorno y al contexto, basándonos en la creación y desarrollo de un modelo de visualización estructurado fácilmente desplegable en un entorno móvil y ubicuo.
 - 2) Facilitar el acceso a estos resultados de manera gráfica y textual, utilizando los medios necesarios para su interpretación y comprensión.
6. Evaluar y validar el sistema desarrollado en un entorno geriátrico real. Lo que lleva consigo:
- a) Implementar y evaluar un prototipo totalmente funcional basado en los requisitos de la aplicación y los objetivos de cada uno de los módulos que componen el sistema.
 - b) Validar el sistema de una forma integral y completa sobre un conjunto de usuarios finales en estado de pre-fragilidad y/o fragilidad.

1.3. Metodología

El desarrollo de esta tesis se ha llevado a cabo atendiendo al proceso descrito en este apartado. Teniendo en cuenta el carácter científico-técnico del trabajo, se han identificado las siguientes etapas como fases de la metodología:

- **Identificación del problema.** Esta primera etapa se inicia con la concepción de la idea en base a la identificación de carencias o aspectos mejorables en el proceso de detección y diagnóstico de la fragilidad de una forma centralizada que aporte una mayor objetividad al facultativo. La consulta a expertos es esencial para la construcción de la hipótesis de partida, incluyendo la motivación que supone la

1. INTRODUCCIÓN

búsqueda de una solución alternativa que aporte resultados positivos en el entorno clínico, actuando como soporte al diagnóstico y detección de la fragilidad.

- **Presentación de la propuesta.** Una vez definida la hipótesis de partida, se identifican los objetivos, tanto generales como específicos a alcanzar durante el desarrollo y culminación de la tesis. Se establecen los fundamentos básicos a tener en cuenta, qué se pretende y cómo se va a llevar a cabo. En este sentido la utilización de nuevas tecnologías móviles en el ámbito clínico supone uno de los pilares de la propuesta presentada.
- **Revisión de fundamentos teóricos y del estado del arte.** En esta fase se exponen los contenidos teóricos necesarios para la comprensión de cada una de las partes del trabajo desarrollado. Esto incluye contenidos tanto del ámbito médico como tecnológico. Además, se realiza una revisión sistemática de los estudios e investigaciones encontradas más relevantes hasta la fecha de realización de la presente tesis, atendiendo a diversos marcos de revisión, relacionados con las diferentes partes abordadas por la solución propuesta.
- **Desarrollo de la propuesta.** Esta etapa hace referencia al desarrollo de la arquitectura o sistema en su totalidad. Se ha dividido, a su vez, en varias fases:
 - *Definición de la propuesta.* Contempla el diseño tanto conceptual como funcional de la propuesta, identificando cada una de sus partes, fundamentadas en los requisitos previos.
 - *Implementación de la propuesta.* Se implementa y documenta cada una de las partes software de la propuesta, dando lugar a un prototipo funcional a evaluar en un entorno clínico.
 - *Evaluación de la propuesta.* La realización de un estudio de campo permite identificar y adquirir datos reales para su uso posterior. A partir de estos datos, el sistema es evaluado mediante el uso de la aplicación móvil desarrollada, la cual es usada por el facultativo. Se exponen los resultados y las conclusiones al respecto de los diferentes estudios llevados a cabo.
- **Exposición de conclusiones, objetivos conseguidos y trabajo futuro.** En esta última fase se exponen las conclusiones obtenidas del trabajo desarrollado, así como los objetivos alcanzados en base a los propuestos en las etapas iniciales.

Además, se describen nuevas líneas de trabajo futuro, abiertas a partir de la tesis desarrollada.

1.4. Estructura de la memoria

La memoria de esta tesis se desarrolla por capítulos, atendiendo a las fases de la metodología presentada en el apartado 1.3. Así pues, se compone de los siguientes:

- **Capítulo primero: Introducción.** El primer capítulo de la memoria describe el ámbito de la tesis, la hipótesis y problema que pretende abordar, los objetivos definidos en el trabajo y la metodología seguida, así como la estructura de esta memoria.
- **Capítulo segundo: Fundamentos teóricos. Antecedentes.** Este capítulo desarrolla el marco teórico esencial para la comprensión de la tesis, describiendo y explicando aspectos fundamentales procedentes tanto de la parte médica como de la tecnológica. Se explica en detalle el síndrome de la fragilidad en el adulto mayor y su relación con el envejecimiento, mostrando además, los principales dominios a tener en cuenta durante su evaluación. Se describe el papel que juega la computación móvil y las nuevas tecnologías en el ámbito de la salud. De estas tecnologías, la acelerometría, su integración en los dispositivos móviles y el reconocimiento y procesamiento del ejercicio físico a través de técnicas de clasificación, suponen un punto de inflexión para la medición objetiva de diversas actividades físicas tales como la marcha.
- **Capítulo tercero: Trabajos relacionados.** En este capítulo se presentan los trabajos más relevantes relacionados con los distintos campos cubiertos por la tesis doctoral. Estos trabajos corresponden a desarrollos y estudios que investigadores ponen a disposición del resto de la comunidad científica. Para su análisis, se realiza una revisión sistemática de dichos trabajos, focalizando la búsqueda en la inclusión tecnológica en entornos clínicos (a partir de ahora *Healthcare*), la aplicación de la acelerometría y los sensores acelerómetros en entornos de salud, la valoración de la fragilidad y la aplicación de métodos de clasificación y similitud considerando los puntos en común con el trabajo realizado.
- **Capítulo cuarto: Propuesta móvil para la detección y valoración de la fragilidad.** Este capítulo presenta y desarrolla todos los aspectos de la arquitectura

1. INTRODUCCIÓN

propuesta para la detección y diagnóstico de la fragilidad. Se ha dividido en tres bloques principales: (a) *el diseño conceptual y modelado*, donde se presentan los elementos que la componen, su distribución y las relaciones entre ellos; (b) *el diseño funcional*, donde se describen e identifican las funcionalidades y servicios desde la adquisición de datos hasta la generación de resultados; y (c) *la aplicación de algoritmos basados en similitudes y visualización de resultados*, para la generación y representación de resultados, destacando el coeficiente de Gower y el uso de estructuras de mapas en árbol; todo ello, teniendo en cuenta la utilización de dispositivos móviles en el despliegue de la arquitectura, dado su ámbito de aplicación.

- **Capítulo quinto: Implementación de la solución.** En este capítulo se detalla cada uno de los componentes software desarrollados que forman parte de la arquitectura, en base a los requisitos funcionales establecidos, ofreciendo una visión general acerca de los aspectos más relevantes relacionados con la implementación. Así, se detalla el sistema de persistencia; los servicios web de adquisición, almacenamiento y generación de resultados; y los aspectos más destacados de la aplicación móvil, relacionados con la comunicación con los servicios web, la adquisición de datos de acelerometría y cálculo de medidas de dispersión, y la creación del mapa en árbol para la visualización de resultados.
- **Capítulo sexto: Evaluación y resultados.** Tras el diseño y desarrollo del sistema propuesto, se han realizado diferentes tipos de evaluación, las cuales se detallan en este capítulo y que corresponden a los ámbitos médico y tecnológico. A partir de un estudio de campo y un análisis descriptivo, se analizaron los resultados de fragilidad ofrecidos por la herramienta, tanto de forma global como desde el punto de vista nutricional y antropométrico, considerando un grupo de pacientes previamente seleccionados. En un segundo caso, se estudió la evolución nutricional de la fragilidad, en los pacientes seleccionados, estableciendo tres puntos de valoración. Finalmente, la última evaluación, corresponde a la evaluación de la aplicación móvil, como parte del sistema y desde un punto de vista más tecnológico, teniendo en cuenta aspectos de usabilidad y diseño.
- **Capítulo séptimo: Conclusiones y trabajo futuro.** En este último capítulo se exponen las conclusiones de la tesis atendiendo a los objetivos alcanzados y grado de consecución, las limitaciones y puntos de mejora observados, un resumen con

las principales contribuciones a las que ha dado lugar esta tesis doctoral y las futuras líneas de investigación que se abren a partir de este trabajo.

- **Anexos.** Al final de la memoria se incluye el conjunto de anexos que son referenciados a lo largo del documento, conteniendo información complementaria de interés para el lector de esta tesis.

La figura 1.1 muestra de forma gráfica el contenido de este trabajo, atendiendo a los capítulos definidos anteriormente.

1. INTRODUCCIÓN

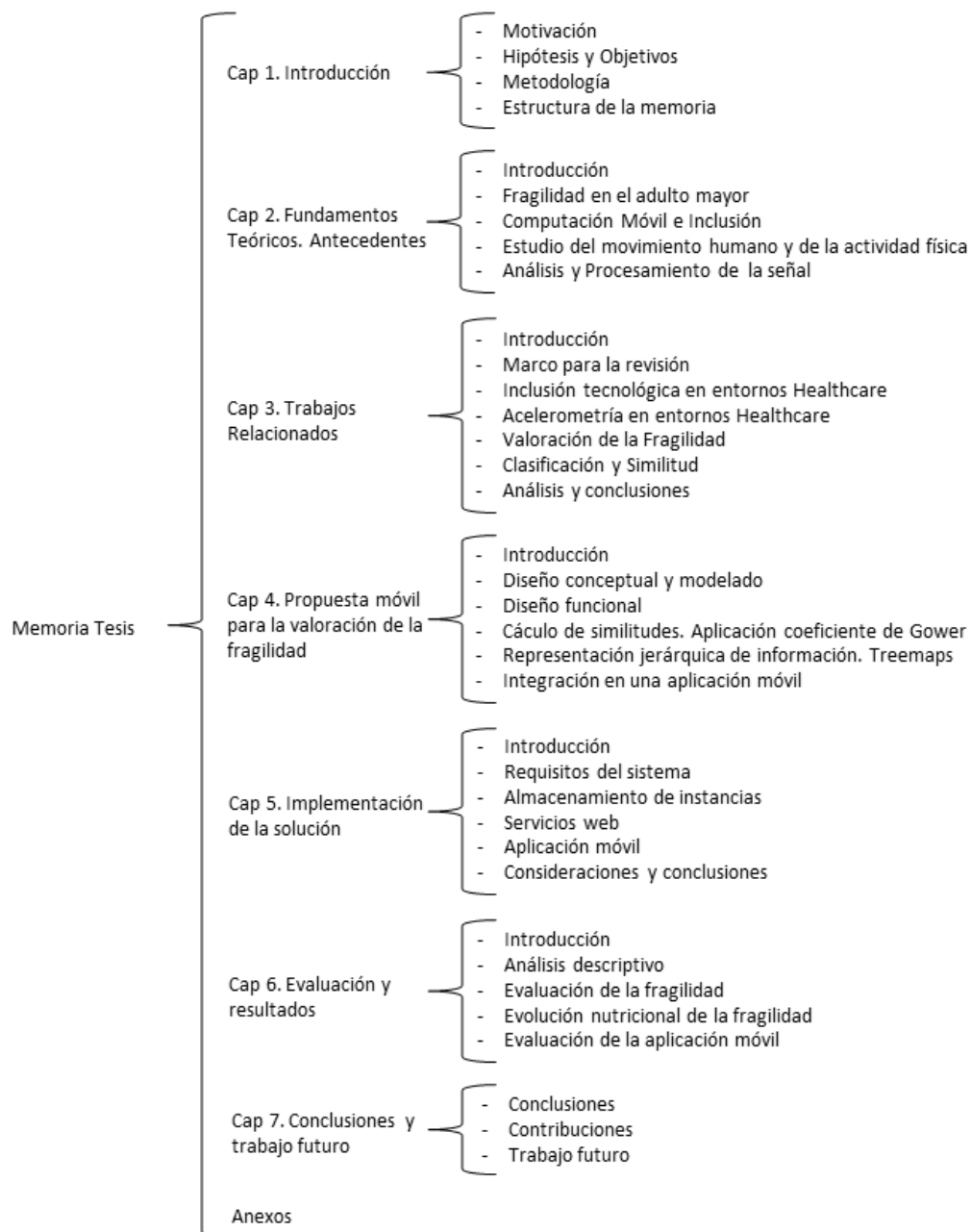


Figura 1.1: Representación gráfica de la estructura de la memoria de tesis

Capítulo 2

Fundamentos Teóricos. Antecedentes

2.1. Introducción

Este capítulo constituye la base fundamentada para la correcta comprensión de la presente tesis doctoral. Exponer los conocimientos derivados de este trabajo es su objetivo principal, asentando los fundamentos teóricos y antecedentes del estado del arte.

En primer lugar, debemos saber que la fragilidad en el adulto mayor está estrechamente relacionada con el envejecimiento y la dependencia. De hecho, podría decirse que cuando una persona envejece se va haciendo frágil, hasta el punto de caer en un estado de dependencia. No obstante, en algunas ocasiones, la fragilidad y la dependencia son términos reversibles, lo cual no ocurre con el envejecimiento, siendo este último la principal causa de la fragilidad en ancianos. Por tanto, la primera sección (2.2) de este capítulo, comprende el desarrollo del concepto de *envejecimiento*, una explicación detallada del síndrome de fragilidad y la exposición de los métodos y técnicas actuales, en el ámbito médico principalmente, para la evaluación del estado de fragilidad.

La integración de nuevas tecnologías y el desarrollo de la Computación Móvil como parte de la Computación Ubicua y la Inteligencia Ambiental en entornos de salud o *Healthcare*, es un pilar fundamental en la realización de este trabajo. Por ello, la sección 2.3 está dedicada a la explicación de los conceptos anteriores, prestando especial interés en el paradigma *mHealth* y la relación de este con el término Ambient Assisted Living (AAL).

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

El estudio del movimiento humano y el reconocimiento de actividades físicas mediante dispositivos acelerómetros constituye otra de las secciones desarrolladas (2.4) en este capítulo. La evolución de los mecanismos para la detección y análisis del movimiento alcanzó su cenit con la aparición de los sensores acelerómetros y el concepto de Acelerometría, que dio lugar a un nuevo campo de investigación. Dicha evolución ha permitido la integración de esos mecanismos acelerómetros en dispositivos tan universales como el teléfono móvil o los smartphones de última generación, utilizados en el presente trabajo. De todo ello se hablará en esta sección.

En la siguiente sección (2.5), se exponen diversas técnicas existentes para el análisis y procesamiento de los datos obtenidos derivados de los mecanismos acelerómetros, profundizando sobre distintas medidas de dispersión o variabilidad procedentes del análisis estadístico de dichos datos, utilizadas por distintas partes de la arquitectura desarrollada. De igual forma, se presentan distintos métodos de clasificación que guardan una relación directa con la generación de los resultados proporcionados por el sistema. En este sentido, se profundiza en el análisis de clusters y los métodos basados en similitudes.

2.2. Fragilidad en el adulto mayor

2.2.1. Envejecimiento. Fundamentos

El envejecimiento humano es un proceso caracterizado principalmente por la disminución progresiva de la resistencia y las reservas fisiológicas hasta el punto de producirse un desgaste acumulativo de estos sistemas fisiológicos, causando un mayor riesgo de sufrir efectos adversos para la salud. Este proceso conduce al estado de fragilidad.

Diversas fuentes, entre las que destacan los estudios de Woodhouse [1], coinciden en que la fragilidad es un término que comprende a los individuos mayores de 65 años que dependen de otras personas para satisfacer sus necesidades básicas. En este punto es imprescindible citar un hecho inherente: la población mayor de 65 años no es una población homogénea y aunque a medida que pasan los años aumenta el riesgo de padecer enfermedades y de discapacidad, existen personas que llegan a edades avanzadas de la vida con buena salud. Esto hace que debamos distinguir entre dos tipos de envejecimiento “adecuado”:

- **Envejecimiento usual.** Ocurre como resultado de una combinación entre el efecto del tiempo, las características propias del individuo y un estilo de vida deter-

minado. En este tipo de envejecimiento existe una pérdida de capacidades funcionales, la cual es relativamente pequeña y no interfiere con mantener una vida normal, independiente y de calidad [2]. De igual forma, cuando se habla de salud en el adulto mayor es más idóneo expresarla en términos de “funcionalidad” más que la presencia o ausencia de enfermedad. Aunque el envejecimiento usual no es patológico, se le considera de alto riesgo para una morbilidad¹ elevada cuando se le compara con el envejecimiento óptimo.

- **Envejecimiento óptimo.** Resulta del paso del tiempo combinado con un estilo de vida favorable y un efecto mínimo o nulo de la enfermedad, donde además existe mayor reserva funcional que se traduce como robustez, mayor funcionalidad y estado de salud más prolongado [3]. El modelo del envejecimiento óptimo está representado en la figura 2.1.

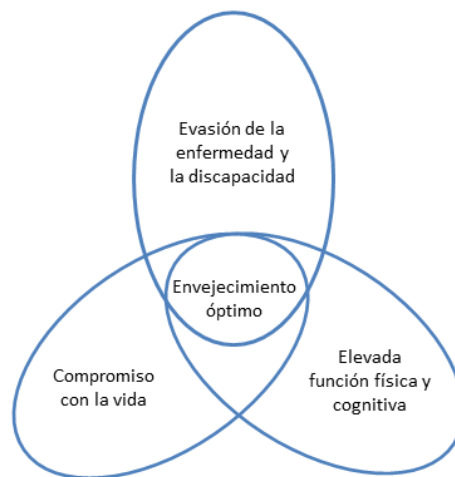


Figura 2.1: Modelo de envejecimiento óptimo

2.2.1.1. Reseña histórica

Durante los años 60-70 se iniciaron las bases en el reconocimiento y evaluación de la fragilidad en el adulto mayor. Ya en 1974 se creó un sistema de protección para “personas mayores” junto con una serie de políticas de actuación específicas. En este caso, se definió a estas personas como personas con daño emocional, debilidad física, social y ambiental [4]. Sin embargo, hasta 1980 no encontramos, de forma clara, la

¹Referido a enfermedades causantes de la muerte en determinada población, espacio y tiempo.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

aparición del término frágil o fragilidad en relación a la población anciana [5]. Desde entonces, el interés por el estudio de la fragilidad ha ido en aumento. Tanto es así que en los últimos 15 años el número de investigaciones al respecto ha crecido exponencialmente, tal y como se refleja en [6]. Esto se debe a que el concepto de fragilidad es lo suficientemente amplio e interesante como para propiciar este hecho.

2.2.1.2. Tipología de ancianos

En la práctica clínica actual se diferencian distintos perfiles de ancianos. Los términos empleados para definir estos perfiles suelen estar mal entendidos, y con frecuencia son utilizados en el lenguaje diario de forma inapropiada. En la tabla 2.1 se presenta la tipología más aceptada en nuestro entorno definida en [7]. Cualquier estudio realizado sobre la población anciana debe tener en cuenta esta clasificación.

Tipo anciano	Descripción
Sano	Persona de edad avanzada con ausencia de enfermedad objetivable. Capacidad funcional bien conservada y es independiente para actividades básicas e instrumentales de la vida diaria y no presenta problemática mental o social derivada de su estado de salud.
Enfermo	Anciano sano con una enfermedad aguda. No suelen presentar otras enfermedades importantes ni problemas mentales ni sociales. Sus problemas de salud pueden ser atendidos y resueltos con normalidad.
Frágil	Conserva su independencia de manera precaria y se encuentra en situación de alto riesgo de volverse dependiente, en otras palabras sería una situación de pre-discapacidad.
Geriátrico	Paciente de edad avanzada con una o varias enfermedades de base crónica y evolucionadas, en el que ya existe discapacidad de forma evidente. Estos pacientes son dependientes para las actividades básicas de la vida diaria, precisan ayuda de otros y con frecuencia suelen presentar alteración mental y problemática social.

Tabla 2.1: Tipología de ancianos

2.2.2. Síndrome de Fragilidad

La fragilidad es un término difícil de conceptualizar, y en la mayoría de las ocasiones está relacionado con el envejecimiento, discapacidad o comorbilidad¹. Por ello, sabemos que es una condición que aumenta el riesgo de discapacidad y dependencia de

¹Se refiere a la presencia de una o más patologías o enfermedades además de la enfermedad o trastorno primario

los adultos mayores, donde se tiene en cuenta una compleja interacción de los componentes físicos, cognitivos, nutricionales y sociales del individuo. A lo largo de la historia de este concepto, se han usado distintos criterios generales para definirlo:

- **Criterios médicos.** Presencia de enfermedades crónicas, alteración de la marcha, déficit sensorial, errónea auto-percepción de salud, caídas frecuentes, polimedicación, hospitalizaciones frecuentes.
- **Criterios funcionales.** Dependencia en Actividades básicas de la vida diaria (ABVD) y dependencia en Actividades instrumentales de la vida diaria (AIVD).
- **Criterios socioeconómicos.** Vivir solo, viudedad reciente, edades mayores a 80 años, bajos ingresos económicos.
- **Criterios cognitivos/afectivos.** Depresión, deterioro cognitivo.
- **Criterio necesidad de institucionalización.** Ingreso en hogares y residencias.

Cualquiera de estos elementos constituye un riesgo para una persona mayor, sin embargo, es difícil estandarizar una definición operacional de la fragilidad con estos criterios diagnósticos tan amplios.

A partir de estudios posteriores, se extrae que las manifestaciones clínicas más comunes de la fragilidad son una disminución involuntaria del peso corporal, de la resistencia y de la fuerza muscular, trastornos del equilibrio y de la marcha, y una declinación de la movilidad física junto con una serie de alteraciones significativas en diversos marcadores biológicos [8]. De este modo, el síndrome clínico de la fragilidad se determina en base a diferentes síntomas y signos, conformando lo que se conoce como el fenotipo de la fragilidad, propuesto por Fried en 2001 [9], el cual se muestra en la figura 2.2.

Como se puede observar, existen múltiples factores del fenotipo relacionados con la actividad y el ejercicio físico (coloreados en rojo en la figura), de ahí la importancia de este componente en el estudio de la fragilidad, aunque se deben tener en cuenta los componentes restantes citados al comienzo de este apartado.

A partir del conocimiento del presente fenotipo, son numerosas las investigaciones que se centran en proponer soluciones para tratar de reducir los resultados adversos provocados por los diferentes síntomas y signos de la fragilidad. Pero antes de nada, deberíamos preguntarnos, *¿Cuándo una persona es considerada frágil (o pre-frágil¹)?*

¹Referido a personas con leves signos de fragilidad, los cuales no se presentan de forma acusada.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES



Figura 2.2: Fenotipo de la Fragilidad

Esta pregunta no es sencilla de responder y depende en gran medida de la visión y experiencia del facultativo que está tratando al individuo. No obstante, existen cinco criterios acotados y altamente aceptados propuestos por Fried [9], cuyo cumplimiento determina si dicha persona puede ser considerada o no frágil. Estos son:

1. Pérdida de peso involuntaria (4,5 Kg o más por año)
2. Sentimiento de agotamiento general
3. Debilidad (medida por fuerza de prensión¹)
4. Velocidad lenta al caminar (basados en una distancia de unos 5m aprox.)
5. Bajo nivel de actividad física (menor a 400 calorías a la semana)

De estos cinco criterios que establecen el nivel de fragilidad, tres hacen referencia al factor físico: debilidad, velocidad de la marcha y actividad física. De ahí el impacto positivo de tratar el componente físico y darle la importancia que posee en el tratamiento del síndrome de la fragilidad.

Para determinar un diagnóstico de fragilidad basado en los criterios anteriores, se establece que el individuo es frágil con la aparición de tres o más criterios.

Aunque podemos profundizar más en el síndrome de la fragilidad desde el punto de vista clínico, nos detendremos aquí por considerarlo suficiente en nuestro estudio y no desviarnos en exceso del tema que nos ocupa.

¹Fuerza con la que un órgano coge o agarra un objeto. En este caso se refiere a mano y dedos.

Por otra parte, la totalidad de los parámetros que determinan y valoran cada uno de los criterios del síndrome de fragilidad, se encuentran recogidos en diversos tests y escalas, los cuales son utilizados por los facultativos como métodos de decisión en la actualidad. En el siguiente apartado, mostraremos un recorrido por algunos de los tests más representativos.

2.2.3. Evaluación del estado de Fragilidad

La existencia de tests y escalas constituye uno de los instrumentos de valoración estructurada más utilizados y fiables en la disciplina clínica. En el caso de la fragilidad, es necesario el uso de diversos métodos capaces de aportar una mayor objetividad y uniformidad de criterios así como la posibilidad de cuantificación de los parámetros más relevantes que se estén analizando. Estas escalas, normalmente, consisten en cuestionarios basados en puntuaciones a cumplimentar por el facultativo en función de lo observado y extraído de una comunicación verbal con el paciente anciano.

En los siguientes apartados se expondrán los tests más destacados en el ámbito de la detección y diagnóstico de la fragilidad. Como curiosidad mencionar que la mayoría de estas pruebas no son aplicadas de manera generalizada en la actualidad, sirviéndose de la mera observación para el diagnóstico de la fragilidad en el anciano. Sin embargo, un análisis riguroso estima imprescindible la aplicación de estas escalas de valoración.

2.2.3.1. Dependencia y actividades de la vida diaria

El estudio en la consecución de las denominadas AVD constituye un claro indicador del nivel de dependencia del individuo. De hecho, el análisis de estas actividades supone uno de los primeros métodos de medición del estado de fragilidad en su componente funcional.

Las AVD se dividen en tres categorías:

- **ABVD.** Necesarias para el auto-cuidado y poder valerse por uno mismo, y cuya alteración genera dependencia de otra persona. Hasta la creación de un mayor nivel de especificación, estas actividades eran conocidas como AVD.
- **AIVD.** Necesarias para poder vivir en la comunidad y relacionarse con los demás individuos.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

- **Actividades avanzadas de la vida diaria (AAVD).** Son las más complejas, permitiendo vivir al individuo de un modo totalmente independiente, entre estas se encuentran: viajar, hacer deporte, desarrollar actividades lúdicas,...). Su alteración podría indicar los primeros grados de deterioro de la persona.

Siendo las dos primeras categorías las más frecuentes e importantes que aparecen en la evaluación de la dependencia, en la tabla 2.2 podemos observar algunos ejemplos de actividades identificadas correspondientes tanto a las ABVD como a las AIVD.

Tipo Actividad	Descripción
ABVD	Higiene (aseo, afeitado, cuidado bucal)
	Continencia
	Vestirse
	Comer
	Posibilidad de usar un baño
	Desplazarse (levantarse de un asiento, acostarse y levantarse de la cama)
AIVD	Encontrar y usar recursos (conocer números telefónicos, usar el teléfono,...)
	Preparar comidas (abrir envases, utilizar utensilios de cocina)
	Comprar (visitar tiendas y supermercados, comprar comida o ropa)
	Realizar tareas del hogar
	Gestionar y administrarse la medicación a sí mismo

Tabla 2.2: Ejemplos de ABVD y AIVD

Índice de Barthel

La autonomía en la realización de las ABVD se mide a través del *Índice de Barthel*[10]. Se trata de un cuestionario en el que se puntúa sobre 10 ítems o actividades (comer, lavarse, vestirse, arreglarse, deposición, micción, ir al retrete, trasladarse sillón/cama, deambulación y subir/bajar escaleras), y cuya puntuación total está entre 0 y 100, con intervalos de 5 puntos. Una menor puntuación indica un mayor nivel de dependencia, y a mayor puntuación, más independencia. Además, el Índice de Barthel puede usarse asignando puntuaciones con intervalos de 1 punto entre las categorías (las posibles puntuaciones para las actividades son 0, 1, 2 o 3 puntos), resultando un rango global entre 0 y 20. Como resultado final se distinguen los siguientes niveles de dependencia:

- 0-20: Dependencia total
- 21-60: Dependencia severa
- 61-90: Dependencia moderada
- 91-99. Dependencia escasa
- 100: Independencia

En el anexo A.1 se encuentra el cuestionario completo para la realización de este test. Similar al Índice de Barthel encontramos el *Índice de Katz* [11], que propone dos únicos valores para cada una de las AVD en función de la ayuda recibida en cada una de ellas, pudiendo otorgarse la valoración de dependiente o independiente en cada actividad. Aunque el Índice de Katz no se encuentra tan extendido ni es tan popular como el Índice de Barthel, también conviene citar la existencia de algún test derivado del Índice de Barthel como es el caso. El cuestionario correspondiente a esta prueba se encuentra en el propio anexo A.1.

Escala de Lawton y Brody

Por su parte, para medir la autonomía en la realización de las AIVD se utiliza de manera generalizada la *escala de Lawton y Brody* [12]. En este caso, el cuestionario está focalizado sobre la evaluación de 8 aspectos o actividades:

- Capacidad para usar el teléfono
- Hacer compras
- Preparación de la comida
- Cuidado de la casa
- Lavado de la ropa
- Uso de medios de transporte
- Responsabilidad respecto a la medicación
- Manejo de los asuntos económicos

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

La puntuación de cada uno de los aspectos se otorga conforme a la descripción (de las dadas) que mejor corresponda con el sujeto. Por tanto, cada área puntúa un máximo de 1 punto y un mínimo de 0 puntos. En cuanto a la puntuación final, el máximo nivel de dependencia estaría marcado por la obtención de 0 puntos, mientras que una suma de 8 puntos expresaría una independencia total.

De igual forma, en el anexo A.1 se encuentra el cuestionario de Lawton y Brody al completo.

2.2.3.2. Indicadores funcionales. La marcha y el equilibrio

El estudio de la marcha y el equilibrio en personas de edad avanzada es otro de los aspectos a tener en cuenta para la valoración del estado de fragilidad, en este caso en su componente físico. Por norma general, la aparición de este tipo de escalas surgió para detectar el riesgo de caídas en ancianos. Sin embargo, con el tiempo, algunas de estas escalas permitieron analizar la evolución física del individuo a través de la observación, sobre todo, del ejercicio de marcha. Se observa que con el envejecimiento, la marcha se hace más rígida, envarada y menos flexible disminuyendo la velocidad y la longitud del paso [13]. Algunos de los test más importantes que miden estos aspectos son los siguientes.

Test de Tinetti

El *test de Tinetti*[14] es una prueba ampliamente utilizada para valorar el control postural y las capacidades motoras de las personas ancianas mediante dos comunes y sencillas actividades. Aunque en principio se propuso para su aplicación en entornos geriátricos, también es usado en otro tipo de ámbitos donde se plantean estudios sobre la marcha y equilibrio de adultos ancianos. Este test se divide en dos partes bien diferenciadas:

- **Evaluación de la marcha.** A través de un cuestionario, el médico evalúa distintos aspectos relevantes en la marcha del anciano. Para ello, este debe caminar unos metros (8m aproximadamente) a paso normal, a la vez que es observado activamente por el facultativo o geriatra. La puntuación máxima posible es de 12 puntos, donde cada aspecto evaluado recibe entre 0 y 2 puntos a juicio del profesional. Entre los aspectos evaluados destacan:

- Iniciación de la marcha
 - Longitud y altura del paso (movimiento pie derecho e izquierdo)
 - Simetría del paso
 - Fluidez del paso
 - Trayectoria
 - Balanceo del tronco
 - Postura al caminar
- **Evaluación del equilibrio.** De igual forma, es posible evaluar el equilibrio del paciente aplicando el cuestionario correspondiente aportado por Tinetti. En este caso, la puntuación máxima es de 16 puntos y como ocurre en el caso de la marcha, se valoran diferentes aspectos con puntuaciones entre los 0 y los 2 puntos. En este caso, el paciente anciano permanece sentado en una silla rígida sin apoyar brazos, realizando a continuación las actividades a puntuar:
- Equilibrio sentado
 - Levantarse
 - Intentos para levantarse
 - Equilibrio en bipedestación
 - Empujar (el paciente en bipedestación con el tronco erecto y los pies tan juntos como sea posible). El examinador empuja suavemente en el esternón del paciente con la palma de la mano, tres veces.
 - Estabilidad con los ojos cerrados
 - Vuelta de 360°
 - Sentarse de nuevo en la silla

Al finalizar ambas partes, el examinador suma las puntuaciones obtenidas en cada una para obtener la puntuación total de Tinetti, cuyo valor máximo es de 28 puntos. De lo que se concluye que a mayor puntuación, mejor funcionamiento. Así, la suma de ambas puntuaciones, en principio establece la puntuación para el riesgo de caídas. Si la puntuación total se encuentra por debajo de los 19 puntos el riesgo de caídas sería alto, mientras que si resulta entre 19 y 24, también existe riesgo de caídas, aunque no tan elevado.

Podemos encontrar el test de Tinetti completo en el anexo A.1.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

Get-Up and Go

El test *Get-Up and Go* ('Levántese y camine')[15] es también una prueba para la valoración de la marcha y el equilibrio. Al igual que la prueba anterior se ha usado para la evaluación de caídas, así como parte de un estudio geriátrico integral. En este caso, a diferencia del test de Tinetti, el test *Get-Up and Go* constituye una prueba corta y sencilla por lo que supone de fácil realización por cualquier profesional médico. Sin embargo, es una prueba basada directamente en la observación, favoreciendo la subjetividad de los resultados.

En el desarrollo de la prueba, el examinador observa a la persona anciana, previamente sentada en una silla (sin reposabrazos), de la cual se levanta y camina una distancia aproximada de tres metros, gira, vuelve y permanece de pie. Finalmente, el examinador le pide que se siente nuevamente, sin utilizar los brazos como apoyo. El resultado de este ejercicio es puntuado de 1 punto (lo que se consideraría normal) a 5 puntos (gravemente alterado) según la percepción y el criterio del examinador. Las puntuaciones intermedias se otorgan según aparezcan factores en el ejercicio tales como excesiva lentitud, movimientos anormales de tronco o miembros y posibles tropiezos. Una puntuación final igual o mayor a 3 puntos implica riesgo de caídas en la persona examinada. Si esta persona ha hecho uso de bastón como ayuda, se intentará valorar la prueba con él y sin él. Como se puede observar, aunque sencilla de realizar, esta escala es imprecisa por su subjetividad.

A partir de su creación, se propusieron diversas variaciones de esta prueba. La más conocida es la propuesta por Podsiadlo [16] que incluye la medición del tiempo, denominándolo '*Timed Up and Go*', en la cual se añade la cuantificación en segundos que la persona tarda en realizar las diversas fases del ejercicio. En este caso: menos de 20 segundos, entre 20 y 29, y 30 segundos o más. No obstante, tampoco eliminaba el problema de la subjetividad de manera significativa en sus resultados.

En la figura 2.3 se muestra una visión general de los ejercicios de marcha y *Get-Up and Go*, así como la secuencia de pasos para su realización.

2.2.3.3. Marcadores biológicos y nutricionales

La evaluación biológica/hormonal y nutricional del paciente anciano, son otros de los factores a tener en cuenta en el estudio y tratamiento de la fragilidad.

El conocimiento de los valores clínicos ofrecidos por la toma de muestras, así como la realización de pruebas diagnósticas y complementarias, permite analizar el estado

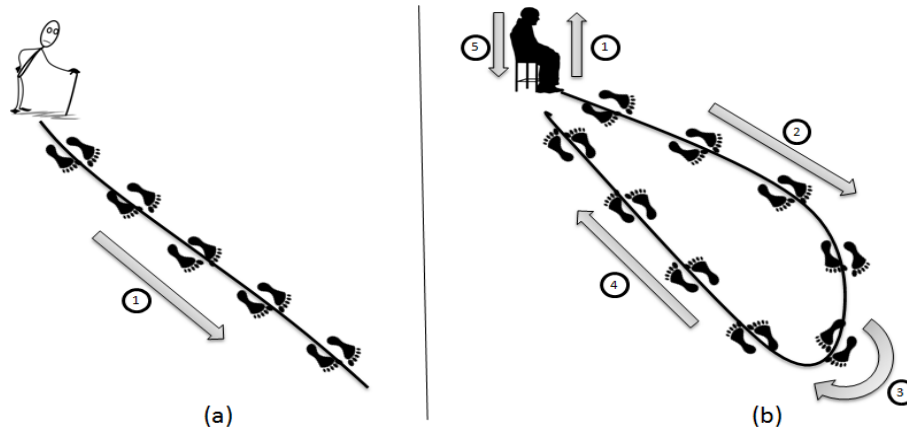


Figura 2.3: Valoración marcha y equilibrio. (a) Tinetti (marcha), (b) Get-Up and Go

del paciente en base a una serie de indicadores biológicos fundamentales. Una vez se realizan las pruebas pertinentes sobre el paciente, los valores de estos indicadores son obtenidos mediante la consecución de diferentes análisis químicos en laboratorios clínicos, proporcionando unos resultados acotados por unos niveles máximos y mínimos, los cuales determinan la normalidad de cada indicador.

En este sentido, la valoración nutricional del paciente en función de los resultados obtenidos en los análisis hematológico y bioquímico conforma otro de los fundamentos de la evaluación integral de la persona anciana y por consiguiente del estado de fragilidad de la misma. Se ha determinado la importancia de un subconjunto de indicadores nutricionales relevantes en el estudio del estado de la fragilidad [17], cuya alteración debe ser tratada, a través de una modificación en los hábitos nutricionales, además del posible tratamiento farmacológico.

Entre los indicadores nutricionales identificados se encuentran los presentados en la tabla 2.3, donde se incluyen los niveles máximo y mínimo entre los cuales debe encontrarse el valor presentado por el indicador, caracterizando su normalidad para la persona mayor.

Indicador	Descripción	Máx. - Min.
Proteínas totales	La determinación de estas se realiza para evaluar la posible presencia de enfermedades nutricionales, estado nutricional tras intervenciones de cirugía, enfermedades del riñón o del hígado, o bien que el cuerpo no absorba bien suficientes proteínas.	6,4 - 8,3 g/dL
Albúmina en suero	Ayuda a determinar si un paciente sufre una enfermedad hepática o renal, o si el cuerpo no está absorbiendo suficiente proteína.	3,4 - 4,8 g/dL

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

Colesterol	La medición de esta sustancia (donde existen varios tipos) determina el funcionamiento de arterias y la influencia de cardiopatías.	50 -240 mg/dL
Triglicéridos	Este tipo de grasa ayuda a calcular el nivel de colesterol LDL. Con ello, se puede determinar el riesgo de cardiopatías, aterosclerosis e inflamación de páncreas. Las personas con triglicéridos altos a menudo padecen otras afecciones como diabetes y obesidad.	50 - 200 mg/dL
Hierro en sangre	La medición de hierro en sangre permite diagnosticar los casos de anemias y desnutriciones entre otras anomalías.	50 - 170 mc/dL
Ferritina	Relacionada directamente con el hierro, se utiliza para evaluar la presencia de una anemia, así como para controlar los depósitos de hierro en la insuficiencia renal crónica.	10 - 120 ng/mL
Vitamina B12	El estudio de sus valores se lleva a cabo cuando otros análisis sugieren la presencia de anemia megaloblástica (anemia con glóbulos rojos mayores de lo normal) que dificulta la absorción de vitamina B12. Niveles bajos de esta vitamina en ancianos pueden indicar la presencia de síntomas neurológicos relacionados con el entumecimiento en miembros, debilidad y pérdida del equilibrio.	211 - 911 pg/ml
Ácido fólico en suero	Con el envejecimiento también pueden verse alteradas las deficiencias en la absorción de ácido fólico, importante en la formación de glóbulos rojos y la producción de ADN, ayudando al crecimiento de los tejidos.	5,38 - 17 ng/mL
Transferrina en suero	Los valores de esta proteína tienen que ver con la capacidad del organismo de transportar el hierro. Sirve para evaluar el estado proteico del paciente y la capacidad del hígado de producir proteínas. Sus alteraciones podrían proceder de: varios tipos de anemia, cirrosis, insuficiencia hepática, enfermedad renal e infecciones crónicas.	202 - 336 mg/dl
Leucocitos	Se trata de medir el porcentaje de glóbulos blancos en sangre. Su estudio se realiza para diagnosticar una infección, anemia y leucemia, e igualmente se utiliza para ver si el tratamiento en cualquiera de estas afecciones está funcionando.	4 - 10 miles/mcL

2.2 Fragilidad en el adulto mayor

Linfocitos	El estudio de la cantidad de linfocitos (T y B) se suele llevar a cabo si el paciente presenta signos de ciertas enfermedades que debilitan el sistema inmunitario. También suele ser utilizado para diferenciar entre enfermedades cancerosas y no cancerosas, así como para determinar el funcionamiento del tratamiento para ciertas afecciones.	1,5 - 7 miles/mcL
Hemoglobina	El examen de hemoglobina casi siempre se realiza como parte de un Conteo Sanguíneo Completo (CSC). Los resultados de este CSC pueden reflejar problemas con el volumen de líquidos (como deshidratación) o pérdida de sangre, así como ayudar en el diagnóstico de infecciones, alergias y problemas de coagulación sanguínea.	12 - 16 g/dL
Calcio	El análisis del calcio en sangre puede ofrecer información acerca de signos o síntomas de ciertas enfermedades óseas, enfermedades renales, trastornos de la glándula paratiroides, enfermedades hepáticas y trastornos que afectan la forma como los intestinos absorben los nutrientes.	g/dL

Tabla 2.3: Indicadores nutricionales relevantes

Normalmente, se deben tener en cuenta la relación entre los valores de los indicadores de la tabla 2.3 para el posible diagnóstico y tratamiento de patologías y enfermedades asociadas. En el anexo A.2 se expone un ejemplo de los análisis de laboratorio utilizados para la obtención de los indicadores mencionados de un paciente concreto.

2.2.3.4. Indicadores cognitivos

Otro de los componentes importantes a tener en cuenta en la detección y estudio de la fragilidad en personas mayores de 65 años es el relativo al estado cognitivo del paciente. El deterioro mental e intelectual de una persona mayor hace que se vean alteradas sus capacidades vitales y por consiguiente su modo de vida. En este caso, la pérdida de la función cerebral, y que afecta a la memoria, puede conducir a un estado de demencia causando un trastorno en funciones tales como el pensamiento, el lenguaje, el juicio y el comportamiento.

Para la evaluación del estado cognitivo del paciente anciano de manera formalizada, el facultativo utiliza diferentes pruebas basadas en cuestionarios estandarizados, que ofrecen como resultado una puntuación directamente relacionada con el grado de alteración mental. A continuación se presentan los dos tests utilizados en este trabajo, y cuyos resultados forman parte del análisis integral de la persona anciana.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

Mini-Mental State Examination (MMS)

Esta prueba [18] constituye uno de los métodos más conocidos para la detección y seguimiento del deterioro intelectual en personas ancianas. Su práctica es sencilla, rápida y común en el entorno geriátrico, ya que su aplicación no suele llevar más de 8 minutos, permitiendo una evaluación rápida sobre el deterioro cognitivo del paciente. Sin embargo, es algo superflua, y no permite conocer el dominio ni la causa en la alteración cognitiva en profundidad. De igual forma, es una prueba que puede excluir a pacientes con deficiencias visuales, auditivas y formativas (analfabetos), debido a su naturaleza verbal y escrita.

Aunque en la actualidad existen diversas adaptaciones, el test MMS originalmente planteado es un cuestionario general de 11 preguntas sobre un total de 30 puntos, centrado en el estudio de 5 ámbitos cognitivos: orientación, retención, atención/cálculo y memoria/lenguaje. El resultado obtenido es interpretable según la puntuación obtenida:

- Resultado mayor a 27: Se considera dentro de la normalidad.
- Resultado menor a 24: Sugiere la existencia de una demencia,
 - Resultado entre 21 y 23: Demencia leve.
 - Resultado entre 11 y 20: Demencia moderada.
 - Resultado menor o igual a 10: Demencia severa.

En el anexo A.1 se encuentra el cuestionario del test MMS al completo.

Escala de incapacidad de la Cruz Roja

Esta escala [19], desarrollada en el Hospital Central de la Cruz Roja en Madrid, es aplicada tanto por facultativos como por terapeutas debido a su facilidad de aplicación. A partir de ahora, nos referiremos a ella como Protocolo de la Cruz Roja (CRP) (no debemos confundirla con el test de la proteína C-Reactiva que toma las mismas siglas).

Este test es usado habitualmente en los centros geriátricos de España, y se compone de dos subescalas: física y mental. Ambas se califican en forma de estadios o grados de incapacidad, desde el 0 (normalidad) hasta el 5 (máximo grado de deterioro). Centrándonos en la subescala mental (incluida en el anexo A.1), se definen los siguientes grados:

- *Grado 0*: Completamente normal.

- *Grado 1:* Presenta trastornos de la memoria, pero puede mantener una conversación normal.
- *Grado 2:* Ciertas alteraciones de la memoria, y a veces de la orientación. La conversación razonada es posible pero imperfecta. Trastornos del carácter. Algunas dificultades en el autocuidado. Incontinencia ocasional.
- *Grado 3:* Alteraciones graves de memoria y orientación. Imposible mantener una conversación coherente. Trastornos evidentes del comportamiento. Graves dificultades para el autocuidado. Incontinencia frecuente.
- *Grado 4:* Desorientación completa. Claras alteraciones mentales, ya etiquetadas de demencia. Incontinencia habitual.
- *Grado 5:* Demencia avanzada. Vida vegetativa con o sin episodios de agitación. Incontinencia total.

2.2.3.5. Marcadores antropométricos

El análisis antropométrico permite conocer determinados valores relativos a la composición corporal y a las características anatómicas del individuo. La evaluación de los parámetros antropométricos está íntimamente relacionada con la valoración nutricional y en la mayoría de las ocasiones ambas son complementarias.

En la actualidad existen multitud de herramientas no invasivas para obtener todas las medidas antropométricas que se pudieran necesitar. Un ejemplo de ello, pueden ser las básculas de impedancia bioeléctrica como por ejemplo la *Tanita TBF-300*¹.

La tabla 2.4 muestra todas las variables antropométricas consideradas de valor para el análisis del estado de fragilidad, en dónde la mayoría fueron obtenidas con la báscula anteriormente citada.

Parámetro	Descripción
Talla	Estatura del individuo en centímetros
Peso	Peso del individuo en Kilogramos
Índice masa corporal	Índice de Masa Corporal o BMI (IMC). Medido en Kg/m^2
Masa corporal	Masa corporal del individuo, medido en Kcal
Masa grasa	Porcentaje de masa grasa en el individuo
Masa magra	Medida en Kg, representa la masa corporal libre de grasa en el individuo
Agua total	Cantidad en Kg de agua corporal total del individuo

Tabla 2.4: Parámetros antropométricos relevantes de un individuo

¹<http://www.tanita.com/en/tbf-300a/>

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

2.2.3.6. Síndromes geriátricos y patologías

La ausencia o aparición de enfermedades y/o patologías en una persona mayor, es un hecho determinante a la hora de valorar su estado de fragilidad y pre-fragilidad. Según los perfiles de ancianos vistos en el apartado 2.2.1.2, una persona anciana puede pasar de un tipo a otro en función de la existencia o no de una o varias de estas patologías/enfermedades. En este sentido, el componente funcional es un factor de marcada influencia en la aparición de los primeros síntomas de fragilidad en los considerados adultos sanos. Un ejemplo de ello, son las fracturas óseas producidas por caídas repentinas o el desarrollo de la osteoporosis, entre otras causas, y que pueden afectar a la realización de las actividades cotidianas del paciente [20].

Por otra parte, el estilo de vida de la persona, así como su estado emocional y social, son otros factores a tener en cuenta en la evaluación de la fragilidad. Aunque no sean tan claramente cuantificables como los estudiados con anterioridad, es necesario su conocimiento para un mejor diagnóstico y tratamiento del paciente. Entre los aspectos generales del ámbito social destacan: las condiciones de vivienda, convivencia, atención recibida, ingresos económicos y régimen de vida, área geográfica, relaciones con los demás individuos, religión e ideología [21][22].

Realizar una valoración integral de la persona anciana teniendo en cuenta la totalidad de componentes de los que depende el estado de fragilidad constituye el marco ideal para el seguimiento completo del paciente. Sin embargo, es una tarea compleja que en la mayoría de las ocasiones no se lleva a cabo de forma conveniente. En la figura 2.4 se muestra un gráfico con los parámetros a evaluar en una evaluación integral de la condición del paciente anciano.

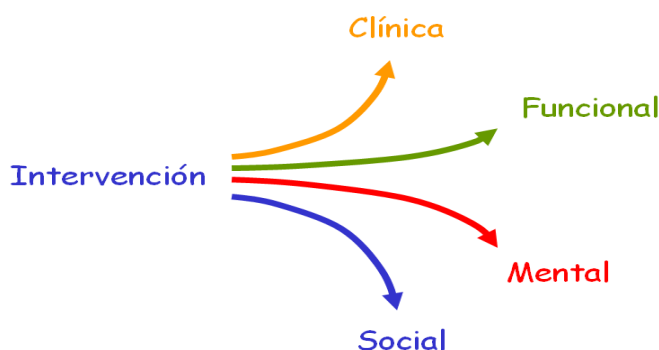


Figura 2.4: Componentes de la intervención integral

En este sentido, algunos autores proponen sistemas de valoración que integran la evaluación de diferentes aspectos de cada componente anterior con la intención de otorgar una medida general del estado del paciente. El *Sistema de Evaluación de Síntomas de Edmonton* [23], por citar alguno de los más interesantes, es uno de los sistemas

más utilizados que engloban distintos aspectos de estos componentes, incluyendo la evaluación de los siguientes síntomas: dolor, cansancio, falta de aire, náuseas, depresión, ansiedad, bienestar, somnolencia, falta de apetito e insomnio. En este caso, es importante tener en cuenta que la interpretación debe ser realizada en el contexto de la evaluación multidimensional, la expresión de un síntoma es la resultante de variables físicas, psicosociales, espirituales y existenciales.

2.2.3.7. Aclaraciones y conclusiones

Como hemos podido observar a lo largo del presente apartado, la evaluación del estado de fragilidad en su conjunto, se realiza en base a la aplicación de diferentes pruebas en forma de tests y escalas que tratan de evaluar diversos aspectos de cada componente asociado a la fragilidad. En este sentido, se han identificado las pruebas seleccionadas como las más importantes y utilizadas en el ámbito geriátrico. Sin embargo, es necesario destacar la existencia de otros muchos tests y escalas aplicados para la evaluación de multitud de factores de los distintos componentes mencionados, así como adaptaciones a estas pruebas, realizadas en función de distintas necesidades requeridas por centros y profesionales. En este sentido, la escala Edmonton de fragilidad [23], reúne los principales items de valoración procedentes de otras escalas en un único test. No se encuentra en el alcance definido para esta tesis profundizar más en este tipo de pruebas, considerando suficientes, gracias al análisis del estado del arte y mediante consulta a expertos, las desarrolladas con anterioridad.

Por otra parte, destacar que todos los tests existentes de los que se pueden extraer conclusiones relacionadas con el estado de fragilidad, tienen su importancia, en mayor o menor medida, de forma transversal en la valoración de la fragilidad. De hecho, se ha pretendido construir este apartado prestando especial interés en la importancia y relevancia de cada test aplicado en el estudio de la fragilidad. Aún así, se ha comprobado que la aplicación de estos tests bajo la supervisión del facultativo, no garantiza la objetividad completa en la valoración del paciente, hecho que persigue, en parte, la presente tesis doctoral.

2.3. Computación Móvil e Inclusión

La Computación Móvil se define como el uso de diferentes dispositivos y equipos *hardware* computacionales capaces de operar y transmitir información sin la necesidad de estar conectados físicamente a una red. La aparición y posterior generalización de dispositivos móviles y nuevas tecnologías inalámbricas han contribuido al desarrollo

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

de este concepto. Entre las características más destacadas de la Computación Móvil, se encuentran las siguientes [24]:

- **Movilidad.** Relacionado con la portabilidad, indica la capacidad de los usuarios de llevar un dispositivo móvil a cualquier parte, y que este pueda iniciar procesos computacionales, entre los que se encuentran la comunicación y transferencia de información con otros dispositivos, a petición del usuario.
- **Amplio alcance.** Es la característica que describe la accesibilidad de las personas a los servicios proporcionados por los dispositivos móviles, entre los que destaca la localización en cualquier momento.
- **Ubicuidad.** Se refiere a la capacidad de estar disponible en cualquier lugar y en cualquier momento para satisfacer las necesidades demandadas por el usuario. El teléfono móvil es el dispositivo más conocido en este aspecto.
- **Comodidad.** Es muy conveniente para los usuarios operar en un entorno inalámbrico.
- **Conectividad instantánea.** Los dispositivos móviles permiten a los usuarios conectarse de manera sencilla y rápida a la web, bases de datos y otros dispositivos, para la obtención de servicios de forma sencilla y directa.
- **Personalización.** Se refiere a la personalización de la información para los consumidores individuales.
- **Localización de productos y servicios.** Al igual que la localización de usuarios, se pueden ofrecer productos y servicios basados en la ubicación del dispositivo.

El concepto de Computación Móvil está estrechamente relacionado con el paradigma de la Computación Ubicua, el cual será desarrollado en el apartado 2.3.1.

Por otra parte, la Inclusión desde el punto de vista tecnológico, supone la integración de nuevas tecnologías en distintos ámbitos de la vida cotidiana de las personas. Esta integración pretende acercar la tecnología a los usuarios de la forma más natural, sencilla y transparente posible, teniendo en cuenta los recursos de los que se dispone. En el ámbito de la salud, el uso de nuevas tecnologías permiten solventar necesidades en procedimientos de telemedicina, monitorización de pacientes, servicios de localización, respuesta inteligente en urgencias y acceso a la historia clínica del paciente, entre otros [25]. Hecho que veremos más detalladamente en el apartado 2.3.2.

A continuación, se presentan dos paradigmas fundamentales que determinan la comprensión y evolución de la Computación Móvil y la Inclusión en los distintos ámbitos de la sociedad.

2.3.1. Inteligencia Ambiental y Computación Ubicua

La Inteligencia Ambiental y la Computación Ubicua son dos paradigmas estrechamente relacionados, hasta el punto de que algunos autores los consideran sinónimos de la misma visión general [26]. Sin embargo, podría decirse que la Computación Ubicua conforma uno de los pilares de la Inteligencia Ambiental [27] junto con las Interfaces Naturales [28] y las Comunicaciones Ubicuas [29].

Aunando los conceptos de Inteligencia Ambiental (AmI) y Computación Ubicua, y una vez se dispone de los medios y la tecnología apropiada, nace la idea de mejorar distintos aspectos de la vida cotidiana aprovechando las investigaciones y avances realizados en este amplio campo hasta la fecha. En estos últimos años, la Computación Ubicua ha experimentado un gran impulso en parte por el auge de la Computación Móvil y las comunicaciones inalámbricas, y aunque en un primer momento no se preveía [27], la Computación Móvil ha llegado a conformar una firme herramienta para complementar y/o satisfacer ciertas necesidades de la vida cotidiana tal y como propone la Computación Ubicua y la Inteligencia Ambiental.

La AmI se define como el paradigma de las tecnologías de la información en el cual las personas se encuentran inmersas en un entorno consciente de su presencia, sensible al contexto y adaptado a sus necesidades, hábitos y emociones [30]. Desde las últimas dos décadas hasta la actualidad se ha pretendido estudiar el concepto de AmI de forma detallada, analizando y esperando su aplicación de manera eficaz en la vida diaria de las personas. Nijholt [31] afirma que *“La AmI está formada por la Computación Ubicua + interfaces inteligentes y sociales que permiten la interacción social”*. En este aspecto, la búsqueda de nuevas formas simples y naturales de interacción de los usuarios con los dispositivos computacionales existentes en un entorno determinado, ha supuesto la principal línea de investigación desprendida de este paradigma. En este sentido, Norman [32] propone que *“el diseño de aplicaciones debe satisfacer la tarea de forma que la herramienta se convierta en parte de esa tarea”*. La aparición de nuevas tecnologías embebidas e integradas permite la aplicación de este enfoque.

Cualquier sistema basado en el paradigma de la Inteligencia Ambiental, debe poseer las siguientes características [33]:

- **Discreción.** Los dispositivos deben ser 'invisibles' física y/o psicológicamente.
- **Personalización.** Deben reaccionar de forma acorde con el entorno particular de cada usuario.
- **Adaptabilidad.** Deben modificar el entorno en función de la información y del usuario.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

- **Pro-actividad.** Deben prever la mayor cantidad de procesos posibles en el entorno.

Desde el punto de vista práctico y tecnológico de la AmI, debemos considerar cuatro componentes esenciales a tener en cuenta por este tipo de sistemas [30]. Estos componentes agrupan una serie de elementos, los cuales podemos ver en la figura 2.5.

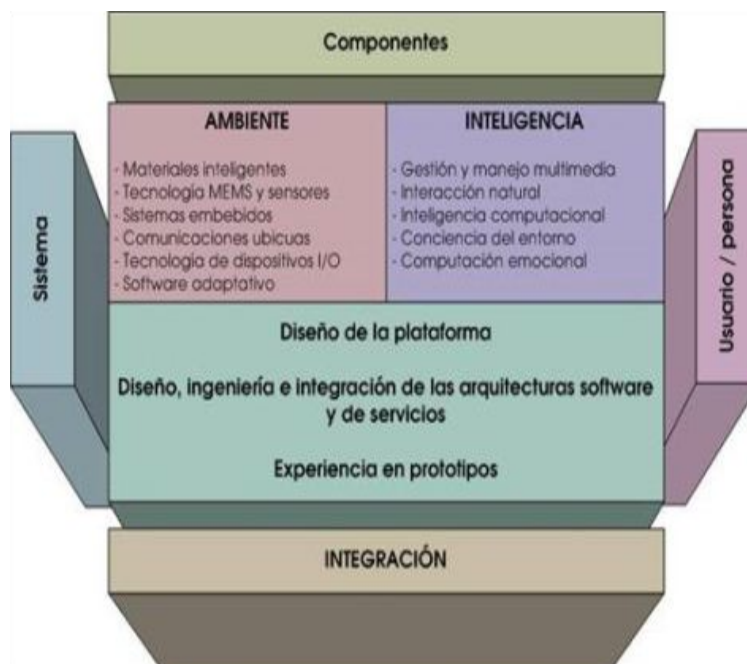


Figura 2.5: Componentes y elementos tecnológicos de la Inteligencia Ambiental

De los elementos relacionados con el concepto de *Ambiente*, cabe destacar la tecnología Microelectromechanical systems (MEMS) y sensores, sistemas embebidos y comunicaciones ubicuas, y de la *Inteligencia* prestaremos atención a la interacción natural, la inteligencia computacional y la consciencia del entorno, por considerarlos de especial relevancia en el desarrollo de esta tesis, junto con el diseño de la arquitectura y el prototipado.

Por su parte, el paradigma de la Computación Ubicua, propuesto por Weiser [34] supone la integración de la informática en el entorno del usuario, de forma que los dispositivos computacionales existentes no se perciban como objetos diferenciados. A raíz de esto, surgen numerosos trabajos y conceptos relacionados con la Computación Ubicua, dónde el más claro ejemplo de ello es la denominada Computación Pervasiva [35]. En este caso, varios autores como Mark en [36], mantienen una distinción entre ambos conceptos, debido a que en principio el planteamiento de Weiser no involucra las

interacciones entre elementos computacionales tal y como lo plantea la Computación Pervasiva. Aún así, en nuestro caso, no haremos tal distinción.

Conociendo ambos paradigmas de forma general podríamos decir que la diferencia más importante entre la Aml y la Computación Ubicua radica en la orientación usuario/tecnología [37], donde en la primera el usuario toma mayor relevancia, mientras que en la Computación Ubicua aparece una clara orientación hacia la tecnología, tal y como se muestra en la tabla 2.5.

	Enfoque	Orientación	Base Industrial
Inteligencia Ambiental	Usuario en su ambiente	Usuario	Telecomunicaciones, electrónica de consumo, aeroespacial, sistemas embebidos
Computación Ubicua - Pervasiva	Siguiente generación de tecnología computacional	Tecnología	Proveedores de tecnología computacional de objetivo general

Tabla 2.5: Diferencias entre Aml y Computación Ubicua [37]

2.3.2. Healthcare

El término *Healthcare* está vinculado a la asistencia médica y a la atención sanitaria. Constituye el campo profesional que se ocupa del mantenimiento o restablecimiento de la salud de las personas, utilizando para ello una serie de procedimientos, métodos y recursos necesarios [38]. Dicho concepto procede de las palabras *Health* y *Care* que en castellano se corresponden con salud y cuidados respectivamente.

La integración de nuevas tecnologías en el ámbito de la salud ha dado lugar a un nuevo concepto denominado *e-Health*. El crecimiento de las Tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y su incorporación en estos entornos ha supuesto una verdadera revolución: sistemas de tele-medicina, monitorización de pacientes, servicios de localización, acceso a historiales y respuesta inteligente en urgencias, suponen algunos de los esfuerzos invertidos [25]. Roy Want [39], pone de manifiesto si en verdad las computadoras trabajan de forma eficiente en los entornos hospitalarios; además de argumentar que la visión de Weiser trasladada a estos entornos no ha tenido el éxito esperado. De forma que podríamos hablar de cierto grado de frustración al respecto.

Es importante destacar que el manejo de información en entornos hospitalarios supone un 20 % del tiempo total del personal sanitario, tal y como plantea Favela en [40]. Este hecho, resta tiempo al profesional en el cuidado directo del paciente, ocasionando cierta pérdida de contacto con el mismo. En la figura 2.6, se exponen los resultados del

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

tiempo diario dedicado por el personal sanitario a cada una de las actividades primarias propuestas según este estudio.

Primary Activity (Time per day per subject)	Nurses	Medical interns	Physicians	Percent and (time) of total average
	% and (time) average	% and (time) average	% and (time) average	
Information Management	16.55 (1:18:08)	27.32 (1:50:00)	16.64 (0:58:32)	20.17 (01:22:1)
Clinical case assessment	4.72 (00:22:18)	16.41 (01:06:04)	36.64 (02:08:54)	19.26 (01:12:25)
Coordination	8.85 (00:41:48)	17.45 (01:10:15)	22.32 (01:18:31)	16.21 (01:03:31)
Patient Care	28.41 (2:14:08)	6.95 (0:27:59)	8.70 (0:30:37)	14.69 (01:04:15)
Personal activities	13.52 (01:3:49)	19.97 (01:20:24)	12.08 (00:42:30)	15.19 (01:02:14)
Preparation	25.58 (02:00:48)	0.00 (00:00:00)	0.00 (00:00:00)	8.53 (00:40:16)
Tracking	1.16 (00:05:42)	4.49 (00:18:04)	2.86 (00:10:04)	2.84 (00:11:13)
Classes and Certification	1.21 (00:05:42)	5.57 (00:22:25)	0.00 (00:00:00)	2.26 (00:09:22)
Unknown	0.00 (00:00:00)	1.86 (00:07:30)	0.75 (00:02:39)	0.87 (00:03:23)

Figura 2.6: Porcentajes de tiempo sobre actividades y perfiles hospitalarios

Reducir el posible esfuerzo de adaptabilidad tecnológica entre el personal sanitario puede aliviar esta problemática. En este sentido, los mecanismos de interacción y, tratamiento y visualización de la información, son dos vías clave para garantizar el éxito de las soluciones planteadas en este tipo de entornos. La Computación Móvil se muestra como un claro ejemplo de disciplina capaz de conseguirlo, y más aún teniendo en cuenta la heterogeneidad y movilidad existente en estos escenarios.

Relacionado con el concepto de *Healthcare*, la asistencia en el hogar (AAL), sobre todo a personas de edad avanzadas que viven solas, de forma autónoma, es otra de las líneas a tener en cuenta en el cuidado de las personas, especialmente de personas dependientes y/o ancianas.

2.3.2.1. Ambient Assisted Living. Visión general y perspectiva

Fuchsberger[41] expone la importancia de mejorar el día a día de las personas mayores y/o dependientes que viven solas en sus hogares, y cómo nuevas tecnologías y sistemas pueden contribuir a ello. Por esto, es de vital importancia contar con los

medios necesarios para que las personas mayores se sientan autónomas y dependientes en sus actividades de la vida diaria (ver apartado 2.2.3.1). La aplicación de la AmI al entorno del hogar permite cubrir las necesidades de aquellas personas mayores que lo necesiten.

AAL parte como una línea de investigación derivada del concepto de *Healthcare* para la propuesta de soluciones tecnológicas con la finalidad de ayudar a personas ancianas que viven solas en el hogar, a mantener su autonomía, incrementando su calidad de vida y facilitando la consecución de sus actividades diarias. La importancia de esta tendencia se pone de manifiesto en el **programa europeo de AAL** [42], cuyo objetivo es mejorar la calidad de vida de estas personas mayores y reforzar la base industrial en el continente europeo mediante el uso de las TIC. El envejecimiento de la población europea y el constante crecimiento de la misma, suponen la principal motivación de este programa.

El concepto de AAL comprende los siguientes objetivos:

- Incrementar el tiempo que las personas pueden vivir en su entorno, aumentando su autonomía, confianza en sí mismo y movilidad.
- Intentar mantener la salud y la capacidad funcional de las personas de edad avanzada.
- Promover un estilo de vida mejor y más saludable para las personas con más riesgo de sufrir enfermedades y patologías.
- Mejorar la seguridad, evitando un aislamiento social, y apoyar el desarrollo de una red multifuncional alrededor del individuo.
- Apoyar a cuidadores, familias y organizaciones para favorecer la atención de nuestros mayores.
- Aumentar la eficiencia y productividad de los recursos utilizados en sociedades con alta tasa de envejecimiento.

En la actualidad, la comisión AAL está formada por 20 países miembros de la comunidad europea, permitiendo fomentar el desarrollo de iniciativas para facilitar la ejecución de los objetivos anteriores entre los años 2008 y 2013. Mediante la difusión de diferentes convocatorias, esta comisión europea propone el desarrollo de soluciones, donde prima la innovación, y marcos de investigación englobados en los dominios y temas que despiertan mayor interés en cada momento. Cabe destacar, en este sentido, la cuarta convocatoria correspondiente al año **2011**, dónde el principal dominio propuesto estaba relacionado con las soluciones y los progresos relativos a la **Movilidad** de las personas mayores. En este sentido, la presente tesis doctoral cobra especial

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

relevancia, donde el estudio del estado de fragilidad pasa por la valoración de diversos factores entre los que destaca el aspecto físico y funcional, apoyado por el uso de nuevas tecnologías embebidas en dispositivos móviles de nueva generación. En cuanto a la convocatoria del Programa en el año **2012**, esta se dirigía a promover las soluciones desarrolladas en el dominio '**Home Care**' relacionado con los cuidados en el hogar. El estudio de la fragilidad, así como una posible monitorización de las AVD, pone de manifiesto nuevamente la importancia del presente trabajo.

El uso de dispositivos móviles en el ámbito de la salud y AAL se está extendiendo de forma generalizada en los últimos años. De ahí que se hayan creado nuevas líneas y conceptos como el de Mobile Health (mHealth).

2.3.2.2. Mobile Health (*mHealth*)

De forma general, el término de mHealth se define como la aplicación de la Computación Móvil en el ámbito de la salud, haciendo uso de teléfonos móviles, PDAs, dispositivos de monitorización y otros dispositivos inalámbricos. La mHealth constituye un campo emergente, así como un componente de la *e-Healthcare* [43], cuyo nacimiento estaba enfocado a satisfacer diversas deficiencias médicas y tecnológicas en países subdesarrollados. La capacidad de comunicación inalámbrica de estos dispositivos permite obtener información médica sin necesidad de establecer conexiones físicas, siendo esta una de las primeras ventajas observadas, a lo que se añadirían otras muchas posteriormente [44].

Tanto pacientes como personal sanitario pueden obtener servicios y realizar tareas mediante el uso de dispositivos móviles. En este sentido, la telefonía móvil y más concretamente el teléfono móvil se posiciona como el dispositivo más idóneo para satisfacer estas necesidades debido en gran parte a su generalización.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) está llevando a cabo diversos estudios y pruebas piloto con el fin de analizar la respuesta de proyectos mHealth en distintos países. De la totalidad de los países miembros que conforman la OMS, 112 (un 58%) respondieron con éxito a esta llamada. En la figura 2.7 se muestra un gráfico con los países involucrados.

El constante crecimiento de teléfonos móviles entre la población, así como el aumento de prestaciones que albergan de una generación a otra, lo convierten en un dispositivo extremadamente versátil y propicio para el desempeño de las tareas diarias en un entorno sanitario. De hecho, las últimas investigaciones proponen una evolución de mHealth hacia lo que varios autores denominan *Smart Health* [45], impulsado entre otros factores por ese crecimiento de prestaciones en los dispositivos, tal y como se ha mencionado anteriormente, recordando que, aunque las ventajas de este tipo de dispo-

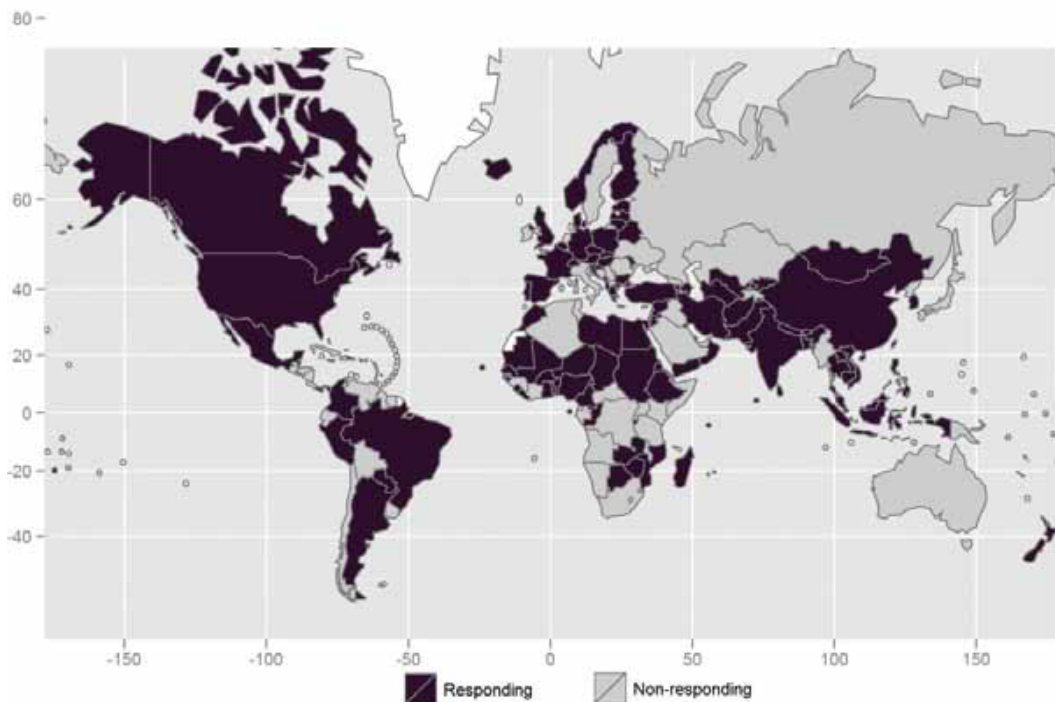


Figura 2.7: Respuesta de los países miembros de la OMS a proyectos mHealth [43].

sitivos son evidentes, existen aún algunas características, a fecha del presente trabajo, que deben mejorarse en los próximos años, como puede ser su autonomía.

2.3.2.3. Aplicaciones para *Healthcare*

El tipo de aplicaciones y/o sistemas desplegados en un entorno sanitario, dependerá de los recursos existentes en dicho escenario. Si se cuenta con la tecnología, hospitales, médicos, infraestructura de comunicaciones y capacidad necesaria, se podrá desplegar cualquier tipo de desarrollo. Teniendo en cuenta estas premisas, y a modo de ejemplo, a continuación se exponen diferentes tipos de aplicaciones móviles en entornos Healthcare:

- *Adquisición y análisis de datos.* Los resultados de ciertas pruebas médicas, así como las historias médicas de los pacientes pueden estar disponibles en el dispositivo, en cualquier momento y lugar. El análisis de los datos puede incluir la detección de anomalías, activándose diferentes alertas o protocolos de actuación.
- *Monitorización permanente.* La monitorización de valores procedentes de constantes vitales en enfermos crónicos es muy importante. Los resultados de monitorización pueden ser transmitidos a un centro de control desde el dispositivo

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

móvil de manera automatizada. Si se produjese alguna anomalía, se desplegarían servicios de localización GPS.

- *Control de medicación.* Una parte de la población adulta mayor, necesita de la toma de varios medicamentos a lo largo del día. En estos casos, se plantean sistemas capaces de ayudar a la persona a realizar esta tarea ofreciendo información al respecto, incluyendo precauciones, así como funciones de alertas a modo de recordatorios.
- *Mejoras asistenciales.* Con el fin de mejorar la asistencia sanitaria y controlar de forma sencilla las tareas a realizar por el personal sanitario a sus pacientes, se pueden desarrollar sistemas que reduzcan las gestiones y el trabajo en papel, incrementando el tiempo que se pasa con el paciente, tal y como demandaba Favela en [40].

Estudios como el de Mann [46] ponen de manifiesto la importancia de la computación móvil y más concretamente el uso de teléfonos móviles por personas ancianas en su día a día. En este trabajo, los autores realizan un análisis de la aportación del teléfono móvil sobre un grupo de 665 ancianos a través de diferentes cuestionarios, evaluándose características como: satisfacción, importancia, frecuencia de uso, métodos de aprendizaje, barreras en su uso, conocimiento sobre el dispositivo, formas de utilizarlo para la cobertura de necesidades, etc. Los resultados obtenidos fueron cuanto menos curiosos: el 87 % usaban su teléfono móvil para emergencias, 1 de cada 3 ancianos lo utilizaba diariamente, el 50 % mejorarían diferentes aspectos relacionados con el diseño así como con la pantalla del dispositivo (29 %), su tamaño (24 %), y reducirían la complejidad de los teléfonos móviles actuales.

Estos son solo algunos ejemplos de la importancia que adquiere la Computación Móvil en ambientes asistenciales y hospitalarios. En el apartado 3.3, se presentan detalladamente diversos trabajos relacionados con el despliegue de dispositivos móviles en entornos *Healthcare*.

2.4. Estudio del movimiento humano y de la actividad física

2.4.1. Evolución histórica

El estudio del movimiento humano proviene de la Cinesiología que es la ciencia que lo estudia. El concepto de Cinesiología deriva de los términos griegos '*kinein*' (mover) y '*logos*' (estudiar). Ya en el año 384-322 a.C., Aristóteles, como padre de esta ciencia, describe por primera vez las acciones de músculos corporales y su movimiento, en su tratado '*Partes de los Animales, Movimiento de los Animales y Progresión de los*

2.4 Estudio del movimiento humano y de la actividad física

Animales'. Multitud de autores destacan a lo largo de la historia: *Arquímedes* (287-212 a.C.), *Galeno* (137-201 d.C.), *Vesalio* (1514-1564), *Galileo Galilei* (1564-1643), *Borelli* (1608-1679), *Newton* (1642-1727) y *Fischer* (1861-1917), entre otros.

Más recientemente, destaca Steindler [47], quien define la cinesiología como *'la ciencia que estudia el movimiento en sus relaciones con la acción de las fuerzas mecánicas que lo producen'*. Y según Luttgens y Wells [48], *'la cinesiología es el estudio de los movimientos humanos desde el punto de vista de las ciencias físicas'*. No obstante, los estudios sobre el movimiento humano no deben limitarse al mero análisis mecánico del movimiento, estableciendo cinco líneas procedentes de la cinesiología[49]:

1. **Cinesiología morfológica y funcional.** Relativa a las interrelaciones entre la forma y la función del cuerpo humano.
2. **Fisiología del ejercicio.** Estudia la correlación entre la Cinesiología y las ciencias básicas como la Fisiología y la Bioquímica.
3. **Biomecánica.** La investigación del movimiento humano por medio de los conceptos de la Física y la Ingeniería.
4. **Cinesiología del desarrollo.** La relación de la Cinesiología con el crecimiento, desarrollo físico, nutrición, envejecimiento y aspectos similares.
5. **Cinesiología psicológica.** Referente al estudio de las reciprocidades del movimiento y su significado, por ejemplo, en sus relaciones con la imagen corporal, expresión estética, comunicación cultural, personalidad y motivación.

La evolución alcanzada en este sentido en las últimas décadas, obedece a su progresiva y amplia aplicación en diferentes ámbitos (médico, deportivo, ocupacional, profesional, etc.) destacando entre ellos el relacionado con la medicina física y la rehabilitación. En este sentido, la mejora de la salud y la calidad de vida de las personas, se han posicionado como dos factores fundamentales para el desarrollo de futuras soluciones científicas. Dicha evolución también se hace patente con la creación y perfeccionamiento de diferentes mecanismos e instrumentos de medida para su uso en el estudio del movimiento humano. Cabe destacar la invención del ergógrafo¹ por Angelo Mosso (1843-1910), así como los avances registrados durante la Segunda Guerra Mundial, donde se mejoran diferentes aparatos de medida del movimiento y se crean otros muchos.

En la actualidad, se usan diversos dispositivos y tecnologías dependiendo del tipo de análisis del movimiento que se pretende realizar:

¹http://www.portalesmedicos.com/diccionario_medico/index.php/Ergografo

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

- *Análisis cinético*: plataformas dinamométricas, plantillas instrumentadas, podómetros electrónicos, etc.
- *Cinemático*: electrogoniometría, la acelerometría, estéreo-fotogrametría, cinematografía, técnicas cinerradiográficas, etc.
- *Fisiológico*: electromiografía dinámica, consumo energético.
- *Antropométrico*: antropómetro electrónico, bioestereometría, estereofotogrametría, escáner con rayos gamma, tomografía axial, resonancia magnética.

Las técnicas y métodos de tratamiento de datos basados en tecnologías informáticas tienen una corta edad, pero sin ellos no hubiera sido posible abordar los problemas de cálculo en que actualmente se basa la metodología cinesiología. Uno de los campos más importantes y prácticos del estudio del movimiento, es el relativo a la acelerometría.

2.4.2. Mecanismos Sensoriales. Acelerometría

En este apartado, focalizaremos nuestra atención sobre el concepto de acelerometría. Podríamos decir que la acelerometría es el conjunto de técnicas y tecnologías aplicadas para el estudio del movimiento mediante el uso de dispositivos acelerómetros.

Se denomina acelerómetro a cualquier instrumento dedicado a la medición de las aceleraciones y las fuerzas inducidas por la gravedad. Por su parte, la aceleración se define como una magnitud vectorial con módulo y dirección procedente de la ciencias físicas, cuya variación nos permite detectar, de forma general: vibraciones, inclinaciones, impactos y movimientos de un cuerpo u objeto. La aceleración de un cuerpo tiene como unidad de medida $\frac{m}{sg^2}$ [50], siendo la aceleración de la gravedad una medida fundamental en la acelerometría. La aceleración de la gravedad es el tipo de aceleración que experimenta un objeto en relación a otro objeto cercano de carácter astronómico, debido precisamente al fenómeno de la gravedad[51]. El valor de esa aceleración en nuestro planeta es de aproximadamente $9,8 \frac{m}{sg^2}$.

La evolución tecnológica ha propiciado, a su vez, la evolución de los dispositivos acelerómetros y sus múltiples especificaciones técnicas. Teniendo en cuenta esto, la principal característica de estos sensores, es el carácter de salida de los datos obtenidos del mundo exterior, distinguiéndose entre analógicos y digitales, determinado por el propio hardware del acelerómetro. Un acelerómetro digital permite definir la frecuencia de tiempo con la que se observan las salidas aportadas por el sensor, convirtiéndose en el tipo de acelerómetro más habitual y utilizado. Por otra parte, dependiendo del

2.4 Estudio del movimiento humano y de la actividad física

proceso de percepción de cambios en la aceleración, los acelerómetros se clasifican en capacitativos, piezoelectrónicos, piezoresistivos, de efecto hall, magnetoresistivos y por transferencia de calor [52]. Aunque conviene conocer su existencia, no profundizaremos sobre cada uno de ellos por considerarlo fuera del alcance de esta tesis.

Entre las características más destacadas de un acelerómetro, se encuentran las siguientes:

- **Número de ejes.** Determina los ejes del *plano de referencia XYZ* que el acelerómetro es capaz de tener en cuenta, y por tanto obtener los datos correspondientes procedentes de la aceleración en cada eje. Dependiendo del número de ejes controlados, los acelerómetros se dividen en uniaxiales, biaxiales o triaxiales.
- **Rango de amplitud.** Define los valores máximos y mínimos que puede alcanzar la salida del sensor. Se mide con la unidad g .
- **Sensibilidad.** Relacionada con la anterior, la sensibilidad representa la precisión de los datos obtenidos por el acelerómetro y la detección en los cambios de este. Se mide en $\frac{mV}{g}$.
- **Frecuencia de respuesta.** Es el intervalo de frecuencia en el cual el acelerómetro detecta el movimiento. Se mide en Hz .
- **Temperatura de funcionamiento.** Todo sensor acelerómetro admite un rango de temperatura ambiental que asegura su correcto funcionamiento, y que dependerá de las especificaciones del dispositivo. Los valores máximos y mínimos suelen estar entre rondando los $-40^{\circ}C$ y $85^{\circ}C$ respectivamente.

Uno de los principales retos de la evolución tecnológica consiste en la creación de elementos sensoriales completos de reducido tamaño, capaces de ser integrados en otros dispositivos de mayor complejidad. Esta premisa dio lugar al desarrollo de la tecnología MEMS [53], con la que se ha conseguido la integración de multitud de elementos electrónicos, incluyendo actuadores y sensores, en chips de silicio de pequeño tamaño (ver figura 2.8). Con la generalización de la tecnología MEMS, dispositivos móviles como el teléfono móvil pretenden incorporar diversos mecanismos para la obtención de datos y despliegue de servicios del entorno. En este caso, el teléfono móvil se erige como el dispositivo móvil más conocido capaz de sacar mayor provecho a las funcionalidades de estos sensores.

2.4.2.1. Propósito Específico vs Propósito General

Se dice que un dispositivo de propósito general es aquel capaz de realizar diferentes tareas, al contrario que ocurre con los denominados dispositivos de propósito específi-

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

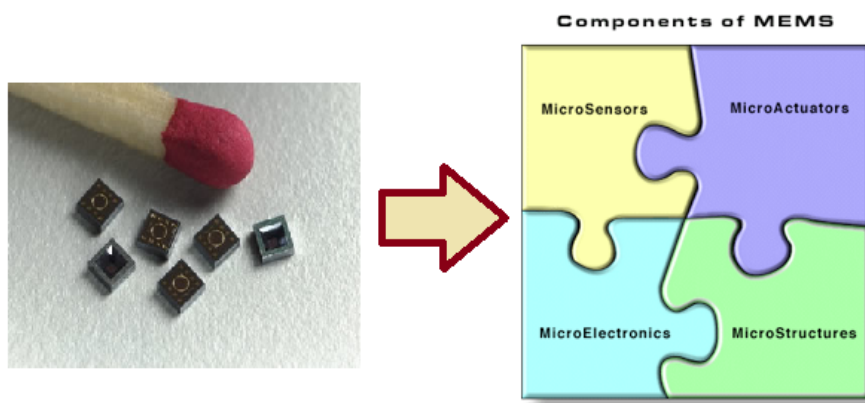


Figura 2.8: Tipos de componentes MEMS

co. Estos últimos, normalmente, están enfocados a la resolución de una única tarea. Hasta hace poco, se consideraba que los dispositivos de propósito específico ofrecían mejores resultados que los de propósito general si ambos se dedicaban a resolver la misma función. Pero lo cierto es que la evolución tecnológica mencionada en el apartado anterior permite que en la actualidad no exista una diferencia notable entre ambas alternativas.

En el caso de los dispositivos acelerómetros también se pone de manifiesto esta distinción. Por una parte, se encuentran dispositivos específicos que cuentan con sensores acelerómetros y la lógica necesaria, con el único propósito de obtener datos relativos al movimiento y como posible función adicional, la transmisión (por ejemplo de forma inalámbrica) de dichos datos a una fuente externa. Un ejemplo de ello es el conocido acelerómetro triaxial WiTilt [54] con conexión inalámbrica Bluetooth¹. Por otra parte, dispositivos de propósito general como el teléfono móvil pueden disponer de sensores acelerómetros, entre otros, sabiendo que no están concebidos exclusivamente para llevar a cabo estas funciones. Sin embargo, la mayoría de smartphones de última generación cuentan con mecanismos acelerómetros basados en tecnología MEMS capaces de ofrecer resultados equiparables a otros dispositivos de propósito específico.

La utilización, por tanto, de un dispositivo de propósito específico (WiTilt) o uno general (teléfono móvil) con acelerómetro integrado, estará determinada por las necesidades que se desean cubrir en un momento específico. Para ello, es conveniente conocer las características generales de ambos dispositivos, recogidas en la tabla 2.6. Un pequeño marcador indica qué dispositivo se presenta como la mejor opción para cada aspecto presentado. Como se puede observar, el número de prestaciones aportadas por el teléfono móvil es mayor que las que ofrece el WiTilt. Sin embargo, existen

¹<http://www.bluetooth.com>

2.4 Estudio del movimiento humano y de la actividad física

determinadas características en las que el dispositivo de propósito específico adquiere cierta ventaja. La autonomía de la batería siempre será mayor en un dispositivo de propósito específico, debido a que no se utiliza en otras tareas ni tampoco cuenta con características de procesamiento y pantalla, que demandan mayor gasto en este sentido. El coste del dispositivo y su tamaño suelen ser menores, algo que repercute en la facilidad de colocación sobre un individuo. En el resto de características, el teléfono móvil es bastante superior.

Características	Dispositivos	
	Dispositivo Universal: Teléfono móvil	Dispositivo propósito específico: WiTilt
Acelerómetro	✓	✓
Procesamiento	✓	
Almacenamiento	✓	
Comunicación	✓	✓
Alcance de comunicación	✓	
Pantalla	✓	
Batería		✓
Coste del dispositivo		✓
Coste del sistema	✓	
Tamaño		✓
Opciones de desarrollo	✓	
Facilidad de colocación		✓
Versatilidad	✓	

Tabla 2.6: Comparación de características entre dispositivos con acelerómetro integrado

Finalmente cabe destacar el número de dispositivos acelerómetros con los que podríamos contar para la ejecución de una tarea determinada. De este modo, utilizando más de un acelerómetro, se podrá obtener un análisis más exhaustivo del movimiento, por ejemplo, en seres humanos, donde cada miembro del cuerpo puede desplazarse de forma independiente. En este caso, contar con dispositivos de propósito específico trabajando de forma conjunta, puede resultar más idóneo. Sin embargo, para la realización del trabajo planteado, es suficiente con el uso de un único dispositivo, siempre y cuando sea triaxial, con la precisión necesaria.

2.4.3. Detección y Reconocimiento de Actividades

El reconocimiento de actividades físicas con mecanismos acelerómetros ha abierto un reciente campo de investigación, el cual va creciendo a medida que avanza la tecnología de estos dispositivos. A partir de ahora, nos interesaremos por el estudio de la actividad física y el movimiento mediante la aplicación de dispositivos acelerómetros.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

La gran mayoría de trabajos relacionados con el reconocimiento de movimiento están enfocados al estudio de actividades directas como caminar, correr, levantarse, sentarse, etc. Sin embargo, cabe recordar que en el día a día de una persona existen multitud de actividades físicas susceptibles de ser analizadas (ver AVD, apartado 2.2.3.1). En este sentido, mencionar a autores como Oliver [55], que plantea el reconocimiento de actividades relacionadas con la dieta, desviándose del marco general de aplicación. Como se puede observar, el campo es tan amplio que debemos acotar el ámbito de estudio a los trabajos estrechamente relacionados con la presente tesis. Por tanto, el análisis de actividades físicas en personas mayores desde el punto de vista de la salud, será nuestro principal objetivo.

Otro aspecto importante a tener en cuenta son las características y el número de dispositivos acelerómetros utilizados para el reconocimiento de actividades. Bao [56], emplea cinco acelerómetros biaxiales colocados en: cadera, muñeca, brazo, muslo y tobillo, consiguiendo la detección de 20 actividades. En los primeros estudios, se pensaba que con un mayor número de sensores acelerómetros se obtenía una mayor precisión en la detección, sin embargo, varios autores entre los que destacan Foerster y Fahrenberg [57] ponen de manifiesto que con dos dispositivos acelerómetros, en este caso situados en la muñeca y el muslo, la detección de actividades es muy similar al reconocimiento empleando cinco dispositivos. En la figura 2.9 podemos observar las ubicaciones más comunes de los sensores acelerómetros en el cuerpo humano. En la misma época, trabajos como el de Auvinet [58], concluyen que el uso adecuado de un único dispositivo acelerómetro es suficiente y aceptable para el reconocimiento de actividades básicas como por ejemplo la marcha.

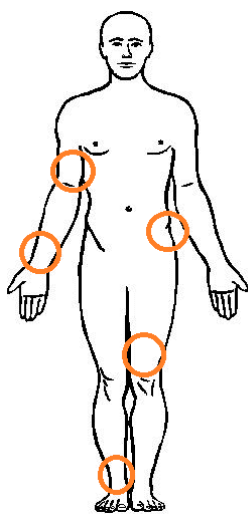


Figura 2.9: Posiciones de los sensores acelerómetros en el cuerpo humano

2.4 Estudio del movimiento humano y de la actividad física

Además de ello, la transición entre actividades detectadas comprende una nueva línea de trabajo, tal y como presenta Bieber en [59], quien propone una metodología capaz de detectar las transiciones entre dos de los ejercicios básicos: sentarse y levantarse. La detección y el reconocimiento de actividades físicas es tan importante como el tratamiento y el análisis de los resultados desprendidos de esa detección.

El análisis y tratamiento de los datos obtenidos por cada dispositivo acelerómetro podrá realizarse en el dominio del tiempo y la frecuencia. Es importante destacar que, aunque los datos recogidos con el sensor son obtenidos cada cierto tiempo, conformando valores discretos, estos pueden verse como una señal continua debido a la mínima diferencia temporal en la obtención de un valor y el siguiente. Por tanto su estudio y representación puede plantearse en cualquiera de los dominios.

El dominio de la frecuencia es utilizado para describir el análisis de señales con respecto a su frecuencia, es decir, para analizar aquellos sistemas que varían con una periodicidad definida. Su estudio está relacionado con los conceptos matemáticos y físicos de las series, como por ejemplo, las series de Fourier [60], uno de los medios de análisis más utilizados. Sin embargo, en la actualidad, el desarrollo de sistemas computacionales móviles posibilita la simulación en el dominio del tiempo de manera más sencilla.

El dominio del tiempo es utilizado para describir el análisis de señales con respecto al tiempo. En este caso, en el dominio temporal discreto el valor de la señal o la función se conoce únicamente en algunos puntos discretos del eje temporal. Sin embargo, en un dominio temporal continuo se conoce para todos los números reales [61]. En la figura 2.10, podemos observar un ejemplo real de salida de un dispositivo acelerómetro triaxial en función del tiempo para la actividad de caminar.

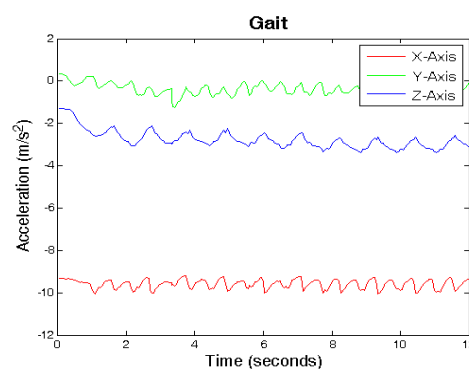


Figura 2.10: Gráfico de ejemplo señal aceleración/tiempo de un acelerómetro triaxial

El tratamiento de la señal incluye el análisis de características de la misma, y el análisis en el dominio del tiempo facilita diversas tareas de cómputo, como ya se ha mencionado, dato realmente interesante si se desea hacer uso de dispositivos de

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

propósito general, como el teléfono móvil, para determinadas tareas de procesamiento de señales.

Es importante destacar la gran cantidad de tesis y estudios existentes relacionados con el reconocimiento y tratamiento del movimiento a partir de la realización de actividades físicas y el uso de diferentes técnicas y tecnologías. El análisis biomecánico, fisiológico y funcional son tres de los ámbitos más destacados en este sentido. En el presente trabajo no se pretende abordar la complejidad que supone adentrarse en cada una de las líneas de investigación anteriores, por no formar parte de los objetivos de la arquitectura presentada. Sin embargo, conviene conocer su existencia y aplicación.

2.5. Análisis y Procesamiento de la señal

La utilización del dispositivo acelerómetro en la consecución de actividades físicas permite la adquisición de los datos relativos a dicho movimiento. Esta información debe ser tratada posteriormente atendiendo a la finalidad de su análisis. Este apartado, por tanto, pretende dar a conocer las técnicas utilizadas en este trabajo para el estudio de la señal obtenida del sensor.

2.5.1. Pre-procesamiento. Segmentación y Filtrado

Una de las primeras etapas del análisis de los datos obtenidos por el dispositivo acelerómetro es la **segmentación** de la señal, es decir, del conjunto de datos referentes a cada uno de los tres ejes del sensor. Es necesario establecer un criterio de segmentación apropiado y adecuado al tipo de estudio que se desea realizar para, de esta forma decidir qué datos del propio movimiento son los más relevantes en cada caso. Autores como Schlömer [62] proponen una intervención directa del usuario con el sensor, a través de botones y/o interruptores de parada o finalización. Mientras, otros autores como Joselli en [63] utilizan la ecuación matemática 2.1 para definir el principio y el final del movimiento. De esta forma, si la ecuación da como resultado un valor de D superior a 0,3 quiere decir que el movimiento ha comenzado, mientras que si el valor obtenido de D es inferior a 0,1 significa el final de dicho movimiento. Aparte de estas técnicas, también existen otras muchas, considerando incluso, las propias de cada trabajo.

$$D = \sqrt{(x_k - x_{k-1})^2 + (y_k - y_{k-1})^2 + (z_k - z_{k-1})^2} \quad (2.1)$$

Independientemente del método de segmentación utilizado, existe otra problemática a tener en cuenta en relación a la señal obtenida. Una vez construida la señal correspondiente a la muestra segmentada de manera gráfica, entendiendo muestra como el

conjunto de datos válidos (X, Y, Z) para nuestro estudio, observaremos que no es una señal “limpia”, sino que posee cierto nivel de ruido debido a la amortiguación browniana [64]. Desde el punto de vista de las telecomunicaciones, el ruido se define como una perturbación que sufre una señal cuando es transmitida, dependiendo de la forma de transmisión, el medio y el ambiente donde se transmite [65]. Además de esto, las variaciones en la señal fruto de fuerzas como la de la gravedad, acentúan este hecho. En la figura 2.11, podemos observar la diferencia entre una señal con ruido (b) y la misma señal sin ruido (a).

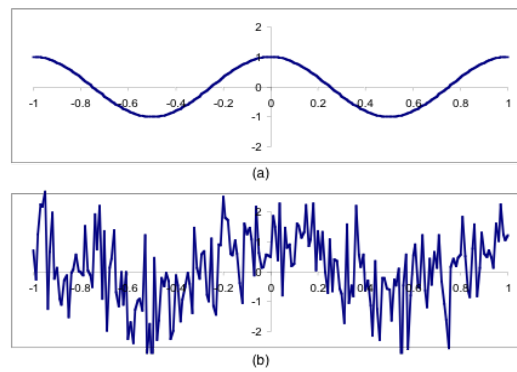


Figura 2.11: Representación gráfica: (a) Señal sin ruido, (b) Señal con ruido.

La reducción del nivel de ruido se consigue mediante la aplicación de **filtros** eléctricos por el sistema receptor. Estos filtros se encargan de discriminar una determinada frecuencia o rango de frecuencias (banda) de una señal eléctrica que pasa a través del mismo, en este caso la señal del acelerómetro, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase. Es importante destacar que la implementación de estos filtros está relacionada con las características tecnológicas empleadas. Por ello, esta implementación será diferente en dispositivos electrónicos de distinta naturaleza. Los filtros más utilizados se clasifican en:

- *Filtro Pasa Alto*. Atenúan las señales de baja frecuencia, dejando pasar las de alta frecuencia. En la ecuación 2.2 puede verse su representación matemática.

$$f(x_i) = \begin{cases} x_i & \text{si } i = 0 \\ x_i - [x_i * \alpha + [f(x_{i-1}) * (1 - \alpha)]] & \text{si } 0 < i \leq n \end{cases} \quad (2.2)$$

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

- *Filtro Pasa Bajo*. En este caso ocurre exactamente lo contrario, se atenúan las señales de alta frecuencia, dejando pasar las de baja frecuencia (ver ecuación 2.3).

$$f(x_i) = \begin{cases} x_i & \text{si } i = 0 \\ x_i * \alpha + [f(x_{i-1}) * (1 - \alpha)] & \text{si } 0 < i \leq n \end{cases} \quad (2.3)$$

- *Filtro Pasa Banda*. Son aquellos que permiten el paso de frecuencias contenidas en un determinado rango, comprendido entre dos frecuencias de corte.
- *Filtro Elimina Banda*. Son aquellos que dificultan el paso de componentes frecuenciales contenidos en un determinado rango de frecuencias, comprendido por dos frecuencias de corte.

En relación a las ecuaciones anteriores, se tendrán en cuenta las siguiente afirmaciones:

- Cada señal obtenida del acelerómetro para cada uno de los tres ejes, estará comprendida en un espacio de tiempo entre 0 y n .
- $f(x_i)$ representa la señal ya filtrada de un eje del acelerómetro en un instante i . La función $f(x_{i-1})$ es el valor de la función ya filtrada en el instante $i-1$.
- x_i representa la señal de salida del acelerómetro para un eje en el instante i , sin la realización de filtrado previo.
- α representa el factor de filtrado, cuyo valor estará entre 0 y 1. Valores menores de *alpha* necesitan menos capacidad de procesamiento de la señal, pero pueden incluir un mayor ruido. Por lo tanto, no existe una regla que permita decidir el valor más apropiado de *alpha*, con lo que este valor se fija de forma particularizada para cada caso.

Con el conocimiento de los distintos tipos de filtros existentes, así como las representaciones matemáticas de los considerados más relevantes en nuestro estudio, se deben tener en cuenta otros factores a la hora de decantarse por uno de ellos. En este sentido, el concepto de movilidad de los dispositivos acelerómetros hace que el filtro *Pasa Bajo* sea considerado el más apropiado debido en gran parte a la escasa complejidad computacional que presenta, agilizando la obtención de la señal filtrada por dispositivos de menores prestaciones. Así mismo, el filtro *Pasa Bajo* es el filtro más extendido y utilizado en los trabajos de acelerometría (ver apartado 3.4).

2.5.2. Análisis estadístico

De forma general, la estadística es la ciencia encargada del análisis, estudio e interpretación de datos con el fin de aportar resultados que faciliten la explicación de diversas condiciones o la toma de decisiones en un ámbito específico de aplicación. En el presente apartado focalizaremos nuestra atención sobre la rama de la estadística correspondiente a la evaluación de las llamadas medidas descriptivas y de dispersión.

Se conoce con el nombre de **medidas descriptivas** al conjunto de valores numéricos calculados a partir de una muestra de datos que resumirán la información contenida en ella. Estas medidas descriptivas se clasifican a su vez en:

- *Medidas de centralización.* Indican valores con respecto a los que los datos parecen agruparse. Es decir, nos ofrecen un centro de la distribución de frecuencias, tomando ese valor como representativo de todos los datos. Algunas de estas medidas son: media aritmética, mediana y moda.
- *Medidas de dispersión.* Miden la variabilidad o grado de dispersión de la distribución de los datos con respecto a medidas de centralización. Mientras que las medidas de centralización tienen como objetivo la síntesis de los datos en un valor representativo, las medidas de dispersión cuantifican la separación, la dispersión y la variabilidad de los valores de la distribución respecto al valor central. En este caso conviene distinguir entre medidas de dispersión absolutas, que no son comparables entre diferentes muestras y relativas que nos permitirán comparar varias muestras. Este grupo lo conforman: desviación típica, varianza, coeficiente de variación y amplitud entre otras.
- *Medidas de posición.* Dividen un conjunto ordenado de datos en grupos con la misma cantidad de individuos u objetos. Entre estas medidas destacan: cuantiles, percentiles, cuartiles, etc.
- *Medidas de Forma.* Este tipo de medidas comparan la forma que tiene la representación gráfica de la distribución. Tienen que ver con la asimetría y el apuntamiento o curtosis de los datos.

El estudio de los datos procedentes de la señal recogida y procesada por un dispositivo acelerómetro en los ejes X , Y , Z ; haciendo uso de técnicas estadísticas supone otro enfoque diferente a la evaluación clásica de señales [66], en la que la mayor parte del análisis se realiza en el dominio de la frecuencia por no trabajar en tiempo real, desde el punto de vista tecnológico y conceptual. Este hecho hace que podamos delegar el cálculo estadístico al dispositivo móvil utilizado (por ejemplo teléfono móvil con

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

acelerómetro incorporado), y por consiguiente será el empleado en una parte de esta tesis.

2.5.3. Clasificación y Minería de datos

De forma complementaria al análisis estadístico de una población o de un conjunto de datos pertenecientes a una muestra, se pueden llevar a cabo análisis basados en minería de datos y técnicas de clasificación con el fin de obtener información valiosa que reside de forma implícita en los datos anteriores. Estos son métodos de extracción de conocimiento que sirven para cualquier conjunto de datos procesable, tanto si contiene valores cuantitativos como cualitativos. Hablaremos de técnicas de clasificación como un subconjunto de la minería de datos. De hecho, el análisis estadístico también puede verse, en parte, como un método más de la minería de datos.

Las tecnologías informáticas actuales posibilitan la aplicación de multitud de métodos de minería de datos sin necesidad de disponer de una elevada cantidad de recursos, computacionales en su mayoría. Debido a que su objetivo final es la extracción de conocimiento a partir de un conjunto de datos normalmente elevado, las técnicas de minería de datos provienen en su mayoría de la Inteligencia Artificial, aunque también de la Estadística.

Se denominan, por tanto, técnicas de minería de datos al conjunto de algoritmos y procesos computacionales aplicados sobre una muestra de datos para la obtención de unos resultados determinados. Las técnicas procedentes de la Inteligencia Artificial se clasifican en supervisadas (o predictivas) y no supervisadas (o por descubrimiento), de igual forma que podremos catalogar cada una como clásica o de nueva generación[67].

Entre las técnicas de minería de datos más conocidas y utilizadas destacan[67]:

- *Modelos estadísticos*. Se encargan de estudiar la variabilidad de un fenómeno particular, buscando la comprensión de los componentes de esa variabilidad. En esencia hacen referencia a datos cuantitativos, y un ejemplo de ello está en las medidas estadísticas mencionadas en el apartado 2.5.2.
- *Árboles de decisión*. Constituye una de las técnicas más utilizadas en minería de datos. Mediante la aplicación de reglas lógicas, estos algoritmos son capaces de representar y evaluar los datos en base a una serie de condiciones o premisas. Los algoritmos más conocidos en este sentido son C4.5 y ID3.
- *Agrupamiento o clustering*. Permiten clasificar un conjunto de elementos de muestra en un determinado número de grupos basándose en las semejanzas y diferen-

cias existentes entre los componentes de la muestra. En este caso destacan los algoritmos adaptativo, k-means y k-medoids.

- *Redes neuronales*. Esta técnica constituye un paradigma para el aprendizaje y procesamiento de información, inspirándose en el funcionamiento del sistema nervioso de los seres vivos. A partir de unos datos de entrada, un algoritmo basado en redes neuronales es capaz de aprender de forma automática proporcionando una salida resultado de la evaluación. Entre los tipos de redes neuronales más comunes destacan: *Perceptrón (multicapa)*, *Adeline*, *Backpropagation*, *Hopfield* y los *mapas de Kohonen*.
- *Redes Bayesianas*. Basadas en modelos probabilísticos, tratan de relacionar un conjunto de variables mediante la aplicación de grafos de decisión en función de factores de influencia causal. Las probabilidades de la red son capaces de actualizarse con la llegada de nuevas evidencias. Se trata de una técnica cuyo fundamento está en el Teorema de Bayes[68].

Para la consecución de los objetivos de esta tesis doctoral, se ha tenido en cuenta el uso de modelos estadísticos como el principal mecanismo para la obtención de información a partir de la actividad física realizada, teniendo en cuenta su sencillez desde un punto de vista computacional principalmente. Así mismo, determinadas tareas de análisis de datos (no solamente relacionados con la actividad física), suponen la aplicación de los principios de clustering, detallados en los siguientes apartados.

La relación directa de las técnicas utilizadas y su contextualización junto a los demás métodos de minería de datos, ratifica la necesidad de este apartado.

2.5.3.1. Análisis de Clusters

Como se ha mencionado en el apartado 2.5.3, el análisis de clusters o *Clustering* es un método de clasificación que divide los datos en grupos (clusters), los cuales serán significativos, útiles o ambos. Estos grupos de objetos comparten características comunes y juegan un papel muy importante en cómo las personas analizan y describen el mundo que les rodea; y es que, los seres humanos tienen la habilidad de dividir los objetos en grupos (clustering), asignando cada objeto a uno de los grupos (clasificación) [69]. En la automatización de clusters, cada grupo debe ser homogéneo atendiendo a varias características, es decir, las observaciones dentro de cada grupo deben ser similares entre ellas.

Todo algoritmo basado en el análisis de clusters identifica tres etapas:

1. **Selección de variables relevantes**. Esta primera etapa nos permite caracterizar los objetos basándonos en un criterio relevante previamente seleccionado.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

2. **Normalización de variables.** Se necesita un proceso de normalización de variables debido a que estas podrían ser de diferentes tipos (ejemplo: cuantitativas vs. cualitativas) y unidades.
3. **Cálculo de medidas de similitud.** El grado o medida de similitud indica la fuerza de la relación entre dos objetos.

2.5.3.2. Coeficiente de Similitud de Gower

Una de las principales etapas del análisis de clusters corresponde al cálculo del grado de similitud entre individuos o elementos. En la literatura, existen numerosos métodos para el cálculo de matrices de similitud, disimilitud y distancias [70] entre individuos de una población. Sin embargo, el algoritmo o método de similitud más apropiado, podría ser diferente en cada caso, dependiendo fundamentalmente del tipo de variable (binaria, cualitativa o cuantitativa). Por ejemplo, si todo el conjunto de variables es binario, el coeficiente de similitud de Jaccard [71] es sin duda el que aportará las medidas más útiles. Mientras que si todas las variables son cualitativas, entonces se debe elegir un método alternativo. En este caso, Everitt [70], por ejemplo, recomienda una conversión explícita de las variables identificadas a variables binarias. Sin embargo, cuando aparecen variables de todos los tipos (binarias, cualitativas y cuantitativas) existen otros métodos como el propuesto por Gordon [72], quien sugiere convertir todas las variables al mismo tipo o escala (por ejemplo a binarias). Además, existe un convenio general sobre el uso de variables de diferentes tipos que sugiere que solo es necesaria su contemplación como complemento de la interpretación de resultados [73].

El coeficiente general de similitud de Gower [74], es en la actualidad una de las medidas más populares de proximidad o similitud cuando se tienen tipos de datos mixtos. Autores como Lim [75] afirman que el método de Gower para la valoración de la similitud entre cada par de *items* en una población es uno de los métodos de análisis con mayor potencial debido a sus propiedades. El coeficiente de Gower hace posible determinar el grado de similitud entre dos individuos o casos (i, j) representados por datos binarios, cualitativos y/o cuantitativos. La ecuación (2.4) define el coeficiente de Gower como:

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^p W_{ijk} S_{ijk}}{\sum_{k=1}^p W_{ijk}} \quad (2.4)$$

donde:

- S_{ijk} denota la contribución a partir de la variable k -ésima.

- W_{ijk} normalmente es 1 o 0 dependiendo de si la comparación es válida o no para la variable k -ésima. Si no se especifica el peso de las variables, entonces W_{ijk} es el peso de la variable k -ésima. Si la comparación no es válida, entonces W_{ijk} es 0.
- El efecto del denominador es dividir la suma de los valores de similitud por el número de variables (o por la suma de sus pesos si estos son especificados).

Gower define el valor de S_{ijk} para variables cuantitativas como se muestra en la ecuación (2.5).

$$S_{ijk} = 1 - \frac{|x_{ik} - x_{jk}|}{R_k} \quad (2.5)$$

donde:

- R_k es el rango de valores de la variable k -ésima. Para variables cuantitativas S_{ijk} ostentará valores entre 0 y 1, aplicando la fórmula $|x_{max} - x_{min}|$.

Para datos binarios y cualitativos, se toma $S_{ijk} = 1$, si $x_{ik} = x_{jk}$, o $S_{ijk} = 0$, si $x_{ik} \neq x_{jk}$.

Como se ha mencionado anteriormente, el peso W_{ijk} para la comparación de la variable k -ésima es habitualmente 1 o 0. Sin embargo, si se asignan diferentes pesos a las variables, entonces W_{ijk} es, o bien el peso de la variable k -ésima o 0, dependiendo de si la comparación es válida o no. El cálculo de la similitud puede, por tanto, tener en cuenta la importancia relativa de cada variables (atendiendo a su peso).

Si el peso de una variable es 0, entonces la variable es ignorada en el cálculo de proximidades y similitudes. Estas variables son “enmascaradas” en el análisis de clusters y la clasificación; sin embargo, estas podrían ser tenidas en cuenta para y durante la interpretación del análisis.

Dado el coeficiente de similitud, se puede determinar fácilmente el coeficiente de disimilitud entre 2 individuos tal y como muestra la ecuación (2.6):

$$D_{ijk} = 1 - S_{ijk} \quad (2.6)$$

La aplicación de estos conceptos en la valoración de la fragilidad supone una de las principales contribuciones de esta tesis, y será desarrollada en detalle en el apartado 4.4.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS. ANTECEDENTES

Capítulo 3

Trabajos Relacionados

3.1. Introducción

En este capítulo se exponen los trabajos considerados de mayor relevancia relacionados con el desarrollo de la presente tesis doctoral.

El desarrollo y crecimiento de tecnologías emergentes desde su aparición, destacando aquellas que hacen uso de dispositivos móviles, lleva consigo su integración en diferentes ámbitos de la vida cotidiana. Uno de los entornos que favorecen su inclusión, sobre todo por su heterogeneidad y movilidad, es el sanitario. Sin embargo, la eficiencia de los sistemas desplegados en entornos *Healthcare* no siempre ha culminado con éxito. En el apartado 3.3, se citan algunos ejemplos destacados de inclusión tecnológica en este tipo de entornos, haciendo especial hincapié en la interacción del personal sanitario con el dispositivo.

Por otra parte, cabe destacar la importancia de la acelerometría en el ámbito *Healthcare*. En este sentido, se presentan distintas investigaciones que tienen como objetivo el reconocimiento de actividades, la detección de caídas y la rehabilitación, destacando el análisis de la marcha en el apartado 3.4.4. Todos los trabajos presentados hacen uso de dispositivos acelerómetros, tanto de propósito específico como de propósito general, y están enfocados satisfacer diferentes necesidades sobre personas de edad avanzada.

En el apartado 3.5 se presentan los trabajos relacionados directamente con la valoración de la fragilidad. En este punto, se incluyen investigaciones cuyo objetivo es ofrecer mecanismos que aporten una solución cuantificada al problema de la evaluación de este síndrome.

El apartado 3.6 expone los trabajos considerados más relevantes relacionados con la aplicación de procedimientos de clasificación basados en similitudes en el ámbito clínico.

3. TRABAJOS RELACIONADOS

Por último y tras la presentación de los trabajos relacionados, en el apartado 3.7 se expone un análisis de los trabajos más relevantes. Este análisis se fundamenta en los factores o criterios determinados en el apartado 3.2 en dónde también se pone de manifiesto el protocolo utilizado para la búsqueda y revisión de los trabajos de investigación citados.

3.2. Marco para la revisión

De acuerdo a la hipótesis inicial de la presente tesis doctoral entorno a la cual se plantea la siguiente pregunta de investigación:

“¿Es posible modelar, diseñar y desarrollar una arquitectura o sistema capaz de ofrecer un soporte esencial al facultativo en la detección y diagnóstico del estado de fragilidad y pre-fragilidad de una persona adulta mayor, de forma más objetiva y fundamentada?”, se ha realizado una revisión sistemática siguiendo el protocolo de revisión de Kitchenham [76] para determinar los trabajos relacionados más relevantes en la literatura.

Para la búsqueda de trabajos e investigaciones incluidas en el este capítulo se ha recurrido principalmente a las siguientes plataformas de investigación:

- IEEE Explore (<http://www.computer.org>)
- ACM (<http://portal.acm.org>)
- SCOPUS (<http://www.scopus.com>)
- Google Scholar (<http://scholar.google.es>)
- Medline/PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>)

Tal y como se ha mencionado en el apartado 3.1, los trabajos relacionados se han dividido atendiendo a los conceptos más significativos manejados en esta tesis, a saber: inclusión tecnológica en entornos *Healthcare*, acelerometría en entornos *Healthcare*, valoración de la fragilidad, y clasificación y similitud. Además, se han considerado varios criterios de evaluación de especial importancia en la tesis, los cuales serán evaluados para los trabajos relacionados más relevantes a partir de la información aportada por los artículos de investigación asociados a dichos trabajos. A continuación se exponen estos criterios.

- **Usabilidad.** Corresponde a la medida en la cual un producto o sistema puede ser usado por los usuarios teniendo en cuenta la efectividad, eficiencia y satisfacción de las funciones del sistema en un contexto determinado, es decir, a la facilidad con la que los usuarios pueden utilizar dicha herramienta en términos de diseño e interacción de acuerdo a sus objetivos.

- **Portabilidad.** Corresponde a la capacidad de un sistema de ejecutarse en diferentes plataformas sin requerir de cambios en su código fuente. En nuestro caso, se valorará la ejecución del sistema en diferentes dispositivos móviles y de escritorio.
- **Coste implantación.** Se refiere al costo y esfuerzo que supone o supondría la implantación y despliegue del sistema en un entorno real.
- **Escalabilidad.** Hace referencia a la habilidad del sistema de adaptarse y crecer sin perder calidad en los servicios y funcionalidades ofrecidas ante circunstancias cambiantes del contexto, requiriendo cero o mínimas modificaciones en los elementos del sistema.
- **Comunicación.** Hace referencia a la capacidad y formas de transmisión de información entre las distintas partes del sistema teniendo en cuenta el tiempo de respuesta, el tipo de comunicación y las tecnologías de comunicación soportadas por dispositivo y aplicación.

Varios de estos criterios de evaluación están asociados a atributos de calidad para la evaluación de arquitecturas y sistemas.

En el caso de la valoración de la fragilidad y, clasificación y similitud, la mayoría de los trabajos se corresponden con procedimientos teóricos y *frameworks* que pueden ser integrados en sistemas software. Por ello, para analizar este tipo de trabajos se han propuesto los siguientes criterios de evaluación:

- **Integración.** Hace referencia a la facilidad de integración del procedimiento en una aplicación o sistema software.
- **Variables consideradas.** Se corresponde con el número de variables relevantes que el procedimiento tiene en cuenta para la valoración.
- **Viabilidad tecnológica.** Se refiere a si en la descripción del procedimiento se contempla explícitamente su posible incorporación en un sistema software utilizando mecanismos o dispositivos hardware como medio de comunicación entre dicho dispositivo y el propio sistema.

El análisis y las conclusiones obtenidas a partir de los trabajos relacionados correspondientes se presentan en el apartado 3.7, tras la exposición de los trabajos relacionados.

3.3. Inclusión tecnológica en entornos *Healthcare*

El crecimiento de las tecnologías de información ha propiciado el desarrollo de trabajos encaminados a reducir el esfuerzo de adaptabilidad tecnológica que supone la integración de sistemas computacionales en entornos de salud o *Healthcare*, en los cuales tendremos que tener en cuenta la posible inexperiencia tecnológica de los usuarios de estos escenarios. El abanico de trabajos relacionados en este sentido es excesivamente amplio, de modo que citaremos algunos de los ejemplos más significativos relacionados en su mayoría con el despliegue de sistemas móviles e inalámbricos en los citados entornos. El paradigma de la Inteligencia Ambiental definido en 2.3.1 está muy presente en este tipo de entornos, y los sistemas de naturaleza móvil, con sus prestaciones, se creen los medios no intrusivos más adecuados para satisfacer las necesidades de estos usuarios en su medio.

Como ya se mencionó en el apartado 2.3.2, un eficiente tratamiento de la información en entornos *Healthcare* es de vital importancia, tanto o más que la forma de visualizar dicha información. En este sentido, existen estudios que proponen el uso de *displays* para el acceso a la historia clínica de los pacientes, facilitando la colaboración entre médicos y personal de enfermería [77]. Por su parte, Hervás [78] propone una arquitectura fácilmente adaptable a entornos de salud para una visualización de información dependiente del contexto y del propio usuario. Existen otros trabajos como el de Bardram [79] quien propone un sistema de visualización interactivo, el cual requiere de la colaboración del personal sanitario, en este caso médicos y enfermeros/as con el fin de fomentar la participación y la toma de decisiones conjuntas. Hasta ahora, estos trabajos utilizan *displays* públicos de grandes dimensiones, pero *¿Qué sucede si deseamos visualizar dicha información en otro tipo de dispositivos como pueden ser dispositivos móviles, por ejemplo Personal Digital Assistant (PDA) y smartphones?* Zarazaga [80] establece que las limitaciones de la pantalla y la introducción de datos en estos dispositivos constituyen un cuello de botella importante. Bien es cierto que el desarrollo de los nuevos métodos de interacción y nuevas tecnologías hace que este cuello de botella disminuya considerablemente.

Centrándonos específicamente en trabajos relacionados con la Computación Móvil en entornos o ambientes hospitalarios (ver apartado 2.3.2.2), existen multitud de apuestas que se han visto incrementadas exponencialmente durante los últimos años. La dificultad en la implantación de desarrollos y prototipos en entornos reales hace que se hayan buscado alternativas cercanas al usuario para su integración. Este es el caso de trabajos como el de Huffstutler [81] que propone la inclusión de dispositivos móviles para la realización de prácticas en Escuelas de Enfermería. En la misma línea, Fontecha [82] ha desarrollado una arquitectura, basada en tecnologías de interacción por

3.3 Inclusión tecnológica en entornos *Healthcare*

contacto integradas en el teléfono móvil, para controlar y gestionar diversas tareas relacionadas con la rutina hospitalaria de los profesionales de enfermería, de igual forma que plantea y evalúa su uso en Escuelas de Enfermería [83], obteniendo resultados satisfactorios en cuanto a la disminución del tiempo dedicado por el profesional al manejo de información, el cual había sido analizado por Favela en [40], lo que supone un incremento del tiempo en la atención directa sobre el paciente.

Por otra parte, Vladimir [84] propone el desarrollo de una arquitectura para la monitorización de pacientes mediante el uso de dispositivos móviles (teléfonos y *tablets*) y dispositivos biométricos, destacando especialmente su uso en enfermedades crónicas como la diabetes, permitiendo un control exhaustivo sobre el paciente. Sobre este desarrollo, Hervás [85] incorpora mecanismos de razonamiento a la monitorización, en este caso de la tensión arterial, definiendo un sistema para prevenir el riesgo de enfermedades cardiovasculares teniendo en cuenta otros factores clínicos.

Uno de los escenarios más proclives al desarrollo de trabajos e investigaciones dentro del ámbito *Healthcare*, es el referente al marco de la AAL cuya importancia se explicó en la sección 2.3.2.1. En este caso cabe destacar trabajos como el de García-Vázquez en [86], quien ha desarrollado un sistema de agentes autónomos basados en una arquitectura especializada denominada SALSA. De esta forma, García-Vázquez pretende ofrecer un sistema consciente de las actividades que la persona realiza en su hogar, entre las que destaca la gestión y administración de medicación, algo habitual en personas mayores que viven en su hogar. El uso de nuevas tecnologías de interacción por contacto (NFC) en dispositivos móviles tales como teléfonos móviles también se pone de manifiesto en trabajos como el de Bravo [87] mediante el cual, una persona mayor tiene la posibilidad de acceder a múltiples servicios esenciales como la realización de la compra diaria, petición de recetas médicas y llamadas a familiares entre otros, a través de una interacción natural del dispositivo con paneles de etiquetas NFC especializados. Pinnock [88] introduce un sistema de monitorización de asma usando dispositivos móviles, en el cual el usuario puede controlar su enfermedad de una forma sencilla. Conviene destacar el crecimiento de investigaciones que abogan por el uso de teléfonos móviles y *smartphones* en vaga de otro tipo de dispositivos móviles como son los de propósito específico.

La implantación de dispositivos móviles está destinada a satisfacer las necesidades de pacientes o personas que necesitan cuidados especiales. Sin embargo, en multitud de ocasiones, como se ha visto, estos dispositivos son manejados también por profesionales y facultativos del ámbito sanitario. En este sentido, existen estudios como el de Alsos [89], que busca comprobar la accesibilidad, interacción y efectos de usar teléfonos y PDAs en las tareas cotidianas de doctores en un ambiente sanitario. Las especificaciones inalámbricas y los mecanismos de comunicación entre dispositivos, configuran otra

3. TRABAJOS RELACIONADOS

de las líneas para la integración de la Computación Móvil en entornos de salud. En este sentido, destacar propuestas como la de Lee [90] que a partir de comunicaciones de tipo *Zigbee*¹ logran monitorizar enfermedades cardiovasculares y diabetes de 20 personas ancianas de forma satisfactoria. Aunque sin duda, el uso de servicios web a través de comunicaciones *WiFi* se erige como el método más utilizado y con mejores resultados en su uso con dispositivos móviles de última generación. Esto se pone de manifiesto en estudios como el de Jih [91], donde se propone el desarrollo de un framework basado en servicios web y tecnologías dependientes del contexto para satisfacer diversas necesidades de personas mayores que viven solas en su hogar. Siguiendo con la población anciana, en [92] se hace uso de servicios web y sistemas de geolocalización para estudiar las actividades diarias de personas con síntomas de demencia. El campo de la enfermería, también existen multitud de desarrollos enfocados al uso de servicios web para cubrir diferentes necesidades. En este aspecto destaca el trabajo de Hsieh [93] en el cual se plantea la administración de la medicación a través de sistemas conectados mediante servicios web durante la rutina hospitalaria. Desde el punto de vista de los profesionales médicos, encontramos trabajos como el de Ehrenberg [94], quien propone un sistema destinado a compartir el conocimiento de enfermedades como el cáncer, entre facultativos de distintas instituciones, con el fin de ayudar a la toma de decisiones sobre los pacientes afectados. Dicho sistema está basado en una red alimentada por servicios web. Estos son solo algunos ejemplos de trabajos fundamentados en el uso de servicios web, los cuales pueden ser consumidos por cualquier plataforma con capacidades de comunicación.

Por otra parte, la reducción de las barreras existentes entre las nuevas tecnologías y el usuario que las maneja, es uno de los principales objetivos de la aplicación de estas tecnologías, dónde los sistemas móviles gozan de gran protagonismo, tal y como se ha mencionado al comienzo de esta sección. La evolución en los mecanismos de interacción, haciéndolos aún más naturales e intuitivos es una de las premisas más importantes que persiguen estos nuevos sistemas. Un ejemplo de ello son los principios de realidad aumentada y el control sin necesidad de contacto físico, cada vez con mayor importancia en entornos de salud. En este sentido, cabe destacar la posición del controlador *Kinect*² desarrollado por Microsoft³, que permite al usuario controlar e interactuar con cualquier sistema mediante reconocimiento de voz y gestos corporales. Las posibilidades que ofrece dicho control a día de hoy y que aún deben explotarse, hace que la propia Microsoft se plantee la integración de dicho hardware en futuros

¹<http://www.zigbee.org>

²<http://www.xbox.com/es-ES/kinect>

³<http://www.microsoft.com>

dispositivos¹. Como se puede observar, las líneas de investigación en este aspecto están levantando un gran interés en la actualidad.

La obtención de datos de movimiento de una persona de manera transparente mediante el uso de dispositivos móviles con mecanismos acelerómetros ha posibilitado el desarrollo de la Acelerometría. En la siguiente sección se darán a conocer las aplicaciones y trabajos más relevantes en nuestro caso, enmarcados en el ámbito *Healthcare*.

3.4. Acelerometría en entornos *Healthcare*

Una vez definido el concepto de Acelerometría (ver apartado 2.4.2), conviene realizar una división de los trabajos revisados, dependiendo del enfoque abordado. En nuestro caso la aplicación de sensores acelerómetros se centra en el estudio de las personas ancianas, teniendo en cuenta los siguientes dominios: reconocimiento de actividades, detección de caídas, prevención de patologías físicas y rehabilitación, y análisis de la marcha.

3.4.1. Reconocimiento de actividades

La captura del movimiento humano utilizando mecanismos acelerómetros conforma la base para el análisis e interpretación del propio movimiento por sistemas computacionales. Reconocer las acciones o actividades que una persona está llevando a cabo en un momento determinado puede ser muy útil para facilitar una toma de decisiones posterior.

Foerster y Fahrenberg [57] ya apostaron, en el año 2000, por un estudio completo para el reconocimiento de 13 actividades físicas haciendo uso de 5 acelerómetros uniaxiales adheridos a distintas zonas del cuerpo humano. En este caso, los acelerómetros se conectaban con un sistema denominado *Vitaport*, y entre las actividades detectadas se encontraban posturas tales como: estar sentado, tumbado (distinguiendo diferentes grados de inclinación), andar, subir y bajar escaleras, y montar en bicicleta entre otras, considerándose este reconocimiento de gran valor en ámbitos sanitarios. La aparición de los acelerómetros tri-axiales y el aumento de su precisión, lo hacen el componente hardware ideal en la obtención de datos para detectar y reconocer cualquier tipo de actividad. Entre los estudios encaminados al reconocimiento de actividades físicas de personas mayores mediante el uso de dispositivos acelerómetros como elementos principales, Hong [95] propone un método basado en árboles de decisión para el reconocimiento de AVD utilizando 2 acelerómetros y sensores RFID². El trabajo consiguió la

¹<http://www.thedaily.com/page/2012/01/27/012712-tech-kinect-laptop/>

²<http://www.rfid.org/>

3. TRABAJOS RELACIONADOS

clasificación de 5 estados del cuerpo humano que implicaban movimiento. Por su parte, Godfrey [96] detecta y clasifica ocho AVD a través de un estudio computacional usando el software MATLAB en base a los valores de aceleración proporcionados por un sensor tri-axial. De igual forma, se lograba detectar la transición entre actividades reconocidas previamente.

Uno de los campos de estudio subyacentes al reconocimiento de actividades en ámbitos *Healthcare* y que goza de gran importancia, es el relacionado con la monitorización de actividades físicas. En este sentido, Maki [97] ha desarrollado un sistema para la monitorización de las actividades de personas que viven solas en su hogar. Mediante el uso de un acelerómetro tri-axial colocado en el pecho, seis filtros pasivos, un microcontrolador y un teléfono móvil; el sistema es capaz de obtener datos de la frecuencia cardíaca, respiración, actividad y comportamiento gracias a los valores ofrecidos por el sensor acelerómetro. Los datos obtenidos son mostrados de forma gráfica en el teléfono móvil de los cuidadores. Por su parte, el sistema PAMSys [98] descrito por Chen y Kate constituye una solución para la monitorización continua de las AVD utilizando un acelerómetro tri-axial. En este caso, se plantea el análisis biomecánico de la señal aportada por el acelerómetro con el fin de estudiar dicho movimiento, posibilitando la anticipación a futuras deficiencias. Como se puede observar, el procesamiento de los datos obtenidos de un acelerómetro para el reconocimiento y detección de actividades es muy variado. Por ejemplo, Muscillo [99] propone el uso de estimadores algorítmicos basados en un esquema Kallman y clasificadores de Bayes para el reconocimiento de actividades motoras en personas ancianas. Siguiendo con el reconocimiento y clasificación de actividades, Kang [100] propone un método algorítmico basado en técnicas de clasificación para el reconocimiento de diversas AVD. En este caso, se presta especial atención en el reconocimiento de las transiciones entre las siguientes actividades: de estar sentado a levantarse y viceversa, de estar de pie a tumbarse y viceversa, y de estar sentado a tumbarse y viceversa.

Como podemos observar, el acelerómetro es el principal elemento de los trabajos que se exponen en este apartado. Sin embargo, en numerosas ocasiones estos mecanismos acelerómetros, trabajan de manera conjunta con otros dispositivos, conformando sistemas más completos como se ha visto en algún trabajo anterior. También en este sentido, Purwar [101] utiliza un acelerómetro de tecnología MEMS junto con un sensor inalámbrico para la transmisión en tiempo real de los datos de movimiento relativos a distintas AVD. Estos datos son transmitidos gracias al sensor inalámbrico para su procesamiento por un PC. Aminian [102] propone la detección del movimiento a través del uso de sensores acelerómetros y giróscopos adheridos a diferentes zonas del cuerpo. De esta forma, además del reconocimiento de actividades se calculan características tales como velocidad, desplazamiento, rotación, cadencia y duración del movimiento. Otros

trabajos destacados que utilizan el teléfono móvil junto con un sensor acelerómetro son el planteado por Hynes en [103], en el cual, por medio de un teléfono móvil con un acelerómetro integrado se monitorizan los datos de movimiento de pacientes ancianos con el fin de ser utilizados para fines médicos. Por su parte, Song [104] propone un sistema especializado en el reconocimiento de 9 AVD, constituido por un sensor acelerómetro, una pasarela y un teléfono móvil. El acelerómetro envía los datos de movimiento al teléfono mediante una comunicación de tipo Zigbee¹, y este aplica un algoritmo neuronal (perceptrón multicapa) para la clasificación de la actividad con un elevado nivel de precisión.

El reconocimiento de actividades permite disponer de gran cantidad de información relativa al movimiento de una persona. Esta información puede ser usada para diferentes fines, más allá de la mera detección y clasificación. Uno de los objetivos donde se ha puesto mayor empeño es la detección de caídas, cuya importancia se pone de manifiesto en las consecuencias que esto tiene sobre personas ancianas de forma prioritaria.

3.4.2. Detección de Caídas

Las consecuencias de una caída en personas de edad avanzadas suelen ser por lo general bastante funestas, ocasionando en multitud de ocasiones fracturas de diversa consideración. Estas pueden agravarse si la persona permanece tendida en el suelo sin poder moverse y sin tener la posibilidad de contactar con alguien de su entorno. Los trabajos relacionados con la detección de caídas pueden dividirse en aquellos que estudian la detección propiamente dicha y aquellos que se afanan por establecer su prevención en base a un estudio previo. Las caídas de personas mayores están estrechamente relacionadas con el término de fragilidad.

A continuación se presentan algunos estudios destacados y cercanos a nuestra propuesta de movilidad y *Healthcare* orientados a su uso en personas de edad avanzada. Zhang [105] propone un sistema de detección de caídas a través de un acelerómetro tri-axial embebido en un teléfono móvil. El dispositivo envía los datos del acelerómetro vía Internet a un servidor, que procesa esos datos mediante un algoritmo *SVN* y mediante algoritmos *KDF* y *k-NN* es capaz de clasificar los resultados obtenidos. Por su parte, Oberzaucher [106] propone un sistema llamado *VitaliSHOE* basado en indicadores de la marcha para detectar el riesgo de caídas en personas mayores. Para ello se sirve de un sistema formado por múltiples sensores acelerómetros colocados en una plantilla de zapatos. Estos sensores recogen las muestras del movimiento y las transmiten de manera inalámbrica a una estación conectada a un software para su análisis. La

¹<http://www.zigbee.org/>

3. TRABAJOS RELACIONADOS

mayor parte de trabajos relacionados con la detección de caídas tratan de ser autónomos e integrarse en el hogar del anciano, conformando uno de los tópicos de interés en el campo de la AAL. En este sentido, Fernández-Luque [107] presenta un sistema de apoyo a la detección de caídas en el hogar del anciano mediante el despliegue de una infraestructura no intrusiva basada en sensores, que ellos denominan nodos. El objetivo de esta infraestructura es monitorizar y detectar las caídas proporcionando alertas a los cuidadores o asistentes sociales. Como se puede observar, al igual que ocurre en el reconocimiento de actividades, en este caso también se pueden emplear diferentes tecnologías para complementar el trabajo de sensores acelerómetros. Campo [108] describe un sistema para la detección de caídas en entornos abiertos mediante la aplicación de un acelerómetro, un dispositivo basado en tecnología Zigbee para favorecer la comunicación inalámbrica y un receptor GPS. Doukas [109] por su parte, emplea acelerómetros y micrófonos adheridos al cuerpo del anciano, transmitiendo los datos a una unidad de monitorización, la cual emplea algoritmos basados en Super Vector Machine (SVM) para la clasificación tanto del movimiento como del sonido.

Si dirigimos nuestros esfuerzos sobre aquellos trabajos que utilizan el teléfono móvil con mecanismos acelerómetros integrados como plataforma básica para la detección de caídas, encontramos investigaciones como la realizada por Lee [110], donde a través de un experimento de simulación de caídas pone de manifiesto la efectividad del teléfono móvil con acelerómetro en la detección de las mismas con un grado de precisión aceptable. Entre los tipos de caídas detectadas se encuentran: caídas hacia atrás, adelante y laterales, al levantarse de una silla, al sentarse, caminando, bajando y subiendo escaleras, y agarrando objetos. Por otro lado, Dai [111] presenta la implementación de un prototipo en teléfonos móviles con sistema operativo Android utilizando varios algoritmos desarrollados para la detección de caídas en un entorno pervasivo. También sobre este tipo de teléfonos o *smartphones* se presenta el sistema *iFall* desarrollado por Sposaro [112]. En este caso, una aplicación Android se encarga de detectar las caídas e informar vía Short Message Service (SMS), alertando a los servicios de emergencia.

Como se puede observar, la amplia mayoría de trabajos se centran en la detección de las caídas cuando estas ocurren y no en su prevención o predicción. En este sentido, el elenco de trabajos relacionados no es tan numeroso como en el caso anterior. Hsieh [113] identifica un conjunto de características relevantes procedentes de las caídas, mediante el uso de un acelerómetro tri-axial acoplado a la cintura del anciano. La estrategia seguida para la prevención de caídas de forma general, es la consideración de las variaciones angulares entre el vector de aceleración y los tres ejes, conformando el conjunto de características que serán comparadas en sucesivas muestras del movimiento. En la misma línea, Narayanan [114] propone la gestión de un conjunto de factores de riesgo de caídas en base a una monitorización continua del movimiento. Los resul-

tados del seguimiento son enviados al mismo tiempo al facultativo correspondiente, pudiendo este determinar el riesgo de caída de cada paciente tratado. Por su parte, Giasanti [115] ha desarrollado una herramienta para valorar el riesgo de caídas de una población de 100 individuos, entre ellos ancianos. En este caso, es necesaria la realización de un estudio estadístico previo de diversos parámetros cinemáticos mediante el uso de acelerómetros y giróscopos. El estudio llevado a cabo implica la creación de un modelo postural del individuo para establecer el nivel de riesgo de caída. Por último, Redmond [116] define un método para la estimación de caídas en función de los datos procesados y segmentados procedentes de un acelerómetro tri-axial. Para ello, previamente se sirvieron de un estudio o rutina del comportamiento de la señal del acelerómetro ante caídas.

En la actualidad, no existe un gran número de soluciones reales para la detección de caídas en personas mayores. Cuando estas viven solas en su hogar, es de especial importancia mantener un control o seguimiento de manera *no intrusiva* con el fin de preservar la salud del individuo. Uno de los sistemas comerciales pioneros es el detector de caídas del grupo Tunstall¹, consistente en un sistema autónomo compuesto por un sensor de impactos, un sensor de orientación y mecanismos de alarma para comunicarse con la persona indicada ante la aparición de caídas. Otro de los desarrollos de especial relevancia en nuestro país es el desplegado por la institución Cruz Roja². En este caso se trata de un sistema de teleasistencia generalizado que utiliza un colgante o pulsera especial con un emisor para favorecer la comunicación directa con personal dedicado y especializado tal y como se muestra en la figura 3.1. Dicho emisor debe ser activado por la propia persona, estableciendo que se encuentra en una situación de riesgo, como por ejemplo avisar de una caída. Este sistema no obstante presenta una serie de deficiencias más que evidentes, entre las que destaca la participación activa del usuario, quien controla el aparato. En este aspecto, se supone que ante un percance el emisor es activado por el individuo, sabiendo que existen circunstancias que impiden este hecho (por ejemplo pérdida de consciencia, períodos de senilidad).

3.4.3. Rehabilitación

Otra de las líneas de investigación de especial relevancia relacionada con la Acelerometría es la rehabilitación física. Esta se define como un proceso de duración limitada que tiene como objetivo la independencia de las personas que sufren algún tipo de discapacidad, tratando de lograr la integración del individuo en la sociedad y en su vida diaria [117]. En el caso de las personas mayores, la rehabilitación es fundamental para

¹<http://www.tunstall.co.uk>

²<http://www.cruzroja.es>

3. TRABAJOS RELACIONADOS



Figura 3.1: Dispositivo de teleasistencia de la Cruz Roja

conseguir un correcto mantenimiento de la actividad física o bien su recuperación tras una afección patológica.

En el año 2002 Tamura [118] define la necesidad urgente de incluir dispositivos acelerómetros para la monitorización y rehabilitación de personas ancianas. Por su parte, Culhane [119] presenta las posibilidades que los dispositivos acelerómetros presentan para la rehabilitación de personas mayores, siempre y cuando los datos cuantitativos obtenidos de estos mecanismos se combinen convenientemente con la valoración clínica. Por tanto, la rehabilitación en ancianos no es solamente el fortalecimiento y recuperación directa de las capacidades motoras de la persona, sino que mediante el estudio de la actividad física se pueden llevar a cabo otros tipos de rehabilitación. En este caso, destacar el trabajo de Sewell [120] en el cual se estudia como la monitorización de una serie de actividades físicas específicas puede ayudar a la rehabilitación de personas mayores con Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC).

El reconocimiento de la actividad física es un proceso necesario para el establecimiento de propuestas en el campo de la rehabilitación. De hecho el análisis de la velocidad en la actividad de marcha se presenta como uno de los principales criterios para la rehabilitación de la fuerza muscular en pacientes ancianos [121]. Por tanto, la rehabilitación pasa por la monitorización y estudio de la actividad correspondiente junto con la aplicación de mecanismos que favorezcan la correcta ejecución de dicha actividad. Y precisamente el estudio de la marcha en pacientes ancianos se presenta detalladamente en la siguiente sección.

El uso del teléfono móvil dotado de acelerómetro también se deja ver en otros trabajos relacionados con la rehabilitación. En este sentido destacamos el trabajo de Raso [122], que propone un sistema autónomo basado en la plataforma iOS¹ para la rehabilitación de extremidades superiores e inferiores. En este caso no se especifica su uso exclusivo en pacientes ancianos, pero la solución aportada utilizando el teléfono móvil indica su utilización positiva, también en tareas de rehabilitación.

¹<http://www.apple.com/ios/>

3.4.4. Análisis de la marcha

La marcha es una de las actividades físicas más básicas y sin embargo una de las más importantes, sobre todo en personas mayores. La información aportada es tan rica que constituye el principal método para la detección y tratamiento de numerosas patologías y enfermedades, destacando la fragilidad por ser objetivo de la presente tesis doctoral. Los parámetros o indicadores más importantes a la hora de analizar la marcha, desde el punto de vista médico, ya fueron descritos en el apartado 2.2.3.2. En esta sección describiremos los trabajos relacionados con el análisis de la marcha utilizando estrategias de acelerometría y aplicación de teléfonos móviles.

En el año 1977, con la aparición de los primeros sistemas acelerómetros comerciales, surgió la necesidad de cuantificar la marcha. La obtención de datos e información derivada supone el punto de partida al tratamiento de múltiples alteraciones fisiológicas, como se ha mencionado anteriormente. En este sentido, autores como Lord [123] se dedican a estudiar la marcha, utilizando los sistemas Vitaport Activity Monitor (VAM) y GAITRite, en personas con enfermedad de Parkinson¹. Mientras, Pogorelc [124] propone un sistema para identificar patrones de movimiento en la marcha relacionados con distintas patologías, a través de un sistema de captura de movimiento. El sistema se sirve de diferentes sensores distribuidos por el hogar del anciano, capaces de analizar la marcha del mismo gracias a distintas etiquetas adheridas a su cuerpo. Un computador procesa la información y clasifica a la persona en función de su marcha en uno de los siguientes tipos: normal, con hemiplejía, con Parkinson, con dolor de espalda o con dolor de piernas. Por supuesto, los datos aportados por el ejercicio de marcha pueden ser estudiados haciendo uso de multitud de técnicas y métodos. En este caso, cabe destacar el trabajo de Wang [125], donde se propone un modelo de extracción de características para la clasificación de patrones de marcha, basado en medias aritméticas y lo que denominan funciones intrínsecas. Nyan [126] por su parte, propone la clasificación de los patrones de marcha estudiando la señal del acelerómetro en el dominio del tiempo y la frecuencia mediante coeficientes de correlación. En cualquier caso, el estudio de la marcha con dispositivos acelerómetros, implica el procesamiento de la señal del propio acelerómetro para la obtención de diversas características relevantes.

Es evidente que la marcha es particular de cada persona aunque se observan patrones comunes, además se pueden establecer distinciones entre personas sanas o con algún tipo de alteración. En este sentido, Choi [127] estudia las diferencias entre ancianos sanos y con deficiencias cognitivas fruto de la enfermedad del Alzheimer. Las variables utilizadas fueron: el tiempo medio, magnitud y estructura en la variabilidad de la marcha, y margen entre altas y bajas frecuencias. Van Lersel [128] en su tesis

¹<http://www.medicalnewstoday.com/info/parkinsons-disease/>

3. TRABAJOS RELACIONADOS

pone de manifiesto la interacción existente entre la marcha, el equilibrio y la función cognitiva en personas ancianas. Por tanto, alteraciones en cualquiera de los componentes clínicos de una persona mayor: funcional, nutricional, social y cognitivo, los cuales se deben tener en cuenta en el estudio de la fragilidad, mantienen una relación entre ellos.

Otras investigaciones de especial relevancia son las realizadas por Ailisto [129], quien propone un sistema para la identificación de personas en función del patrón de marcha asociado. Para ello, se hace uso de mecanismos acelerómetros y métodos de comparación de patrones basados en correlaciones, obteniendo valores de similitud entre patrones. Otras, utilizan sistemas existentes como complemento a desarrollos propios, como es el caso del trabajo de Hartmann [130] que mide la validez del sistema GAITRite en conjunción con un sistema desarrollado denominado DynaPort. Un acelerómetro tri-axial es utilizado para determinar los niveles de velocidad en la marcha, cadencia, duración y longitud del paso.

La integración del teléfono móvil en el análisis de la marcha supone una evolución a los sistemas anteriores, al disponer de dispositivos completos con la capacidad de efectuar acciones de mayor complejidad. En los últimos cinco años, de manera proporcional al avance tecnológico, las investigaciones al respecto han crecido significativamente. En el año 2006, Iso [131] desarrolla un sistema para analizar la marcha utilizando un teléfono móvil con un acelerómetro tri-axial incorporado. La diferencia con los sistemas existentes hasta la fecha era precisamente el uso de un único dispositivo para recoger y procesar los valores del acelerómetro, evitando disponer de varios sensores, así como de mecanismos de comunicación y procesamiento externos. Destacan por tanto, el bajo coste que supone la solución planteada y la aceptable eficiencia conseguida en el análisis de la marcha y otras actividades derivadas. Más tarde, Sprager [132] presenta un método basado en el acelerómetro embebido en el teléfono móvil para identificar el tipo de marcha que realiza una persona: lenta, normal y rápida. Los datos recogidos por el teléfono son enviados a un sistema y analizados con la técnica SVM, que trata esos datos, con el fin de clasificar la marcha. En la actualidad, los teléfonos de última generación o *smartphones* conforman los dispositivos más interesantes para llevar cabo propuestas relacionadas. En este caso, Lemoyne [133] desarrolla un sistema basado en el teléfono *iPhone* de la compañía Apple¹ capaz de obtener características de los datos de marcha aportados por el acelerómetro integrado y enviarlos vía email a un sistema computador para su posterior estudio. Por su parte, Chan [134] estudia la viabilidad, también del *iPhone*, para la detección de la marcha focalizando nuevamente sobre la reducción de costes que supone utilizar un dispositivo comercial tan extendido y asentado en el mercado. Y no solo eso, sino que también se indaga

¹<http://www.apple.com/>

sobre la “no-intrusión” que supone el uso de estos teléfonos móviles. Las características extraídas por el teléfono incluyen detección del paso, tiempo y cadencia.

Una vez estudiados los trabajos relacionados con la Acelerometría y la integración de dispositivos móviles en entornos *Healthcare*, solamente nos queda abordar aquellos estudios centrados en la detección y valoración de la fragilidad en ancianos, incidiendo especialmente en aquellos que hacen uso de dispositivos móviles.

3.5. Valoración de la Fragilidad

La detección y el diagnóstico de la fragilidad es un proceso complejo ya que se deben tener en cuenta multitud de factores tal y como se detalló en el apartado 2.2. En este sentido, Martin [135], presenta una revisión sobre las diferentes herramientas (tests y escalas) utilizadas por los investigadores más relevantes en el campo de la fragilidad. El trabajo pone de manifiesto la importancia de cada una de estas herramientas, así como la información que aportan, la cual depende del propósito perseguido. En la misma línea, Karnik [136] describe un conjunto de herramientas utilizadas, e identifica tecnologías emergentes, como la acelerometría, para dar soporte a una detección temprana del síndrome de fragilidad, sobre todo en su componente funcional (física y cognitiva).

Numerosos autores se afanan en buscar un modelo de cuantificación que sirva para obtener un valor referencial que mida el índice de fragilidad de una persona mayor. Jones [137] propone un método para determinar un índice de fragilidad a partir de una valoración geriátrica detallada, la cual se centra en el estudio de una serie de variables a partir de: equilibrio, comunicación, estado cognitivo, nutrición, continencia, AVD y comorbilidad entre otras. Sin embargo, el autor concluye que la mejor manera de medir la fragilidad aún está por determinar. Rockwood [138] propuso un método basado en los resultados de un estudio estadístico a partir de diferentes tests y escalas para establecer un índice de fragilidad en una población anciana. Por su parte, Searle [139] propone un procedimiento de cuantificación para obtener un índice de fragilidad a partir de un conjunto de variables. En este caso, las variables cualitativas o no numéricas son codificadas. En [140], Partridge discute sobre los métodos disponibles para la valoración de la fragilidad, en este caso enfocados a personas ancianas que han pasado por algún tipo de intervención quirúrgica. Mientras, Gobbens [141] define un framework conceptual que agrupa los principales factores relacionados con la fragilidad, los cuales fueron identificados a través de un experimento. Estos factores incluyen: parámetros cognitivos, fuerza, equilibrio, nutricionales, actividad física y movilidad; mientras que los factores sociales y psicológicos se consideraron de menor importancia. Sin embargo, la dependencia humana, en este caso de médicos y geriatras, a la hora de emitir un

3. TRABAJOS RELACIONADOS

diagnóstico de la fragilidad hace que esta se siga presentando con cierto nivel de subjetividad. Trabajos como el de De Lepeleire [142] exponen la utilidad de la evaluación de la fragilidad para la detección temprana de demencia y otros problemas cognitivos; en este caso se utilizan lo que denominan parámetros diagnósticos en combinación con resultados procedentes de tests y escalas mentales (Camdex-R¹ y MMS) para evaluar el estado de una población anciana. Más recientemente Van Kempen [143] ha desarrollado un procedimiento denominado *Easycare-TOS (Easycare Two-step Older persons Screening)* para la identificación de la fragilidad en ancianos desde la atención primaria considerando recursos clínicos y humanos, apoyados por el programa *Easycare*².

La mayoría de los autores estudiados coinciden en que la valoración física constituye el dominio más importante a tener en cuenta en el análisis de la fragilidad, por ofrecer la mayor cantidad de información acerca de la persona, lo que se pone de manifiesto en trabajos como el de Ming [144], quien presenta una revisión sistemática acerca de las investigaciones relacionadas con la fragilidad, con el fin de conocer la importancia del concepto, causas y consecuencias de este síndrome en las personas mayores y en los cuales la fragilidad física se presenta como una de las partes más importantes en el estudio de la fragilidad de forma integral. La aparición y crecimiento de nuevas tecnologías y los avances en el campo de la acelerometría, facilita un análisis objetivo de la condición física en personas ancianas. En este caso, los sensores acelerómetros pueden proporcionar mucha más información que los mecanismos actuales basados en tests y escalas. Hace tiempo que los mecanismos acelerómetros se usan en el reconocimiento de actividades, detección de caídas y posteriormente en trabajos de rehabilitación, como se ha detallado en los apartados anteriores. Sin embargo, los estudios encaminados a la detección de la fragilidad a partir del análisis mediante acelerometría no son tan numerosos. Theou [145] realiza una comparación utilizando diferentes mecanismos para la valoración de la actividad física en relación con la información acerca de la fragilidad que estos aportan. En el estudio se incluyen acelerómetros, dispositivos para la monitorización de la frecuencia cardíaca, unidad móvil de Electromiografía (EMG), un sistema GPS y varios cuestionarios tradicionales. Cuando estos dispositivos se usan en conjunto, pueden proporcionar gran cantidad de información acerca de la condición física de la persona y por tanto del nivel de fragilidad. No obstante, en la mayoría de casos, esta solución no es factible en el día a día de entornos *Healthcare*.

Por otra parte, si centramos nuestros esfuerzos en el estudio de los trabajos relacionados con la valoración de la fragilidad apoyada por el uso de teléfonos móviles o smartphones, nos encontraremos con un estado del arte tan pobre que llama la aten-

¹Cambridge Examination for Mental Disorders of the elderly - <http://pb.rcpsych.org/content/24/5/199.2>

²<http://www.easycare.org.uk/>

ción. Hasta ahora, se han identificado trabajos de valoración de fragilidad, reconocimiento de actividades físicas (incluyendo detección de caídas y rehabilitación) y el uso de teléfonos móviles en entornos *Healthcare*; sin embargo, no se ha encontrado ninguna solución que conjugue todos estos factores en un marco común para abordar el problema de la fragilidad.

3.6. Clasificación y Similitud

Atendiendo al desarrollo del apartado 2.5.3, donde se explicaron los métodos de clasificación basados en similitud, en este punto se abordarán algunos de los trabajos encontrados más relevantes acerca de la aplicación de estos métodos al ámbito clínico.

La mayoría de los estudios relacionados se centran en el análisis de características entre diferentes especies de animales o plantas, no obstante, los mecanismos de clasificación y similitudes son ampliamente usados también en el análisis de enfermedades. En este sentido, podemos destacar trabajos como el de Socransky [146] que presenta un enfoque basado en análisis de clusters y coeficiente de Gower para estimar la extensión de la enfermedad periodontal en 22 pacientes. Gelnarová [147] realizó una comparación de tres métodos de clasificación, incluyendo uno que utiliza el coeficiente de similitud de Gower, en el diagnóstico temprano del cáncer de próstata sobre un grupo de 826 pacientes. Passarino [148] propone un método para determinar los fenotipos de envejecimiento de una población anciana usando el análisis de clusters sobre varios parámetros procedentes del test MMS, la fuerza de agarre de la mano mediante dinamómetro y el test Geriatric Depression Scale (GDS). Según los autores, dicho estudio también puede favorecer la identificación de variantes genéticas que afectarían a la calidad del envejecimiento. Zauszniewski [149] presenta los resultados de una comparación basada en clasificación mediante similitudes sobre una población anciana con diabetes confirmando la relación existente entre la diabetes y diversos síntomas depresivos. Por su parte, Schäfer [150] analiza la relación de las variables socio-demográficas y socio-económicas con respecto a la morbilidad en una población anciana, mediante la aplicación del coeficiente de Gower. Otro de los trabajos considerados interesantes en este punto, es el desarrollado por Provencher [151], quien realiza una valoración, a través del estudio de diferentes factores (demográficos, cognitivos y del entorno) usando métodos de similitud, asociado a la tarea de preparación de la comida por ancianos frágiles. Entre los resultados de este estudio se puede observar cómo el anciano en su hogar es capaz de realizar las tareas de una forma más eficiente y pragmática que en un entorno clínico bajo la supervisión de un facultativo. Por ello propone que los ancianos frágiles deberían ser valorados en su hogar para obtener unos resultados reales y fiables.

3. TRABAJOS RELACIONADOS

3.7. Análisis y conclusiones

Una vez presentados los trabajos de investigación relacionados, se ha realizado un análisis de los trabajos correspondientes a proyectos y/o sistemas más relevantes considerando los criterios de evaluación expuestos en el apartado 3.2. Cada uno de los criterios ha sido ponderado de 1 a 3 puntos dependiendo del grado de cumplimiento observado en cada sistema, siendo 1 un nivel bajo o nulo de cumplimiento (peor grado de satisfacción) y 3 un alto grado de cumplimiento (mejor grado de satisfacción). Además se pone de manifiesto si el sistema usa o no dispositivos móviles (*smartphones*) para cumplir sus objetivos.

En la tabla 3.1 se muestran las puntuaciones obtenidas de cada trabajo seleccionado relacionado con la inclusión tecnológica en *Healthcare* para cada criterio de evaluación. De manera gráfica, estos resultados se muestran en la figura 3.2. Destacar que solamente cuatro de los trabajos corresponden a sistemas móviles, aunque bien es cierto que cada vez son más los sistemas y trabajos que incluyen el uso de dispositivos móviles.

Trabajo	Criterios					
	Usabilidad	Portabilidad	Implantación	Escalabilidad	Comunicación	Móvil
Hervás [78]	3	1	3	3	2	no
Bardram [79]	3	1	2	2	2	no
Fontecha [83]	2	2	3	1	2	si
Villarreal [84]	3	3	2	2	2	si
García Vázquez [86]	2	1	2	2	3	no
Pinnock [88]	2	3	3	1	2	si
Bravo [87]	2	2	3	1	2	si
Lee [152]	1	1	2	1	2	no
Jih [91]	2	1	2	1	3	no
Lin [92]	2	3	2	1	3	no
Hsieh [93]	1	2	2	1	2	no
Ehrenberg [94]	2	1	1	1	2	no

Tabla 3.1: Puntuación de los criterios de evaluación para sistemas de inclusión tecnológica en entornos *Healthcare*.

Como se puede observar, la mayoría de los trabajos analizados tienen escasa portabilidad y la capacidad de escalabilidad también es muy reducida. Sin embargo, los criterios de usabilidad, implantación y comunicación presentan, de forma general, mejores resultados. Siendo el objeto de estos trabajos usuarios pacientes y personal del ámbito de la salud, no es raro que estos criterios sean considerados de mayor importancia y alberguen mejores resultados. Aún así tan solo un máximo de tres trabajos (o cuatro en el caso del criterio de implantación) destacan sobre el resto en este sentido.

Por otra parte, la tabla 3.2 evalúa los sistemas relacionados con la acelerometría y el uso de acelerómetros en el análisis de la marcha, por ser este el aspecto más

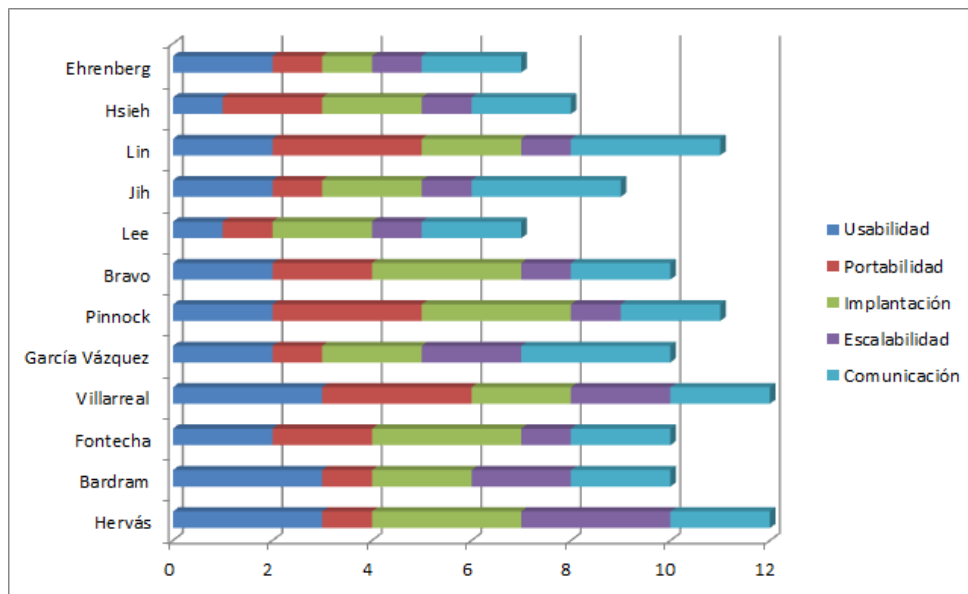


Figura 3.2: Criterios de evaluación de los trabajos *Healthcare* analizados

representativo en la valoración de la fragilidad tal y como se explicó en el apartado 3.4.4. El uso de sistemas acelerómetros integrados en dispositivos móviles hace que se observe una mayor representación de estos dispositivos en los trabajos relacionados con respecto a los demás ámbitos estudiados.

Trabajo	Criterios					
	Usabilidad	Portabilidad	Implantación	Escalabilidad	Comunicación	Móvil
Lord [123]	1	1	2	1	3	no
Pogorelc [124]	2	1	1	1	3	no
Nyan [126]	1	1	2	1	1	no
Ailisto [129]	3	1	2	1	3	no
Hartmann [130]	3	2	3	1	3	no
Iso [131]	3	2	3	1	2	si
Sprager [132]	2	2	2	1	3	si
Lemoyne [133]	3	3	3	2	3	si
Chan [134]	3	2	3	1	2	si

Tabla 3.2: Puntuación de los criterios de evaluación para sistemas de análisis de la marcha basados en acelerometría.

La figura 3.3 expone los resultados de este análisis de forma gráfica. Nuevamente el criterio de la escalabilidad y la portabilidad son los que peores puntuaciones obtienen. Por el contrario, el criterio de comunicación mejora en estos trabajos debido a la necesaria comunicación entre el dispositivo acelerómetro y el sistema que usa los datos del mismo para su análisis.

3. TRABAJOS RELACIONADOS

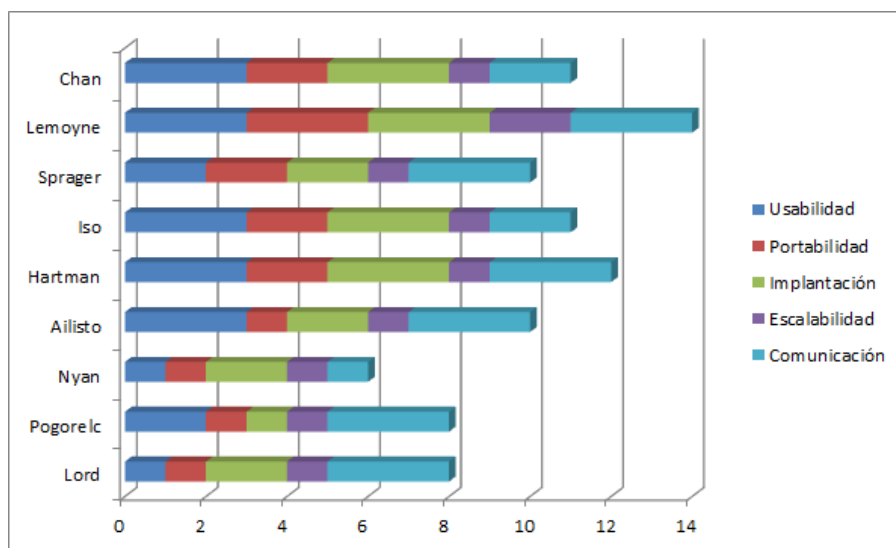


Figura 3.3: Criterios de evaluación de los trabajos de acelerometría analizados

Como ya se mencionó al final del apartado 3.5, a fecha de la presente tesis no se han encontrado sistemas móviles relacionados con la valoración de la fragilidad, de modo que en este caso se ha realizado una evaluación de los procedimientos y *frameworks* más relevantes atendiendo al resto de criterios definidos en el apartado 3.2 (integración, variables consideradas y viabilidad tecnológica) considerando el mismo sesgo de puntuación (de 3 - alto grado de cumplimiento a 1 - bajo grado de cumplimiento). La tabla 3.3 muestra las puntuaciones de los trabajos destacados atendiendo a los criterios de evaluación definidos, mientras que la figura 3.4 presenta los resultados de forma gráfica.

Trabajo	Criterios		
	<i>Integración</i>	<i>Vbles. Consideradas</i>	<i>Viabilidad Tecnológica</i>
Jones [66]	2	2	1
Searle [139]	1	2	1
Gobbens [141]	2	3	2
Theou [145]	3	1	3
De Lepeleire [142]	2	1	1
Van Kempen [143]	1	3	1

Tabla 3.3: Puntuación de los criterios de evaluación asociados a procedimientos y/o *frameworks* para la valoración de la fragilidad.

En este caso, destaca la falta de viabilidad tecnológica de los trabajos analizados, es decir, la no mención de la inclusión del procedimiento y/o *framework* en un sistema

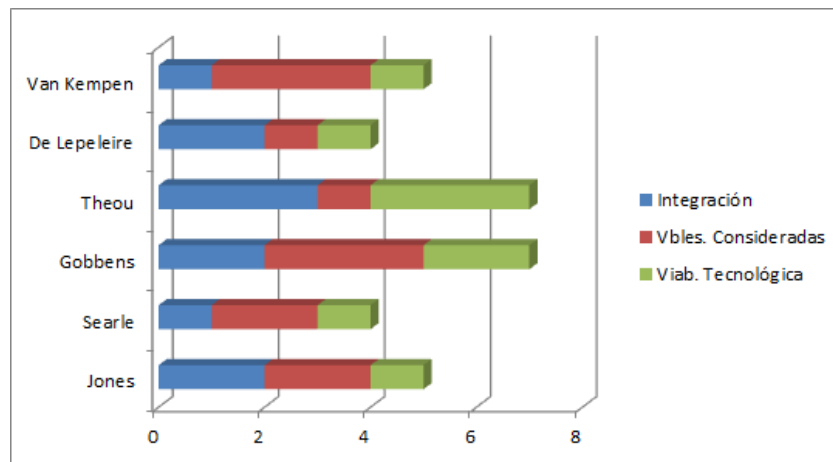


Figura 3.4: Criterios de evaluación de los trabajos de fragilidad analizados

software de forma explícita. Por el contrario, la mayoría de estos trabajos sí muestran facilidades para su integración en herramientas y sistemas computacionales. En cuanto a las variables consideradas relacionadas con la fragilidad, casi la totalidad de los trabajos utiliza un grupo notable de variables, mientras que trabajos como el de Theou [145] y De Lepeleire [142] contemplan un menor número de variables debido a que su dominio de aplicación está más acotado.

Por último, la tabla 3.4 muestra las puntuaciones otorgadas a los distintos procedimientos de clasificación basados en similitudes considerados relevantes en el dominio a estudio. En este caso, los criterios de evaluación son los mismos que para los trabajos de valoración de la fragilidad.

Trabajo	Criterios		
	Integración	Vbles. Consideradas	Viabilidad Tecnológica
Socransky [146]	2	1	1
Gelnarová [147]	2	2	1
Passarino [148]	3	2	1
Zauszniewski [149]	2	1	1
Schafer [150]	1	2	1
Provencher [151]	2	3	1

Tabla 3.4: Puntuación de los criterios de evaluación asociados a procedimientos de clasificación basados en similitud.

La figura 3.5 muestra los resultados de los trabajos de clasificación basados en similitudes. Lo primero que llama la atención en este caso es la mínima puntuación de la totalidad de trabajos en el criterio de viabilidad tecnológica ya que ninguno plantea

3. TRABAJOS RELACIONADOS

su inclusión en sistemas software y sin embargo este tipo de procedimientos favorecen su incorporación en sistemas computacionales tal y como queda representado por el criterio “integración”. Nuevamente, el número de variables consideradas es amplio en la mayoría de los trabajos.

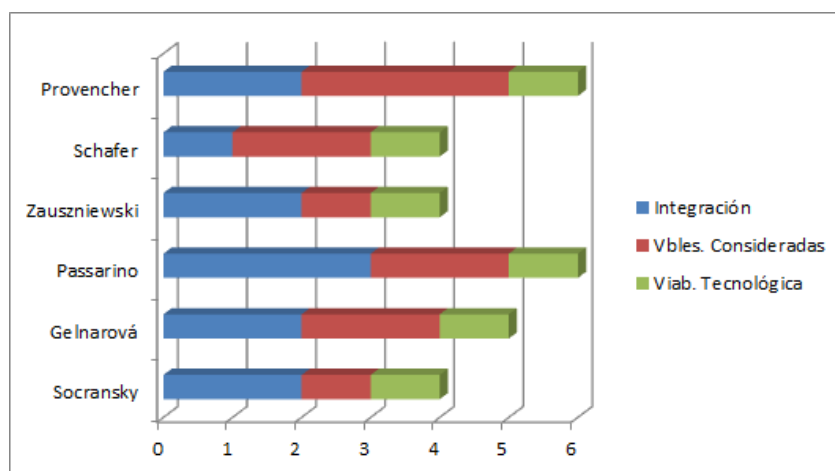


Figura 3.5: Criterios de evaluación de los trabajos de clasificación basados en similitud analizados

El trabajo presentado en esta tesis doctoral pretende contribuir a la valoración de la fragilidad en personas ancianas, mediante el uso de mecanismos acelerómetros para el análisis de la marcha así como de la obtención de las variables clínicas relacionadas estrechamente con este síndrome. Los algoritmos de clasificación basados en similitud nos proporcionan una solución muy aceptable para el análisis de los datos y generación de resultados. Además, el sistema pretende ser desplegado en entornos clínicos por geriatras y facultativos. Como se puede observar, el alcance de este trabajo ocupa varios dominios de aplicación justificando así los apartados desarrollados en este capítulo.

Capítulo 4

Propuesta móvil para la detección y valoración de la fragilidad

4.1. Introducción

Este capítulo está dedicado a la descripción detallada y justificación del sistema arquitectural para la detección y seguimiento de la fragilidad en personas de edad avanzada, conformando uno de los capítulos principales del presente trabajo de investigación.

El capítulo se divide en cuatro partes claramente diferenciadas. En primer lugar se abordará el diseño conceptual de la arquitectura, determinando la taxonomía de los elementos involucrados, identificación de roles y la representación del modelo arquitectural (apartado 4.2). En segundo lugar, se expone el diseño funcional, relativo a la funcionalidad de cada elemento de la arquitectura, identificando y describiendo los servicios, el análisis del ejercicio físico, la identificación de los factores clínicos de riesgo y la generación de resultados en base al modelo de instanciación definido (ver apartado 4.3). En la sección 4.4, se explica en detalle la parte algorítmica desarrollada para la valoración de la fragilidad considerando la aplicación del coeficiente de similitud de Gower. Y por último, el apartado 4.5 presenta la representación del resultado mediante mapas en árbol.

El nivel de detalle y abstracción son dos conceptos importantes y directamente relacionados en la descripción de la arquitectura de modo que el aumento en el nivel de detalle supone la disminución en el nivel de abstracción y viceversa. La figura 4.1 muestra una visión global de las tres partes que conforman la arquitectura en función de los niveles de abstracción y detalle. En este caso, se incluye la capa de implementación (de prototipos y aplicaciones derivadas) como objetivo de las capas inferiores. Sin embargo, tanto el modelo como el diseño funcional de la arquitectura serán inde-

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

pendientes de la tecnología utilizada para la implementación de la arquitectura como veremos más adelante. Del mismo modo, la parte algorítmica se plantea como una capa intermedia entre la funcional y la de implementación.

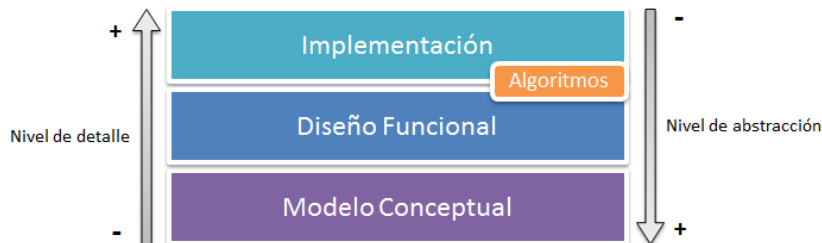


Figura 4.1: Capas principales de la arquitectura

Teniendo en cuenta estas premisas, se da comienzo al desarrollo del capítulo.

4.2. Diseño Conceptual y Modelado

La fase inicial del presente trabajo está determinada por la identificación de todos los elementos que forman parte de la arquitectura. Estos elementos son identificados y clasificados, estableciendo las relaciones existentes entre ellos, así como las funciones o roles que estos desempeñan, conformando el modelo arquitectural. El nivel de abstracción del modelo permite establecer una visión general tanto de cada parte de la arquitectura como de toda ella en su conjunto.

De forma metafórica, el modelo presentado en este apartado podría asociarse con la etiqueta interrogativa *Qué*, haciendo referencia a la estructura de la arquitectura y sus elementos, sin entrar en detalles del *Cómo* estos elementos trabajan, correspondiéndose esta última con la funcionalidad de la arquitectura, la cual será tratada en el apartado 4.3.

4.2.1. Descripción taxonómica

Es importante establecer una taxonomía con el fin de clasificar cada uno de los elementos identificados, los cuales a partir de este momento denominaremos entidades. De igual forma se han determinado cuatro grupos o clases de entidades: **usuarios**, **dispositivos**, **artefactos** y **procedimientos**. De este modo, cada una de las entidades identificadas corresponde a un tipo de clase.

La representación de los conceptos y sus relaciones en el modelo se expresará mediante diagramas o esquemas de carácter ontológico [153][154]. La figura 4.2 muestra de forma general los elementos entidad y clase, así como la relación existente entre

ellos.

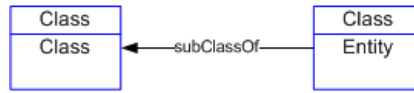


Figura 4.2: Representación de los elementos principales del modelo

En los siguientes apartados, se presenta de forma detallada cada una de las entidades identificadas como elementos de las clases definidas con anterioridad.

4.2.1.1. Usuarios

La clase *Usuario* hace referencia a las personas físicas que tienen la capacidad de iniciar, de forma directa o indirecta, los distintos procesos derivados de la arquitectura. En nuestro caso, se han determinado dos tipos de entidades *Usuario* participantes, las cuales se muestran en la tabla 4.1. Como se puede observar, cada entidad tiene asociado un icono descriptivo para facilitar la comprensión de algunos de los diagramas y figuras presentadas en este trabajo.



Icono	Usuario	Descripción
	Médico/Geriatra	Hace referencia al facultativo o especialista capaz de emitir un diagnóstico o valoración del estado de fragilidad del paciente anciano, haciendo uso de las herramientas derivadas de la arquitectura presentada.
	Paciente anciano	Representa el paciente que el médico/geriatra tiene a su cargo, constituyendo la entidad a estudio utilizando los mecanismos proporcionados por la arquitectura.

Tabla 4.1: Usuarios

En la figura 4.3 se presentan tanto las entidades de tipo *Usuario* como sus relaciones.

4.2.1.2. Dispositivos

Los dispositivos hacen referencia a los elementos computacionales necesarios para llevar a cabo las tareas definidas por la arquitectura, las cuales pueden ser desencadenadas por un usuario médico/geriatra o bien por otro dispositivo. En este caso intervienen tres tipos de dispositivos: el equipo servidor, el acelerómetro y el teléfono móvil

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

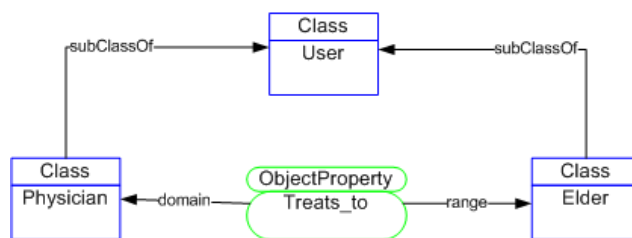


Figura 4.3: Representación de las entidades *Usuario* del modelo

o *smartphone*. El equipo servidor tiene la capacidad de comunicarse con el dispositivo móvil, y este a su vez puede tener embebido el dispositivo acelerómetro, tal y como ocurre en los últimos modelos de *smartphones*. En la figura 4.4 se muestra la representación ontológica de estas entidades y sus relaciones.

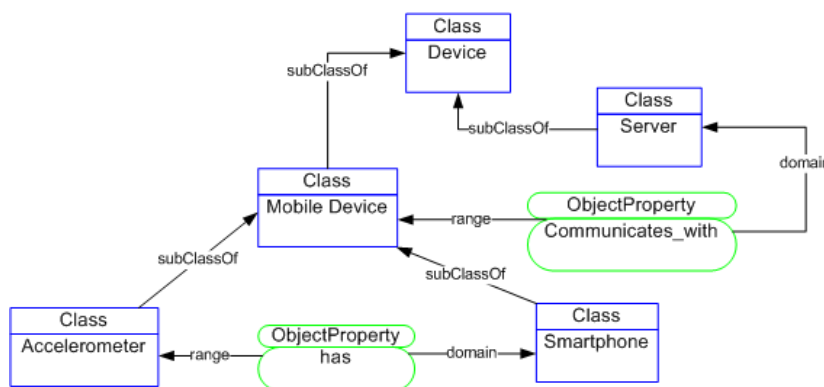


Figura 4.4: Representación de las entidades *Dispositivo* del modelo y sus relaciones

Del mismo modo, en la tabla 4.2 se ponen de manifiesto el resto de características.

4.2.1.3. Artefactos

Denominaremos artefactos a las entidades externas de origen clínico utilizadas por el geriatra para medir determinados parámetros, magnitudes y características del paciente anciano. En este sentido, se han identificado dos tipos de entidades *Artefacto*: cuestionarios e instrumental médico.

La figura 4.5 muestra los elementos anteriores y sus relaciones. Del mismo modo, la tabla 4.3 presenta las características de estas entidades.




Icono	Dispositivo	Descripción
	Servidor	El equipo servidor tiene la capacidad de satisfacer las necesidades computacionales del sistema, incluyendo la ejecución de procedimientos y servicios e interacción con los dispositivos móviles.
	Smartphone	Constituye la entidad clave de la arquitectura presentada. Este dispositivo móvil es el encargado en primera instancia del despliegue de servicios, procesos de comunicación con el servidor y con el dispositivo acelerómetro (en el caso de no encontrarse integrado), interacción con el usuario y visualización de resultados.
	Acelerómetro	Hace referencia al dispositivo móvil que obtiene los datos de acelerometría procedentes de la entidad <i>Paciente anciano</i> . Este dispositivo puede encontrarse integrado en el teléfono móvil, o por el contrario tratarse de un dispositivo autónomo capaz de comunicarse de forma inalámbrica con el Smartphone.

Tabla 4.2: Dispositivos

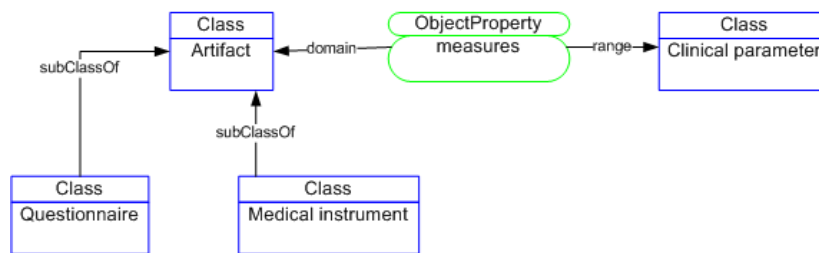


Figura 4.5: Representación de las entidades *Artefacto* del modelo y sus relaciones



Icono	Artefacto	Descripción
	Cuestionario	Hace referencia a los cuestionarios estandarizadas utilizados por geriatras y facultativos como métodos para la obtención de determinados resultados clínicos (ejemplo: Índice de Barthel - ver apartado 2.2.3.1).
	Instrumental médico	Otra forma de obtener medidas relacionadas con diversos parámetros clínicos es a través del uso de instrumentos médicos (ejemplo: dinamómetro, báscula IMC, etc.). Por ello se ha definido la presente entidad.

Tabla 4.3: Artefactos

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

4.2.1.4. Procedimientos

Las entidades que conforman la clase *Procedimiento* albergan los métodos y mecanismos necesarios para la obtención de resultados y conclusiones partiendo de las aportaciones de las entidades de las clases *Dispositivo* y *Artefacto*. Se han determinado tres entidades como procedimientos importantes: el historial clínico del paciente, la denominada Pila de Pacientes o Patient Stack (PS) y los servicios. Estos últimos se clasifican en servicios de adquisición de datos, servicios de procesamiento de datos, servicios de almacenamiento y servicios de valoración. En la figura 4.6 se muestra la representación de los elementos de la clase y sus relaciones.

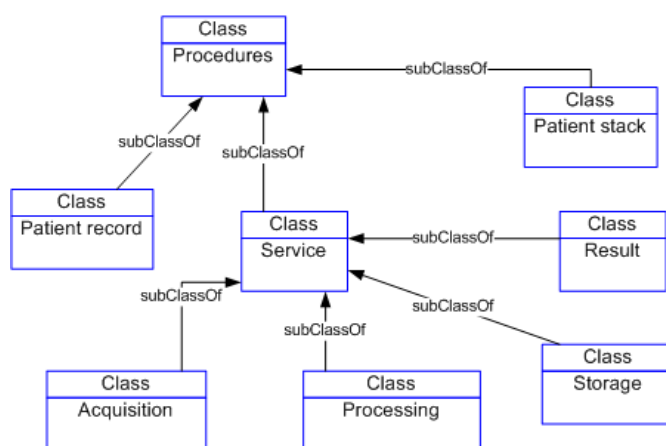





Figura 4.6: Representación de las entidades *Procedimiento* del modelo y sus relaciones

Por último, la tabla 4.4 establece la iconografía y una breve descripción de las entidades identificadas.

Icono	Procedimiento	Descripción
	Historial del paciente	Hace referencia al historial clínico de cada paciente, en el cual se almacena la totalidad de sus datos médicos.
	Pila de pacientes (PS)	Entidad que representa un conjunto de pacientes previamente seleccionados.
	Adquisición	Se refiere a los mecanismos de adquisición y extracción de datos, tanto de dispositivos como de artefactos.




	Procesamiento	Entidad relacionada con los métodos para el tratamiento de la información procedente de artefactos y dispositivos.
	Almacenamiento	Entidad relacionada con los mecanismos de almacenamiento de la información correspondiente.
	Resultado	Entidad que incluye los métodos para la obtención de resultados y valoración del estado de fragilidad.

Tabla 4.4: Procedimientos

4.2.2. Identificación de roles

Una vez identificadas las entidades que forman parte del modelo, se deben determinar las acciones o roles que estas entidades llevan a cabo en la arquitectura. A continuación se describen cada uno de ellos de forma general, en función de la entidad asociada.

- *Usuarios*

- **Paciente anciano.** Es el usuario a estudio y el encargado de iniciar los procesos iniciales para la valoración final. Durante el ejercicio físico transporta el teléfono móvil o *smartphone* en la cintura, en una posición determinada. También proporciona el historial clínico relacionado.
- **Médico/Geriatra.** Establece las directrices a seguir para la valoración del estado de fragilidad del paciente anciano. En nuestro caso, interactúa con el *smartphone*, utiliza los artefactos disponibles e inicia, directa o indirectamente, los procedimientos para la detección y el diagnóstico de la fragilidad.

- *Dispositivos*

- **Acelerómetro.** Su principal función es la obtención de los datos de acelerometría en sus tres ejes (en acelerómetro triaxial) derivados del ejercicio físico ejecutado por el paciente anciano. Estos datos son enviados al dispositi-

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

tivo *smartphone*, tanto si se encuentra integrado en este como si se trata de un dispositivo autónomo.

- **Smartphone.** Realiza el despliegue de los servicios correspondientes a la adquisición de datos de acelerometría, procesamiento y visualización de resultados. Por otra parte, facilita la interacción con el geriatra y la comunicación con el equipo servidor.
- **Servidor.** Satisface las peticiones realizadas por el teléfono móvil, ejecutando los servicios y cálculos correspondientes. Mantiene la información del sistema debidamente actualizada.

■ *Artefactos*

- **Cuestionarios.** Su finalidad es ayudar al geriatra a emitir una valoración sobre determinados aspectos del paciente anciano. En este caso, los resultados derivados albergan cierto grado de subjetividad.
- **Instrumental médico.** Tienen la misma finalidad que los cuestionarios. La principal diferencia es el carácter objetivo que imprimen los instrumentos médicos. Tanto estos últimos como los cuestionarios complementan la valoración integral del paciente, formando parte del historial clínico.

■ *Procedimientos*

- **Historial clínico.** Proporciona la totalidad de medidas y resultados clínicos de un paciente relacionados con la fragilidad, necesarios para su análisis por diferentes partes de la arquitectura.
- **Pila de pacientes.** Se encarga de ofrecer una base de datos unificada con todos los resultados de los pacientes evaluados hasta la fecha.
- **Adquisición.** Los servicios de adquisición se encargan de obtener los datos necesarios de las entidades correspondientes para su posterior tratamiento. Esto incluye: adquirir de manera apropiada los datos de movimiento proporcionados por el acelerómetro, adquirir los datos clínicos proporcionados por el historial del paciente y extraer los resultados de la pila de pacientes.
- **Procesamiento.** Procesar los datos obtenidos del acelerómetro, así como procesar de los datos extraídos tanto del historial como de la pila de pacientes.
- **Almacenamiento.** Almacenar de forma persistente los datos obtenidos de las entidades correspondientes, y facilitar su acceso en las tareas de procesamiento.

- **Resultado.** Componer los resultados de valoración a partir de los servicios de procesamiento. Visualizar los resultados en el teléfono móvil. Ofrecer un soporte a la valoración final de la fragilidad por parte del geriatra.

La descripción detallada y el funcionamiento de las acciones descritas se tratará en posteriores apartados.

4.2.3. Representación Ontológica

Los modelos definidos en los apartados anteriores se corresponden con las distintas partes de un modelo integral que representa la arquitectura en su totalidad, tal y como se muestra en la figura 4.7. Así mismo, la tabla 4.5 describe las relaciones que se dan entre las distintas entidades del modelo.

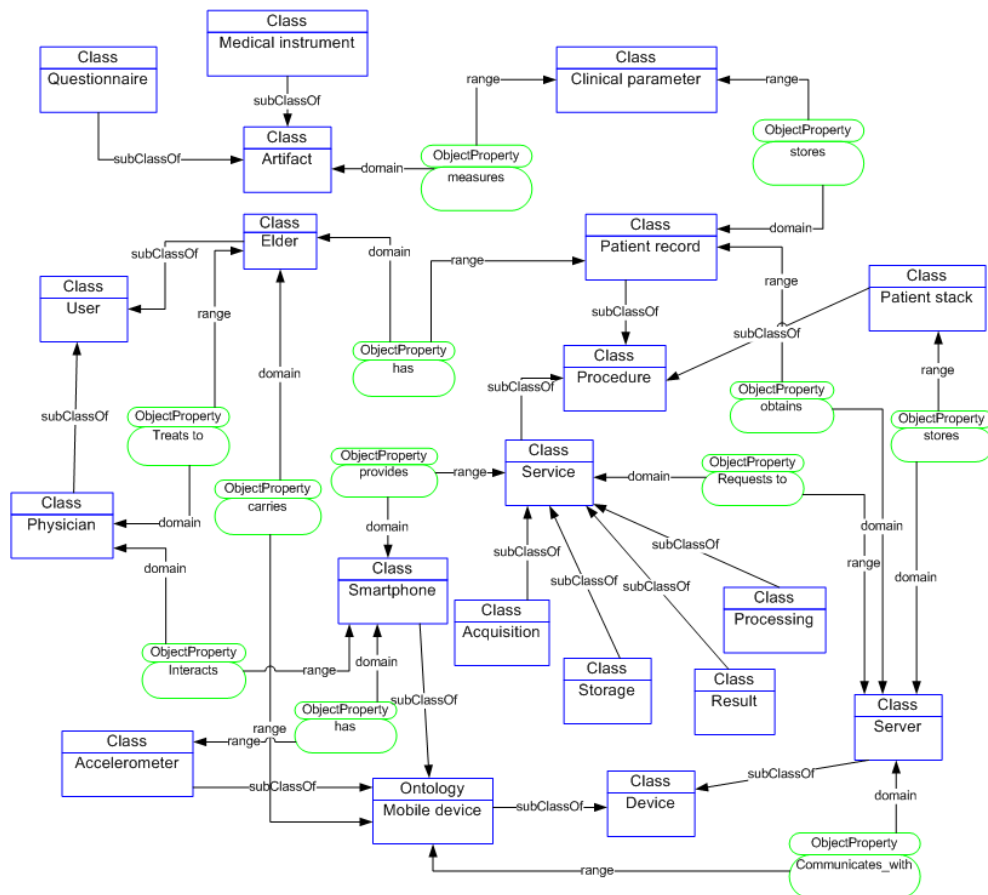


Figura 4.7: Representación del modelo y las relaciones entre clases

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

Entidades		Relación	Descripción
Artifact	Clinical parameter	<i>measures</i>	Todo artefacto mide un parámetro clínico
Patient Record	Clinical parameter	<i>stores</i>	El historial del paciente almacena el parámetro clínico
Physician	Elder	<i>treats to</i>	El médico es el encargado de tratar al paciente
Elder	Patient record	<i>has</i>	El paciente anciano tiene un historial clínico
Elder	Smartphone	<i>carries</i>	El paciente anciano transporta el teléfono móvil durante el ejercicio
Physician	Smartphone	<i>interacts</i>	El médico/geriatra interactúa con el teléfono móvil
Smartphone	Accelerometer	<i>has</i>	El teléfono móvil tiene integrado el sensor acelerómetro
Smartphone	Service	<i>provides</i>	El teléfono móvil proporciona un servicio
Service	Server	<i>requests to</i>	El servicio es solicitado a un servidor
Server	Mobile device	<i>communicates with</i>	El servidor se comunica con el teléfono móvil
Server	Patient record	<i>obtains</i>	El servidor obtiene el historial clínico del paciente anciano
Server	Patient stack	<i>stores</i>	El servidor almacena la pila de pacientes

Tabla 4.5: Descripción de las relaciones entre entidades

A partir del modelo presentado, puede obtenerse el flujo de actuación de la arquitectura, el cual se resume como sigue:

El paciente anciano, bajo las indicaciones del médico geriatra, porta el teléfono móvil con acelerómetro integrado (en su cintura) durante la realización de los ejercicios correspondientes. El dispositivo móvil proporciona el acceso a los servicios de adquisición, almacenamiento, procesamiento y resultados que efectúan las tareas de detección y diagnóstico necesarias. Estos servicios son previamente solicitados a un equipo servidor, que se comunicará con el teléfono móvil. Así mismo, el servidor utiliza el historial clínico del paciente, en el que se encuentran, entre otros resultados, valores usados por algunos de los servicios. Estas medidas almacenadas en el historial se corresponden con distintos parámetros clínicos obtenidos por los diferentes artefactos (instrumentos médicos y cuestionarios). Estas medidas del paciente son analizadas teniendo en cuenta las medidas del resto de pacientes previamente estudiados, almacenados en la pila de pacientes; creándose un objeto que contiene el resultado. Esa información resultante fruto de la evaluación es enviada al teléfono

móvil. Finalmente, el médico interactúa con el dispositivo, visualizando los resultados y emitiendo una valoración consecuenta del estado de fragilidad.

4.3. Diseño Funcional

Una vez descrito el diseño conceptual correspondiente al modelo de la arquitectura, en este apartado se abordará el diseño funcional, describiendo las distintas funcionalidades y comportamientos de las entidades identificadas con anterioridad.

El diseño funcional exige expresar detalladamente cada parte de la arquitectura a diferencia del modelo conceptual, centrado en definir los elementos identificados y sus relaciones. Con un mayor nivel de detalle y un menor nivel de abstracción se presenta la parte funcional de la arquitectura, centrada en la definición de servicios y el funcionamiento de los distintos componentes.

4.3.1. Descripción de la arquitectura

El principal objetivo de la arquitectura es asegurar la interoperabilidad entre las entidades del modelo, además de servir de marco común para favorecer la implementación de aplicaciones derivadas, desplegando los servicios correspondientes en función de los recursos necesarios.

De forma general, la arquitectura comprende el estudio de los datos clínicos/médicos del paciente en combinación con el estudio de los datos de acelerometría procedentes del dispositivo acelerómetro. Más detalladamente, la arquitectura se divide en diferentes bloques o capas. Todo ello se muestra en la figura 4.8, desvelando la situación de cada uno de estos bloques.

Los bloques inferiores incluyen a los usuarios, dispositivos y artefactos como recursos utilizados para la construcción del modelo. Así mismo, también destaca la participación del historial clínico obtenido del estudio geriátrico previo y la pila de pacientes, la cual a partir de ahora denominaremos pila de instancias, ya que un paciente podrá verse representado y almacenado en la pila un determinado número de veces, en lo que corresponderá a distintas instancias. En el apartado 4.3.5, se habla de este proceso, describiendo detalladamente el concepto de instancia.

Por su parte, los servicios constituyen el verdadero núcleo funcional, y gracias a la capa de comunicaciones, estos pueden relacionarse con las aplicaciones correspondientes, independientemente de la plataforma utilizada para su implementación.

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

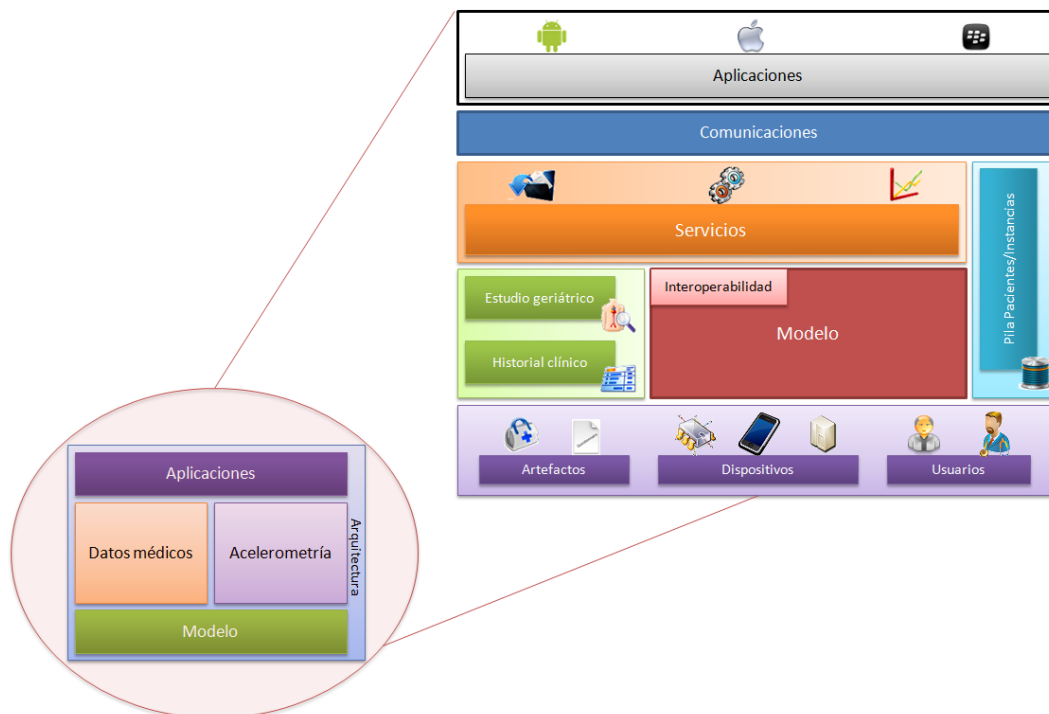


Figura 4.8: Bloques/Capas de la arquitectura

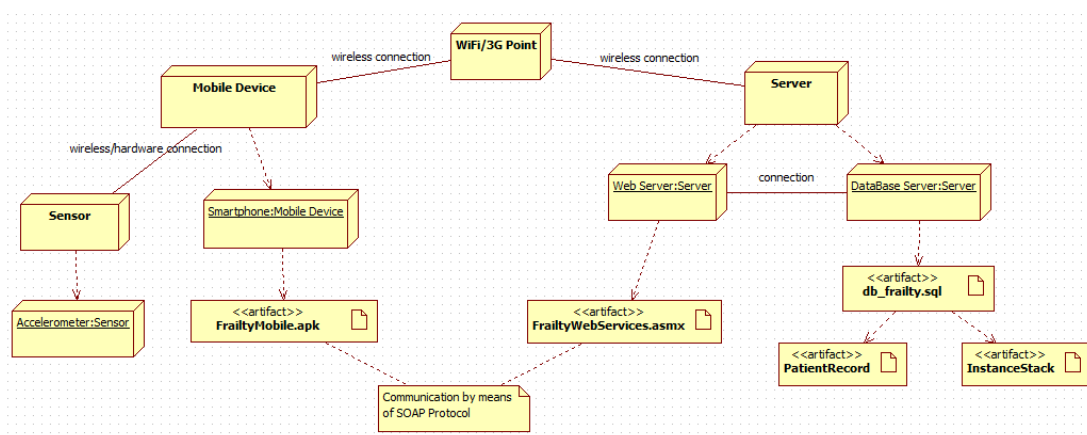


Figura 4.9: Diagrama de despliegue de la arquitectura

Por último, la figura 4.9 corresponde al diagrama de despliegue¹ de la arquitectura, representando la configuración de la misma en tiempo de ejecución. En este caso se muestran los distintos nodos hardware y software que participan en la detección de la fragilidad, así como los artefactos vinculados a cada nodo (ejecutables, ficheros, bases de datos, etc.), los cuales serán tratados a lo largo del presente documento.

4.3.2. Enfoque orientado a servicios

Según la Real Academia Española de la Lengua (RAE), se define servicio (en la acepción que nos interesa) como “*la acción y el efecto de servir*”. Desde el punto de vista tecnológico, un servicio es un proceso o conjunto de procesos destinados a satisfacer una o más necesidades de un usuario.

Debido a la evolución tecnológica, las comunicaciones inalámbricas y la necesaria distribución de los sistemas, estos fueron adquiriendo un enfoque orientado a servicios, existiendo dos entidades fundamentales en toda transacción de este tipo: *consumidor* y *productor*. El primero de ellos se encarga de realizar las peticiones al segundo, el cual tiene como objetivo ofrecer una respuesta o un resultado al primero.

Con el crecimiento de la telefonía móvil e internet, la importancia de los servicios ha ido en aumento. En este caso, los servicios denominados servicios web se postulan como los componentes idóneos para permitir la interoperabilidad de forma estandarizada entre los dispositivos de una red, favoreciendo la comunicación y el tránsito de información entre ellos, independientemente de la arquitectura utilizada [155]. La organización Web Services Interoperability Organization (WS-I) es el principal responsable de esta estandarización.

En la actualidad, los servicios web son utilizados por la mayor parte de las herramientas y/o aplicaciones informáticas que necesitan acceder a contenido existente en la red o a sistemas conectados a ella. Sin embargo, para usos específicos o sistemas cerrados y propietarios se hace más eficiente el uso de alternativas de computación distribuida como CORBA², DCOM³ u otros sistemas basados en RPC⁴.

Por otra parte, la aparición de un nuevo paradigma denominado *Cloud Computing* o computación en la nube ha fomentado el uso de servicios y el desarrollo de productos accesibles desde internet, permitiendo un nuevo campo de posibilidades tecnológicas y de negocio, orientando el software a los propios servicios [156]. La actual orientación

¹http://www.sparxsystems.com.ar/resources/tutorial/uml2_deploymentdiagram.html

²<http://www.corba.org/>

³<http://msdn.microsoft.com/library/cc201989.aspx>

⁴<http://tools.ietf.org/html/rfc1057>

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

a servicios de la nube en la computación móvil y ubicua será aprovechada por diversas partes de la arquitectura presentada, tal y como veremos en los siguientes apartados.

4.3.2.1. Identificación de servicios

Los procesos desplegados por la arquitectura presentada tendrán un enfoque orientado a servicios (véase el apartado 4.3.2). En el apartado 4.2.1.4, se ha visto como los servicios identificados están incluidos en el modelo de los *Procedimientos*.

En la arquitectura se identifican dos modelos de servicios, en función del dispositivo en el que se ejecutan:

- **Móvil.** Hace referencia a los servicios internos desplegados por el teléfono móvil o *smartphone*, teniendo en cuenta los procesos derivados del sensor acelerómetro.
- **Web.** Se refiere a los servicios alojados en el servidor como servicios web. En este caso, se requiere de una conexión inalámbrica (por ejemplo WiFi-3G) entre el *smartphone* y el servidor para consumir dichos servicios.

Como servicios móviles se identifican los siguientes:

- *Adquisición de los datos del acelerómetro.* Este servicio define el procedimiento de recogida de datos del sensor acelerómetro durante la realización de la actividad física. Este proceso incluye la comunicación entre el mecanismo acelerómetro y el *smartphone*.
- *Procesamiento de los datos del acelerómetro.* Responsable del filtrado, segmentación y realización de los cálculos correspondientes sobre los datos obtenidos del sensor acelerómetro, en sus tres ejes de coordenadas.
- *Visualización de resultados.* Servicio correspondiente al método para la preparación y visualización de los resultados de fragilidad en la pantalla del dispositivo *smartphone*, tras recibir los datos correspondientes del servidor.

Por otra parte, se han reconocido los siguientes servicios web:

- *Extracción del historial clínico del paciente.* Este servicio define los mecanismos para la obtención de todas las variables y factores de riesgo relacionados con la fragilidad, procedentes del historial clínico del paciente anciano.
- *Procedimiento de estudio de fragilidad.* Este servicio alberga los procesos algorítmicos necesarios para llevar a cabo el análisis comparativo de instancias (a partir de los factores de riesgo identificados), teniendo en cuenta la instancia del paciente a evaluar y las almacenadas en la pila.

- *Construcción del resultado.* A partir del servicio anterior, se componen los resultados asociados para su envío al dispositivo móvil, favoreciendo su posterior interpretación.
- *Almacenamiento en la pila de instancias/pacientes.* Relacionado con el almacenamiento de nuevas instancias en la pila de pacientes/instancias.

En la tabla 4.6, se muestra la totalidad de estos servicios anticipando los elementos de entrada y salida necesarios en su despliegue. Estos servicios se muestran en el orden más común de ejecución, según el flujo de actuación presentado en el apartado 4.2.3.

Servicio	Modelo servicio	Tipo servicio	Entradas	Salidas
Adquisición de los datos del acelerómetro	móvil	adquisición	señal del acelerómetro	valores del acelerómetro en los ejes x,y,z además del tiempo
Procesamiento de los datos del acelerómetro	móvil	procesamiento	valores de acelerometría (x,y,z,tiempo)	Indicadores de acelerometría (medidas de dispersión)
Extracción del historial clínico del paciente	web	adquisición	Historial clínico, indicadores de acelerometría	Conjunto de factores de riesgo de fragilidad
Procedimiento de estudio de fragilidad	web	procesamiento	Conjunto de factores de riesgo de fragilidad, pila de instancias	resultado de fragilidad
Construcción del resultado	web	resultado	resultado de fragilidad	resultado de fragilidad formalizado
Visualización de resultados	móvil	resultado	resultado de fragilidad formalizado	información, recomendaciones y gráficas
Almacenamiento en la pila de instancias/pacientes	web	almacenamiento	Conjunto de factores de riesgo de fragilidad	Pila de instancias con nueva instancia

Tabla 4.6: Características de los servicios identificados

Siguiendo el flujo de actuación definido, en los siguientes apartados se presentan de forma sistemática y detallada las etapas procedentes del proceso general de detección y diagnóstico propuesto por la arquitectura, teniendo en cuenta los servicios anteriores.

4.3.3. Adquisición y tratamiento de los datos de acelerometría

De acuerdo con los estudios procedentes del estado del arte (ver apartado 2.2.3.2), se pone de manifiesto la importancia de las pruebas físicas establecidas por *Tinetti*

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

[14] y el examen *Get-Up and Go* [15] en la valoración de la marcha y el equilibrio de personas ancianas para la detección de la fragilidad. De este modo, una de las primeras etapas contempladas en este trabajo será el análisis de los datos procedentes de sendos ejercicios geriátricos. Para ello, se hará uso del *smartphone* y del sensor acelerómetro integrado, desplegando los servicios de *Adquisición y Procesamiento de los datos del acelerómetro*.

Las características relacionadas con la señal de acelerometría a obtener, se han establecido teniendo en cuenta los fundamentos sobre el reconocimiento de movimiento expuestos en el apartado 2.4.3. En este sentido, el teléfono móvil será el encargado tanto de la adquisición como del procesamiento de la señal de acelerometría, realizando el análisis de la misma en el dominio del tiempo, ya que está demostrado que en este caso el consumo de recursos computacionales es inferior, además de tener una mayor sencillez de cómputo (ver apartado 2.4.3). Teniendo en cuenta estas premisas, se establece una frecuencia de muestreo de 20Hz, equivalente a la obtención de una tupla de valores de acelerometría X, Y, Z cada 50ms (periodo). Trabajos como el de Kwapisz [157], demuestran que esa frecuencia es suficiente para, por ejemplo, la detección de las actividades propuestas. Además de los valores proporcionados por el acelerómetro tri-axial, se recogerá el instante de tiempo en el que se obtiene cada tupla. Esto nos servirá, entre otras cosas, para conocer si se están obteniendo los valores de acelerometría con la frecuencia adecuada.

Como se ha mencionado anteriormente, el dispositivo móvil que contiene el acelerómetro es el responsable de llevar a cabo las tareas de adquisición y procesamiento de los datos de acelerometría. En este sentido, el dispositivo se incluye en una funda adherida al cinturón, y este a su vez, a la cintura del paciente anciano. Su colocación en esta parte del cuerpo queda determinada en base a las conclusiones expuestas nuevamente en el apartado 2.4.3. De igual forma, la posición del *smartphone* no es arbitraria. Con el fin de evitar variabilidad en los datos obtenidos, se sitúa en el interior de la funda de tal manera que los ejes de coordenadas queden distribuidos tal y como se muestra en la figura 4.10. En el caso del dispositivo utilizado bajo estas circunstancias, la pantalla queda visible facilitando la visualización y una supuesta interacción, *a priori* no necesaria durante la realización del ejercicio.

El geriatra, a través del dispositivo, inicia y detiene la obtención de los datos de acelerometría, determinando la muestra de movimiento correspondiente al ejercicio definido para el paciente anciano.

La muestra obtenida a partir de este momento es procesada por el dispositivo móvil. Dicho procesamiento incluye las etapas de segmentación, filtrado y obtención de parámetros relevantes relacionados con el ejercicio realizado tal y como indica la figura 4.11.

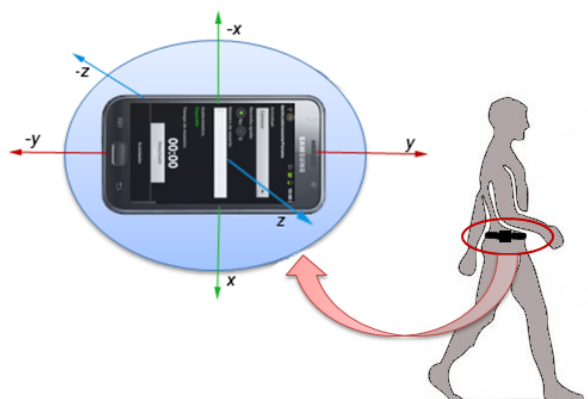


Figura 4.10: Posición del dispositivo en el paciente

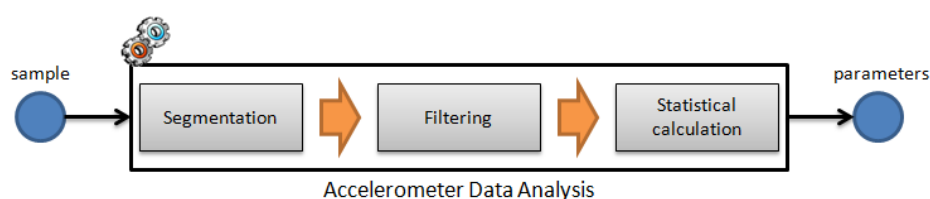


Figura 4.11: Etapas procesamiento señal del acelerómetro

A continuación veremos cada una de estas etapas de forma detallada.

4.3.3.1. Segmentación

El inicio del tratamiento de la señal comienza con la fase de segmentación. En este caso, la muestra obtenida puede proceder de los ejercicios de marcha o *get-up and go*. De este modo se han establecido dos tipos de segmentación en función de la actividad realizada. En el caso de la marcha, el movimiento es único, con lo que no se presenta ningún tipo de transición en él. Mientras, el caso del *get-up and go* así como otros ejercicios similares contienen en sí mismos varias actividades, en este caso: levantarse, caminar, girar y sentarse. Cuando se trata del reconocimiento de dichas actividades, se hace imprescindible segmentar la señal por medio de las transiciones identificadas. Sin embargo, en nuestro caso se considera el ejercicio *get-up and go* como un ejercicio único y conocido a priori y cuyo segmento obtenido representa el ejercicio en su totalidad, con la finalidad de que pueda utilizarse el mismo criterio de segmentación ante la incorporación de actividades similares. El tratamiento de segmentación en el ejercicio de marcha difiere, en parte, del resto de ejercicios (incluido *get-up and go*), y debido a su importancia, se ha prestado especial interés en su segmentación. Veamos por tanto como se ha realizado la segmentación en ambos casos.

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

La muestra de los datos a segmentar procedentes del ejercicio de marcha corresponde a la obtención de datos del acelerómetro durante un tiempo de 12 segundos (*tiempo efectivo*), durante los cuales el anciano camina en línea recta sobre una superficie lisa (ver apartado 2.2.3.2). Llamaremos **tiempo efectivo de muestra** al periodo de tiempo útil en el cual el acelerómetro ha obtenido datos válidos suficientes de un movimiento determinado, dando lugar a una muestra, la cual es almacenada en un *buffer* de forma temporal. Pero, *¿cómo se determina este periodo de tiempo?*

Determinación del tiempo efectivo de muestra en la marcha

Los tests de marcha más usados en la actualidad tratan de valorar la marcha y el estado físico del paciente en base a una distancia en metros recorrida por este tal y como se vio en capítulos anteriores. Esta distancia de carácter aproximado conforma la base del trayecto escogido como idóneo para la obtención de los datos de acelerometría, teniendo en cuenta su posterior segmentación. Según la escala de Tinetti [14], el paciente caminará por un pasillo unos 8 metros a paso normal. Por su parte, Wade [158] propone el Ten Meters Walking Test (TMWT), orientado a la rehabilitación y entrenamiento de la marcha, muy usado hoy en día, donde el paciente debe recorrer una distancia aproximada de 10 metros para establecer una valoración. Por tanto, estableceremos como límite inferior los 8 metros desprendidos del test de Tinetti, teniendo en cuenta a su vez las dimensiones y facilidades que puede ofrecer el centro objetivo del estudio.

Para establecer el valor de 12 segundos como tiempo efectivo de muestra en la marcha, se llevó a cabo el experimento desarrollado en el siguiente apartado sobre un grupo de 20 pacientes ancianos (para conocer más, ver capítulo 6).

4.3.3.2. Resultados Experimentales 1

Los pacientes recorrieron aproximadamente 12 metros en pasillo cerrado, con lo que el tiempo efectivo de muestra fue calculado en función de esa distancia inicial. Para ello, una vez se recogieron todas las muestras sobre la distancia mencionada, se estudiaron los tiempos empleados en ello, extrayendo el valor máximo de tiempo del paciente que había empleado menos tiempo en completar el recorrido $T_{Min} \approx 30$ segundos. Como no todos los valores del acelerómetro son válidos, debemos realizar una segmentación de la señal obtenida y relativa a cada eje del sensor, eliminando los valores erróneos posibles. A priori, debemos descartar los valores proporcionados por el acelerómetro al inicio y al final de su activación, ya que esos momentos corresponden

al acoplamiento y retirada del dispositivo del compartimento de la cintura del paciente T_{Seg} . En este sentido, y a partir de los datos experimentales desprendidos, se ha estimado un valor de $T_{Seg} \approx 8$ segundos. De igual forma, cuando el paciente llega al final del recorrido tiende a detenerse y/o cambiar el sentido de la marcha interrumpiendo la muestra $T_{Int} \approx 2$ segundos, previamente a la desactivación del acelerómetro, ya que debido a las indicaciones iniciales es consciente de la finalización del ejercicio en ese punto.

Teniendo en cuenta lo anterior, el tiempo efectivo de muestra T_{EM} para la marcha viene dado por la siguiente ecuación,

$$T_{EM} \approx T_{Min} - (T_{Seg} * 2) - T_{Int} \quad (4.1)$$

Si sustituimos los valores anteriores, el tiempo efectivo de muestra será $T_{EM} \approx 30 - (8 * 2) - 2$ de donde $T_{EM} \approx 12$ segundos. En el algoritmo 1 se muestra el pseudocódigo para la segmentación aplicada teniendo en cuenta los requisitos anteriores.

Algoritmo 1 Algoritmo de segmentación en la marcha

```

Definir  $T_{EM} \leftarrow 12$  segundos
Definir  $T_{Int} \leftarrow 2$  segundos
Definir  $T_{SegInferior} \leftarrow 8$  segundos
Definir  $T_{SegSuperior} \leftarrow (TiempoTotal - 8)$  segundos.
si  $T_{SegSuperior} - T_{SegInferior} - T_{Int} \geq T_{EM}$  entonces
  Obtener todos los valores de los índices de coordenadas (x,y,z) válidos que cumplan que  $TiempoTotal > T_{SegInferior}$  and  $TiempoTotal < (T_{SegInferior} + T_{EM})$ 
  para todos los índices hacer
    Redimensionar X
    Redimensionar Y
    Redimensionar Z
    Redimensionar  $TiempoTotal$ 
  fin para
   $TiempoTotal = TiempoTotal - T_{SegInferior}$  //  $TiempoTotal \approx T_{EM}$ 
si no
  "Muestra no válida por no alcanzar el  $T_{EM}$ "
fin si

```

Si el tiempo de muestra obtenido, una vez aplicada la segmentación es menor a 12 segundos, esta muestra no se considera válida para su estudio ya que se diferenciaría de las demás muestras obtenidas. Esto puede darse cuando el paciente realiza el ejercicio a una velocidad superior a la del paciente que empleó menos tiempo y con el que se estimó el tiempo mínimo de muestra para que esta fuese válida (T_{Min}). En tal caso, el nuevo paciente necesitaría caminar una distancia mayor hasta obtener como mínimo el tiempo de muestra efectivo fijado.

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

Optimización del tiempo efectivo en la marcha

Basado en el razonamiento anterior y atendiendo a la experiencia adquirida se propone una optimización en la etapa de segmentación con el fin de mejorar el *feedback* hacia el usuario, los resultados de acelerometría obtenidos y a su vez, eliminar la aparición de muestras erróneas por no alcanzar el T_{Min} establecido. Mediante la implementación de un sistema de notificaciones auditivas, el usuario puede conocer cada instante del ejercicio de marcha relacionado con la adquisición de datos por parte del acelerómetro. Atendiendo a los valores de segmentación anteriores, la figura 4.12 muestra estos intervalos, así como los instantes de tiempo en los que se generan dichos avisos sonoros.

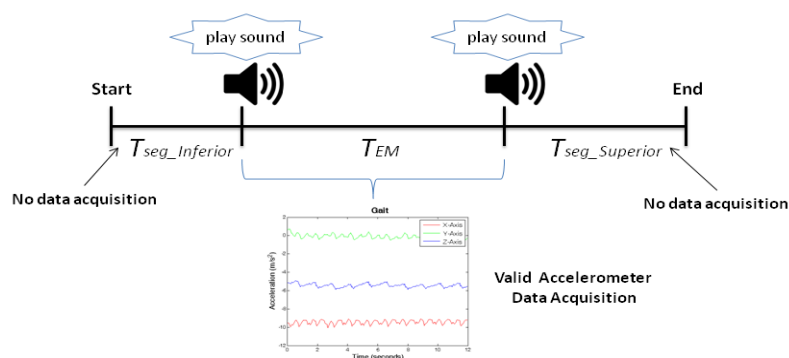


Figura 4.12: Segmentación de la señal basada en indicadores sonoros

Esta adaptación nos permite acotar la recogida de datos al segmento de muestra válido definido por el tiempo efectivo de muestra T_{EM} sin necesidad de aplicar el anterior algoritmo de segmentación. De esta forma, el dispositivo móvil evita el cómputo de la segmentación para la marcha de cada señal procedente del acelerómetro, ya que se observa que la señal completa obtenida es válida para su filtrado.

Por su parte, el criterio de segmentación del segundo de los ejercicios estimados (*Get-Up and Go*) difiere sensiblemente del presentado para la marcha. En este caso se ha generalizado el proceso de segmentación con el fin de ser aplicable a otras actividades similares como ya se mencionó anteriormente. En este caso, si bien el comienzo en la recogida de datos se realiza a través del método de notificaciones auditivas explicado, el final de la actividad y por tanto de la muestra recogida, está supeditado a la detención manual por parte del facultativo. Por ello, la segmentación de la muestra en este caso incluye la eliminación de los valores de acelerometría correspondientes a la retirada del dispositivo de la cintura del paciente y no existe un tiempo efectivo de muestra "ideal" como en el caso anterior. El algoritmo 2 representa, en pseudocódigo, la segmentación de la muestra procedente del ejercicio *Get-Up and Go*.

Algoritmo 2 Algoritmo de segmentación otros ejercicios (*Get-up and Go*)

```

Definir  $T_{SegInferior} = T_{SegComienzoNotificacionauditiva}$ 
Definir  $T_{SegSuperior} \leftarrow (TiempoTotal - 8)$  segundos
 $Tiempo = T_{SegSuperior} - T_{SegInferior}$ 
Obtener todos los valores de los índices de coordenadas (x,y,z) válidos que cumplan que  $T_{SegInferior} \geq Tiempo \leq T_{SegSuperior}$ 
para todos los índices hacer
  Redimensionar X
  Redimensionar Y
  Redimensionar Z
  Redimensionar Tiempo total
fin para
 $TiempoTotal = TiempoTotal - T_{SegInferior}$ 

```

4.3.3.3. Filtrado

La siguiente fase, corresponde al filtrado de la señal segmentada. Atendiendo a las premisas acerca de los mecanismos de filtrado recogidos en el apartado 2.5.1, se ha considerado el uso de un filtro *pasa bajas*. De esta forma, al dejar pasar los componentes de baja frecuencia y atenuar los de alta frecuencia, se obtendrá una señal suavizada desechando las variaciones que en dicha señal ocasiona la fuerza de la gravedad.

El algoritmo 3 representa, en pseudocódigo, el proceso de filtrado de la señal segmentada mediante el uso del filtro *pasa bajas*. El filtrado se realiza por tanto, para los tres ejes del acelerómetro.

Algoritmo 3 Algoritmo de filtrado

```

//El segmento será el vector de datos en x, y, z tras la segmentación
Segmento = Obtener segmento señal acelerómetro
Desde  $i = 0$  hasta  $i = \text{Tamaño Segmento}$ 
para Todas las tuplas (x,y,z) de Segmento hacer
  //ALFA es el factor de filtrado
   $Segmento(i)[x] = ALFA * Segmento(i)[x] + (1 - ALFA) * Segmento(i - 1)[x]$ 
   $Segmento(i)[y] = ALFA * Segmento(i)[y] + (1 - ALFA) * Segmento(i - 1)[y]$ 
   $Segmento(i)[z] = ALFA * Segmento(i)[z] + (1 - ALFA) * Segmento(i - 1)[z]$ 
fin para
SegmentoFiltrado = Segmento
Devolver SegmentoFiltrado

```

4.3.3.4. Extracción de características de la señal

La última etapa en el tratamiento de la señal de acelerometría corresponde al cálculo de las características más significativas de dicha señal asociadas a un sujeto determinado (correspondientes al movimiento del individuo durante la realización de los ejercicios estimados). Atendiendo al desarrollo y conclusiones de los apartados 2.4.2 y 3.6, se estima que las medidas estadísticas más destacadas, en función de la cantidad

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

de información que aportan y el consumo de recursos computacionales que conlleva su cálculo, corresponden a las siguientes medidas de centralización y dispersión [159]:

- **Media aritmética (\bar{x})**. Es el promedio aritmético de las observaciones, es decir, el cociente entre la suma de todos los datos y el número total de ellos.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i * n_i}{n} \quad (4.2)$$

- **Varianza (s^2)**. Es el promedio del cuadrado de las distancias entre cada observación y la media aritmética del conjunto de observaciones.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 * n_i}{n} \quad (4.3)$$

- **Desviación típica (s)**. La varianza no tiene la misma magnitud que las observaciones, sino que están elevadas al cuadrado. Si queremos que la medida de dispersión sea de la misma dimensionalidad que las observaciones, bastará con tomar su raíz cuadrada. Por ello, se define la desviación típica o estándar.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 * n_i}{n}} \quad (4.4)$$

- **Coefficiente de variación de Pearson (CV)**. Esta medida es una medida de dispersión relativa. Cuando se quiere comparar el grado de dispersión de dos distribuciones que no vienen dadas en las mismas unidades o que las medias no son iguales se utiliza el CV que se define como el cociente entre la desviación típica y el valor absoluto de la media aritmética. El CV representa el número de veces que la s contiene a la \bar{x} y por tanto cuanto mayor es el CV mayor es la dispersión y menor la representatividad de la media.

$$CV = \frac{s}{|\bar{x}|} \quad (4.5)$$

- **Amplitud (A)**. La amplitud o rango de un conjunto de datos es la diferencia entre las observaciones que tienen el mayor y el menor valor numérico del conjunto. Es una medida de dispersión simple que aporta un menor número de información que las anteriores. Siendo 'c' el conjunto de observaciones,

$$A = |\text{máx}(c) - \text{mín}(c)| \quad (4.6)$$

- **Media de las diferencias absolutas ($D_{\bar{x}}$)**. Corresponde a la media aritmética de los valores absolutos de las desviaciones respecto a la media. Esta medida también se conoce como Desviación media, y viene representada por la ecuación

4.7. Si queremos obtener la $D_{\bar{x}}$ relativa bastará con calcular el cociente entre la $D_{\bar{x}}$ y la \bar{x} .

$$D_{\bar{x}} = \frac{\sum_{i=1}^n |(x_i - \bar{x})|}{n} \quad (4.7)$$

Si nos centramos en el ámbito de la acelerometría para el cálculo de estas medidas, es importante mencionar que se realizarán en todos los ejes de los que disponga el dispositivo acelerómetro. Además, conviene destacar una nueva medida en este sentido, la media de la aceleración obtenida por el sensor, que será calculada teniendo en cuenta los valores de los tres ejes (en el caso de un acelerómetro triaxial) según la ecuación 4.8.

$$\bar{x}_{acc} = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}}{n} \quad (4.8)$$

El algoritmo 4 muestra en pseudocódigo las instrucciones para el cálculo de dichas variables como última fase en el procesamiento de la señal del acelerómetro.

4.3.3.5. Resultados Experimentales 2

La ejecución de los procesos anteriores para la adquisición y el tratamiento de los datos de acelerometría, conlleva un coste computacional asociado al dispositivo hardware encargado de su cómputo. Una vez la señal ha sido segmentada, nos detendremos en los cálculos necesarios para el filtrado de los datos y la extracción de las medidas estadísticas identificadas. En este sentido, se ha llevado a cabo un análisis experimental cuyo objetivo ha sido la comparación de los tiempos necesarios para el procesamiento de los datos, incluyendo el filtrado y el cálculo de las medidas de dispersión.

En la tabla 4.7, se muestra una comparación del tiempo, medido en milisegundos (ms), que conlleva dicho proceso de filtrado y cálculo de variables estadísticas, tanto en el dispositivo móvil como en un equipo informático de sobremesa. En este caso, la aplicación móvil y un procedimiento MatLab¹ desarrollado para la ocasión, son los encargados de obtener el tiempo de procesamiento. Cabe destacar que se han obtenido los tiempos para un total de seis sujetos bajo las siguientes condiciones (similares a las propuestas por los tests geriátricos más relevantes - ver apartado 2.2.3.2):

- Todos los individuos son adultos que se encuentran en buenas condiciones físicas.
- El ejercicio realizado corresponde a la marcha sobre una superficie lisa y en línea recta.

¹<http://www.mathworks.es/products/matlab/>

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

Algoritmo 4 Cálculo de variables estadísticas

Segmento = Obtener segmento filtrado

Inicializar variables estadísticas

Desde $i = 0$ hasta $i = \text{Tamaño Segmento}$

para Todas las tuplas (x,y,z) de Segmento **hacer**

$SumatorioX+$ = Valor en x de Segmento(i)

$MaximoX$ = Calcular valor máximo de x

$MinimoX$ = Calcular valor mínimo de x

$SumatorioY+$ = Valor en y de Segmento(i)

$MaximoY$ = Calcular valor máximo de y

$MinimoY$ = Calcular valor mínimo de y

$SumatorioZ+$ = Valor en z de Segmento(i)

$MaximoZ$ = Calcular valor máximo de z

$MinimoZ$ = Calcular valor mínimo de z

$AcelRes+$ = Calcular aceleración resultante en (x,y,z) de Segmento(i)

fin para

$MediaX$ = $SumatorioX / \text{Tamaño Segmento}$

$MediaY$ = $SumatorioY / \text{Tamaño Segmento}$

$MediaZ$ = $SumatorioZ / \text{Tamaño Segmento}$

$AmpMaxX$ = Calcular amplitud máxima en X

$AmpMaxY$ = Calcular amplitud máxima en Y

$AmpMaxZ$ = Calcular amplitud máxima en Z

$MediaAcelRes$ = $AcelRes / \text{Tamaño Segmento}$

Desde $i = 0$ hasta $i = \text{Tamaño Segmento}$

para Todas las tuplas (x,y,z) de Segmento **hacer**

//Estas variables necesitan los resultados de las medias anteriores

$DifAbsX+$ = Calcular diferencia absoluta en x de Segmento(i)

$DifAbsY+$ = Calcular diferencia absoluta en y de Segmento(i)

$DifAbsZ+$ = Calcular diferencia absoluta en z de Segmento(i)

$CocienteVarianzaX+$ = Calcular coeficiente varianza en x de Segmento(i)

$CocienteVarianzaY+$ = Calcular coeficiente varianza en y de Segmento(i)

$CocienteVarianzaZ+$ = Calcular coeficiente varianza en z de Segmento(i)

fin para

$MediaDifAbsX$ = $DifAbsX / \text{Tamaño Segmento}$

$MediaDifAbsY$ = $DifAbsY / \text{Tamaño Segmento}$

$MediaDifAbsZ$ = $DifAbsZ / \text{Tamaño Segmento}$

$VarianzaX$ = $CocienteVarianzaX / \text{Tamaño Segmento}$

$VarianzaY$ = $CocienteVarianzaY / \text{Tamaño Segmento}$

$VarianzaZ$ = $CocienteVarianzaZ / \text{Tamaño Segmento}$

$DesviacionX$ = Calcular desviación típica en x

$DesviacionY$ = Calcular desviación típica en y

$DesviacionZ$ = Calcular desviación típica en z

$PearsonX$ = Calcular coeficiente de variación de Pearson en x

$PearsonY$ = Calcular coeficiente de variación de Pearson en y

$PearsonZ$ = Calcular coeficiente de variación de Pearson en z

Sujetos	Software	Smartphone	PC
		<i>FrailtyMobile.apk</i>	<i>MatLab</i>
Individuo 1		19	31
Individuo 2		18	47
Individuo 3		24	31
Individuo 4		19	32
Individuo 5		18	32
Individuo 6		24	39
<i>Tiempo Medio</i>		20,34	35,34

Tabla 4.7: Tiempo de procesamiento de la señal (ms) en Smartphone y PC

- Se ha recogido una muestra de cada individuo correspondiente a la captura de datos durante 12 segundos, obteniendo una tupla de valores (x,y,z) cada 50ms. De esta forma, se han procesado un total de 240 tuplas (x,y,z) que conforman la señal de acelerometría.

La recogida de datos en los dos casos anteriores es realizada por el teléfono móvil a través del sensor acelerómetro incorporado. Sin embargo, mientras en el primer caso el móvil se encarga del procesamiento tras finalizar la obtención de los datos, en el segundo caso el *smartphone* almacena estos en un fichero *.txt* para su posterior análisis utilizando el procedimiento MatLab implementado. En ambos casos se han desplegado las mismas funciones y algoritmos.

Como se puede observar, atendiendo al tiempo medio resultante, el dispositivo móvil utilizado permite la realización de los cálculos correspondientes en un tiempo similar e incluso sensiblemente menor que el tiempo empleado por el equipo de sobremesa. Uno de los principales objetivos perseguidos en este sentido es precisamente la sencillez en los cálculos y la necesidad de reducir el tiempo de procesamiento empleado por el dispositivo móvil (en esta y otras tareas, tal y como se verá en posteriores apartados), observando que las necesidades de computación están cubiertas por todos los dispositivos de características similares al utilizado, incluso la monitorización y el procesamiento continuo de la señal capturada por el acelerómetro es posible mediante este tipo de *smartphones*.

Un resumen de las prestaciones de los sistemas hardware empleados en este experimento, se muestra en la tabla 4.8. En este sentido, se debe tener en cuenta, además de las especificaciones hardware, la cantidad y tipología de los procesos y servicios internos en ejecución en ambas plataformas (tanto en el móvil como en el PC) en el momento de realizar el presente análisis, lo cual puede afectar sensiblemente al resultado final.

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

Dispositivo	Resumen Especificaciones
<i>Samsung i9000 Galaxy S</i>	CPU 1GHz Cortex-A8 GPU PowerVR SGX540 512MB Ram 2GB ROM Android OS v2.3
<i>Toshiba Satellite A660-1EQ</i>	Procesador Intel Core i7-740QM 4GB memoria DDR3 Gráfica Nvidia Geforce 330M Windows 7 64bits

Tabla 4.8: Resumen de prestaciones del smartphone y PC utilizados en el experimento

4.3.3.6. Conclusiones

Atendiendo a las etapas definidas en este apartado, en la figura 4.13 se muestra el proceso general para la extracción de las medidas de dispersión determinadas a partir de la actividad física. En un primer paso, dicha actividad se transforma en una señal de acelerometría gracias al acelerómetro que porta el paciente, realizando un análisis posterior sobre la señal que incluye los procesos definidos de segmentación, filtrado y cálculo de variables estadísticas, todo ello realizado por el dispositivo móvil. Las medidas de dispersión resultantes son utilizadas en el procedimiento de creación de instancias (ver apartado 4.3.5).

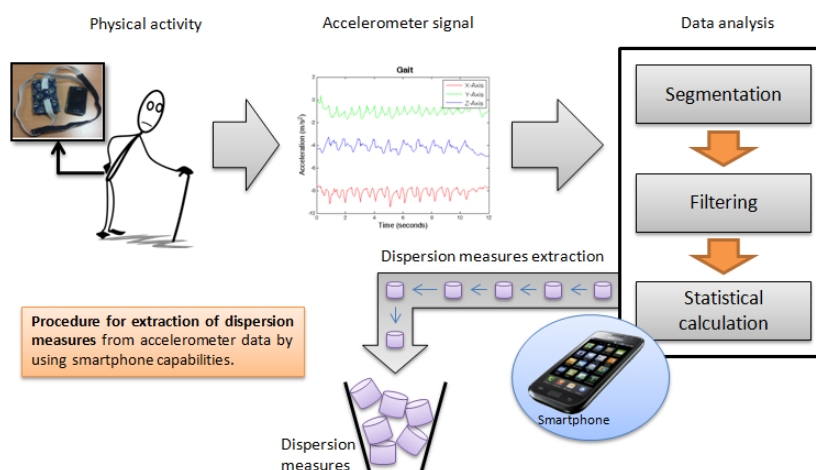


Figura 4.13: Procedimiento para la extracción de medidas de dispersión

4.3.4. Factores clínicos de riesgo

La adquisición y análisis de los factores de riesgo relacionados con la fragilidad es otra de las tareas necesarias para la valoración de este síndrome en su conjunto. De esta forma, disponer de todos los datos correspondientes en una estructura accesible desde cualquier sistema o proceso, es fundamental para facilitar los análisis y estudios que *a posteriori* se pudieran realizar con dichos conjuntos de datos.

En este sentido, los parámetros considerados como factores de riesgo (ver apartado 2.2.3) se muestran de forma general en la figura 4.14.

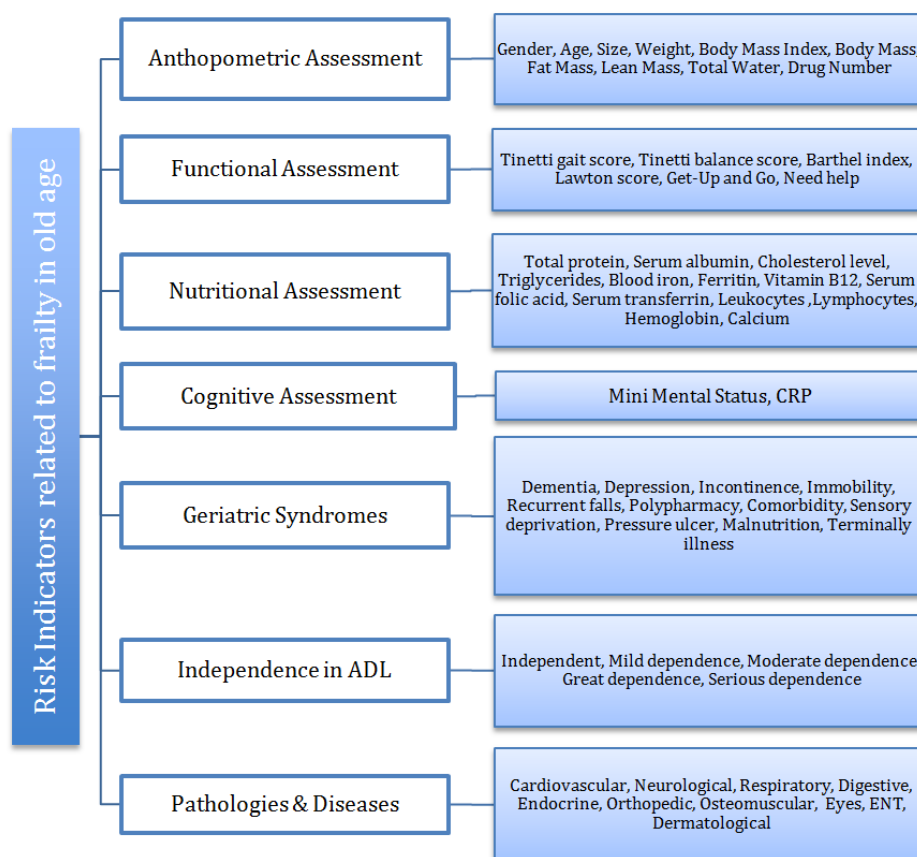


Figura 4.14: Factores de riesgo de la fragilidad

Más detalladamente, estos parámetros hacen referencia a:

- *Valoración antropométrica.* Considerando los siguientes factores:
 - Género, edad, talla, peso, índice de masa corporal, masa grasa, masa magra, agua total y número de medicamentos que toma.
- *Valoración funcional.* Considerando:

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

- Puntuación de Tinetti en la marcha, puntuación de Tinetti del equilibrio, índice de Barthel, puntuación test de Lawton&Brody, segundos totales ejercicio *get-up and go*, necesidad de ayuda técnica en la realización de los ejercicios físicos.
- *Valoración nutricional*. Teniendo en cuenta los siguientes marcadores (ver apartado 2.2.3.3):
 - Proteínas totales, albúmina en suero, colesterol, triglicéridos, hierro en sangre, ferritina, vitamina B12, ácido fólico en suero, transferrina en suero, leucocitos, linfocitos, hemoglobina, calcio.
- *Valoración cognitiva*. Incluyendo los resultados de:
 - Test MMS, escala incapacidad (mental) de la cruz roja.
- *Síndromes geriátricos*. Se identifican los síndromes geriátricos:
 - Demencia, depresión, incontinencia, inmovilidad, caídas recurrentes, polimedicación, comorbilidad, deprivación sensorial, úlceras por presión, malnutrición, enfermedad terminal.
- *Nivel de independencia en las AVD*. Se decide el estado del individuo de entre los siguientes:
 - Independiente, dependencia leve, dependencia moderada, dependencia grave, dependencia muy grave.
- *Patologías y enfermedades*. Se incluye el número de patologías y enfermedades desarrolladas por el individuo, teniendo en cuenta las siguientes áreas:
 - Enfermedades cardiovasculares, neurológicas, respiratorias, digestivas, endocrinológicas, traumatológicas, osteomusculares, oftalmológicas, otorrinolaringológicas y dermatológicas.

4.3.5. Modelo de instanciación

La valoración y soporte al diagnóstico de la fragilidad se realiza en base al estudio de las características de dispersión calculadas (procedentes del movimiento), en combinación con las variables clínicas relevantes del paciente que se pretende analizar. Todas estas variables reciben el nombre de variables influyentes para la valoración de la fragilidad. Dado que debemos tener en cuenta la totalidad de las variables influyentes de todos los pacientes involucrados en el estudio con carácter previo al análisis de un nuevo paciente, se ha dispuesto crear lo que se ha denominado modelo de instanciación.

El modelo de instanciación define el concepto de instancia de un paciente y la forma en la que estas deben almacenarse en el sistema, por tanto, *¿a qué llamamos instancia?*

Una instancia es un objeto que contiene el total de variables influyentes (factores clínicos y medidas de dispersión) asociadas a un paciente y un ejercicio (por ejemplo, marcha), en un instante determinado. De este modo, cada vez que se integran nuevos datos, debidos a una o varias pruebas, se crea y almacena una nueva instancia para un paciente dado. Así mismo, la parte del sistema dedicada al almacenamiento de todas las instancias creadas se denomina pila de instancias. La figura 4.15 representa la creación de una nueva instancia a partir de las variables influyentes y su almacenamiento en la pila.

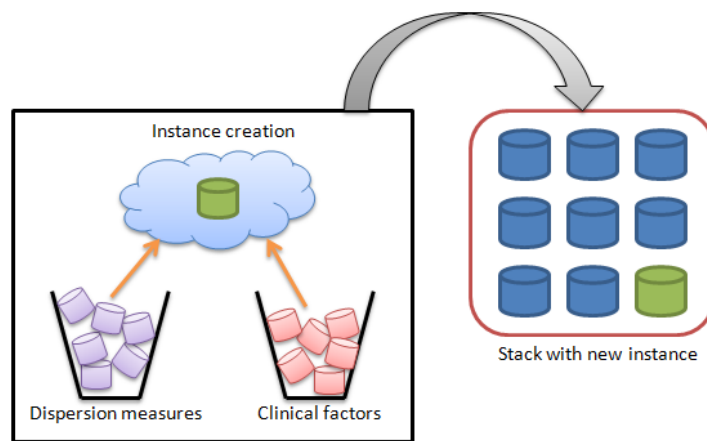


Figura 4.15: Creación e integración de nuevas instancias en la pila

De manera general, la figura 4.16 muestra la incorporación de una nueva instancia en la pila asociada a la valoración de un nuevo paciente.

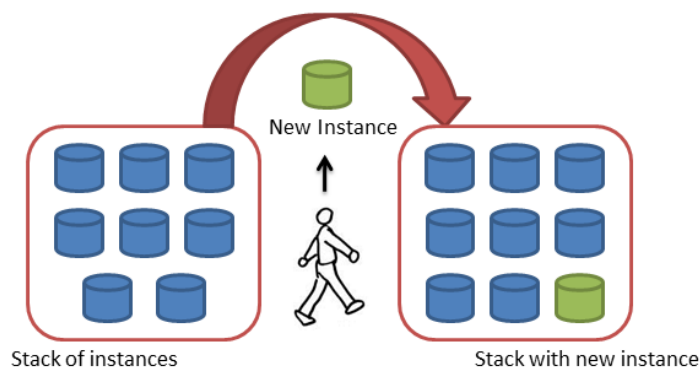


Figura 4.16: Almacenamiento de una nueva instancia de un nuevo paciente en la pila

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

La llegada de nuevas instancias a la pila enriquece la exactitud y precisión de la valoración final de la fragilidad. Sin embargo, también incrementa el tamaño de la pila, con lo que la aplicación de estrategias y métodos de optimización de rendimiento se hace imprescindible en el procedimiento de valoración cuanto mayor es el tamaño de la pila de instancias.

La figura 4.17 muestra la estructura general de una instancia. Cada instancia se caracteriza por un identificador de instancia, un identificador de paciente, una actividad física, una fecha/hora determinada y el conjunto de valores de las variables influyentes (divididas en medidas de dispersión a partir de los datos de acelerometría y factores clínicos de riesgo).

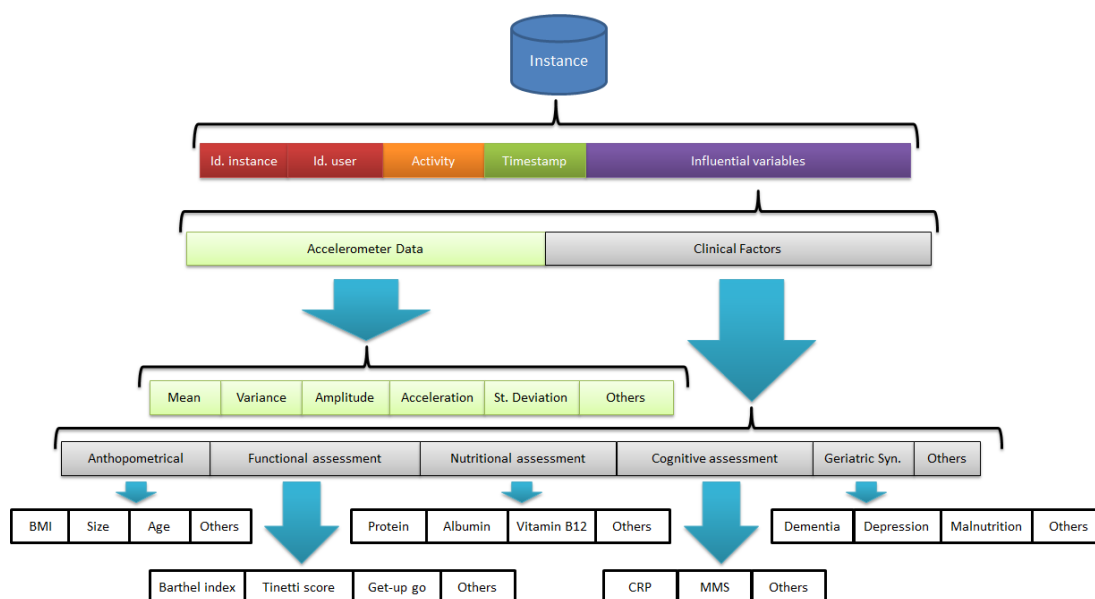


Figura 4.17: Estructura de una instancia

El conjunto de instancias es utilizado por los servicios encargados de la generación de los resultados de fragilidad (ver apartado 4.3.2.1).

4.3.6. Generación de resultados

El objetivo del análisis reside en la obtención de un grado de afinidad entre la instancia del paciente anciano a evaluar y las demás instancias almacenadas en la pila, y que hacen referencia al resto de la población anciana. Mediante métodos de comparación y clasificación basados en el coeficiente de Gower (ver apartado 2.5.3.2), se establecen similitudes y diferencias entre instancias previa generación del resultado. Este proceso también puede ser de especial utilidad en la predicción de futuras patologías entre otras cuestiones.

4.4 Cálculo de similitudes. Aplicación del coeficiente de Gower

El concepto de grado de afinidad se refiere al nivel de similitud entre dos instancias analizadas, siendo una de ellas la instancia objetivo del estudio y la otra, una instancia procedente de la pila. Este grado de afinidad depende, entre otros factores, de la importancia que el facultativo otorga a las variables influyentes en el momento de la valoración, pudiendo centrar esta en un ámbito o área concreto. El procedimiento detallado para el cálculo del grado de similitud entre instancias en función de la ponderación de las variables influyentes a juicio del geriatra se desarrolla en detalle en el apartado 4.4.

El resultado del análisis teniendo en cuenta los grados de afinidad calculados entre la instancia objetivo y el resto de instancias se presenta en una estructura que se ha denominado árbol de afinidad. El árbol de afinidad está formado por las instancias más relevantes de acuerdo a su grado de afinidad con respecto a la instancia del paciente objetivo de la valoración, de forma que cada uno de los nodos del árbol representa una instancia. Así, el nodo raíz se identifica con la instancia actual o instancia objetivo, mientras que el resto de nodos representan las instancias más afines a la instancia objetivo.

Por otra parte, se ha establecido un máximo de tres niveles de profundidad para el árbol con un máximo de tres hijos por cada nodo padre. Estas premisas se deben a que con un mayor número de niveles y nodos hijos, el servicio de generación de resultados requiere más tiempo de procesamiento (dependiendo de las instancias almacenadas) y los resultados finales no aportan mayor utilidad al facultativo debido a que el grado de similitud decrece en cada nivel del árbol con respecto a la instancia objetivo. La figura 4.18 muestra un ejemplo de árbol de afinidad con el máximo número de hijos por padre. El nivel más próximo a la raíz representa las instancias más afines a la instancia objetivo.

4.4. Cálculo de similitudes. Aplicación del coeficiente de Gower

4.4.1. Consideraciones previas

Tal y como se mencionó en el apartado 3.6, el uso de métodos de clasificación basados en el análisis de clusters nos proporciona información valiosa en una muestra de población, en este caso relativa al conocimiento del estado de un paciente anciano con respecto al resto de la muestra en términos de fragilidad.

Atendiendo a las etapas del análisis de clusters definidas en el apartado 2.5.3.1, la selección de variables relevantes en este caso, viene dada por la totalidad de las variables influyentes determinadas con anterioridad (ver apartado 4.3.4). El valor de cada

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

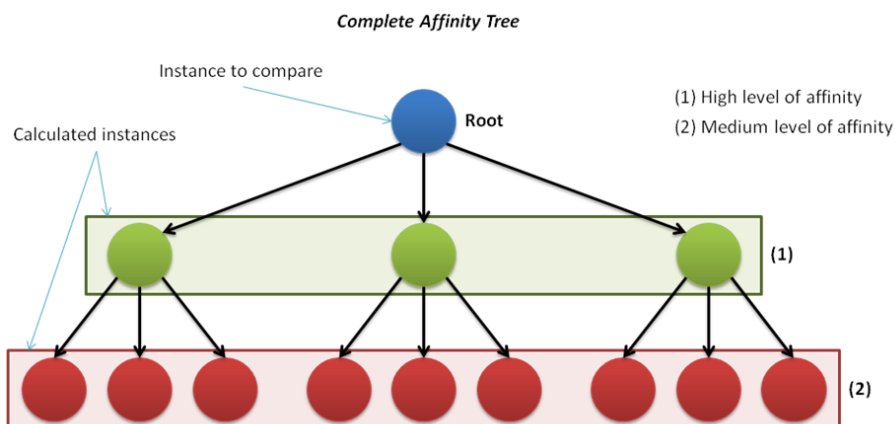


Figura 4.18: Estructura del árbol de afinidad (con el número máximo de nodos considerados)

variable puede ser binario, cualitativo o cuantitativo. En la tabla 4.9 se muestra la clasificación de cada variable atendiendo a su naturaleza binaria, cuantitativa o cualitativa de acuerdo a los criterios geriátricos manejados. Así, por ejemplo, todas las variables de los síndromes geriátricos son consideradas binarias ya que estas podrían o no aparecer en el paciente. Hay casos tales como los *problemas respiratorios* en los que la aparición de un síntoma relacionado determina un valor verdadero (o 1) de la variable, y otros tales como la *inmovilidad* evalúa si el paciente no puede moverse sin ayuda (ej.: si se encuentra encamado). En cuanto a las medidas de dispersión, estas pertenecen al grupo de variables cuantitativas. Además, el tipo de cada variable debe ser proporcionado como entrada al algoritmo que calcula las similitudes.

Por otra parte, las variables anteriores deben ser normalizadas o estandarizadas antes del cálculo de similitudes de modo que diferentes valores de una variables (por ejemplo el peso) deben estar medidos en las mismas unidades (por ejemplo kilogramos). Además, las fórmulas aplicadas para determinar los coeficientes de similitud serán diferentes dependiendo del tipo de cada variable (binaria, cualitativa o cuantitativa), tal y como se verá en los siguientes apartados. En el caso de que en el historial clínico existieran variables medidas en diferentes unidades, el sistema tendría que realizar un proceso de normalización previo para convertir todas las medidas a las mismas unidades.

La siguiente etapa en el análisis de clusters (ver apartado 2.5.3.1) corresponde al cálculo de similitudes entre individuos. En este caso el análisis de similitudes basado en la aplicación del coeficiente de Gower (ver apartado 2.5.3.2) nos permite calcular el grado de similitud entre individuos teniendo en cuenta la naturaleza de las variables anteriormente presentadas en la tabla 4.9.

4.4 Cálculo de similitudes. Aplicación del coeficiente de Gower

Binary (<i>values</i>)	Qualitative (<i>values</i>)	Quantitative - numeric value
Requires Help (<i>No/Yes</i>), Gender (<i>Male/Female</i>), Dementia (<i>0/1</i>), Depression (<i>0/1</i>), Incontinence (<i>0/1</i>), Immobility (<i>0/1</i>), Recurrent falls (<i>0/1</i>), Polypharmacy (<i>0/1</i>), Comorbidity (<i>0/1</i>), Sensory deprivation (<i>0/1</i>), Pressure ulcer (<i>0/1</i>), Malnutrition (<i>0/1</i>), Terminal illness (<i>0/1</i>), Cardiovascular problems (<i>0/1</i>), Neurological problems (<i>0/1</i>), Respiratory problems (<i>0/1</i>), Digestive problems (<i>0/1</i>), Endocrine (<i>0/1</i>), Orthopaedic problems (<i>0/1</i>), Osteomuscular problems (<i>0/1</i>), Eye disease (<i>0/1</i>), ENT (<i>0/1</i>), Dermatological problems (<i>0/1</i>)	Independence in AVD (<i>independent/mild dependence/moderate dependence/major dependence/serious dependence</i>)	Age, Size, Weight, BM, acrshortimc, Fat mass, Lean mass, Total water, Drug number, Tinetti gait score, Tinetti balance score, Barthel index, Lawton score, Get-up & go, Total protein, Serum albumin, Cholesterol, Triglycerides, Blood iron, Ferritin, Vitamin B12, Serum folic acid, Serum transferrin, Leukocytes, Lymphocytes, Hemoglobin, Calcium. MMS, CRP

Tabla 4.9: Clasificación de los parámetros clínicos de la fragilidad

Un ejemplo de cálculo de similitudes usando la fórmula de Gower (apartado 2.5.3.2) entre dos individuos, teniendo en cuenta las variables definidas en la tabla 4.10, puede verse en la figura 4.19.

Patient	Weight (Kg)	BMI	ADL level	Depression	Total Protein (g/dl)	Blood Iron
P1	74,5	26	Independent	0	7,2	125
P2	67	28	Independent	1	7,1	59
P3	54,8	29	Independent	0	6,4	104
P4	57,3	22	Mild dependence	0	6,4	32

Tabla 4.10: Extracto de factores clínicos de fragilidad para 4 pacientes. Los factores considerados son: peso, IMC, nivel de AVD según el índice de Barthel, depresión, proteínas totales y hierro en sangre.

En este caso, se identifican cuatro variables de tipo cuantitativo (peso, índice de masa corporal, proteínas totales y hierro en sangre), una variable cualitativa (nivel de actividad en la vida diaria) y una variable de carácter binario (depresión). Se puede observar también como las variables peso y IMC tienen una importancia del 100 % (sus respectivos pesos tienen un valor de 1), mientras que los pesos del resto de variables son de 0.8 (80 %) para las proteínas totales, 0.75 para el hierro en sangre, y 0.1 para el nivel en AVD y depresión (en este caso el peso de AVD se multiplica por 1 porque

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

$$S_{12} = \frac{1 * (1 - \frac{7,5}{19,7}) + 1 * (1 - \frac{2}{7}) + 0,8 * (1 - \frac{0,1}{0,8}) + 0,75 * (1 - \frac{66}{93}) + (0,1 * 1) + (0,1 * 0)}{1 + 1 + 0,8 + 0,75 + 0,1 + 0,1} = 0,63$$

Figura 4.19: Aplicación de la fórmula de Gower para el cálculo de similitudes basadas en los datos de la tabla 4.10

ambos pacientes tienen el mismo valor “independiente” y la depresión por 0 porque no coinciden sus valores binarios). Basándonos en la fórmula del coeficiente de Gower, el resultado de similitud entre el paciente 1 y el paciente 2, es de 0.63. Aplicando este algoritmo en todo el grupo de pacientes, se obtiene la matriz de similitud representada por la ecuación 4.9 con los coeficientes de Gower correspondientes. De esta forma, se puede observar el estado de un paciente en relación al resto, atendiendo al valor del coeficiente.

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 0,63 & 0,36 & 0,18 \\ 0,63 & 1 & 0,49 & 0,34 \\ 0,36 & 0,49 & 1 & 0,52 \\ 0,18 & 0,34 & 0,52 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

El principal objetivo de la aplicación del coeficiente de Gower radica en la obtención de un grupo de resultados de similitud embebidos en estructuras representables por el dispositivo móvil que facilite su interpretación de cara al usuario. Para ello, el cálculo del coeficiente de similitud de Gower puede verse como un servicio software dividido en cinco etapas, tal y como se describen en los siguientes apartados.

4.4.2. Obtención de Rangos

En esta primera etapa, se determina el rango de cada variable cuantitativa. Como ya sabemos, dado un grupo de variables (por ejemplo dentro de los factores clínicos de riesgo) en el que toda variable es cuantitativa, se podrá aplicar la ecuación 2.5 (ver apartado 2.5.3.2). Sin embargo, existen grupos de variables en los cuales existen variables de carácter cuantitativo y cualitativo (grupo de variables funcionales) o bien grupos en los que todas las variables son cualitativas o binarias (grupo de síndromes geriátricos y nivel AVD). De modo que en el caso de grupos con variables mixtas (de diversos tipos), obviamente se discriminan las variables de tipo cualitativo y binario

4.4 Cálculo de similitudes. Aplicación del coeficiente de Gower

en el cálculo del rango. El algoritmo 5 muestra en pseudocódigo el cálculo de rangos (tanto para grupos mixtos como solo de variables cuantitativas). La salida del algoritmo es un array o vector de rangos calculados para cada variable del grupo.

Algoritmo 5 Range Calculation Algorithm (for a specific group of variables)

```
Define double Array of ranges
Connect to the System Database
Get frailty variables of the group (for all stored instances)
para each variable hacer
    si variable is quantitative entonces
        Get Range  $|MAX(x_i) - MIN(x_i)|$ 
        Cast to double type (if necessary)
        Save into double Array of ranges
    fin si
fin para
Return double Array of ranges.
```

En el caso del grupo de las medidas de dispersión, se debe tener en cuenta la actividad específica (por ejemplo, marcha) como un argumento de entrada al propio algoritmo de cálculo de rangos, debido a que los valores de cada variable de dispersión en un paciente podrían referir a más de un ejercicio almacenado.

4.4.3. Obtención de Pesos

En principio, los pesos relativos a la importancia de cada variable son inicializados a 1 por defecto, es decir, se considera la máxima importancia de la variable (100%). Sin embargo, no todas las variables tienen el mismo grado de importancia en la valoración de la fragilidad. Los geriatras y facultativos pueden otorgar mayor o menor importancia a cada variable dependiendo del contexto y el caso particular. Por ejemplo, a la hora de la valoración, podría darse un mayor énfasis a las variables funcionales en el caso de pacientes con alteraciones físicas, o simplemente se requiera realizar un análisis en el dominio funcional u otro dominio. En este caso, cada variable individual, podrá tener un peso específico. De este modo, cuando se realiza el estudio de un paciente, atendiendo a las instancias almacenadas de ese paciente en la pila, se realizará la valoración según la importancia dada previamente a las variables. Es importante destacar que la suma de pesos de un grupo de variables, viene dado por la suma de los pesos de todas las variables del grupo.

El algoritmo 6 muestra el pseudocódigo del cálculo de los pesos de las variables de fragilidad para una instancia específica y dado un grupo de variables determinado.

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

Algoritmo 6 Weight Calculation Algorithm (for a specific group of variables and a given instance)

Define *Weight Array* (where a weight object consists of a variable name and percentage value)

Connect to the System Database

Get the weights of the frailty variables of the group (for the specified instance)

para each variable **hacer**

si no weights assigned, **entonces**

 Create and store a new weight with *importance* = 1 by default

fin si

 Get the name and weight of the variable to create a weight object

 Save in *Weight Array*

fin para

Return *Weight Array*

Se debe tener en cuenta que la suma total de pesos de un grupo constituye uno de los valores necesarios en la fórmula de Gower, de modo que además del cálculo de pesos de las variables se debe proporcionar el valor de esa suma de pesos.

4.4.4. Cálculo del coeficiente de Gower

La siguiente etapa corresponde al cálculo del coeficiente de Gower. Basándonos en las premisas definidas al comienzo de esta sección y teniendo en cuenta los fundamentos teóricos del apartado 2.5.3.2, el cálculo del valor global del coeficiente de Gower requiere del cálculo de los coeficientes parciales como valores del numerador de la ecuación para cada grupo de variables de fragilidad. El algoritmo 7 muestra el pseudocódigo para el cálculo global del coeficiente de Gower. Este cálculo siempre se realiza sobre la instancia del paciente a estudio en relación a otra instancia de la pila.

Algoritmo 7 Global calculation of Gower's Coefficient

Define *double Gower*

Define *double Sum*

Define *double WeightsSum* = Sum of variable weights

para each group of frailty variables **hacer**

$Sum = Sum + \text{Gower's Coefficient Numerator}$

fin para

$Gower = Sum / WeightsSum$

Return *Gower*

El cálculo del coeficiente parcial se muestra en el algoritmo 8 (correspondiente a la suma parcial de los valores del numerador, subrayado en el algoritmo 7) para un grupo de variables mixtas (incluyendo variables cuantitativas y cualitativas). En este

4.4 Cálculo de similitudes. Aplicación del coeficiente de Gower

caso, cada variable está contenida en un objeto *Medida* (según los principios de la programación orientada a objetos, tal y como veremos en posteriores apartados) con los siguientes atributos: nombre, valor, valor de referencia mínimo, valor de referencia máximo y unidades. Este cálculo parcial se realiza para dos instancias, usando la matriz de pesos (*Weight Array*) de la instancia a evaluar (o instancia objetivo).

Algoritmo 8 Partial calculation of the numerator of Gower's coefficient

```
Define double PGowerNumerator
Get Measures Array1 from the first instance
Get Measures Array2 from the second instance
para each weight of Weight Array hacer
  si measure associated with that weight is qualitative/binary entonces
    si measure.value from Measures Array1 = measure.value from Measures Array2 entonces
      PGowerNumerator = PGowerNumerator + (weight * 1)
    si no
      PGowerNumerator = PGowerNumerator + (weight * 0)
    fin si
  si no
    value1 = measure.value from Measures Array1
    value2 = measure.value from Measures Array2
    range = Get range for measure
    si none of the ranges are zero, entonces
      PGowerNumerator = PGowerNumerator + (weight * (1 - |value1 - value2| / range))
    fin si
  fin si
fin para
Return PGowerNumerator
```

La parte del servicio basada en estos algoritmos proporciona un valor único correspondiente al coeficiente de Gower entre dos instancias, teniendo en cuenta el valor de todas las variables de fragilidad incluidas. Sin embargo, la aplicación de estos algoritmos sobre todas las instancias, pretende determinar los coeficientes de similitud entre la instancia objetivo y el resto. En los siguientes apartados, se exponen los métodos utilizados y algoritmos para la creación y representación de los resultados de similitud.

4.4.5. Creación de nodos

Teniendo en cuenta que el resultado se expresa como un árbol de afinidad compuesto por diferentes nodos (ver apartado 4.3.6), definiremos el elemento *nodo* como un objeto programático que contiene los siguientes atributos:

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

- **Parent Instance Id.**, correspondiente al identificador de la instancia del nodo padre.
- **Instance Id.**, identificador de la instancia actual asociada al nodo.
- **Age**, se refiere a la edad de la instancia del paciente representado por el nodo.
- **Similarity Coefficient**, el valor del coeficiente de Gower entre el nodo padre y la instancia actual.

El algoritmo 9 muestra el pseudocódigo del cálculo de los nodos para una instancia inicial en relación al resto de instancias de la pila. Este algoritmo devuelve una lista de nodos ordenados según el valor de los coeficientes de similitud (en orden decreciente).

Algoritmo 9 Calculation of the nodes

```
Define Node List
Define initial Instance
Get stored instances
para each instance that is not equal to the initial instance hacer
    Calculate Gower's Coefficient
    Get Node Age
    Create the new Node
    Add the new Node to Node List
fin para
Sort Node List (desc.)
Return Node List
```

Con la lista de nodos resultante es posible crear un árbol de nodos (atendiendo a sus coeficientes de similitud), iterando sobre cada uno de ellos. Como ya se mencionó en el apartado 4.3.6 del presente capítulo, cuando el número de instancias a evaluar es muy elevado, el sistema requerirá mayor capacidad de procesamiento, más recursos de almacenamiento, mejor gestión de memoria y más tiempo para generar los resultados de similitud. Además de la optimización de estas características técnicas, se determina la restricción también comentada anteriormente de disponer de un máximo de tres niveles en el árbol y tres nodos hijos por cada nodo padre. Un mayor número de niveles y nodos resulta inadecuado a nivel computacional y de aprovechamiento por parte del facultativo, ya que los valores de similitud decrecen progresivamente (en relación a la instancia a estudio, correspondiente con el nodo raíz) en cada nivel del árbol.

En este punto, se identifican distintos parámetros que podrían ser configurados por el usuario o facultativo a la hora de generar los resultados, estos son: la profundidad del árbol, el peso otorgado a las variables de riesgo de fragilidad y el grado de similitud mínimo como valor de corte para el descubrimiento de instancias similares por

4.5 Representación jerárquica de información. Treemaps

el algoritmo. En este sentido, la figura 4.20 muestra un ejemplo gráfico de un árbol proporcionado tras la ejecución del servicio de valoración basado en los algoritmos anteriores, usando como valor mínimo de similitud 0,51 para ilustrar el comportamiento del servicio cuando existen nodos con valores de similitud mayores y menores a ese valor de corte definido.

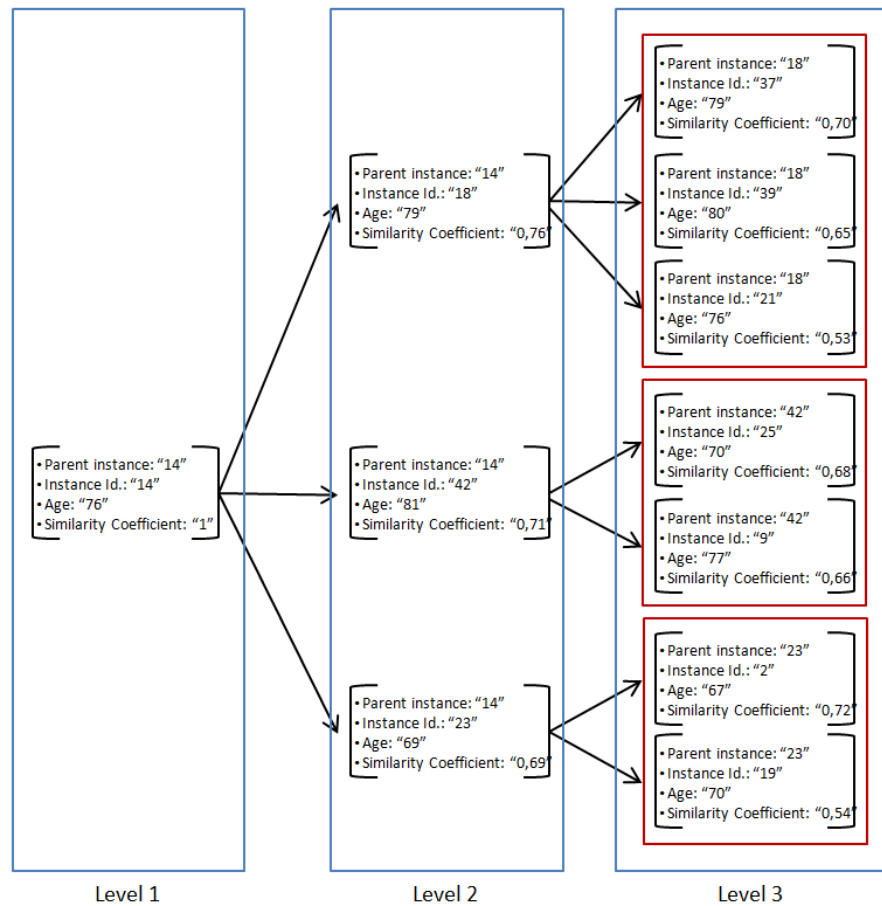


Figura 4.20: Ejemplo de estructura del árbol de afinidad con $S_G \geq 0,52$ y 3 niveles de profundidad. Cada grupo de nodos hijos está ordenado atendiendo al valor del coeficiente de similitud.

4.5. Representación jerárquica de información. Treemaps

La representación de objetos en *treemaps* o mapas en árbol surge de la necesidad de encontrar un mecanismo que nos permita mostrar en la pantalla del dispositivo móvil la información relativa a los resultados suministrados por la arquitectura de una forma estructurada, a la vez que se favorece la interpretación de dicha información por el

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

usuario. De esta forma, con un enfoque basado en treemaps [160], podemos optimizar y compactar la visualización de los resultados maximizando el espacio disponible en pantalla, hecho fundamental si se pretenden usar dispositivos de reducidas dimensiones. El usuario final (geriatra) puede beneficiarse de la presentación de resultados de una forma amigable e intuitiva.

Todo conjunto de datos susceptibles de ser agrupados bajo una jerarquía puede ser representado mediante un mapa en árbol. La figura 4.21 ilustra un ejemplo de treemap relativo a la cuota de mercado de cada uno de los modelos de dispositivos Android existentes hasta la fecha, logrando disponer de gran cantidad de información en muy poco espacio. La representación de resultados en la aplicación móvil derivada del sistema propuesto en esta tesis, utilizará un enfoque basado en este tipo de estructura.

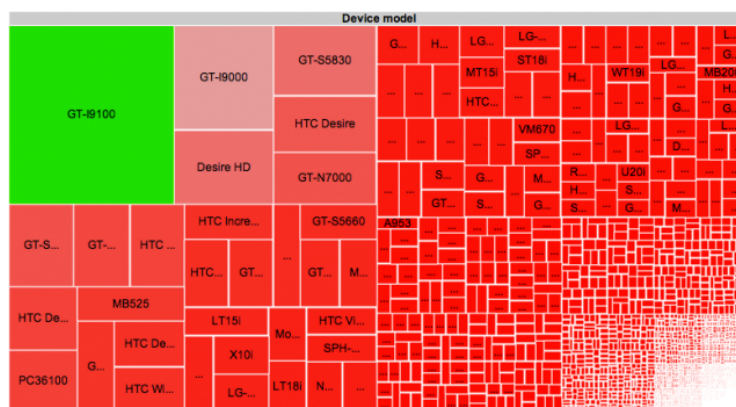


Figura 4.21: Ejemplo de treemap: Representación de la cuota de mercado de los dispositivos Android existentes.

4.5.1. Visualización de resultados

Partiendo de la base definida en el apartado 4.5 sobre los mapas en árbol o *treemaps* se determina su utilización para la visualización de los resultados de valoración de fragilidad en el dispositivo móvil, debido a las ventajas en la representación optimizada del resultado en la pantalla del dispositivo, representando toda la información que necesitamos de una forma intuitiva y compactada de acuerdo al árbol de afinidad resultante.

En este caso, cada nodo del treemap está representado por un rectángulo, asociándose este con el nodo correspondiente del árbol de afinidad. Además, cada nodo contiene información acerca de la instancia relacionada, la instancia padre y el valor de similitud calculado, tal y como se detalló en el apartado 4.4.5. De forma experimental, el tiempo máximo ocupado en la generación del mapa en árbol (comprendido desde el

cálculo de pesos hasta la construcción del treemap en el dispositivo móvil) fue de 2.55 segundos trabajando sobre 64 instancias de 20 pacientes diferentes.

Cada nodo del treemap constituye un objeto dinámico que habilita al usuario el acceso a las variables de fragilidad y sus valores de acuerdo con la instancia asociada a dicho nodo, mediante la simple interacción con el mismo. Así, el usuario puede acceder a la vista detallada de la instancia correspondiente al nodo pulsando sobre este en la pantalla del dispositivo.

La figura 4.22 muestra la vista del treemap generado a partir de la estructura expuesta en la figura 4.20. Para favorecer su visualización e interpretación, la intensidad de color usado para representar cada nodo en el treemap depende del grado de similitud de la instancia o nodo con respecto al nodo padre. Tonalidades del color más intensas indican un mayor grado de similitud entre los nodos padre e hijo.

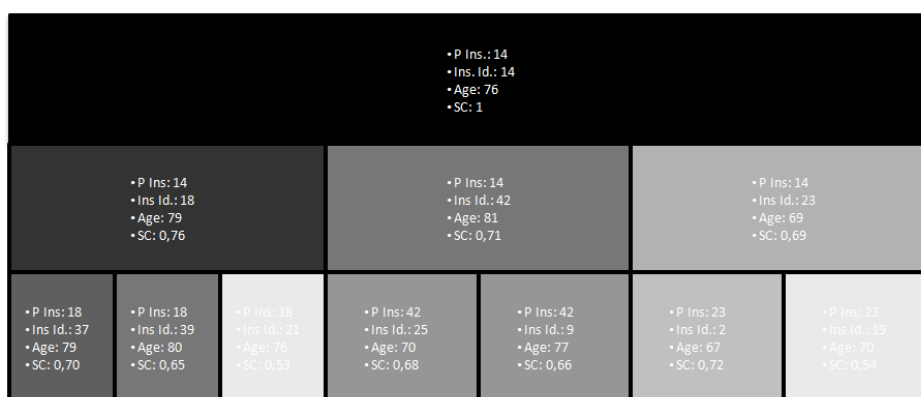


Figura 4.22: Ejemplo de treemap correspondiente a un árbol de afinidad a partir de una lista de nodos

El algoritmo 10 muestra el pseudocódigo del procedimiento encargado de representar el treemap en la pantalla del dispositivo móvil teniendo en cuenta la lista de nodos fruto del cálculo de similitudes así como diversos parámetros de configuración (destacados en mayúsculas en el algoritmo). Dicho proceso es desplegado por el propio dispositivo móvil en tiempo de ejecución a partir de los resultados de afinidad.

4.6. Integración en una aplicación móvil

Desde un punto de vista tecnológico, se propone el servicio mediado por los algoritmos anteriores como un servicio web alojado en un servidor. Además, dicho servicio puede ser incluido como un componente de otros sistemas, mejorando su escalabilidad, característica, entre otras, de la arquitectura presentada. Siguiendo un enfoque orientado a servicios (ver apartado 4.3.2), la ejecución de las tareas y procedimientos

4. PROPUESTA MÓVIL PARA LA DETECCIÓN Y VALORACIÓN DE LA FRAGILIDAD

Algoritmo 10 Treemap creation on the device screen (for a specific node list)

```
Get Tree Depth from Node List
Get Root Node from Node List
Define Current Node = Root Node
Define Current Depth = 0
Define TreeMap as Canvas
Define Width Rectangle = WIDTHSCREEN
Define Height Rectangle = HEIGHTSCREEN / Tree Depth
mientras CurrentDepth ≤ TreeDepth hacer
  Get Child Nodes from Current Node
  para each Child Node from Child Nodes hacer
    Set Rectangle Dimensions
    Define Color = Calculate Gradient (COLOR, Similarity Coeff. of the Child Node)
    Draw Rectangle on TreeMap (Rectangle Dimensions, Color)
  fin para
  Set the new Current Node
  si All Child Nodes of a Tree Level have been evaluated entonces
    Current Depth = Current Depth + 1
  fin si
fin mientras
```

complejos es delegada al servidor quien produce los resultados a consumir por el dispositivo móvil. Así, teniendo en cuenta el servicio completo de valoración de fragilidad, las tareas definidas para su ejecución por el dispositivo móvil pueden resumirse en las siguientes (ver más detalladamente en el capítulo 5):

- Adquisición y cálculo de las medidas de dispersión usando el sensor acelerómetro integrado en el dispositivo.
- Obtención de las variables clínicas de fragilidad del historial del paciente.
- Edición y modificación de los pesos de las variables de fragilidad así como la profundidad del árbol resultado.
- Selección del valor mínimo de similitud como punto de corte en la valoración de instancias paciente.
- Generación y visualización del mapa en árbol con los resultados de afinidad basados en los resultados proporcionados por el servicio de cálculo de similitudes para el apoyo diagnóstico.

Capítulo 5

Implementación de la solución

5.1. Introducción

Este capítulo pretende profundizar sobre los aspectos más interesantes relacionados con la implementación de los distintos componentes software de la arquitectura. Para ello, cabe destacar la implementación de los mismos teniendo en cuenta un desarrollo basado en prototipos incrementales, donde cada fase está representada por un prototipo funcional de cada componente software (servicio o grupo de servicios) del sistema. La figura 5.1 muestra cada una de estas etapas del desarrollo.

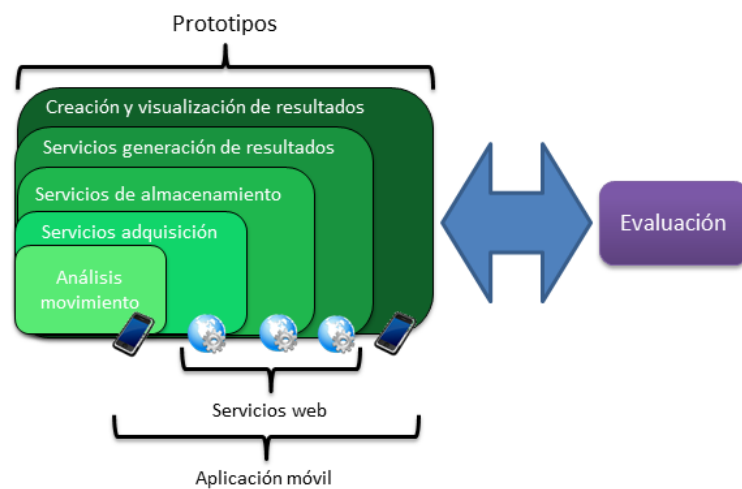


Figura 5.1: Etapas del desarrollo del sistema basado en prototipos

A su vez, cada etapa y por tanto la construcción de cada uno de los prototipos hasta llegar al prototipo final contiene las siguientes fases:

- Identificación de requisitos que debe de cumplir el prototipo.

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

- Diseñar e implementar el prototipo.
- Utilizar el prototipo con el fin de probar que cumple los requisitos para los que fue diseñado.
- Revisar y mejorar el prototipo.

Tras la implementación del sistema, el prototipo final resultante es evaluado. Dicha evaluación supone una realimentación al prototipado, pudiendo servir para modificar y mejorar algunos de los prototipos desarrollados. La parte correspondiente a la evaluación del sistema se verá en el capítulo 6.

Previo al desarrollo e implementación del sistema, el apartado 5.2 expone los requisitos funcionales de cada una de las partes de este. Los siguientes apartados del capítulo corresponden a las tres grandes partes de la arquitectura: la capa de persistencia (apartado 5.3), los servicios web (apartado 5.4) y la aplicación móvil (apartado 5.5). La última sección del presente capítulo (apartado 5.6) recoge las consideraciones y conclusiones relacionadas con la implementación.

5.2. Requisitos del sistema

El desarrollo de la arquitectura presentada, parte de la identificación e implementación de una serie de requisitos funcionales que están directamente relacionados con los servicios y las funcionalidades descritas en el apartado 4.3.2.1. Estos requisitos funcionales se encuentran divididos en requisitos de la aplicación móvil y requisitos de los servicios web.

Los Requisitos Funcionales (RF) de la aplicación móvil son los siguientes:

- **RF1: Creación de instancias.** El usuario de la aplicación móvil podrá crear una nueva instancia relacionada con un paciente existente en el sistema.
- **RF2: Selección de instancias.** El usuario podrá seleccionar la instancia a estudiar, identificada por el paciente y el momento en que se obtuvieron los datos de fragilidad.
- **RF3: Visualización variables de fragilidad.** Desde la aplicación móvil se tendrá acceso a visualizar el total de las variables de fragilidad del paciente seleccionado.
- **RF4: Adquisición datos de movimiento.** Gracias al acelerómetro integrado en el dispositivo, la aplicación móvil adquiere los datos de acelerometría relativos a un ejercicio físico.

- **RF5: Cálculo variables de dispersión.** Con los datos de acelerometría, la aplicación móvil calcula las variables estadísticas del movimiento y se las envía al servicio correspondiente.
- **RF6: Asignación de pesos.** El usuario puede modificar los pesos de las variables de fragilidad antes de obtener el resultado.
- **RF7: Configuración aplicación.** La aplicación posibilita la configuración de varios parámetros relacionados con la fragilidad (coeficiente mínimo de similitud, profundidad del árbol y color del árbol) y con la propia aplicación (url, directorio y puerto de los servicios web).
- **RF8: Creación mapa en árbol.** A partir de la lista de nodos obtenida por el servicio correspondiente, la aplicación móvil crea el árbol en tiempo de ejecución.
- **RF9: Visualización mapa en árbol.** La aplicación móvil muestra el árbol en la pantalla del dispositivo, teniendo los nodos como objetos dinámicos que permiten la visualización de las variables de fragilidad asociadas al nodo.

Por su parte, los requisitos funcionales de la infraestructura de servicios web se exponen a continuación.

- **RF1: Adquisición de pacientes.** Este servicio web obtendrá todos los pacientes almacenados en el sistema a petición de la aplicación móvil.
- **RF2: Adquisición de instancias.** Este servicio del sistema web es el encargado de obtener las instancias existentes en el sistema.
- **RF3: Adquisición de actividades.** Este servicio obtiene las actividades físicas registradas en el sistema.
- **RF4: Obtención de medidas.** La aplicación móvil usa este servicio para obtener los valores de las variables de fragilidad de un paciente en particular.
- **RF5: Adquisición de pesos.** Este servicio web obtiene la relación de pesos asignados, desde la aplicación móvil, a las variables de fragilidad.
- **RF6: Almacenamiento de instancias.** Este servicio almacena las nuevas instancias creadas desde la aplicación móvil.
- **RF7: Almacenamiento de pesos.** Servicio encargado de almacenar los pesos asignados por el facultativo desde la aplicación móvil.
- **RF8: Almacenamiento de medidas de dispersión.** Las medidas calculadas procedentes del movimiento del anciano son almacenadas por este servicio.

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

- **RF9: Cálculo de similitudes.** La aplicación del algoritmo de Gower para el cálculo de los resultados es llevada a cabo por el servicio correspondiente.
- **RF10: Generación de resultados.** Este servicio del sistema es el encargado de generar y enviar los resultados de fragilidad a la aplicación móvil, a partir del cálculo de similitudes.

Por otra parte, el desarrollo de la arquitectura tiene en cuenta los siguientes requisitos no funcionales: usabilidad, portabilidad, operatividad, rendimiento y disponibilidad; de los cuales destacaremos el papel de la usabilidad del sistema implementado.

5.3. Almacenamiento de instancias

Una de las partes más importantes de la arquitectura corresponde a la información almacenada referida a las instancias de los pacientes estudiados, ya que el sistema necesita trabajar con los datos correspondientes para construir los resultados relativos a la fragilidad. Por ello, la información de cada instancia es almacenada en una base de datos de acuerdo al esquema Esquema Entidad-Relación (EER) presentado por la figura 5.2. Tal estructura de almacenamiento se corresponde con la pila de instancias definida en el diseño de la arquitectura.

Las tablas del diagrama representan los grupos o ámbitos a analizar para el diagnóstico de la fragilidad, y todos los campos de cada grupo hacen referencia a los factores de riesgo desprendidos del estado del arte de la presente tesis. El valor de todas las variables se asocia a una instancia, que a su vez está relacionada con un paciente, tal y como muestra la figura 5.3. Destacar también que el valor de las variables de dispersión depende de la actividad analizada (previamente almacenada en la base de datos).

Por otra parte, cada variable de carácter cuantitativo está definida en base a unas unidades determinadas. La tabla “*units*” representada en la figura 5.4 contiene los campos necesarios para definir cada una de estas unidades, incluyendo el nombre de la variable, la unidad de medida y los valores máximo y mínimo (si procede) de dicha variable (por ejemplo, en el caso de marcadores nutricionales como las proteínas totales, el máximo y el mínimo indican los valores límite entre los cuales el valor de la variable se considera normal).

La asignación de pesos a todas las variables de una instancia a estudio es de especial relevancia en la arquitectura tal y como se ha desarrollado en capítulos anteriores. En este caso, los pesos también son almacenados de acuerdo al diagrama EER presentado en la figura 5.5. De este modo, ante un nuevo estudio sobre una misma instancia, el sistema es capaz de recuperar de la base de datos la configuración de pesos establecida por el geriatra en un análisis previo.

5.3 Almacenamiento de instancias

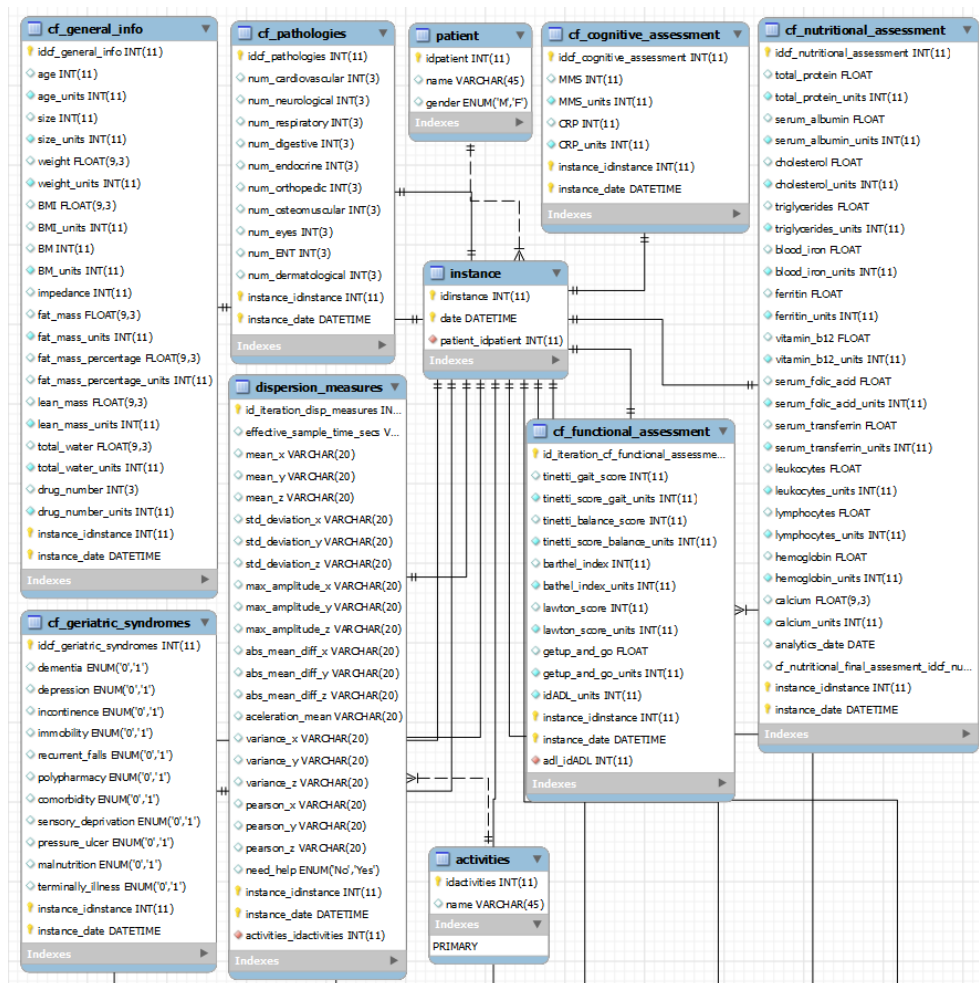


Figura 5.2: Diagrama EER: Factores de riesgo de fragilidad e instancias

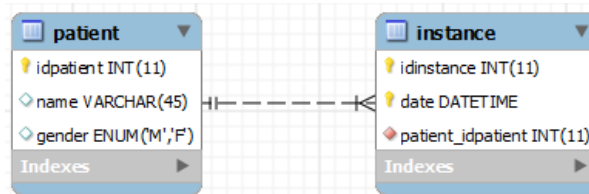


Figura 5.3: Diagrama EER: Relación entre instancias y pacientes

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

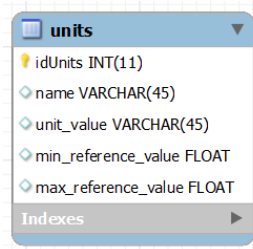


Figura 5.4: Tabla Unidades de las variables cuantitativas

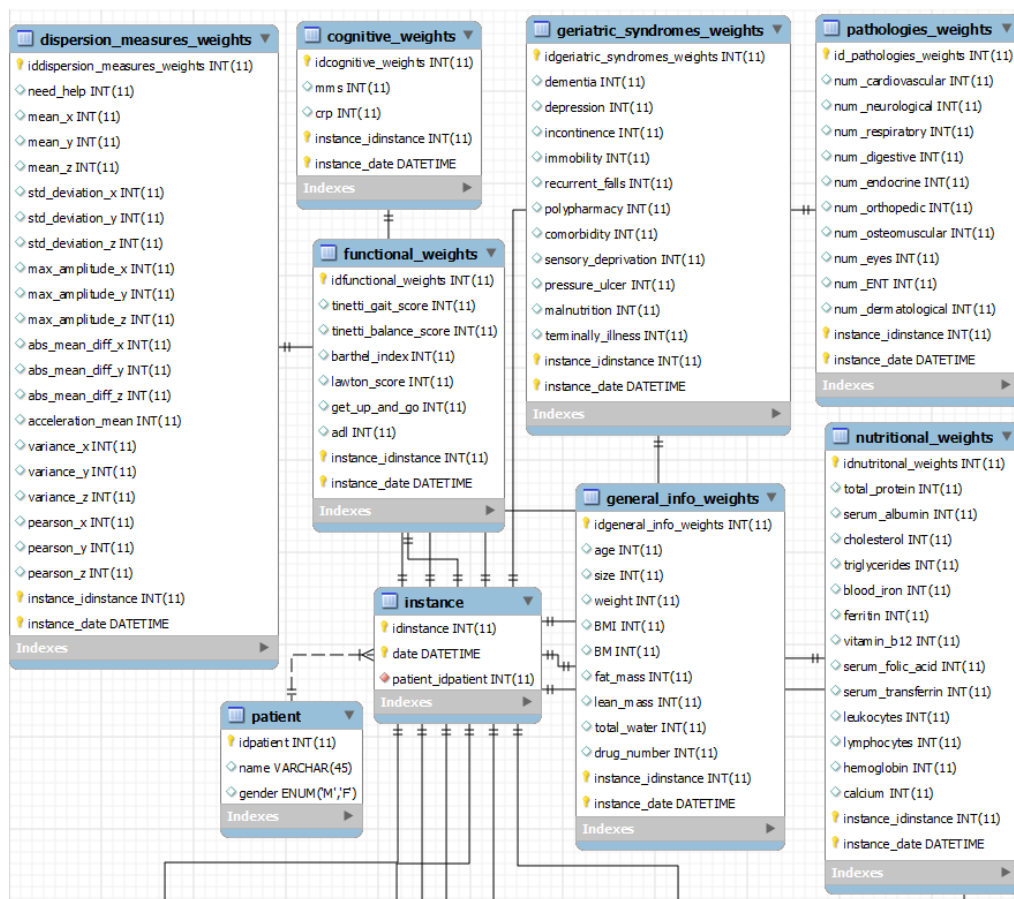


Figura 5.5: Diagrama EER: Pesos de los factores de riesgo de fragilidad para las instancias

En la figura 5.6 se muestra una visión del diagrama EER general con las tablas asociadas a los dominios de fragilidad, así como los pesos.

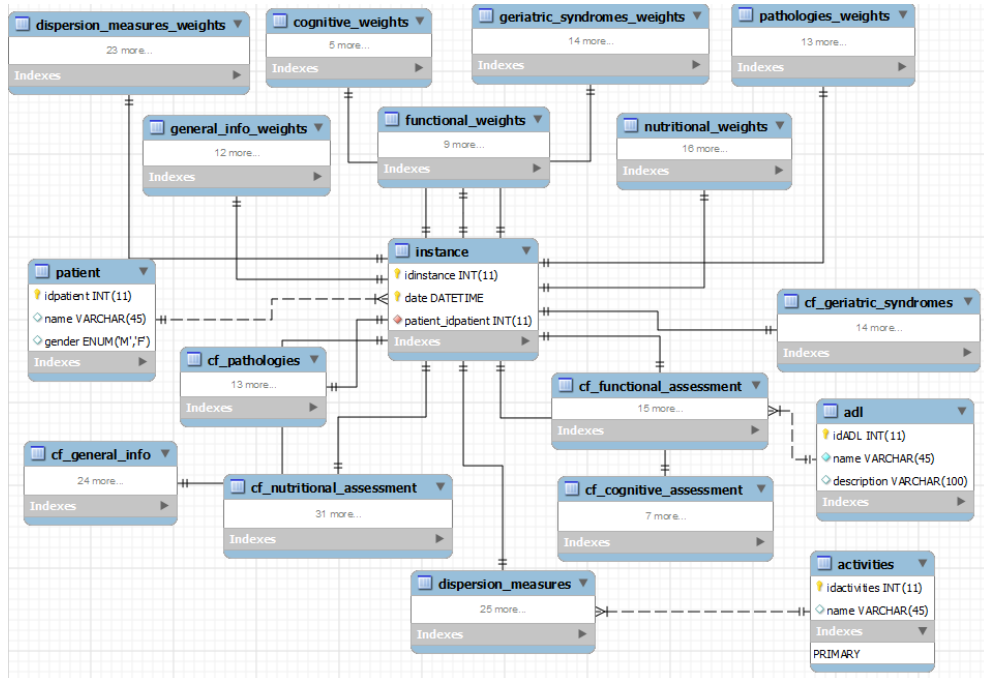


Figura 5.6: Diagrama EER general de la pila de instancias

Por último, a nivel interno se define la tabla “log” con el fin de disponer de un histórico de errores y excepciones producidas durante el manejo del sistema, facilitando el mantenimiento de los servicios web. La figura 5.7 muestra el contenido de dicha tabla.

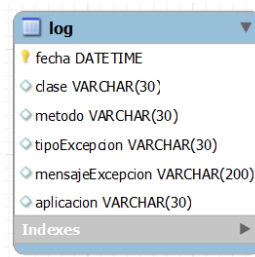


Figura 5.7: Tabla Log de las excepciones y errores del sistema

La ejecución de las operaciones de persistencia relacionadas con la adquisición y el almacenamiento de los datos, se llevan a cabo por medio de una clase denominada *consultas*, la cual contiene todos los métodos necesarios para la comunicación con la base de datos, actuando de intermediario entre los servicios web y el propio sistema de almacenamiento, tal y como se presenta en la figura 5.8, impidiendo que los ser-

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

vicios web se comuniquen directamente con la capa de persistencia, favoreciendo la abstracción y el mantenimiento de esta parte del sistema.



Figura 5.8: Papel de la clase consultas en el sistema

5.4. Servicios Web

El enfoque orientado a servicios de la arquitectura supone la implementación de las distintas funcionalidades del sistema en forma de servicios. Atendiendo a los requisitos funcionales y a las generalidades sobre los servicios descritas en el diseño de la arquitectura, estos se clasifican en: servicios de adquisición, de almacenamiento y de generación de resultados. En este apartado se detallan los servicios implementados de cada tipo como servicios web y que serán consumidos por la aplicación móvil.

La totalidad de los servicios presentados en este apartado se encuentran accesibles en: <http://jesusfontecha.name/recursos/docnet/html/>.

El diagrama de casos de uso representado por la figura 5.9 muestra los requisitos funcionales de la infraestructura de servicios web. El actor, en este caso, será la aplicación móvil que es quien provoca la ejecución de los servicios.

5.4.1. Servicios de adquisición

El acceso y recuperación de los datos almacenados en la base de datos se lleva a cabo a través de este tipo de servicios. Propuestos como métodos *Get* accesibles desde la aplicación móvil, entre sus propósitos se encuentran la obtención de pacientes, instancias, medidas y pesos.

La figura 5.10 presenta el diagrama de secuencia general de este tipo de servicios.

5.4.1.1. Adquisición de pacientes

Este servicio se encarga de la obtención de los pacientes almacenados que conforman la pila de pacientes. La tabla 5.1 muestra los datos del servicio en detalle.

El servicio devuelve una matriz de objetos paciente. El objeto paciente se caracteriza por tener los siguientes atributos:

- *id*: identificador del paciente

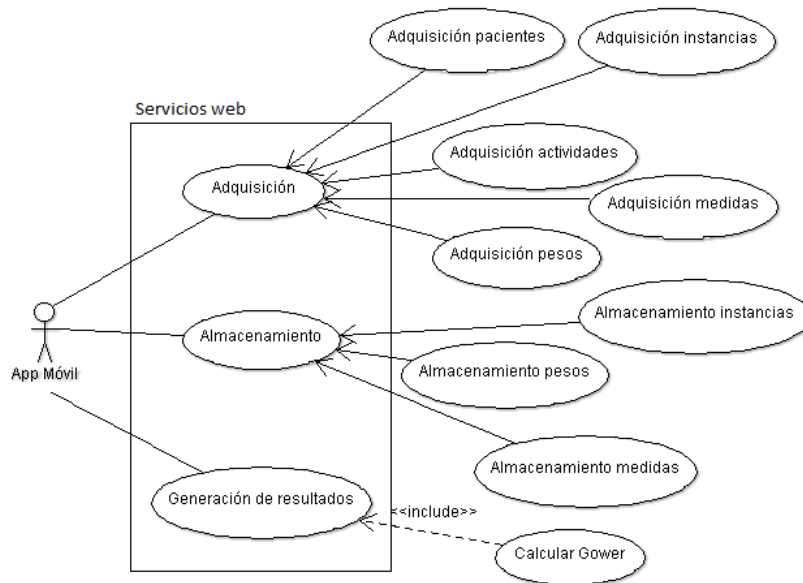


Figura 5.9: Diagrama de casos de uso de los servicios web

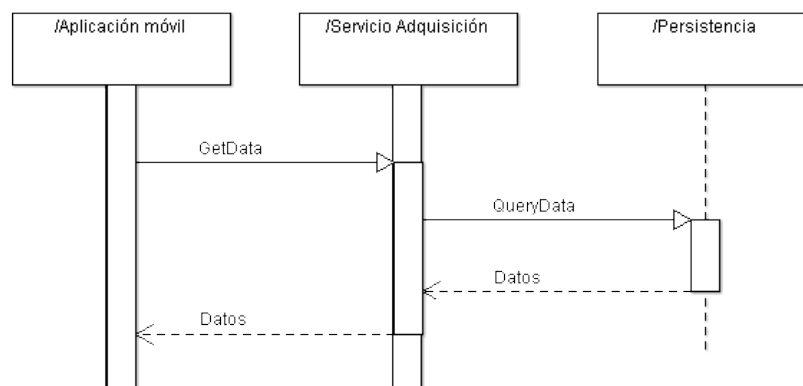


Figura 5.10: Diagrama de secuencia: Llamada a servicios de adquisición

<i>GetPacientes ()</i>	
Descripción	Obtiene una matriz con todos los pacientes de la pila
Argumentos	-
Devuelve	Paciente []

Tabla 5.1: Detalles del servicio de adquisición de pacientes

5.4.1.4. Adquisición de medidas

La obtención de las medidas relacionadas con los factores clínicos de la fragilidad se realiza a través de los servicios presentados en la tabla 5.4, y que hacen referencia a cada uno de los dominios considerados en el análisis.

Cada uno de los servicios devuelve una matriz de objetos medida. Un objeto medida consta de los siguientes atributos:

- *nombre*: nombre de la variable de fragilidad
- *valor*: valor de la variable de fragilidad
- *min_reference*: valor mínimo que ha de tener la variable para considerarse dentro de los valores normales
- *max_reference*: valor máximo que ha de tener la variable para considerarse dentro de los valores normales
- *unidad*: unidad en la que se mide la variable de fragilidad

5.4.1.5. Adquisición de pesos

Los pesos de las variables, de cada uno de los dominios, correspondientes a una instancia son obtenidos mediante la ejecución de los servicios mostrados en la tabla 5.5.

Cada uno de los servicios devuelve una matriz de objetos peso, y cada objeto peso está formado por los siguientes atributos:

- *variable*: identificador de la variable de fragilidad
- *porcentaje*: peso o importancia establecida para la variable

5.4.2. Servicios de almacenamiento

En este apartado se describen los servicios web correspondientes al almacenamiento de la información desencadenada por la aplicación móvil. Esto incluye el almacenamiento de instancias, medidas de la actividad física y pesos asignados a las variables de fragilidad. Sin embargo, tanto los valores de las variables de fragilidad como la información relativa a los pacientes son obtenidos del historial médico, y en este caso se dispone de estos datos ya almacenados en la base de datos para su análisis y experimentación.

A nivel de programación, estos servicios se proponen como métodos *Set* y *Add*, accesibles desde la aplicación móvil. La figura 5.11 muestra el diagrama de secuencia general de estos servicios.

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

<i>GetMedidasNutricionales(string idpatient, string fechainstancia)</i>		
Descripción	Obtiene las medidas de las variables nutricionales	
Argumentos	<i>idpatient</i>	identificador del paciente
	<i>fechainstancia</i>	identificador de la instancia
Devuelve	Medida []	
<i>GetMedidasAntropometricas(string idpatient, string fechainstancia)</i>		
Descripción	Obtiene las medidas de las variables antropométricas	
Argumentos	<i>idpatient</i>	identificador del paciente
	<i>fechainstancia</i>	fecha de la instancia
Devuelve	Medida []	
<i>GetMedidasCognitivas(string idpatient, string fechainstancia)</i>		
Descripción	Obtiene las medidas de las variables cognitivas	
Argumentos	<i>idpatient</i>	identificador del paciente
	<i>fechainstancia</i>	fecha de la instancia
Devuelve	Medida []	
<i>GetMedidasPatologias(string idpatient, string fechainstancia)</i>		
Descripción	Obtiene las medidas de las variables número de patologías	
Argumentos	<i>idpatient</i>	identificador del paciente
	<i>fechainstancia</i>	fecha de la instancia
Devuelve	Medida []	
<i>GetMedidasFuncionales(string idpatient, string fechainstancia)</i>		
Descripción	Obtiene las medidas de las variables funcionales	
Argumentos	<i>idpatient</i>	identificador del paciente
	<i>fechainstancia</i>	fecha de la instancia
Devuelve	Medida []	
<i>GetMedidasGeriatricas(string idpatient, string fechainstancia)</i>		
Descripción	Obtiene las medidas de las variables geriátricas	
Argumentos	<i>idpatient</i>	identificador del paciente
	<i>fechainstancia</i>	fecha de la instancia
Devuelve	Medida []	
<i>GetMedidasDispersión(string idpatient, string fechainstancia)</i>		
Descripción	Obtiene las medidas de las variables de dispersión	
Argumentos	<i>idpatient</i>	identificador del paciente
	<i>fechainstancia</i>	fecha de la instancia
Devuelve	Medida []	

Tabla 5.4: Detalles del servicio de adquisición de medidas

<i>GetPesosNutricionales(string idfecha, string fechainstancia)</i>		
Descripción	Obtiene los pesos de las variables nutricionales	
Argumentos	<i>idfecha</i>	identificador de la instancia
	<i>fechainstancia</i>	fecha de la instancia
Devuelve	Peso []	
<i>GetPesosAntropometricas(string idfecha, string fechainstancia)</i>		
Descripción	Obtiene los pesos de las variables antropométricas	
Argumentos	<i>idfecha</i>	identificador de la instancia
	<i>fechainstancia</i>	fecha de la instancia
Devuelve	Peso []	
<i>GetPesosCognitivas(string idfecha, string fechainstancia)</i>		
Descripción	Obtiene los pesos de las variables cognitivas	
Argumentos	<i>idfecha</i>	identificador de la instancia
	<i>fechainstancia</i>	fecha de la instancia
Devuelve	Peso []	
<i>GetPesosPatologias(string idfecha, string fechainstancia)</i>		
Descripción	Obtiene los pesos de las variables número de patologías	
Argumentos	<i>idfecha</i>	identificador de la instancia
	<i>fechainstancia</i>	fecha de la instancia
Devuelve	Peso []	
<i>GetPesosFuncionales(string idfecha, string fechainstancia)</i>		
Descripción	Obtiene los pesos de las variables funcionales	
Argumentos	<i>idfecha</i>	identificador de la instancia
	<i>fechainstancia</i>	fecha de la instancia
Devuelve	Peso []	
<i>GetPesosGeriatricas(string idfecha, string fechainstancia)</i>		
Descripción	Obtiene los pesos de las variables geriátricas	
Argumentos	<i>idfecha</i>	identificador de la instancia
	<i>fechainstancia</i>	fecha de la instancia
Devuelve	Peso []	
<i>GetPesosDispersión(string idfecha, string fechainstancia)</i>		
Descripción	Obtiene los pesos de las variables de dispersión	
Argumentos	<i>idfecha</i>	identificador de la instancia
	<i>fechainstancia</i>	fecha de la instancia
Devuelve	Peso []	

Tabla 5.5: Detalles del servicio de adquisición de pesos

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

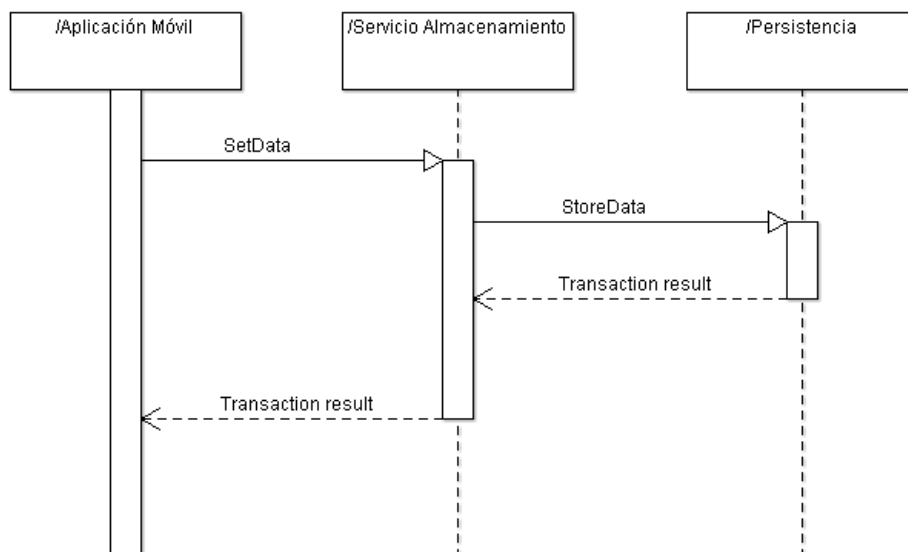


Figura 5.11: Diagrama de secuencia: Llamada a servicios de almacenamiento

5.4.2.1. Almacenamiento de instancias

Las instancias correspondientes a los distintos pacientes existentes en la pila pueden ser creadas desde la aplicación móvil, por ejemplo ante la necesidad de efectuar un nuevo análisis de una actividad física, mediante la llamada al método presentado en la tabla 5.6.

<i>AddNewInstancia ()</i>		
Descripción	Crea una nueva instancia a un paciente dado en la fecha actual	
Argumentos	<i>idpaciente</i>	identificador del paciente
	<i>date</i>	fecha de la instancia
Devuelve	int - Resultado operación	

Tabla 5.6: Detalles del servicio de almacenamiento de instancias

En este caso, el servicio devuelve un tipo de dato entero correspondiente al resultado de la operación: (1) almacenamiento correcto y (0) error en el almacenamiento.

5.4.2.2. Almacenamiento de medidas de dispersión

Las medidas relativas a la actividad física ejecutada por el paciente anciano, son obtenidas por el teléfono móvil gracias al sensor acelerómetro, y almacenadas en la base de datos como nuevas variables de fragilidad. La tabla 5.7 presenta el servicio asociado en detalle.

Al igual que en el tipo de servicios anterior, el servicio devuelve un tipo de dato entero correspondiente al resultado de la operación: (1) almacenamiento correcto y (0) error en el almacenamiento.

<i>AddMedidasDispersion (String mediaX, String mediaY, String mediaZ, String desvX, String desvY, String desvZ, String ampMaxX, String ampMaxY, String ampMaxZ, String mediaDifAbsX, String mediaDifAbsY, String mediaDifAbsZ, String mediaAcelRes, String varX, String varY, String varZ, String pearsonX, String pearsonY, String pearsonZ, String idfecha, String fecha, String idactividad, String need_help)</i>		
Descripción	Almacena los valores de las medidas de dispersión para una instancia y una actividad física dada	
Argumentos	<i>mediaX</i>	media de los valores del eje X
	<i>mediaY</i>	media de los valores del eje Y
	<i>mediaZ</i>	media de los valores del eje Z
	<i>desvX</i>	desviación de los valores del eje X
	<i>desvY</i>	desviación de los valores del eje Y
	<i>desvZ</i>	desviación de los valores del eje Z
	<i>ampMaxX</i>	amplitud máxima del eje X
	<i>ampMaxY</i>	amplitud máxima del eje Y
	<i>ampMaxZ</i>	amplitud máxima del eje Z
	<i>mediaDifAbsX</i>	media de la diferencia absoluta eje X
	<i>mediaDifAbsY</i>	media de la diferencia absoluta eje Y
	<i>mediaDifAbsZ</i>	media de la diferencia absoluta eje Z
	<i>mediaAcelRes</i>	media de la aceleración resultante
	<i>varX</i>	varianza de los valores del eje X
	<i>varY</i>	varianza de los valores del eje Y
	<i>varZ</i>	varianza de los valores del eje Z
	<i>pearsonX</i>	coeficiente de pearson en el eje X
	<i>pearsonY</i>	coeficiente de pearson en el eje Y
	<i>pearsonZ</i>	coeficiente de pearson en el eje Z
	<i>idfecha</i>	identificador de la instancia
	<i>fecha</i>	fecha de la instancia
	<i>idactividad</i>	identificador de la actividad
	<i>need_help</i>	necesidad de ayuda técnica
Devuelve	int - Resultado operación	

Tabla 5.7: Detalles del servicio de almacenamiento de medidas de dispersión

5.4.2.3. Almacenamiento de pesos

Como ya conocemos, los pesos de las variables de fragilidad pueden ser modificados por el médico geriatra desde la aplicación móvil para realizar el análisis desde un punto de vista concreto o bajo unas consideraciones determinadas. Estos pesos quedan almacenados en el sistema para la ejecución del análisis bajo las condiciones estableci-

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

das. Las tablas 5.8 y 5.9 presentan los servicios de almacenamiento de pesos para cada uno de los dominios de las variables de fragilidad.

En este caso, los argumentos de los servicios corresponden a los valores de los pesos para cada una de las variables de los dominios.

<i>SetPesosNutricionales (int total_protein, int serum_albumin, int cholesterol, int triglycerides, int blood_iron, int ferritin, int vitamin_b12, int serum_folic_acid, int serum_transferrin, int leukocytes, int lymphocytes, int hemoglobin, int calcium, String idfecha, String fecha)</i>	
Descripción	Establece los pesos de las variables nutricionales de la instancia
Argumentos	Los argumentos corresponden a los pesos de las variables nutricionales, el identificador de la instancia y la fecha de la instancia
Devuelve	int - Resultado operación
<i>SetPesosFuncionales (int tinetti_gait_score, int tinetti_balance_score, int barthel_index, int lawton_score, int get_up_and_go, int adl_level, String idfecha, String fecha)</i>	
Descripción	Establece los pesos de las variables funcionales de la instancia
Argumentos	Los argumentos corresponden a los pesos de las variables funcionales, el identificador de la instancia y la fecha de la instancia
Devuelve	int - Resultado operación
<i>SetPesosCognitivas (int mms, int crp, String idfecha, String fecha)</i>	
Descripción	Establece los pesos de las variables cognitivas de la instancia
Argumentos	Los argumentos corresponden a los pesos de las variables cognitivas, el identificador de la instancia y la fecha de la instancia
Devuelve	int - Resultado operación
<i>SetPesosPatologias (int cardiovascular, int neurological, int respiratory, int digestive, int endocrine, int orthopedic, int osteomuscular, int eyes, int ent, int dermatological, String idfecha, String fecha)</i>	
Descripción	Establece los pesos de las variables patologías de la instancia
Argumentos	Los argumentos corresponden a los pesos de las variables patologías, el identificador de la instancia y la fecha de la instancia
Devuelve	int - Resultado operación
<i>SetPesosGeriatricas (int dementia, int depression, int incontinence, int immobility, int recurrent_falls, int polypharmacy, int comorbidity, int sensory_deprivation, int pressure_ulcer, int malnutrition, int terminally_illness, String idfecha, String fecha)</i>	
Descripción	Establece los pesos de las variables geriátricas de la instancia
Argumentos	Los argumentos corresponden a los pesos de las variables geriátricas, el identificador de la instancia y la fecha de la instancia
Devuelve	int - Resultado operación

Tabla 5.8: Detalles de los servicios de almacenamiento de pesos

5.4.3. Servicios de generación de resultados

La obtención de los resultados de similitud a partir del análisis de las variables de fragilidad, se lleva a cabo mediante la ejecución del servicio web presentado en la tabla

<i>SetPesosDispersion (int need_help, int mean_x, int mean_y, int mean_z, int std_deviation_x, int std_deviation_y, int std_deviation_z, int max_amplitude_x, int max_amplitude_y, int max_amplitude_z, int abs_mean_diff_x, int abs_mean_diff_y, int abs_mean_diff_z, int acceleration_mean, int variance_x, int variance_y, int variance_z, int pearson_x, int pearson_y, int pearson_z, String idfecha, String fecha)</i>	
Descripción	Establece los pesos de las variables de dispersión de la instancia
Argumentos	Los argumentos corresponden a los pesos de las variables de dispersión, el identificador de la instancia y la fecha de la instancia
Devuelve	int - Resultado operación

Tabla 5.9: Detalles del servicio de almacenamiento de pesos de dispersión

5.10, el cual envía a la aplicación móvil la lista de nodos resultado para la construcción del mapa en árbol por la propia aplicación móvil. Es importante destacar el carácter iterativo del algoritmo asociado al servicio, atendiendo a razones de rendimiento durante su ejecución.

<i>GetResultadoAfinidadIterativo(String actividad, String idpaciente, String idfecha, String fecha, String corte, int nivel_prof)</i>		
Descripción	Obtencion de la matriz de nodos resultado para la creacion del treemap final	
Argumentos	<i>actividad</i>	identificador de la actividad física sobre la que se opera
	<i>idpaciente</i>	identificador del paciente
	<i>idfecha</i>	identificador de la instancia
	<i>fecha</i>	fecha de la instancia
	<i>corte</i>	puntuación de corte para establecer el calculo con un grado de afinidad mínimo. (0:min, 1:max)
	<i>nivel_prof</i>	nivel de profundidad del árbol resultado definido
Devuelve	Nodo []	

Tabla 5.10: Detalles del servicio de generación de resultados

El servicio devuelve una matriz de objetos *nodo*. Cada objeto *nodo*, contiene los siguientes atributos:

- *idNodoPadre*: identificador de la instancia padre. En el caso del nodo raíz, la instancia padre corresponde a la instancia sometida a estudio.
- *nombreNodo*: nombre del paciente asociado a la instancia representada por el nodo.
- *idNombreNodo*: identificador del paciente.
- *edad*: edad del paciente asociado a la instancia del nodo.

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

- *fechaNodo*: fecha de la instancia representada por el nodo.
- *coefSimilitud*: valor del coeficiente de similitud entre el nodo padre y la instancia actual.

Este servicio es accesible desde la aplicación móvil y está apoyado por los métodos de la tabla 5.11, correspondientes a los algoritmos desarrollados en el apartado 4.4.

<i>GetPesos (String idfecha, String fecha)</i>	
Descripción	Obtiene la lista de pesos de todas las variables de fragilidad
Argumentos	identificador de la instancia y fecha de la instancia
Devuelve	List < <i>Peso</i> [] >
<i>GetSumaPesos (List < Peso>[] > lista_pesos)</i>	
Descripción	Calcula la suma de pesos de las variables de fragilidad
Argumentos	lista de pesos de las variables
Devuelve	int - valor de la suma de pesos
<i>GetRangos (String actividad)</i>	
Descripción	Obtiene la lista de rangos a partir de los valores de las variables de fragilidad cuantitativas. Contiene los métodos de obtención de rangos parciales de cada dominio: <i>GetRangosAntropométricas</i> , <i>GetRangosFuncionales</i> ,...
Argumentos	identificador de la actividad física
Devuelve	List< <i>double</i> [] >
<i>CalcularNodos(string idpaciente_objetivo, string idinstancia_objetivo, string fechainstancia_objetivo, List< Peso>[] > lista_pesos, int suma_pesos, List< double>[] > lista_rangos, double coeff_corte)</i>	
Descripción	Calcula la lista de nodos resultante entre la instancia objetivo y el resto de instancias existentes. Contiene los métodos <i>CalcularCoeficienteGower</i> para cada uno de los dominios: <i>CalcularGowerAntropometricas</i> , <i>CalcularGowerFuncionales</i> ,...
Argumentos	identificador del paciente, identificador de la instancia objetivo, fecha de la instancia objetivo, lista de pesos, suma de pesos, lista de rangos, coeficiente de corte.
Devuelve	List< <i>Nodo</i> >

Tabla 5.11: Detalles de los métodos internos asociados a la generación de resultados

5.5. Aplicación Móvil

Uno de los objetivos del presente trabajo radica en centralizar la información y el análisis relativo a la valoración de la fragilidad en un dispositivo móvil, considerando los requisitos funcionales definidos en el apartado 5.2.

Las principales tareas de la aplicación móvil pueden dividirse en cuatro bloques:

- *Adquisición y visualización de variables de fragilidad*, correspondiente a los valores de las variables de fragilidad de una instancia de un paciente determinado según los dominios identificados.
- *Adquisición de los datos de movimiento y cálculo de las medidas estadísticas*, referente a la obtención de los datos de acelerometría y el cálculo de las variables asociadas a una actividad física por el dispositivo móvil.
- *Asignación de pesos y configuración*, correspondiente a la configuración de parámetros de aplicación y parámetros para el estudio de la fragilidad. Esto incluye: modificación de pesos, grado de similitud mínimo, niveles del árbol y parámetros de aplicación.
- *Creación y visualización del mapa en árbol*, hace referencia a la creación del tree-map resultado a partir de la lista de nodos procedente del servicio web de cálculo de similitudes.

El diagrama de casos de uso representado por la figura 5.12 muestra los requisitos de esta aplicación.

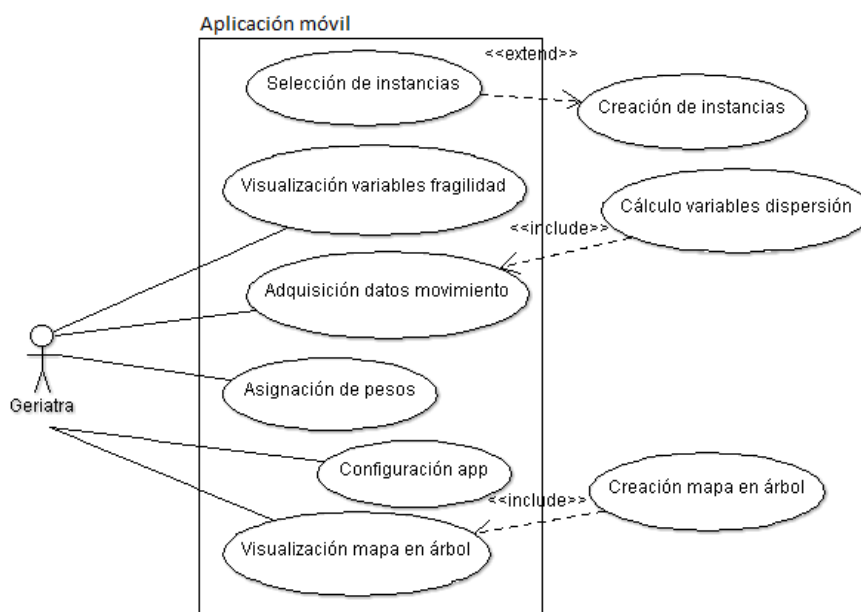


Figura 5.12: Diagrama de casos de uso de la aplicación móvil.

Por otra parte, la figura 5.13 muestra un diagrama de flujo representado por las tareas anteriores, incluyendo una captura de la pantalla inicial de la aplicación. En un primer momento, el geriatra puede seleccionar una instancia de un paciente de entre

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

las existentes, o bien crear una nueva instancia, para después indicar la acción a realizar mediante la aplicación móvil.

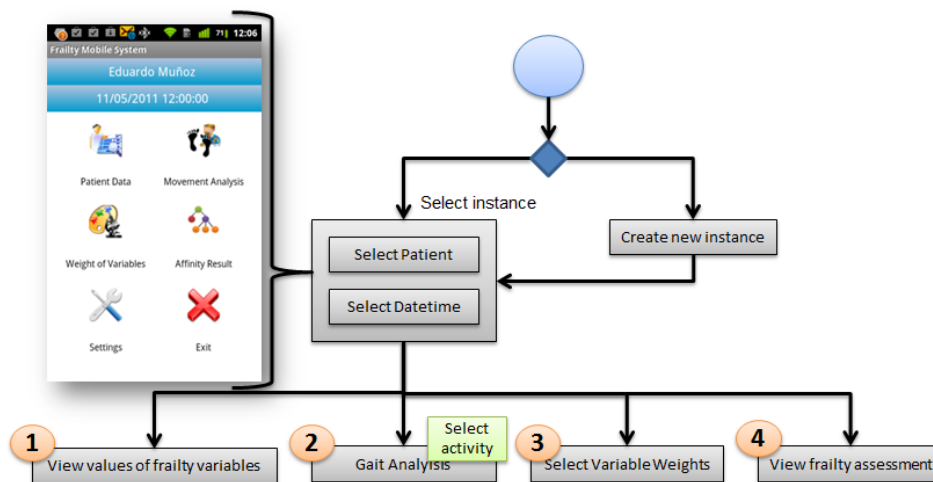


Figura 5.13: Diagrama de flujo con las acciones llevadas a cabo por la aplicación móvil. (1) Visualización de valores de fragilidad, (2) Análisis de la actividad física, (3) Asignación de pesos, (4) Visualización valoración de fragilidad.

Las figuras 5.14 y 5.15 corresponden a las capturas de pantalla de la aplicación para cada una de las acciones definidas.

5.5.1. Comunicación con los servicios web

Atendiendo a la plataforma de servicios web implementada, gran parte de la aplicación móvil está dedicada a la interacción con dichos servicios, actuando como cliente o consumidor de servicios web. El resto, como sabemos, está relacionado con la obtención de datos de movimiento y cálculo de variables de dispersión, así como la configuración de diversos parámetros de aplicación y visualización de resultados.

La figura 5.16 muestra el diagrama de secuencia general correspondiente a la comunicación de la aplicación móvil con los servicios web definidos.

Por su parte, el listado 5.1 presenta un ejemplo de llamada a un servicio web, en este caso se trata del servicio para la obtención de los pacientes existentes en la pila. Las llamadas al resto de servicios implementados (ver apartado 5.4) se realiza de forma similar.

La clase *ServiciosWeb* es la encargada de fijar los parámetros de conexión y configuración con los servicios y establecer la comunicación con el servicio remoto correspondiente mediante el protocolo SOAP¹, utilizando el API ksoap2².

¹<http://www.w3.org/TR/soap/>

²<http://ksoap2.sourceforge.net/doc/api/>

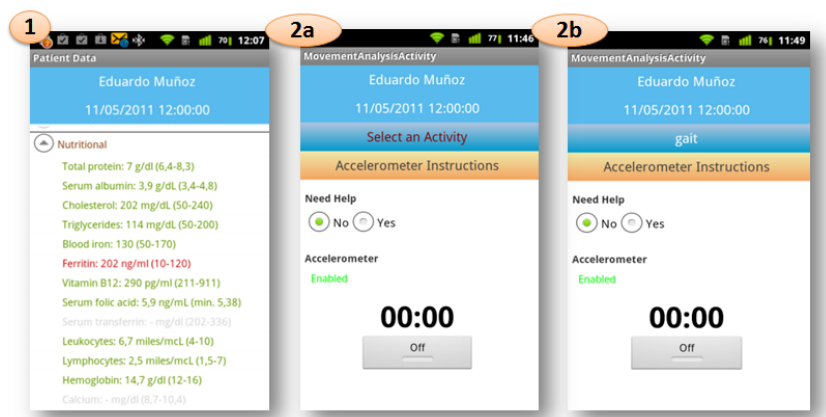


Figura 5.14: Capturas de pantalla: visualización de datos y análisis de actividad. (1) Visualización de valores de las variables de fragilidad. Verde indica: valor normal, rojo: valor por encima del rango normal, azul: valor por debajo del rango normal, gris: valor desconocido, (2a) Análisis del movimiento: selección de actividad, (2b) Análisis del movimiento: Dispositivo preparado para iniciar la recogida de datos de marcha.

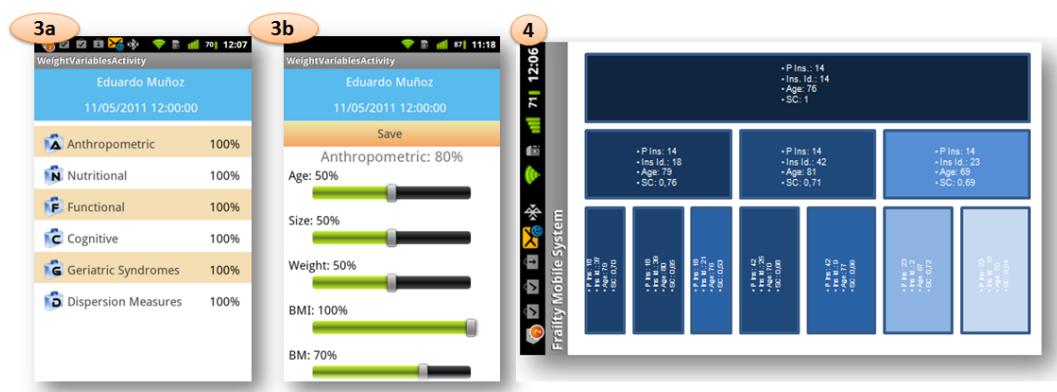


Figura 5.15: Capturas de pantalla: Asignación de pesos y visualización de resultados. (3a) Visualización de pesos globales de cada grupo de variables, (3b) Edición de los pesos específicos del grupo de variables antropométricas, (4) Visualización del mapa en árbol a partir de la lista de nodos resultado.

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

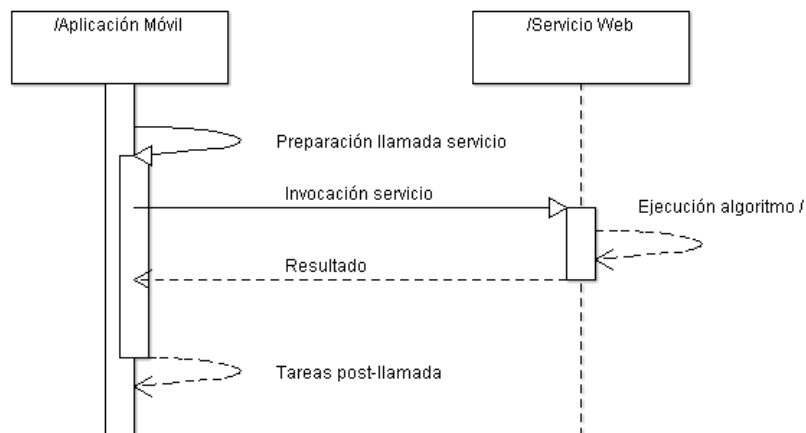


Figura 5.16: Diagrama de secuencia: comunicación con servicio web

Listing 5.1: Ejemplo cliente servicio web

```
private Paciente[] getPacientes() {
    ServiciosWeb sw = new ServiciosWeb(conf);
    Paciente[] pacientes = sw.getPacientesWebService();
    return pacientes;
}
```

5.5.2. Adquisición y cálculo de medidas de dispersión

La adquisición de los datos de acelerometría y cálculo de las medidas estadísticas de dispersión es otro de los procedimientos importantes llevados a cabo por la aplicación móvil. La figura 5.17 representa el diagrama de secuencia de este proceso.

En este caso, se ha implementado un servicio Android que se ejecuta en segundo plano y que permite obtener una tupla de valores (x,y,z) cada $50ms$ (atendiendo a una frecuencia de muestreo de $20Hz$), empleados en el cálculo de las variables estadísticas. Una vez obtenido el segmento de datos de acelerometría, se aplica el algoritmo de filtrado representado por el método del listado 5.2, según los fundamentos teóricos expuestos en el apartado 2.5.1. El valor del factor ALFA escogido es de 0,1 por permitir reducir el ruido de la señal sin perder información para nuestro propósito, fundamentando su determinación en base al apartado 2.5.1.

Listing 5.2: Filtrado de la señal de acelerometría

```
public void filtrar(Vector<DatosAcelerometro> segmentoFiltrado) {
    for(int i = 1; i < segmentoFiltrado.size(); i++){
```

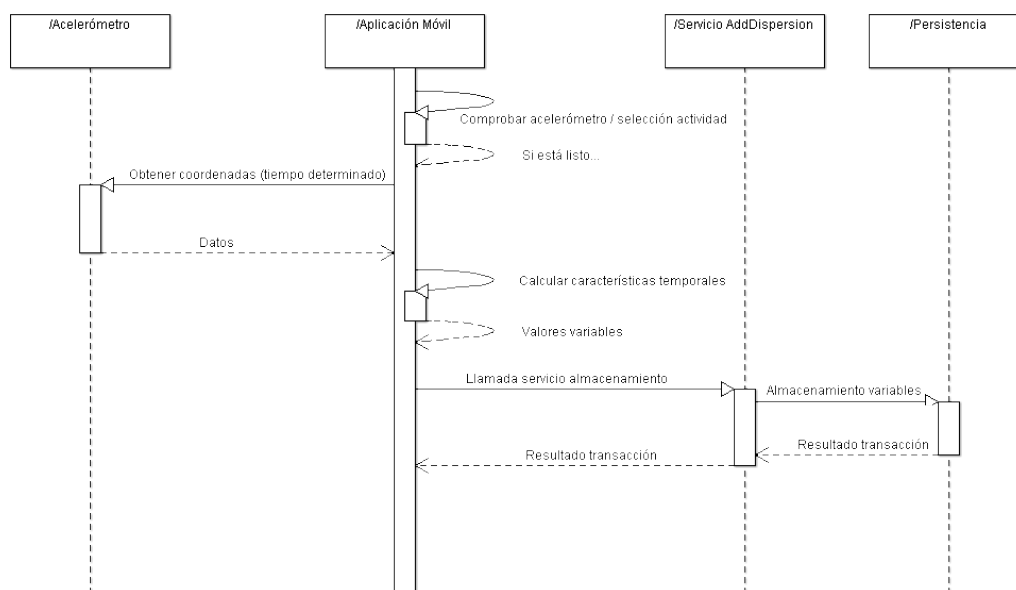


Figura 5.17: Diagrama de secuencia: Adquisición de datos del acelerómetro y cálculo de medidas estadísticas

```

segmentoFiltrado.get(i).setX((float) (ALFA *
    segmentoFiltrado.get(i).getX() +
    (1-ALFA) * segmentoFiltrado.get(i - 1).getX()));
segmentoFiltrado.get(i).setY((float) (ALFA *
    segmentoFiltrado.get(i).getY() +
    (1-ALFA) * segmentoFiltrado.get(i - 1).getY()));
segmentoFiltrado.get(i).setZ((float) (ALFA *
    segmentoFiltrado.get(i).getZ() +
    (1-ALFA) * segmentoFiltrado.get(i - 1).getZ()));
}
}
  
```

Cuando los datos del segmento (considerando segmento a una muestra válida de datos de acelerometría) son filtrados, se calculan las características temporales o medidas de dispersión (ver apartado 4.3.3.4) antes de ser enviadas al servidor, mediante el servicio web *AddMedidasDispersion*. El código del método general de procesamiento se muestra en el listado 5.3.

Listing 5.3: Procesamiento de los datos de un segmento de valores (x,y,z)

```

public CaractTemporales procesarDatos() {
    CaractTemporales caract;
    /* Se copia el segmento antes de filtrarlo para no hacer modificaciones
  
```

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

```
    * indeseadas */
    Vector<DatosAcelerometro> segmentoFiltrado =
        (Vector<DatosAcelerometro>) segmento.clone();
    segmento.removeAllElements();
    /* Filtrar los datos */
    filtrar(segmentoFiltrado);
    /* Hace los calculos */
    caract = new CaractTemporales(segmentoFiltrado);
    caract.calcular();

    return caract;
}
```

5.5.2.1. SMB380 Bosch Sensortec

Para la adquisición de las medidas de dispersión se ha contado con el dispositivo de propósito general *Samsung Galaxy S GT-i9000*¹ con sistema operativo Android 2.3², con acelerómetro integrado. Este tipo de smartphone cuenta con el sensor acelerómetro de Bosch *SMB380* cuya hoja de especificación se anexa al final de este documento (ver Anexo A.3). Se trata de un sensor triaxial de bajo consumo, capaz de trabajar en condiciones de temperatura entre -40°C y 85°C. Este tipo de sensor admite tres posibles rangos de medición $\pm 2g$, $\pm 4g$ y $\pm 8g$, y un rango de frecuencia de respuesta de 20Hz a 1500Hz.

Cabe destacar la posibilidad de utilizar cualquier otro dispositivo acelerómetro que cumpla con unas condiciones similares al SMB380 para asegurar la correcta adquisición de datos de movimiento. De modo que el despliegue del sistema no está condicionado por ningún medio hardware, pudiendo ser utilizado algún otro dispositivo diferente al presentado.

5.5.3. Creación y visualización del mapa en árbol

La lista de nodos creada a partir de la ejecución del servicio web *GetResultadoAfinidadIterativo* es utilizada por la aplicación móvil para la generación y visualización del mapa en árbol en la pantalla del dispositivo. La figura 5.18 muestra el diagrama de secuencia correspondiente a este procedimiento.

Cuando se dispone de la lista de nodos resultado, se crea de forma iterativa un mapa en árbol en el que cada nodo se corresponde con un objeto rectángulo del árbol, como ya se mencionó en apartados anteriores. Gracias a los identificadores de instancia

¹http://www.samsung.com/mx/consumer/mobile-phones/mobile-phones/telcel/GT-I9000HKTTC/index.idx?pagetype=prd_detail

²<http://www.android.com/>

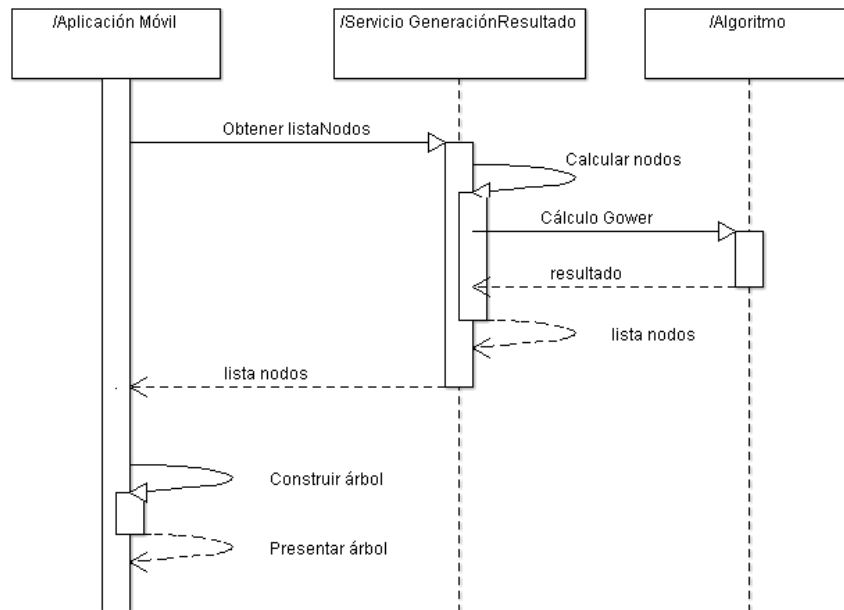


Figura 5.18: Diagrama de secuencia: Adquisición de datos del acelerómetro y cálculo de medidas estadísticas

actual e instancia padre, cada uno de los rectángulos puede ser generado y posicionado dentro de la estructura del árbol. A su vez, esta estructura dinámica se adapta al tamaño y resolución de la pantalla del dispositivo, así como al número de objetos rectángulo resultantes. En este sentido, la figura 5.19 presenta dos mapas resultado generados por la aplicación.



Figura 5.19: Captura de pantalla: mapas en árbol resultado. (a) Mapa en árbol con el total de nodos hijos, (b) Mapa en árbol para un grado de similitud mayor a 0.75

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

El método *drawRectangle* es el encargado de crear y dibujar cada rectángulo del árbol en la posición correspondiente, atendiendo a los datos del nodo, con el tamaño adecuado y el color definido por el usuario. El listado 5.4 ejemplifica el código de este método.

Listing 5.4: Representación del nodo como rectángulo del treemap

```
private void drawRectangle(Canvas canvas, int xLeft, int yLeft, int xRight,
int yRight, int[] color, int textSize, int index, Nodo nodo){
    rectangles[index] = new Rect();
    rectangles[index].set(xLeft+SPACING_RECTANGLE, yLeft+SPACING_RECTANGLE,
xRight, yRight);
    Paint paint_rectangle = new Paint();

    paint_rectangle.setARGB(255, color[0], color[1], color[2]);
    paint_rectangle.setStyle(Paint.Style.FILL);

    Paint paint_text = new Paint();
    paint_text.setStyle(Paint.Style.FILL);
    paint_text.setColor(getResources().getColor(R.color.white));
    //turn antialiasing on
    paint_text.setAntiAlias(true);
    paint_text.setTextAlign(Align.LEFT);
    int scaledSize = getResources().getDimensionPixelSize(textSize);
    paint_text.setTextSize(scaledSize);
    canvas.drawRect(rectangles[index], paint_rectangle);
    String text= ;
    //Si es el nodo escribo las leyendas de cada dato expuesto con
    el tamaño adecuado
    if (index==0){
        text =PARENT_NODE+nodo.getIdNodoPadre()+ID_NODE+nodo.getIdNodo()+
        AGE+nodo.getEdadNodo()+COEFF+nodo.getCoefSimilitud();
    }else{
        text =nodo.getIdNodoPadre()+\n+nodo.getIdNodo()+\n+
        nodo.getEdadNodo()+\n+nodo.getCoefSimilitud();
    }
    String cad_temp= ;
    if(index==0) cad_temp = COEFF;
    else cad_temp = + nodo.getCoefSimilitud();

    int x = rectangles[index].centerX() -
        (int) Math.round(paint_text.measureText(cad_temp)/1.5);
    int y = rectangles[index].centerY() -
        (int) Math.round(paint_text.descent()) * NUM_ITEMS;
    for(String line: text.split(\n)){
        canvas.drawText(line, x, y, paint_text);
        y+= -paint_text.ascent()+paint_text.descent();
    }
}
```

```
}  
}
```

En el caso del objeto asociado al nodo root, este contiene las leyendas correspondientes a cada atributo del nodo, mientras que el resto de nodos hijo, simplemente presentan los valores de dichos atributos. Como ya sabemos, los nodos son objetos dinámicos mediante los cuales podemos acceder a los datos de las variables de fragilidad asociadas a la instancia del nodo. Para ello, se ha sobrescrito el método *onTouchEvent*, que permite detectar las pulsaciones sobre la pantalla del dispositivo. El listado 5.5 muestra el código asociado a esta acción.

Listing 5.5: Acciones tras la pulsación de un objeto del treemap

```
@Override  
public boolean onTouchEvent(MotionEvent event) {  
  
    int x = (int) Math.round(event.getX());  
    int y = (int) Math.round(event.getY());  
  
    for (int i=0; i<rectangles.length; i++){  
        if (rectangles[i].contains(x, y)){  
  
            Nodo nd = nodos.get(i);  
  
            Intent intent = new Intent();  
                intent.setClass(actividad, PatientDataActivity.class);  
                intent.putExtra(id_paciente, nd.getIdNombreNodo());  
                intent.putExtra(nombre_paciente, nd.getNombreNodo());  
                intent.putExtra(fecha, nd.getFechaNodo());  
                intent.putExtra(id_fecha, nd.getIdNodo());  
                actividad.startActivity(intent);  
            break;  
        }  
    }  
    return super.onTouchEvent(event);  
}
```

La documentación relativa al código de la aplicación móvil se encuentra disponible en <http://jesusfontecha.name/recursos/docjava/html/>

5.6. Consideraciones y conclusiones

Tanto los principios de la arquitectura como su diseño y funcionalidades son independientes de las plataformas y tecnologías utilizadas para su desarrollo. No obstante

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

se presupone necesario mencionar algunos detalles de las tecnologías escogidas para la implementación del prototipo, en este apartado.

Tanto la base de datos como los servicios web están alojados en un equipo servidor. En este caso, se ha usado MySQL¹ como Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD) relacional, e Internet Information Services (IIS)² como servidor web. Los servicios web han sido implementados usando el framework Microsoft.NET³ y el protocolo Simple Object Access Protocol (SOAP) (ver apartado 5.5.1) como protocolo de comunicación para establecer el intercambio de información entre el consumidor y el productor de servicios web.

Para la implementación de la aplicación móvil se han tenido en cuenta las directrices de diseño y desarrollo, en este caso las propuestas por Google, para el desarrollo de aplicaciones móviles basadas en la plataforma Android⁴. De este modo, la aplicación puede ser ejecutada en cualquier dispositivo Android compatible, con la capacidad de adaptarse a las cualidades del propio dispositivo gracias al uso de fragmentos⁵. La figura 5.20 muestra sendas capturas de la aplicación dependiendo del dispositivo en el que se ejecuta. En este caso, la presentación de la información en pantallas de mayor tamaño y resolución favorece la visualización de los resultados, mientras que en pantallas de menor tamaño, se debe realizar un mayor número de transiciones entre pantallas. Además, la detección del sensor acelerómetro está condicionada al tamaño del dispositivo y si este dispone de sensor acelerómetro o no, de forma que si no se trata de un dispositivo móvil que pueda ser colocado en el cinturón habilitado para la adquisición de los datos de acelerometría, tal opción se encontrará, por defecto, deshabilitada en la aplicación tal y como se muestra en la figura 5.21.

Como se ha mencionado en apartados anteriores, la generación del resultado puede tener en cuenta varios parámetros como son: la actividad física sobre la que se centra el análisis, el valor mínimo del coeficiente de similitud, la profundidad del árbol y el color del treemap resultante. Además, existen varios parámetros de configuración de la aplicación correspondientes a la URL y puertos dónde se encuentran alojados los servicios para la valoración de la fragilidad. La figura 5.22 muestra una captura de esta pantalla de configuración en un dispositivo *Samsung Galaxy tab 10*". También sobre este dispositivo, la figura 5.23 representa una captura de pantalla de la visualización del treemap correspondiente al resultado de afinidad de las instancias más similares a la instancia estudiada.

¹<http://www.mysql.com/>

²<http://www.iis.net/>

³<http://www.microsoft.com/net>

⁴<http://developer.android.com/index.html>

⁵<http://developer.android.com/guide/components/fragments.html>

5.6 Consideraciones y conclusiones

Por último, la figura 5.24 muestra el esquema general de la arquitectura a nivel de implementación, destacando los elementos, algoritmos y servicios web descritos en este capítulo, para la valoración de la fragilidad.

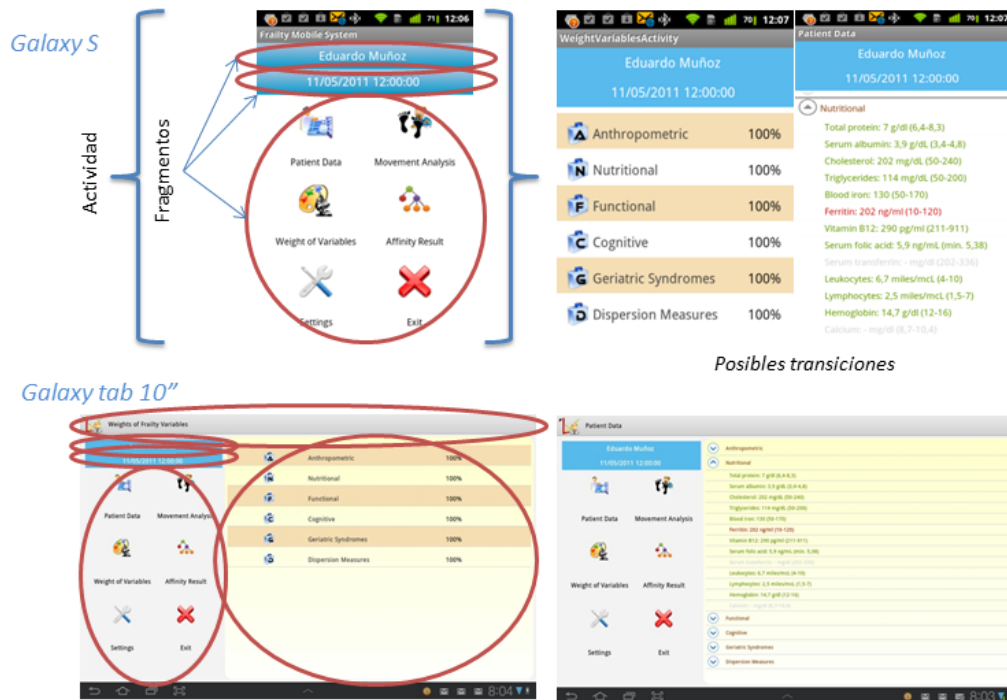


Figura 5.20: Ejecución de la aplicación móvil en los dispositivos Galaxy S y Galaxy tab 10 de Samsung. Los fragmentos de la actividad se adaptan según el tamaño y resolución de la pantalla del dispositivo. Un mayor tamaño de pantalla, permite un mayor número de fragmentos por actividad (<http://developer.android.com/guide/components/activities.html>). Imágenes del dashboard, variables de fragilidad y pesos de los grupos de variables.

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

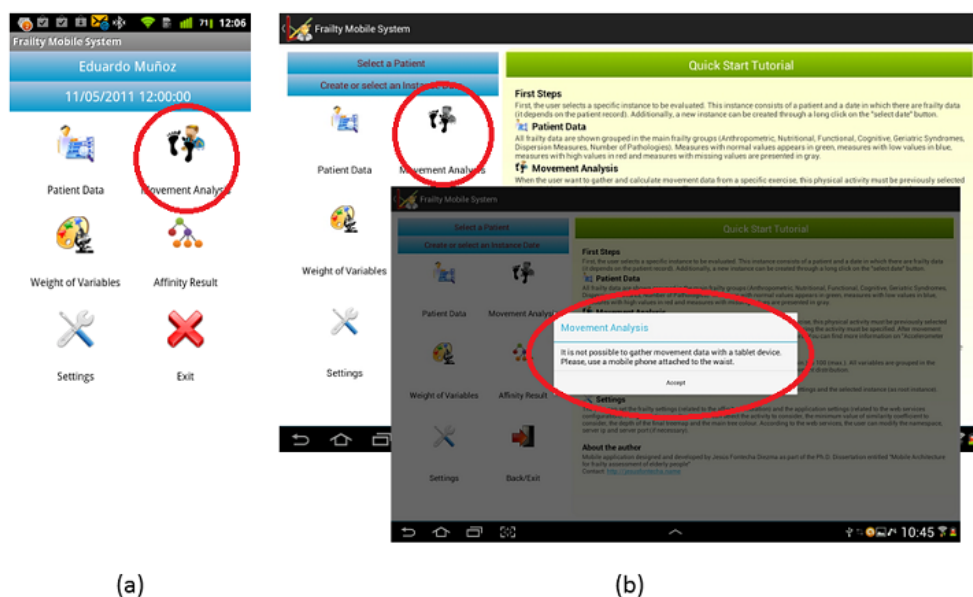


Figura 5.21: Estado de la adquisición de movimiento según el tamaño del dispositivo. (a) Samsung Galaxy S: Opción activa. Se permite la adquisición de movimiento. (b) Samsung Galaxy tab 10": Opción inactiva. No se permite la adquisición de datos de acelerometría. Un mensaje advierte de ese estado en caso de solicitar la adquisición de datos de movimiento.

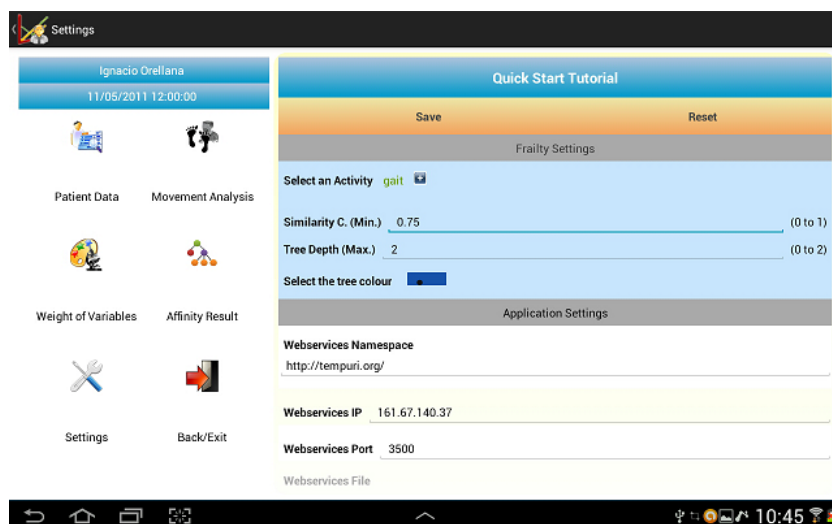


Figura 5.22: Captura de pantalla Samsung Galaxy tab 10": Configuración de parámetros de fragilidad y aplicación.

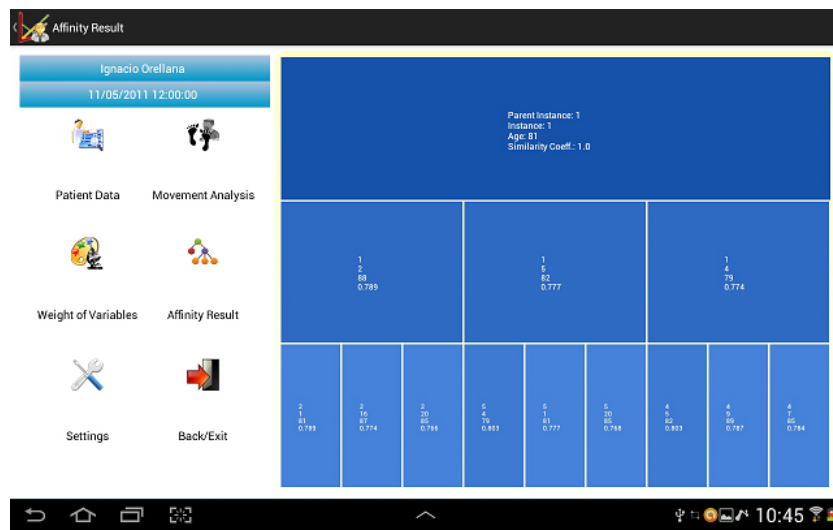


Figura 5.23: Captura de pantalla Samsung Galaxy tab 10”: Visualización del treemap resultado con el total de nodos hijos, desplegado en un dispositivo de tipo tablet.

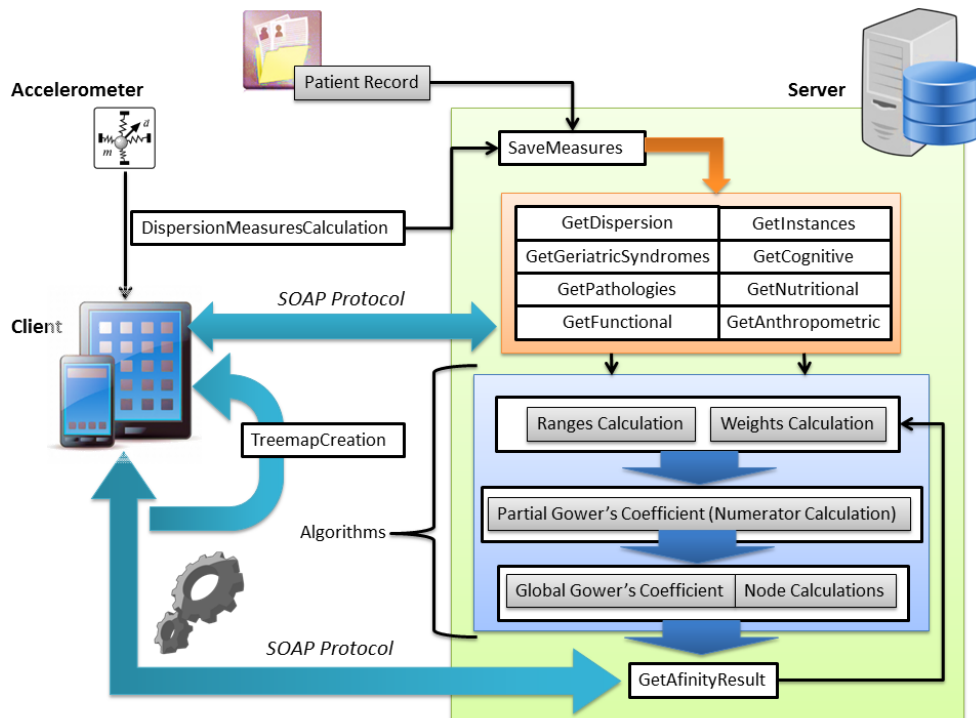


Figura 5.24: Esquema general de implementación de la arquitectura. Elementos, algoritmos y servicios web

5. IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Capítulo 6

Evaluación y resultados

6.1. Introducción

Como sabemos, la presente tesis ha supuesto el desarrollo de un sistema software destinado a su uso por geriatras y facultativos en un contexto asistencial y de salud. Por ello, conviene destacar en este punto los aspectos tenidos en cuenta para la evaluación de cada una de sus partes.

Aunque la idea inicial del sistema propuesto se resuelve como una arquitectura en la que intervienen diversos componentes software y hardware, se ha optado por centralizar gran parte de la evaluación en la aplicación móvil y la generación de resultados, de cara al usuario final; y en diversas tareas relacionadas con el desempeño y rendimiento desde un punto de vista más funcional (ver capítulo 4). La evaluación se centra, por tanto, en el estudio de características funcionales y de usabilidad, sin entrar en cuestiones de calidad del software, por no ser objetivo de este trabajo.

En este capítulo se presenta la evaluación del sistema y los resultados obtenidos en varios estudios realizados, fundamentados en la consecución de un estudio de campo previo, mediante el cual se obtuvieron los datos procedentes de la realidad, necesarios y fundamentales, para iniciar el posterior análisis y evaluación de los mismos con el fin de alcanzar los objetivos planteados a lo largo del trabajo. Dicho estudio se llevó a cabo en la Residencia Asistida de Mayores de Ciudad Real (España) durante un total de 12 meses, contando con el apoyo y colaboración de dos facultativos geriatras.

En el apartado 6.2 se presenta el grupo de pacientes sobre los cuales se han realizado los estudios de fragilidad, desde un punto de vista principalmente clínico. Mientras que los siguientes apartados corresponden a distintas evaluaciones realizadas sobre la aplicación móvil del sistema y sobre los propios pacientes, haciendo uso del sistema. En el apartado 6.3 se exponen los resultados de fragilidad obtenidos con el sistema, tanto desde un punto de vista global como centrado en los dominios antropométrico y nutri-

6. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

cional. Por su parte, la sección 6.4 presenta tanto la metodología como los resultados de fragilidad obtenidos en el análisis de la evolución nutricional del grupo de pacientes seleccionado. Por último, el apartado 6.5 se centra en la evaluación de aspectos de usabilidad de la aplicación móvil, derivada de la arquitectura presentada en esta tesis.

6.2. Análisis Descriptivo

A lo largo de este y posteriores apartados, se presentan los resultados proporcionados por la arquitectura desarrollada considerando un grupo inicial de 20 pacientes ancianos previamente seleccionados en base a un juicio de expertos, con edades comprendidas entre 73 y 92 años, siendo solo tres de ellos menores de 80 años.

Teniendo en cuenta los perfiles definidos en el apartado 2.2, los pacientes identificados como idóneos para la evaluación del sistema fueron aquellos que aún en edad avanzada no presentaban signos permanentes o graves de fragilidad o geriatría. Por tanto, se han seleccionado sujetos bajo esas características, sanos o con ligeros síntomas de pre-fragilidad, que conservan las capacidades sociales, son autónomos y no presentan deterioro cognitivo. En la selección se ha considerado el mismo número de varones que de mujeres. La edad media de los hombres era de $81,8 \pm 4,74$, mientras que las mujeres tenían una edad media de $85,45 \pm 3,22$. Cabe destacar que 12 de ellos eran cónyuges de otro residente dependiente, 6 ingresaron en la residencia como acompañantes habiendo fallecido el cónyuge y sólo 2 de ellos presentaron criterios de ingreso por ellos mismos.

La tabla 6.1 muestra una descripción general del grupo inicial de pacientes seleccionados, atendiendo a los valores medios (y desviaciones típicas) de algunas de las variables influyentes más importantes, relacionadas con la fragilidad.

Atendiendo a cuatro ámbitos diferentes de valoración y a los datos expuestos en dicha tabla, se observan las siguientes características sobre los pacientes del grupo:

- **Valoración clínica.** El número medio de enfermedades en mujeres es de 3,9 y en varones de 3. Número de medicamentos en mujeres de $8,25 \pm 2,33$ y en varones de $4,88 \pm 3,21$. En el gráfico representado por la figura 6.1(a) aparecen reflejadas las enfermedades por grupos terapéuticos y sexos. Mientras, en el gráfico de la figura 6.1(b) se reflejan los síndromes geriátricos.
- **Valoración funcional.** Todos los pacientes son independientes para realización de las actividades básicas de la vida diaria con Índice de Barthel de $99,9 \pm 0,3$ en varones y de $95 \pm 4,89$ en mujeres.
- **Valoración mental.** Ninguno reunía criterios de demencia, con valores medios en el MMS de 28.57 en varones y de 25.7 en mujeres, sólo dos de ellos presen-

6.2 Análisis Descriptivo

Anthropometric								
Sex	Size (cm)	Weight (Kg)	BMI (Kg/m ²)	Body mass (Kcal)	Fat mass (%)	Lean mass (Kg)	Total water (Kg)	
Female	159,6 ± 6,02	65,45 ± 11,36	28,14 ± 4,06	1158,7 ± 122,9	36,37 ± 8,57	40,93 ± 6,62	31,11 ± 5,22	
Male	150,9 ± 5,03	67,78 ± 8,46	26,19 ± 2,7	1246,7 ± 128,05	27,61 ± 4,34	48,29 ± 4,13	31,11 ± 5,22	
Nutritional (relevant biochemical values)								
Sex	Hemoglobin (g/dl)	Ferritin (ng/ml)	Total protein (g/dl)	Serum albumin (g/dl)	Cholesterol (mg/dl)	Serum folic acid (ng/ml)	Vitamin B12 (pg/ml)	Lymphocytes (thousands / mCL)
Female	12,92 ± 1,13	81,91 ± 70,69	6,95 ± 0,6	4,18 ± 0,29	173,55 ± 31,46	7,42 ± 4,54	354,73 ± 70,08	1,71 ± 0,67
Male	14,57 ± 0,88	165,22 ± 143,92	6,88 ± 0,44	3,95 ± 0,2	177,89 ± 29,59	6,32 ± 3,22	397,56 ± 109,19	1,9 ± 0,56
Geriatric Syndromes (11)		Pathologies		Functional				
Sex	Average	Sex	Average	Sex	Barthel Index	Tinetti gait score	Tinetti balance score	Lawton Brody score
Female	4,57	Female	3,9	Female	95 ± 4,90	11,45 ± 0,78	13,82 ± 1,53	6 ± 1
Male	2,29	Male	3	Male	99,9 ± 0,3	12 ± 0	14,7 ± 1,1	4 ± 0

Tabla 6.1: Extracto descriptivo inicial de los pacientes seleccionados

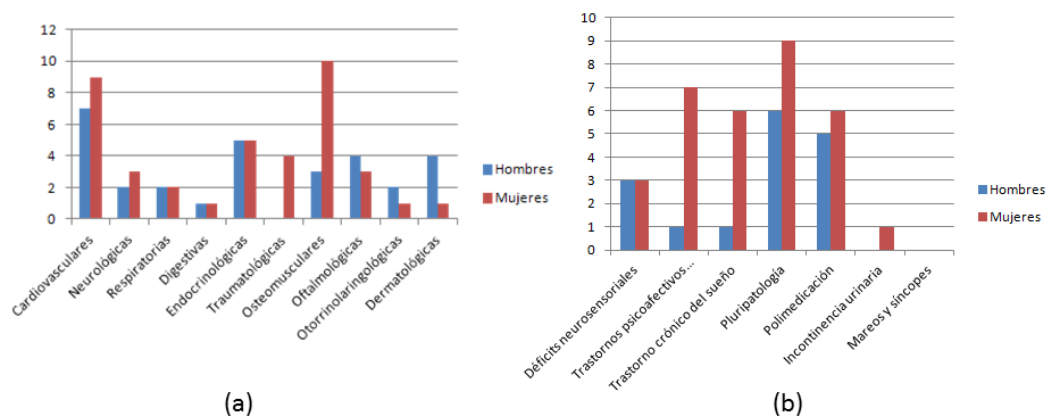


Figura 6.1: Cantidad de enfermedades y síndromes geriátricos del grupo inicial. (a) Enfermedades clasificadas por grupos terapéuticos. (b) Síndromes geriátricos comunes

6. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

taban criterios de deterioro cognitivo muy leve. Sí se presentan alto número de alteraciones afectivas (depresión y ansiedad), sobre todo en mujeres (en 7 de las 10).

- **Valoración antropométrica.** Talla media de $159,6 \pm 6,02$ cms en varones y de $150,9 \pm 5,03$ en mujeres. Peso en varones $67,78 \pm 8,46$ kg y de $65,45 \pm 11,36$ en mujeres. Los valores del IMC aparecen reflejados en el gráfico de la figura 6.2, destacando menores valores IMC en varones y mayor presentación de valores de obesidad en mujeres.

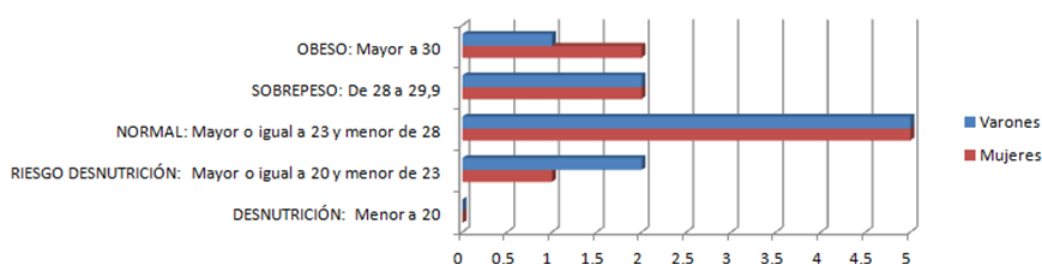


Figura 6.2: Valores promedio del IMC en hombres y mujeres

El grupo inicial de pacientes tiene como objetivo conformar la base del conjunto de instancias sobre las cuales se ha trabajado. Para ello, se obtuvieron todos los posibles valores de los factores clínicos de riesgo (ver apartado 4.3.4), tanto procedentes del historial clínico como del análisis de la actividad mediante acelerometría, para cada paciente del grupo, en tres momentos diferentes durante el periodo de un año, creando las instancias correspondientes. Así, la pila inicial de instancias contaba con un total de 60 instancias sobre las que realizar la evaluación.

6.3. Evaluación de la fragilidad

En las tablas 6.2 y 6.3 se muestra el número de variables estudiadas de cada grupo o dominio de fragilidad para las 60 instancias consideradas. Como se ha mencionado anteriormente, la adquisición de dichos valores para cada paciente se ha realizado en tres instantes diferentes, correspondiendo cada uno a una iteración. El número de variables de cada dominio a considerar fueron (ver apartado 4.3.4): antropométrico (con 9 variables), funcional (con 6 variables), nutricional (13 variables), cognitivo (2 variables), síndromes geriátricos (11 variables) y medidas de dispersión (20 variables). En el momento de la evaluación no se disponía de datos suficientes acerca de las patologías de los pacientes, de forma que se desestimó este dominio del estudio inicial.

6.3 Evaluación de la fragilidad

Considerando todas las variables de cada grupo, se observa que existen variables sin valor. Esto se debe a dos motivos diferentes. El primero hace referencia a una decisión puramente clínica, y es que cuando el valor de una variable se situaba en un rango normal, las variables dependientes de esta no eran medidas. Por ejemplo, “si el número de proteínas totales estaba en un rango normal, la albúmina en suero no se llegaba a medir”. Y segundo, ciertos valores simplemente no aparecían en la historia clínica del paciente. La tabla 6.4 muestra un resumen acerca del número total de valores existentes a partir de los datos de las tablas 6.2 y 6.3.

Patient	Sex	Instance Id.			Anthropometric			Functional			Nutritional		
		(It.1/It.2/It.3)	(max. 9)	(max. 6)	(max. 13)								
1	M	1	22	47	9	8	8	4	k	0	11	9	8
2	M	2	23	48	9	8	8	5	k	0	11	8	8
3	M	3	24	49	9	8	8	4	k	0	0	7	0
4	M	4	25	50	9	8	8	5	k	0	12	8	8
5	M	5	26	51	8	8	8	4	k	0	11	8	9
6	F	6	27	-	9	8	-	4	k	-	11	10	-
7	F	7	28	52	8	8	8	5	k	0	12	7	8
8	F	8	29	53	8	8	8	4	k	0	12	9	8
9	F	9	30	54	9	8	8	4	k	0	12	8	8
10	F	10	31	55	8	8	8	5	k	0	12	8	8
11	F	11	32	56	9	8	8	4	k	0	11	10	9
12	F	12	33	57	9	8	8	4	k	0	11	10	9
13	F	13	34	58	9	8	8	4	k	0	11	9	9
14	F	14	35	-	2	8	-	4	k	-	10	10	-
15	F	15	36	59	9	8	8	4	k	0	11	12	10
16	M	16	37	60	9	8	8	4	k	0	12	10	10
17	M	17	38	61	9	8	8	4	k	0	12	10	9
18	M	18	39	62	9	8	8	4	k	0	12	9	10
19	M	19	40	63	9	8	8	4	k	0	12	9	9
20	M	20	41	64	9	8	8	4	k	0	11	9	9

k: value is kept
0: values were not recorded

Tabla 6.2: Valores recogidos de las variables de fragilidad (dominios: antropométrico, funcional, nutricional) para todas las instancias estudiadas.

Como se puede observar, la primera iteración correspondiente a las instancias 1 a 20 de los pacientes estudiados, es la que presenta más valores conocidos de las variables. Como ya se ha mencionado en varias ocasiones durante el transcurso de este trabajo, el análisis de las variables con una mayor cantidad de valores conocidos implica una mayor precisión en los resultados.

En los siguientes apartados analizaremos los resultados obtenidos por el sistema, partiendo del estudio de los valores de las variables para las instancias almacenadas.

6. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

Patient	Sex	Instance Id. (It.1/It.2/It.3)			Cognitive (max. 2)			Geriatric syn- dromes (max. 11)			Dispersion measures (max. 20)		
		1	2	3	1	0	0	11	k	k	17	0	20
1	M	1	22	47	2	0	0	11	k	k	17	0	20
2	M	2	23	48	1	0	0	11	k	k	17	0	20
3	M	3	24	49	0	0	0	11	k	k	17	0	20
4	M	4	25	50	1	0	0	11	k	k	17	0	20
5	M	5	26	51	0	0	0	11	k	k	17	0	20
6	F	6	27	-	1	0	0	11	-	k	17	0	-
7	F	7	28	52	1	0	0	11	k	k	17	0	20
8	F	8	29	53	1	0	0	11	k	k	17	0	20
9	F	9	30	54	0	0	0	11	k	k	17	0	20
10	F	10	31	55	1	0	0	11	k	k	17	0	20
11	F	11	32	56	2	0	0	11	k	k	17	0	20
12	F	12	33	57	2	0	0	11	k	k	17	0	20
13	F	13	34	58	2	0	0	11	k	k	17	0	20
14	F	14	35	-	2	0	0	11	k	-	17	0	-
15	F	15	36	59	2	0	0	11	k	k	17	0	20
16	M	16	37	60	2	0	0	11	k	k	17	0	20
17	M	17	38	61	2	0	0	11	k	k	17	0	20
18	M	18	39	62	2	0	0	11	k	k	17	0	20
19	M	19	40	63	2	0	0	11	k	k	17	0	20
20	M	20	41	64	1	0	0	11	k	k	17	0	20

k: value is kept
0: values were not recorded

Tabla 6.3: Valores recogidos de las variables de fragilidad (dominios: cognitivo, síndromes geriátricos, medidas de dispersión) para todas las instancias estudiadas.

Existing values	
First iteration (instances 1-20)	1057
Second iteration (instances 22-41)	644
Third iteration (instances 47-64)	913

Tabla 6.4: Valores existentes. Indica el total de valores conocidos para las variables de fragilidad en cada iteración.

6.3.1. Resultados globales

Partiendo de las posibilidades del sistema desarrollado, un facultativo geriatra puede realizar una valoración de la fragilidad atendiendo a distintos criterios y bajo diferentes puntos de vista. Así, por ejemplo, el estudio puede llevarse a cabo desde un punto de vista antropométrico, funcional, nutricional o relativo a la marcha del individuo, atendiendo a la importancia asignada a cada dominio o variable/s en particular. En este primer estudio, se ha asignado el máximo valor de importancia (100%) a cada grupo de variables y se ha escogido la instancia 1 como instancia actual a ser evaluada por el sistema.

La instancia a estudio fue comparada con las 59 instancias restantes, mediante el proceso de similitud, dando lugar a una lista de nodos ordenados por su coeficiente de similitud, aunque solamente los primeros tres nodos formaran parte del segundo nivel del mapa en árbol resultante (el primer nivel se corresponde con el nodo *root* a partir de la instancia a estudio). La tabla 6.5 muestra los resultados del cálculo de similitudes de Gower entre la instancia 1 y el resto de instancias (los nombres reales de los pacientes han sido omitidos en los resultados). Las columnas en negrita representan los nodos que formarán parte del árbol. En este caso, las instancias con valores de similitud menores a 0,62 han sido ignoradas debido a que el experto determinó que menores valores de similitud no son útiles para la toma de decisiones y podrían crear confusión.

Como se puede observar, la instancia 1 tiene un grado de similitud del 73,4% con la instancia 12, correspondiente al paciente 12, un 72% con la instancia 16 y un 71,6% con la instancia 2. Para la generación del tercer nivel del árbol, se vuelven a calcular nuevamente los coeficientes de Gower entre estas instancias y el resto de las instancias de la pila. La tabla 6.6 muestra los resultados al respecto. Los hijos del último nodo, correspondiente a la instancia 2, albergan los menores coeficientes de similitud, 71,9%, 71,6% and 69,9% respectivamente.

<i>Parent Inst. Id.</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Instance Id.</i>	12	16	2	15	4	9	7	5	20	18	19	17	13	10	11	6
<i>Name</i>	P12	P16	P2	P15	P4	P9	P7	P5	P20	P18	P19	P17	P13	P10	P11	P6
<i>Age</i>	85	87	88	81	79	89	85	82	85	87	80	73	82	82	92	89
<i>Similarity Coeff.</i>	0,734	0,72	0,716	0,715	0,709	0,705	0,702	0,702	0,702	0,683	0,679	0,671	0,658	0,64	0,63	0,623

Tabla 6.5: Lista de nodos calculada para la instancia 1 (segundo nivel del árbol)

6. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

<i>Parent Inst. Id.</i>	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
<i>Instance Id.</i>	15	16	1	13	7	4	18	9	8	5	11	2	17	19	20
<i>Name</i>	P15	P16	P1	P13	P7	P4	P18	P9	P8	P5	P11	P2	P17	P19	P20
<i>Age</i>	81	87	81	82	85	79	87	89	85	82	92	88	73	80	85
<i>Similarity Coeff.</i>	0,751	0,75	0,734	0,713	0,707	0,689	0,682	0,679	0,67	0,656	0,655	0,649	0,649	0,648	0,634
<i>Parent Inst. Id.</i>	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
<i>Instance Id.</i>	18	12	1	2	15	19	13	9	8	17	11	4	5	7	6
<i>Name</i>	P18	P12	P1	P2	P15	P19	P13	P9	P8	P17	P11	P4	P5	P7	P6
<i>Age</i>	87	85	81	88	81	80	82	89	85	73	92	79	82	85	89
<i>Similarity Coeff.</i>	0,773	0,75	0,72	0,719	0,718	0,706	0,705	0,7	0,699	0,692	0,683	0,679	0,671	0,665	0,662
<i>Parent Inst. Id.</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Instance Id.</i>	16	1	20	17	18	4	5	9	15	6	12	19	10	8	
<i>Name</i>	P16	P1	P20	P17	P18	P4	P5	P9	P15	P6	P12	P19	P10	P8	
<i>Age</i>	87	81	85	73	87	79	82	89	81	89	85	80	82	85	
<i>Similarity Coeff.</i>	0,719	0,716	0,699	0,697	0,681	0,671	0,653	0,652	0,651	0,65	0,649	0,64	0,629	0,62	

Tabla 6.6: Lista de nodos calculada para las instancias 12, 16 y 2 (tercer nivel del árbol).

Observando la lista de nodos vemos cómo las instancias que aparecen se corresponden con las de la primera iteración. Esto se debe a que el propio algoritmo de Gower estima la realización del análisis sobre las instancias que poseen un mayor número de variables con valores. Por ello, decimos que cuantos más valores de las variables de fragilidad hayan sido recogidos para una instancia, más acertado y preciso será el análisis final.

A partir de los nodos más representativos de las listas de nodos calculadas, el sistema construye una nueva lista cuyos nodos estarán representados en el mapa en árbol. La tabla 6.7 presenta los resultados a formalizar y mostrar en la pantalla del dispositivo, ordenados en orden decreciente según sus coeficientes de similitud.

Estos resultados ayudarán al facultativo a determinar la condición de fragilidad de un paciente concreto en un momento determinado, en relación a otros pacientes de la misma población.

En este apartado se han expuesto los resultados de fragilidad considerando el máximo de importancia o peso para todas las variables bajo una visión global. Sin embargo, la modificación de los pesos por parte del geriatra desde la interfaz de la aplicación

6.3 Evaluación de la fragilidad

<i>Level 1 (root)</i>	Parent Instance	1								
	Instance Id.	1								
	Name	Patient 1								
	Age	81								
	Similarity Coeff.	1								
<i>Level 2</i>	Parent Instance	1			1			1		
	Instance Id.	12			16			2		
	Name	Patient 12			Patient 16			Patient 2		
	Age	85			87			88		
	Similarity Coeff.	0,734			0,72			0,716		
<i>Level 3</i>	Parent Instance	12	12	12	16	16	16	2	2	2
	Instance Id.	15	16	1	18	12	1	16	1	20
	Name	P15	P16	P1	P18	P12	P1	P16	P1	P20
	Age	81	87	81	87	85	81	87	81	85
	Similarity Coeff.	0,751	0,75	0,734	0,773	0,75	0,72	0,719	0,716	0,699

Tabla 6.7: Resultados de la valoración de fragilidad asociados a la instancia 1.

móvil, permite particularizar el estudio sobre diversos ámbitos clínicos, suponiendo una variación en el comportamiento del algoritmo de similitud y por ende de los resultados.

6.3.2. Resultados en el ámbito nutricional y antropométrico

Para ejemplificar el nuevo comportamiento del algoritmo ante la variación de pesos, consideramos un estudio desde el punto de vista nutricional y antropométrico (fijando la importancia de sus variables a 100%), no teniendo en cuenta el resto de dominios de análisis (fijando la importancia de sus variables a 0). La tabla 6.8 muestra la lista de nodos resultante para la instancia 1 teniendo en cuenta estos requerimientos. A partir de dicha lista, se creará el mapa en árbol a desplegar en la pantalla del dispositivo.

<i>Parent</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Inst. Id.</i>																
<i>Instance Id.</i>	18	5	10	20	15	2	19	7	16	4	12	17	9	6	8	13
<i>Name</i>	P18	P5	P10	P20	P15	P2	P19	P7	P16	P4	P12	P17	P9	P6	P8	P13
<i>Age</i>	87	82	82	85	81	88	80	85	87	79	85	73	89	89	85	82
<i>Similarity Coeff.</i>	0,782	0,756	0,736	0,735	0,729	0,725	0,715	0,714	0,713	0,71	0,709	0,684	0,663	0,632	0,628	0,62

Tabla 6.8: Lista de nodos calculados para la instancia 1, desde un punto de vista antropométrico y nutricional. ($S \geq 0,62$)

Teniendo en cuenta tanto los resultados globales como el estudio particularizado realizado sobre los dominios antropométrico y nutricional, la figura 6.3 muestra un

6. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

gráfico de comparación entre los nodos del segundo nivel del árbol (los más cercanos a la instancia a estudio) desde un punto de vista global (considerando todos los dominios) y un punto de vista nutricional y antropométrico, para la instancia 1 del paciente 1.

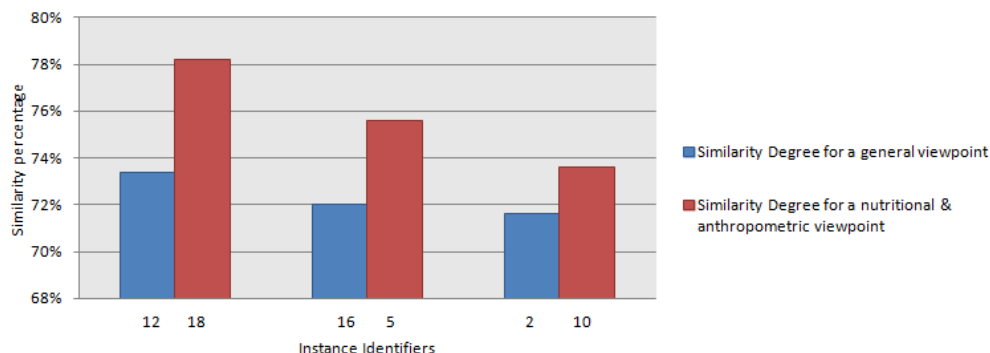


Figura 6.3: Resultados de similitud globales y desde el ámbito antropométrico y nutricional

Los resultados de similitud y las instancias asociadas son diferentes debido a que el objetivo de análisis es distinto. Los grados de similitud, por su parte, son mayores cuando el estudio se centra en dominios específicos antes que en un análisis global. Sin embargo, los estudios centrados en uno o varios dominios de fragilidad, sin ser globales, son más apropiados y relevantes en la mayoría de las ocasiones. Véase por ejemplo el estudio sobre personas adultas sin trastornos nutricionales ni cognitivos, analizando solamente el dominio funcional y los parámetros del ejercicio relativo a la marcha.

Basándonos en los resultados proporcionados por el sistema y las posibilidades de este, el facultativo, entre otras cosas, puede agrupar a los individuos de acuerdo a sus grados de similitud con el fin de optimizar su cuidado y tratamiento.

Desde el punto de vista del rendimiento, el tiempo máximo para generar los mapas en árbol sobre la pantalla del dispositivo, procedentes de los análisis global y particular detallados en esta sección, fueron de 2, 55 y 2, 19 segundos respectivamente (trabajando sobre un total de 60 instancias procedentes de los 20 pacientes seleccionados). Así, se observó un menor tiempo de procesamiento cuando el grupo de variables estudiadas era más reducido.

Por último, cabe destacar la posibilidad de contar con instancias de referencia que determinen la relación entre esta y las correspondientes al resto de pacientes, pudiendo precisar el estado del paciente en función de un estado considerado ideal, teniendo en cuenta que la instancia actual puede definirse como aquella cuyos valores de las variables influyentes (ver apartado 4.3.5) se encuentran dentro de los límites normales, incluyendo la máxima puntuación en los distintos tests y escalas existentes.

6.3.3. Conclusiones

La selección del grupo de pacientes evaluados supuso un esfuerzo previo dado por un estudio de campo, que decidió cuales de los sujetos eran los más apropiados teniendo en cuenta los criterios detallados en el análisis descriptivo y los pacientes disponibles que cumplían dichas premisas en el centro objetivo, así como otras dificultades presentadas en su selección. Al final, 20 de los pacientes fueron seleccionados, igualando el número de mujeres y varones. De todos los pacientes del grupo se recopilaron los datos necesarios, tanto clínicos como adquiridos por la propia aplicación (datos de movimiento), siendo almacenados en la base de datos para su posterior análisis. En este nivel de experimentación, no se tuvo en cuenta el uso de estándares clínicos de almacenamiento y transmisión de información (véase HL7¹).

Por otra parte, teniendo en cuenta las instancias evaluadas y participantes en el estudio, cabe destacar que los resultados obtenidos parten de la evaluación de pacientes con un rango de edad concreto. En este caso, en el mapa en árbol resultante, no se mostraron resultados de similitud entre la instancia 1 estudiada e instancias de pacientes menores de 80 años o mayores de 90, y eso que se contaba con una mujer de 92 años y cuatro individuos con edades menores a los 80 años. Esto refleja la importancia de establecer clusters o grupos de clasificación basados en sexo y edad del paciente antes de realizar el cálculo de similitudes, optimizando los resultados del sistema (que actualmente no ofrece este tipo de características).

6.4. Evolución nutricional de la fragilidad

Dentro de las líneas de investigación de los últimos años se incide en que el estado nutricional constituye uno de los aspectos importantes en la detección de la fragilidad. De modo que se realizó un segundo estudio enfocado a analizar la evolución de un subgrupo de 10 ancianos con respecto al grupo inicial, desde el punto de vista mayormente nutricional. Para ello, se hizo uso del sistema desarrollado, obteniendo los valores de distintas variables de fragilidad de los ancianos durante tres momentos distintos, correspondientes con las 3 instancias definidas para cada paciente estudiado.

El objetivo de este estudio residía en observar la evolución de esos 10 pacientes (5 hombres y 5 mujeres), los cuales presentaban deficiencias nutricionales, de acuerdo a los criterios del geriatra. En este caso, solamente se tuvieron en cuenta algunas de las variables más relevantes para ello, procedentes del ámbito nutricional y antropométrico, y correspondientes a parámetros antropométricos, bioquímicos e inmunológicos predictores para la detección y evolución de fragilidad. El peso de las variables asocia-

¹<http://www.hl7.org/>

6. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

das a estos parámetros en la aplicación móvil fue fijado a 1 (100 % de importancia), y los pesos del resto de variables fueron fijados a 0 (0 % de importancia).

Como se ha mencionado anteriormente, la valoración fue realizada atendiendo a tres etapas. Una etapa inicial y descriptiva del subgrupo de ancianos, una segunda correspondiente al seguimiento de la evolución espontánea de los pacientes y otra considerando la evolución final tras una suplementación proteica a varios de los pacientes. Se abordarán estas etapas en los siguientes apartados del capítulo.

6.4.1. Valoración inicial

Para la valoración inicial se recogieron los valores de los parámetros de fragilidad, correspondientes a la primera instancia de cada paciente seleccionado, procedentes de:

- *Parámetros antropométricos.* Talla, peso, IMC y medidas de composición corporal (porcentaje de masa grasa, masa magra en kilogramos y agua corporal).
- *Parámetros bioquímicos.* Hemoglobina, ferritina, ácido fólico, vitamina B12, proteínas totales, albúmina, perfil lipídico.
- *Parámetros inmunológicos.* Recuento total de linfocitos.

En cuando al origen de cada uno de los valores de las variables anteriores almacenados en el sistema, destacar la obtención de la talla mediante tallímetro convencional, y la obtención del peso y el análisis de la composición corporal mediante la báscula de precisión *Tanita TBF-300*¹ de impedancia bioeléctrica que mide la resistencia e impedancia a una corriente eléctrica. La determinación de los datos analíticos se realizó en el laboratorio del Hospital General Universitario de Ciudad Real.

La tabla 6.9 muestra el promedio de los valores de los parámetros antropométricos de los pacientes seleccionados.

Datos antropométricos	Mujeres		Varones	
	Media	Desv. Típica	Media	Desv. Típica
Talla (cm)	159,6	6,02	150,9	5,03
Peso (Kg)	65,45	11,36	67,78	8,46
IMC (Kg/m ²)	28,14	4,06	26,19	2,7
Masa corporal (Kcal)	1158,7	122,9	1246,7	128,05
Masa grasa (%)	36,37	8,57	27,61	4,34
Masa magra (Kg)	40,93	6,62	48,29	4,13
Agua total (Kg)	31,11	5,22	35,35	3,01

Tabla 6.9: Valores medios de los parámetros antropométricos

¹<http://www.tanita.com/en/tbf-300a/>

6.4 Evolución nutricional de la fragilidad

A priori, se observa un mayor peso medio en varones, mayor masa corporal, masa magra y agua corporal total. Mientras, en mujeres son más elevados los valores correspondientes a IMC globales y la masa magra. Tres de los sujetos (2 varones y 1 mujer) presentan valores en el rango de riesgo de desnutrición (de acuerdo a los estándares de IMC establecidos por la OMS¹).

Por su parte, la tabla 6.10 presenta el promedio relativo a los valores de los parámetros bioquímicos e inmunológicos correspondientes. En este caso, destaca la disminución de valores de ácido fólico (40 %), de linfocitos (30 %) y proteínas totales (15 %).

Datos bioquímicos	Mujeres		Varones	
	Media	Desv. Típica	Media	Desv. Típica
Hemoglobina (g/dl)	12,92	1,13	14,57	0,88
Ferritina (ng/ml)	81,91	70,69	165,22	143,92
Proteínas totales (g/dl)	6,95	0,6	6,88	0,44
Albúmina (g/dl)	4,18	0,29	3,95	0,2
Colesterol (mg/dl)	173,55	31,46	177,89	29,59
Ácido fólico (ng/ml)	7,42	4,54	6,32	3,22
Vitamina B12 (pg/ml)	354,73	70,08	397,56	109,19
Linfocitos (miles/mcL)	1,71	0,67	1,9	0,56

Tabla 6.10: Valores medios de los parámetros bioquímicos e inmunológicos

La adquisición de valores y resultados de fragilidad por la aplicación móvil se enriqueció con un análisis posterior mediante la aplicación Microsoft Excel².

6.4.2. Evolución espontánea

La evolución espontánea corresponde a una segunda valoración y análisis llevado a cabo sobre el grupo de parámetros antropométricos, bioquímicos e inmunológicos previamente definidos. Tras un periodo de 9 meses, se creó una segunda instancia de los pacientes seleccionados, estudiando nuevamente sus valores de fragilidad.

En este caso, se pretendían analizar los cambios en los valores de las variables de fragilidad correspondientes, asociados a una evolución natural de los pacientes, manteniendo sus hábitos y condiciones en las instalaciones de la residencia, partiendo de la valoración inicial.

A partir de este punto de valoración, varios de los pacientes fueron suplementados con el fin de establecer una comparativa entre la evolución natural y tras la suplementación, aunque esto se verá detalladamente en el siguiente apartado. No obstante,

¹<http://www.who.int/en/>

²<http://office.microsoft.com/en-us/excel/>

6. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

cabe destacar esa diferenciación en este momento. La tabla 6.11 muestra los valores promedio de los parámetros antropométricos estudiados anticipando los valores de los pacientes que fueron suplementados a partir de este punto, así como los valores de los que no necesitaron suplementación.

La suplementación consistió en la administración de un suplemento nutricional de 220ml dos veces al día de preparado hiperproteico *CaHMB* y vitamina D, durante dos meses al 50% de los pacientes, es decir, aquellos en los que se observaron deficiencias nutricionales.

Datos antropométricos					
Sexo	IMC	Peso (Kg)	Masa grasa (%)	Masa magra (Kg)	Agua total (Kg)
Hombre no suplementado	28,2	74,8	28,43	53,3	39,03
Hombre a suplementar	24,58	62,42	23,99	47,23	34,59
Mujer no suplementada	30,12	68,56	41,27	39,94	29,18
Mujer a suplementar	27,2	62,2	35	39,68	29,04

Tabla 6.11: Valores medios de los parámetros antropométricos de los pacientes a suplementar y no suplementados

De igual forma, la tabla 6.12 presenta los valores promedio de los parámetros bioquímicos e inmunológicos para los pacientes no suplementados y los pacientes a suplementar.

Datos bioquímicos - inmunológicos				
Sexo	Proteínas totales (g/dl)	Albúmina (g/dl)	Linfocitos (miles/mcl)	Hemoglobina (g/dl)
Hombre no suplementado	6,37	3,5	1,9	13,65
Hombre a suplementar	6,48	3,83	1,58	14,64
Mujer no suplementada	6,45	3,67	1,82	12,43
Mujer a suplementar	6,3	3,83	1,86	13

Tabla 6.12: Valores medios de los parámetros bioquímicos e inmunológicos de los pacientes a suplementar y no suplementados

La figura 6.4 muestra una representación gráfica de los valores procedentes de las tablas 6.12 y 6.11. Como se puede observar, tanto los varones como las mujeres a suplementar presentaron valores más bajos en la mayoría de parámetros medidos, sobre todo del ámbito antropométrico.

6.4 Evolución nutricional de la fragilidad

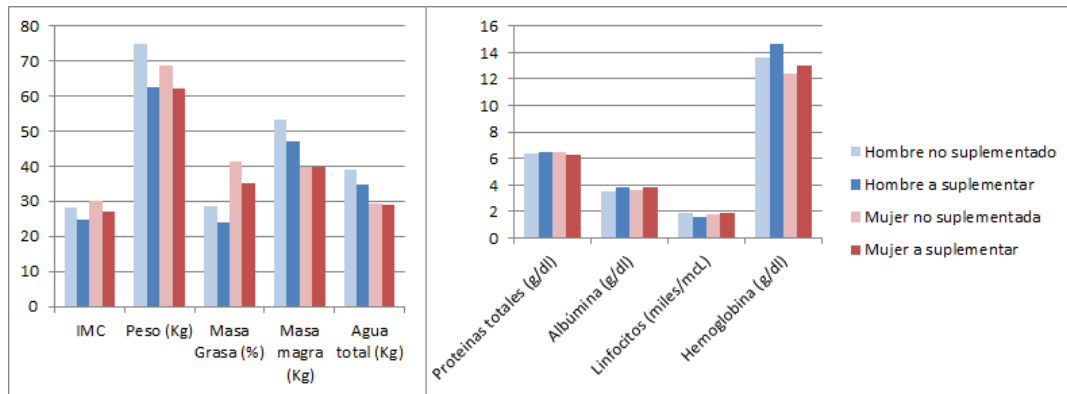


Figura 6.4: Comparativa valores antropométricos y bioquímicos durante la evolución espontánea

6.4.3. Evolución tras suplementación

Esta etapa consistió en realizar una última valoración sobre el grupo de pacientes del estudio. Para ello, a los 12 meses (dos meses después de la suplementación), se creó una nueva instancia de cada paciente y se analizó teniendo en cuenta los datos de las instancias anteriores.

La tabla 6.13 muestra, de forma resumida, los valores de las variables más relevantes en el estudio durante cada una de las tres etapas del análisis.

Sex	Anthropometric					Nutritional			
	Body mass index	Weight (Kg)	Fat mass (%)	Lean mass (Kg)	Total water (Kg)	Total protein (g/dl)	Albumin (g/dl)	Lymphocytes (thousand/mcl)	Hemoglobin (g/dl)
Stage 1: Initial assessment									
Male	26,19	67,78	27,61	48,29	35,35	6,88	3,95	1,9	14,57
Female	28,14	65,45	36,37	40,93	31,11	6,95	4,18	1,71	12,92
Stage 2: Spontaneous evolution									
Male	24,58	62,42	23,99	47,23	34,58	6,48	3,83	1,58	14,64
Female	27,2	62,2	35	39,68	29,04	6,3	3,83	1,86	13
Stage 3: Assessment after protein supplementation									
Male	23,97	61,38	23,87	46,35	33,93	6,97	4	2,08	12,76
Female	27,28	62,38	33,37	40,86	29,92	6,86	No Data*	2,36	13,36

*Not enough data to calculate the average

Tabla 6.13: Valores medios de los parámetros bioquímicos e inmunológicos de los pacientes a suplementar y no suplementados

La etapa 1 de la tabla 6.13 muestra el promedio inicial de los valores de las variables para varones y mujeres, tal y como se expuso en el apartado 6.4.1. Mientras, las etapas

6. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

2 y 3 de la tabla 6.13 muestran los valores de las mismas variables correspondientes a la evolución espontánea y a la valoración después de la suplementación.

Se puede observar cómo de la etapa 1 a la etapa 2, la mayoría de los valores decrecieron, tanto en hombres como en mujeres. Esto indicó un incremento del estado de fragilidad de los pacientes, en los 9 meses que transcurrieron desde la primera toma de valores. Además, en el punto de valoración de la evolución espontánea, el geriatra determinó que los parámetros bioquímicos tenían una afectación más precoz que los antropométricos en la detección de fragilidad.

Por otra parte, de la etapa 2 a la etapa 3, la mayoría de las variables mantuvieron sus valores, e incluso algunos de ellos decrecieron, lo que supuso una mejora en parámetros bioquímicos y antropométricos. Esto se debió a los efectos de la suplementación proteica. En este caso, las mujeres presentaron un mayor incremento en los valores de las variables, a diferencia de los hombres. La figura 6.5 muestra las gráficas relacionadas con los valores de fragilidad de las variables estudiadas en hombres y mujeres, correspondientes a las etapas 2 y 3.

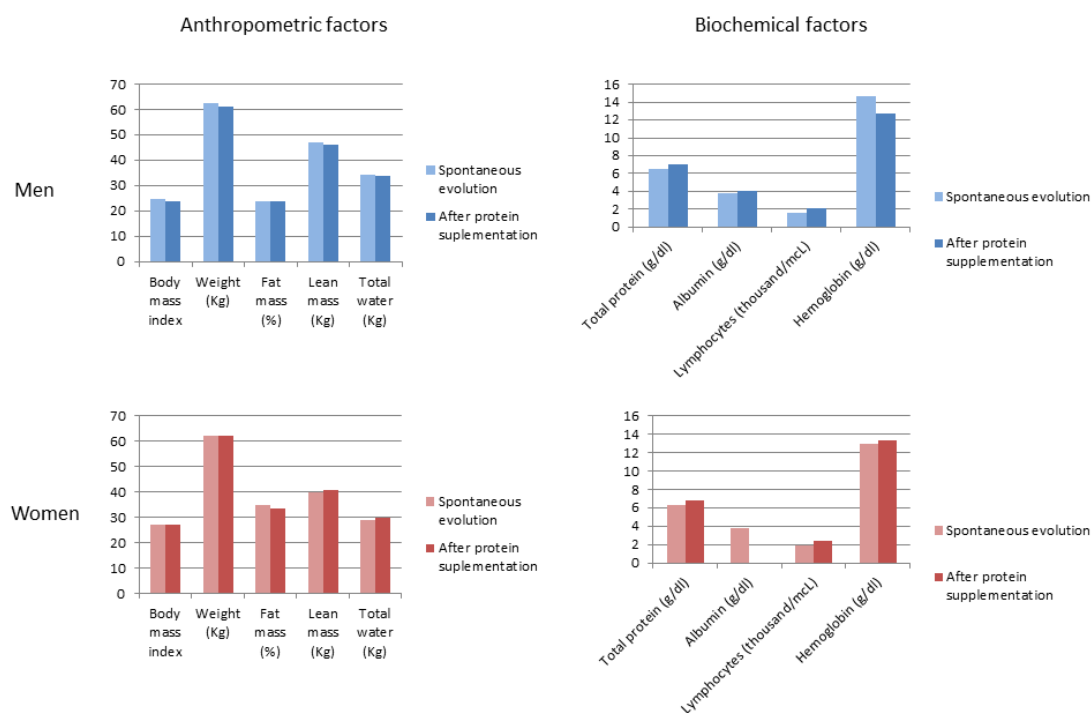


Figura 6.5: Promedio de valores de las variables de fragilidad estudiadas para hombres y mujeres. Evolución espontánea y tras suplementación

6.4.4. Conclusiones

En este estudio, la aplicación móvil resultó útil para realizar el análisis evolutivo desde el punto de vista nutricional, teniendo en cuenta un subconjunto de las variables. Además, se pudo observar una mejora en diversos valores bioquímicos y antropométricos al finalizar el período de análisis, debido a la suplementación proteica a varios de los pacientes, deduciendo, desde el punto de vista nutricional, que la administración de estos productos podría ayudar a retrasar la fragilidad en ciertos casos. Resultados que se obtuvieron gracias al uso de la herramienta desarrollada, mejorando los procesos de adquisición de datos y su clasificación, en combinación con un análisis estadístico posterior. De ahí la importancia de la herramienta para favorecer estudios derivados de la fragilidad, aparte de promover el cálculo de coeficientes de similitud tal y como se ha detallado en apartados anteriores.

6.5. Evaluación de la aplicación móvil

La evaluación de las aplicaciones móviles en la actualidad, entre las que destaca la usabilidad¹, carece de concreción de pautas y técnicas apropiadas y adaptadas al propio contexto móvil. Estas dificultades inherentes de la evaluación radican en la limitación en el tamaño de la pantalla, prestaciones tecnológicas limitadas, dificultades derivadas del contexto móvil y heterogeneidad entre otras. Sin embargo, numerosas técnicas tradicionales de evaluación están siendo adaptadas al contexto móvil, lo que supone [161]:

- Creación de nuevas heurísticas y metodologías de inspección específicas, como los recorridos heurísticos.
- Creación de guías de estilo (human interface guidelines), listas y herramientas de comprobación específicas para plataformas móviles.
- Creación de nuevos artilugios para la monitorización.
- Realización de tests de usabilidad en contextos móviles reales: tests de campo con componente de movilidad.

La mayoría de metodologías de evaluación existentes se centran en la captación de datos cualitativos, lo que hace que se requieran métodos que ofrezcan datos cuantitativos sólidos, así como software y hardware de soporte específico.

¹Medida en la que un producto puede ser usado por los usuarios para conseguir sus objetivos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto determinado.

6. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

A partir de las reglas heurísticas originales de Jakob Nielsen [162], ampliamente reconocidas por la comunidad científica, se puede proponer una evaluación de la aplicación móvil mediante formularios adaptados a partir de las reglas de Nielsen. Para la evaluación de otras partes del sistema, se determina la realización de experimentos basados en estudios de campo previos.

En este caso, la evaluación de la aplicación móvil se ha llevado a cabo utilizando un *smartphone* Samsung Galaxy S¹ y se ha realizado atendiendo a tres dominios diferentes: *usabilidad percibida*, *adecuación a las capacidades del dispositivo* y *productividad percibida en las tareas*. Se presentarán al usuario, por tanto, una serie de cuestiones relacionadas con tales dominios adaptadas de [163] y [164]. El cuestionario completo se encuentra en el anexo A.4.

La usabilidad percibida trata de evaluar la usabilidad que el usuario de la aplicación percibe durante su uso y que tiene que ver con aspectos generales de la aplicación móvil. Por su parte, la adecuación a las capacidades del dispositivo se centra en observar el grado de adecuación del dispositivo móvil para el cumplimiento del objetivo de la aplicación. Y por último, la productividad percibida en las tareas trata de evaluar precisamente la productividad, desde el punto de vista del usuario, de las tareas que pueden realizarse con la aplicación.

La evaluación de la aplicación móvil se ha llevado a cabo sobre un grupo de siete usuarios, en el mes de septiembre de 2013, entre los que se encontraban dos médicos de las especialidades: geriatría y atención primaria. La edad media de todos los usuarios que evaluaron la aplicación era de 39 años, siendo la edad promedio de los facultativos de 56 años y de 32 años la del resto de usuarios. La metodología para la evaluación y el análisis de los resultados obtenidos se presentan en los siguientes apartados.

6.5.1. Metodología

Para llevar a cabo la evaluación, el experto presentó la aplicación al usuario durante 5 minutos. Tras esta explicación, el usuario usó la aplicación durante un periodo máximo de 10 minutos, tras lo cual se le invitaba a rellenar el formulario de evaluación correspondiente (ver anexo A.4), estimando un tiempo máximo de 30 minutos para completar dicho cuestionario, en el que además, el usuario debía aportar datos como la fecha de realización de la prueba, su edad y si ejercía como médico facultativo, indicando, en este caso, la especialidad clínica asociada.

Se determinó el uso de una escala Likert² para evaluar cada una de las afirmaciones del cuestionario, siendo 1 la valoración más baja (muy en desacuerdo) y 5 la valoración más alta (muy de acuerdo). Además, se añadió la posibilidad de contestar NS/NC (no

¹http://www.samsung.com/global/microsite/galaxys/index_2.html

²<http://core.ecu.edu/psyc/wuenschk/StatHelp/Likert.htm>

sabe, no contesta) para las cuestiones que el usuario no sabe, no entiende o no quiere valorar. La figura 6.6 presenta, de manera general, las puntuaciones otorgadas por los usuarios evaluados a cada una de las cuestiones planteadas. En este caso, cabe destacar que los usuarios 6 y 7 se corresponden con médicos especialistas.

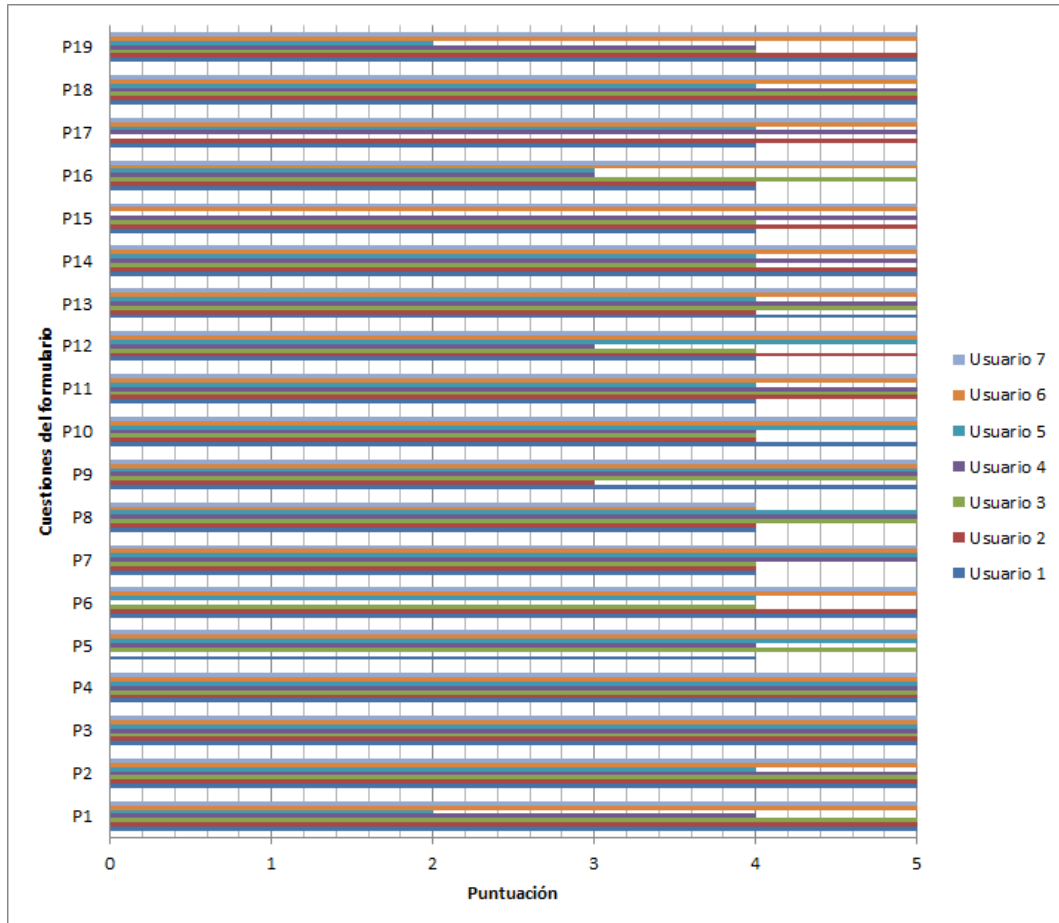


Figura 6.6: Puntuaciones de los usuarios a las cuestiones de usabilidad

6.5.2. Análisis de resultados

Como ya se mencionó, la aplicación ha sido evaluada atendiendo a tres dominios diferentes. La figura 6.7 presenta los resultados generales obtenidos para cada uno de los dominios de evaluación. En este caso, se observa como el 79 % de los usuarios valoró muy positivamente la parte relacionada con la *usabilidad percibida*, por encima de los dos dominios restantes, cuya valoración máxima fue otorgada por un 63 % de los usuarios en la *adecuación a las capacidades del dispositivo*, y por un 62 % en la *productividad percibida en las tareas*. Además, es conveniente analizar el resto de resultados

6. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

de una forma individualizada para cada una de las cuestiones planteadas, con el fin de conocer dónde se encuentran los puntos fuertes y las limitaciones de la aplicación en términos de usabilidad.

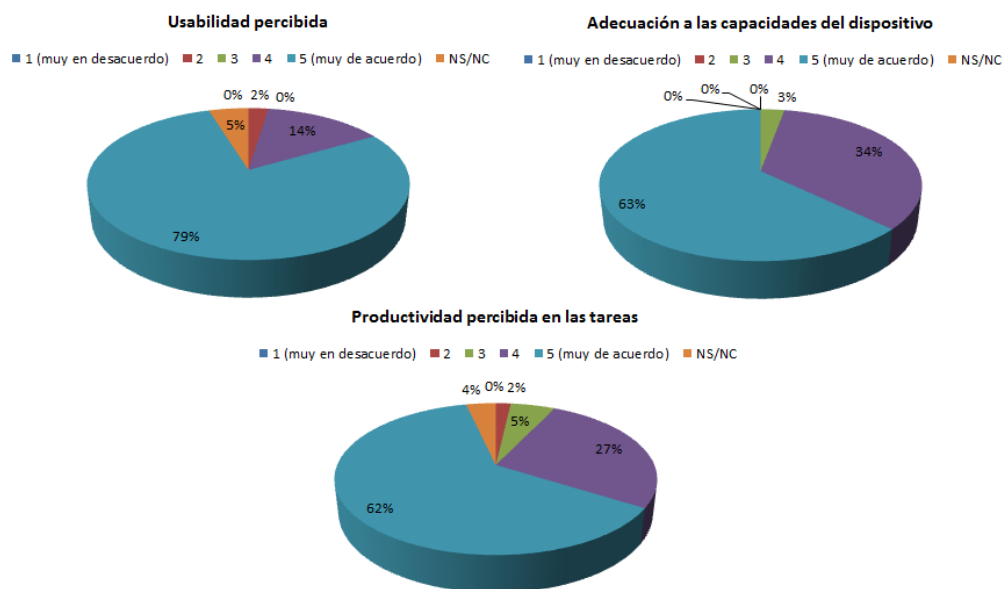


Figura 6.7: Resultados de evaluación generales en base a las puntuaciones obtenidas

La figura 6.8 muestra los resultados correspondientes a las primeras cuatro afirmaciones del cuestionario. La totalidad de los usuarios encuestados admite que la navegación por la aplicación es sencilla y además no se observaron errores durante su funcionamiento, lo que favorece su dominio y manejo. Sin embargo, aprender a manejar la aplicación no resulta tan fácil para el 14 % de los encuestados, lo que se traduce en la necesidad de disponer de un periodo mínimo de aprendizaje.

La figura 6.9 presenta los resultados correspondientes a las cuestiones 5 a 8. En este caso, las cuestiones 5 y 6, las cuales pertenecen al bloque de la usabilidad percibida, albergan idénticos resultados. En ambos casos, un 14 % de los usuarios no sabía decir si la obtención y cálculo de resultados es suficientemente ágil y si la aplicación cuenta con todas las funcionalidades necesarias. En este sentido, los usuarios médicos otorgaron la máxima puntuación en la afirmación 6, lo que hace intuir que para los usuarios que no son médicos es difícil saber si las funcionalidades presentadas por la aplicación son las necesarias en el ámbito a estudio.

Las cuestiones 7 y 8 pertenecen a la evaluación del dispositivo para el desempeño de las tareas propuestas. En este caso, más de la mitad de los usuarios, aún valorando el tamaño de la pantalla de forma positiva, destaca las reducidas dimensiones de este. Esto se debe en gran parte al dispositivo utilizado para la evaluación, el cual permite

6.5 Evaluación de la aplicación móvil

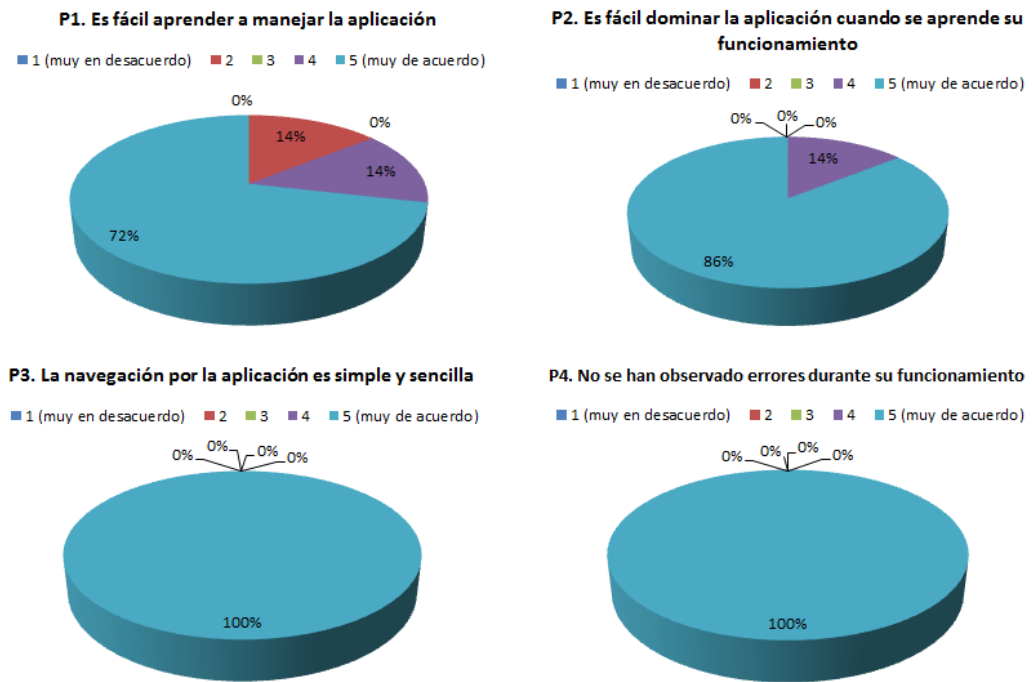


Figura 6.8: Resultados de evaluación pertenecientes a las cuestiones 1 a 4

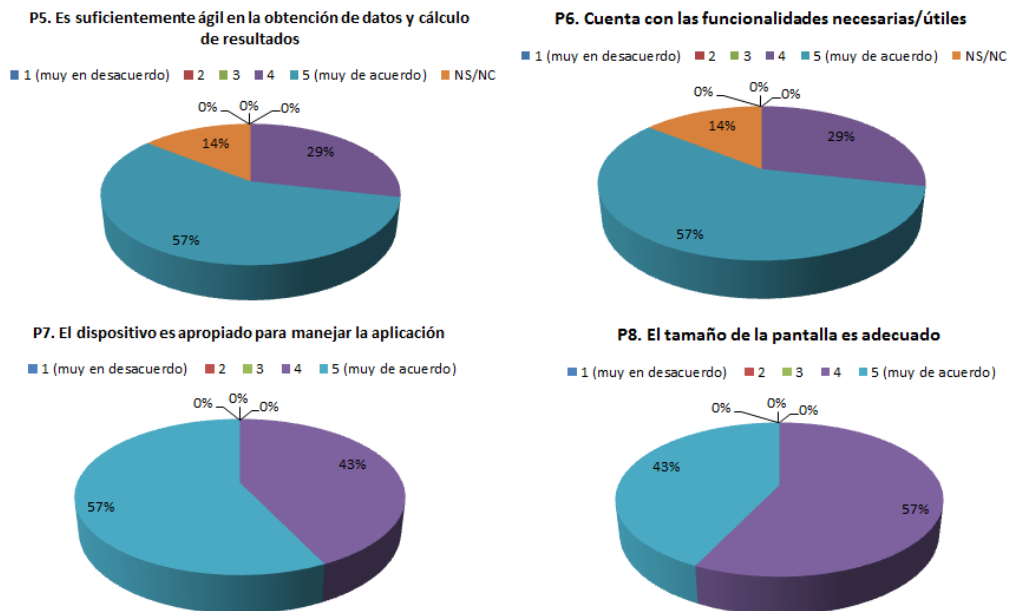


Figura 6.9: Resultados de evaluación pertenecientes a las cuestiones 5 a 8

6. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

desplegar la totalidad de las funcionalidades del sistema. Sin embargo, la posibilidad de su despliegue en dispositivos tipo *tablet* lo haría más atractivo en este sentido. Destacar que no se estimó la realización de la presente evaluación usando estos dispositivos de mayor tamaño por la imposibilidad de su uso y ajuste en las tareas de análisis de movimiento.

La figura 6.10 muestra los resultados de las cuestiones 9 a 12, donde la 9, 10 y 11 corresponden al bloque de adecuación del dispositivo y la 12 a la productividad de las tareas realizadas por la herramienta. El carácter móvil del dispositivo lo hace adecuado para su uso con una mano, según el 86 % de los usuarios, mientras que un 14 % percibe cierta incomodidad en su uso. Muy positivas también fueron las valoraciones relativas a su idoneidad de uso en movimiento y la entrada (mínima) de información de una forma sencilla. En cuanto a la selección y creación de instancias, más de la mitad de los usuarios apoya su sencillez y eficiencia, mientras que existe un 14 % que se muestra indiferente ante esta tarea.

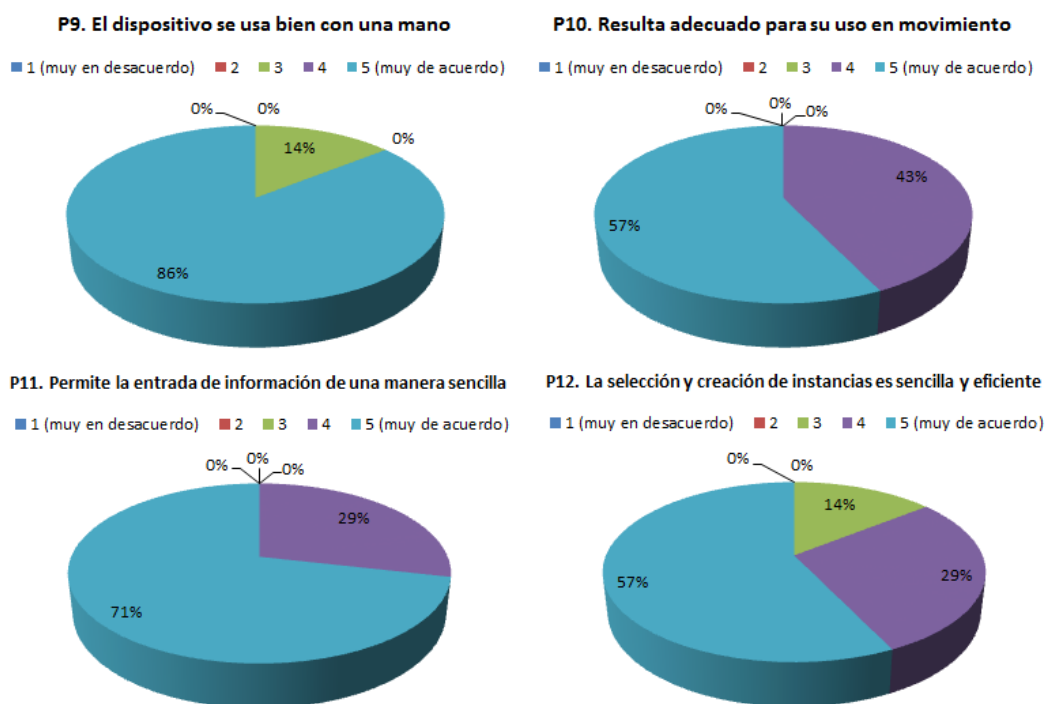


Figura 6.10: Resultados de evaluación pertenecientes a las cuestiones 9 a 12

La figura 6.11 muestra los resultados de las siguientes cuestiones de evaluación relacionadas con la productividad en las tareas que desempeña la aplicación. El acceso a los datos clínicos es sencillo e intuitivo, así como el proceso de colocación del dispositivo y obtención de medidas de la actividad física. Por su parte, en la tarea de edición de pesos de las variables de fragilidad, para posibilitar la realización de valoraciones

6.5 Evaluación de la aplicación móvil

desde ámbitos clínicos concretos, el 14 % de los encuestados opta por responder *NS/NC* (no sabe, no contesta). De igual manera, llama la atención el 28 % de los encuestados que valora con un 3 la tarea relacionada con el cálculo y obtención de los resultados de afinidad. La correcta interpretación de los resultados con el fin de apoyar valoraciones y futuros tratamientos no es sencilla para el usuario no facultativo, sin embargo, los usuarios médicos valoraron con un 5 dicha cuestión del formulario.

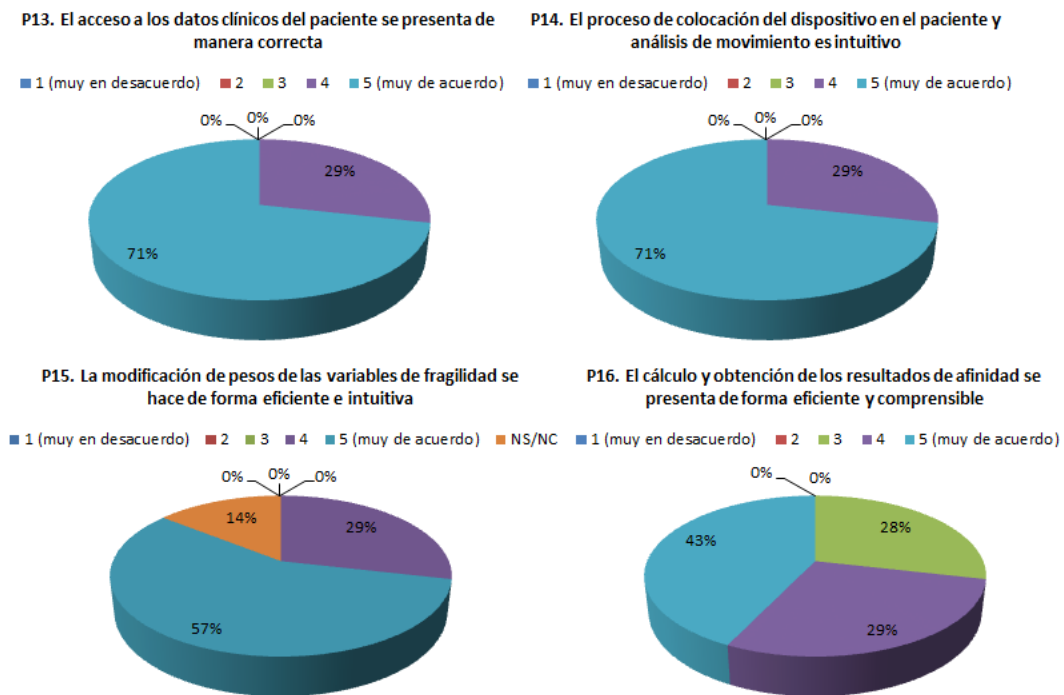


Figura 6.11: Resultados de evaluación pertenecientes a las cuestiones 13 a 16

Los resultados de las últimas tres cuestiones correspondientes también al bloque de productividad en las tareas, son presentadas en la figura 6.12. Relacionado con la pregunta 16, la pregunta 17 presenta un 14% de usuarios que no sabría determinar si el uso de la aplicación ayuda a la toma de decisiones diagnósticas. Sin embargo, el resto de usuarios, entre los que se incluyen los usuarios médicos reconoce que la aplicación podría suponer un apoyo a la valoración. La comunicación con los servicios que posibilitan la ejecución del resto de tareas contenidas en la aplicación es valorada muy positivamente por la totalidad de los usuarios. Por último, en la configuración de los parámetros de fragilidad y de la aplicación, un 14% de los usuarios muestra cierto desacuerdo con la facilidad de acceso y modificación de estos, la cual se presenta como una tarea independiente del resto y que quizá hace pensar que debiera ser integrada como paso previo a la generación de resultados.

6. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

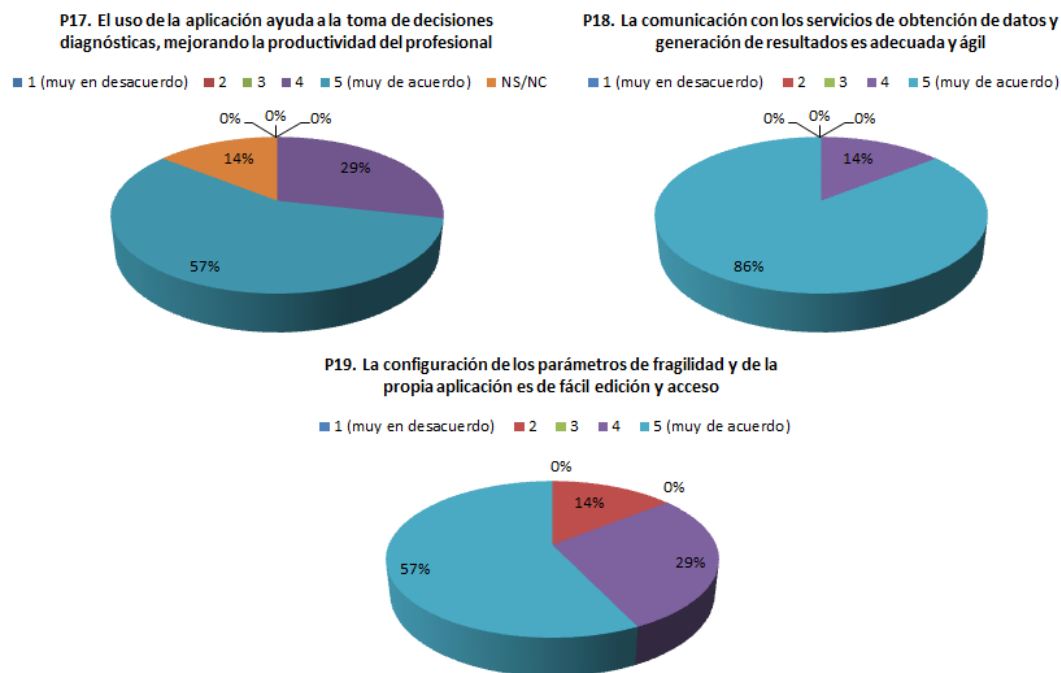


Figura 6.12: Resultados de evaluación pertenecientes a las cuestiones 17 a 19

6.5.3. Conclusiones

La evaluación de la aplicación móvil nos ha permitido indagar sobre las ventajas e inconvenientes del uso de la aplicación desde el punto de vista del usuario que la maneja atendiendo a tres dominios diferentes: usabilidad percibida, adecuación del dispositivo y productividad en las tareas que realiza.

De forma general, dicha evaluación ha presentado unos resultados positivos, tal y como hemos podido comprobar en el anterior apartado. Sin embargo, existen diversas cuestiones que obtuvieron menor puntuación según la escala propuesta y que fueron analizadas con mayor profundidad. En este sentido, se podría afirmar que la mayoría de los usuarios preferiría trabajar con un dispositivo de mayores dimensiones, ya que los resultados reflejan el inconveniente de usar un dispositivo de pequeñas dimensiones como el utilizado durante la evaluación. Es importante destacar que la herramienta móvil puede ser desplegada en cualquier dispositivo Android (*tablet, phablet o smartphone*) y que el hecho de haber usado un smartphone en la evaluación se debió a las facilidades de este para el ajuste en la cintura y análisis de la actividad física en los pacientes ancianos sin requerir de dispositivos adicionales.

Por otra parte, conviene destacar las diferencias encontradas en las puntuaciones dadas por los usuarios no médicos y los usuarios médicos en relación a las tareas que puede desempeñar la aplicación móvil. En este caso, los usuarios médicos partían con

la ventaja de conocer el dominio de aplicación mejor que los usuarios no médicos. Este hecho se refleja en los resultados de productividad de las tareas relacionadas con la obtención de datos clínicos y los mecanismos de soporte a la valoración. También desde el punto de vista de la productividad, los usuarios médicos reclamaban un acceso más fácil a las opciones de configuración de los parámetros de fragilidad, es decir, la asignación de los grados mínimos de similitud y la profundidad del árbol resultante.

Por último destacar las dificultades presentadas durante la realización de la evaluación tanto de la aplicación móvil como del sistema en general, motivadas por el reducido número de personal médico adecuado y disponible que se presto a colaborar en el estudio. Por ello, agradecer, en este apartado, la labor de todos los usuarios, médicos, no médicos y pacientes ancianos, que se prestaron voluntariamente para llevar a cabo cada una de las evaluaciones realizadas.

6. EVALUACIÓN Y RESULTADOS

Capítulo 7

Conclusiones y Trabajo Futuro

7.1. Conclusiones

El planteamiento y desarrollo de esta tesis pretende concebir y hacer realidad una solución móvil capaz de ofrecer un soporte al facultativo en lo que respecta a la detección y valoración de la fragilidad en personas ancianas, de una forma centralizada y teniendo en cuenta una exhaustiva fundamentación médica. Así, partiendo de la hipótesis general expuesta en el apartado 1.2:

Es posible modelar, diseñar y desarrollar un sistema computacional, que haciendo uso de dispositivos móviles, sea capaz de ofrecer un soporte esencial al facultativo en la detección y diagnóstico del estado de fragilidad y pre-fragilidad de una persona adulta mayor, de una forma objetiva y centralizada, considerando el conjunto de factores clínicos de riesgo implicados en la evolución de la fragilidad y las prestaciones de los recursos tecnológicos utilizados,

se propusieron una serie de objetivos con el fin de validar dicha hipótesis (ver apartado 1.2). A continuación, se exponen las aportaciones y conclusiones obtenidas para cada uno de los objetivos alcanzados.

- **Objetivo específico 1.** Realizar un exhaustivo estudio de campo con el fin de conocer el modo de trabajo y métodos usados en la actualidad por geriatras y facultativos, relacionados con la evaluación de las capacidades motoras, sociales, biológicas y cognitivas de la población anciana.
 - Se ha llevado a cabo un estudio operacional en un entorno geriátrico real guiado por dos médicos geriatras, analizando los mecanismos utilizados para realizar el análisis de diversos aspectos relacionados con la fragilidad en la población residente. Se han identificado deficiencias en los métodos actuales y en diversas partes consideradas de importancia en la valoración.

7. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La heterogeneidad de los datos coleccionados para su análisis, así como la subjetividad de algunas de las pruebas realizadas que constituyen dos de las principales cuestiones tratadas en este trabajo y que a priori limitan la consecución de un análisis integral y objetivo.

- **Objetivo específico 2.** Analizar de forma conveniente los procedimientos utilizados y parámetros significativos a tener en cuenta, partícipes en la valoración de diferentes aspectos relacionados con la fragilidad.
 - Se ha realizado un estudio detallado del estado del arte en lo que se refiere a métodos utilizados para la valoración de la fragilidad, tanto de forma integral como centrada en un ámbito específico a partir del origen del síndrome y su evolución. Se han reconocido los dominios más importantes en su análisis, destacando los ámbitos nutricional y funcional como aquellos que más información aportan acerca del estado de fragilidad de la persona, aunque bien es cierto que se deben tener en cuenta el resto de ámbitos identificados si queremos precisar en el análisis. Se han estudiado las distintas propuestas desarrolladas por investigadores relevantes, tanto desde el punto de vista teórico como práctico, conociendo su aceptación entre la población y el grado de validez en su aplicación.
- **Objetivo específico 3.** Estudiar la viabilidad operacional de los medios tecnológicos y recursos necesarios para el despliegue arquitectural del sistema en los complejos médicos y asistenciales existentes, prestando especial atención a la interacción de dichos medios con los usuarios del entorno.
 - Se ha llevado a cabo un estudio acerca de la integración e inclusión de la tecnología en entornos de salud mediante el uso de dispositivos móviles, teniendo en cuenta la interacción de los usuarios de estos entornos con los dispositivos, conociendo su posible inexperiencia tecnológica. Además, considerando el ámbito funcional como uno de los más valiosos en el análisis de la fragilidad, se ha realizado un estudio dedicado al reconocimiento y análisis del movimiento empleando sensores acelerómetros triaxiales incluidos en dispositivos móviles con capacidades de cómputo, como por ejemplo los *smartphones*. En este punto, se considera el procesamiento y filtrado de los datos de acelerometría obtenidos de las actividades físicas analizadas haciendo uso de técnicas reconocidas. Para el análisis global de los datos de fragilidad, se propone el uso de técnicas de clasificación basadas en similitud, las cuales ya habían demostrado su eficiencia en otras líneas de investigación pero aún no habían sido aplicadas en este ámbito. Finalmen-

te, se estudia la adaptación de diversas partes del sistema que se pretende desarrollar, adquiriendo un enfoque orientado a servicios, teniendo en cuenta la heterogeneidad de los entornos de salud en los cuales se desplegará la solución final, y considerando los métodos de visualización de información existentes, observando los datos y resultados que se ofrecen al facultativo desde el propio dispositivo móvil.

- **Objetivo específico 4.** Definir un modelo para la representación de todas las entidades que intervendrán en el proceso de detección y valoración de la fragilidad.
 - Se ha establecido un modelo conceptual general con el fin de facilitar el desarrollo de herramientas software dedicadas a la detección y valoración de la fragilidad. Bajo el diseño de este modelo se encuentra la identificación de las entidades u objetos que participan en la valoración, las relaciones entre ellos y las funcionalidades aportadas por cada uno de los elementos, sin entrar en detalles de implementación. En este trabajo, el modelo diseñado conforma la base del sistema que se ha desarrollado.

- **Objetivo específico 5.** Diseñar e implementar las distintas capas de la arquitectura o sistema, así como los módulos que la componen.
 - Se han diseñado e implementado los servicios relacionados con la adquisición y tratamiento de los datos de acelerometría, así como los servicios de adquisición de factores clínicos de fragilidad, partiendo de una base de datos con información de pacientes reales, coleccionados durante el estudio de campo y el trascurso de este trabajo. Se han desarrollado los servicios relacionados con la generación de resultados, en los que la aplicación del coeficiente de similitud de Gower se presenta como uno de los aspectos más interesantes del sistema, ya que aparte de determinar el grado de similitud de un paciente anciano frágil en relación al resto de la población, nos permite realizar multitud de estudios desde diferentes puntos de vista (nutricional, funcional y antropométrico entre otros), con tan solo modificar los pesos de los factores clínicos de fragilidad que intervienen en el análisis. Por último se ha diseñado y desarrollado la aplicación móvil que permite al facultativo acceder a todas las funcionalidades del sistema, gracias a la comunicación con los servicios, destacando la adquisición de datos, el cálculo de variables de dispersión procedentes de la actividad física, el establecimiento en los requerimientos del análisis y la visualización de los resultados empleando mapas en árbol para favorecer su interpretación.

7. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

- **Objetivo específico 6.** Evaluar y validar el sistema desarrollado en un entorno geriátrico real.
 - Se ha implementado un prototipo funcional completo con el fin de evaluar y validar el sistema en el marco apropiado para su despliegue. Se ha realizado un análisis descriptivo del grupo de individuos sometidos a la evaluación del sistema, los cuales han sido seleccionados a lo largo de este trabajo. A partir de aquí, se han realizado tres evaluaciones, dos de marcado carácter clínico y una tercera relativa a la aplicación móvil usada para la valoración. La primera evaluación está relacionada con la valoración global de la fragilidad sobre el grupo de ancianos, determinando lo importante que es conocer el estado de un individuo concreto en relación al resto del grupo, para la toma de decisiones por parte del facultativo; la segunda evaluación correspondiente al estudio, utilizando el sistema, de la evolución de un subgrupo de ancianos desde el punto de vista antropométrico-nutricional, en donde se ha pretendido conocer el efecto de la suplementación nutricional en el anciano frágil; y por último, se ha presentado una evaluación de la aplicación móvil por el usuario desde tres dominios diferentes: usabilidad percibida, adecuación del dispositivo y productividad en las tareas realizadas por la aplicación. Dicha evaluación se ha llevado a cabo sobre un grupo de usuarios tanto médicos como no médicos, valorando los resultados generales de cada dominio así como particularizando en cada una de las cuestiones planteadas para su evaluación.

Con la realización de esta tesis se concluye, por tanto, que ha sido posible modelar, diseñar y desarrollar un sistema para guiar al facultativo, de forma objetiva y centralizada, en la valoración y diagnóstico de pacientes ancianos en estado de fragilidad y pre-fragilidad, disminuyendo y/o retrasando sus efectos. Sin embargo, cabe destacar que aún queda bastante trabajo en este sentido, en el que multitud de investigadores se siguen afanando en poder ofrecer un índice o marcador global de fragilidad.

La creación de un mecanismo que nos proporcione un índice absoluto que, a su vez determine la condición de fragilidad de una persona anciana es todavía una cuestión sin resolver. Sin embargo, tal y como se ha presentado en este trabajo, existen numerosas propuestas que se aproximan a este objetivo. En esta tesis doctoral se ha presentado un sistema para la valoración de la fragilidad mediante el uso de dispositivos móviles, teniendo en cuenta la falta de métodos centralizados basados en información clínica y la utilización de las nuevas tecnologías como soporte a la valoración.

Se han utilizado dispositivos móviles con el fin de aprovechar prestaciones tales como los sensores acelerómetros para obtener características de la actividad física que

apoyen la valoración desde uno de los ámbitos más importantes de la fragilidad, el funcional; además, cabe destacar las capacidades de comunicación inalámbrica y procesamiento de estos dispositivos, que son cada vez más interesantes en entornos clínicos y ubicuos, posibilitando la realización de valoraciones en cualquier momento. Sin embargo, el sistema desarrollado puede ser desplegado en otro tipo de dispositivos, especialmente para mejorar la visualización de resultados.

Por otra parte, el uso de técnicas de clasificación basadas en algoritmos de similitud (coeficiente de Gower) es otra de las principales contribuciones aportadas en este trabajo. La naturaleza de las variables establecidas como factores de riesgo relacionados con la fragilidad (cuantitativas, cualitativas y binarias), hace que el algoritmo de Gower sea un método fundamental para la obtención de valores de similitud a partir de un conjunto de instancias de pacientes ancianos, apoyando la valoración del estado de cada individuo. De forma que una mayor cantidad de instancias sobre las que trabajar, incrementaría la precisión y fiabilidad de los resultados, a costa de aumentar el tiempo de cómputo necesario por el sistema para la obtención de dichos resultados.

Otro de los aspectos a destacar en este punto está relacionado con la falta de propuestas similares en la literatura. Esto hace que no haya sido posible comparar este trabajo con otros sistemas. Sin embargo, la constante evolución de la computación móvil en entornos clínicos y el interés en el estudio de la fragilidad, fundamentado en el crecimiento de la población anciana sobre todo en países desarrollados, son las principales razones para que enfoques similares al propuesto en este trabajo estén siendo o vayan a ser desarrollados.

7.2. Contribuciones

El desarrollo y ejecución de esta tesis doctoral ha dado lugar a diversas contribuciones de carácter técnico y científico, tomando como eje conductor la hipótesis inicial, así como diversos trabajos subyacentes realizados bajo el nexo común de la fragilidad en el ámbito de la salud. Los objetivos y resultados conseguidos con este trabajo han sido puestos, de este modo, a disposición de la comunidad científica a lo largo de su realización. A continuación se muestra un resumen con las contribuciones más destacadas desde la concepción del trabajo hasta la evaluación del sistema desarrollado.

■ Publicaciones en revistas y documentos científico-técnicos

- *Mobile and Ubiquitous approach for supporting frailty assessment in elderly people.* J. Fontecha, R. Hervás, J. Bravo, Fco. J. Navarro. J Med Internet Res (ISI-JCR). September 2013, 15(9):e197. DOI: 10.2196/jmir.2529. PMID: 24004497.

7. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

- *Mobile Services Infrastructure for Frailty Diagnosis Support based on Gower's Similarity Coefficient and Treemaps*. J. Fontecha, R. Hervás, J. Bravo. *Journal of Mobile Information Systems (ISI-JCR)*. July 2013, DOI: 10.3233/ MIS-130174.
 - *Elderly Frailty detection by using accelerometer-enabled smartphones and clinical information records*. Jesús Fontecha, Fco. Javier Navarro, Ramón Hervás, José Bravo. *Personal and Ubiquitous Computing Journal (ISI-JCR)*. May 2012. Springer DOI: 10.1007/s00779-012-0559-5.
- **Ponencias y comunicaciones presentadas en congresos y reuniones científicas**
- *Anciano Frágil: valoración nutricional, evolución espontánea y tras suplementación nutricional*. FJ. Navarro, L. Sánchez, J. Fontecha, J. Bravo. 55th Congreso de la Sociedad Española de Geriatria y Gerontología (SEGG). Valencia, Spain. June 12-14th, 2013.
 - *A model to develop frailty diagnosis tools through mobile devices and service-oriented approach*. Jesús Fontecha, Ramón Hervás, José Bravo, Fco. Javier Navarro. *Ambient Assisted Living and Home Care*. Editors: Jose Bravo, Ramon Hervas, Marcela Rodriguez. Springer, ISBN: 978-3-642-35394-9, LNCS 7657, pp. 375-382, December 2012.
 - *Valoración Clínica de Fragilidad en el medio residencial*. L. Sánchez, FJ. Navarro, J. Fontecha, J. Bravo. XII Congreso Nacional de la sociedad Española de Médicos de Residencias (SEMER). Huesca, Spain. November 8-10th, 2012.
 - *Valoración Funcional y de la Marcha en el anciano frágil*. L. Sánchez, FJ. Navarro, J. Fontecha, J. Bravo. XII Congreso Nacional de la sociedad Española de Médicos de Residencias (SEMER). Huesca, Spain. November 8-10th, 2012.
 - *Valoración Nutricional de ancianos frágiles en residencias*. FJ. Navarro, L. Sánchez, J. Fontecha, J. Bravo. XII Congreso Nacional de la sociedad Española de Médicos de Residencias (SEMER). Huesca, Spain. November 8-10th, 2012.
 - *A proposal for elderly frailty detection by using accelerometer-enabled smartphones*. J. Fontecha, FJ. Navarro, L. Sánchez, R. Hervás, J. Bravo. V International Symposium on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence (UCAmI). Riviera Maya, Mexico. December 5-9th, 2011.
 - *Diagnóstico y seguimiento de la Fragilidad en ancianos mediante el uso de dispositivos móviles*. J. Fontecha, FJ. Navarro, L. Sánchez, V. Villarreal, R. Hervás, J. Bravo. XI Congreso Nacional de la sociedad Española de Médicos de Residencias (SEMER). Almería, Spain. November 3-5th, 2011.
 - *Aplicabilidad de la tecnología móvil en residencias y centros especializados*. J. Fontecha, FJ. Navarro, L. Sánchez, V. Villarreal, R. Hervás, J. Bravo. XI Congreso Nacional de la sociedad Española de Médicos de Residencias (SEMER). Almería, Spain. November 3-5th, 2011. 1º PREMIO A LA MEJOR COMUNICACIÓN.

- *Detection of Frailty through gait assessment and accelerometer mechanisms*. J. Fontecha, F.J. Navarro, L. Sánchez, R. Hervás, J. Bravo. 7th Congress of the EUGMS (European Union Geriatric Medicine Society). Málaga, Spain. September 28-30th, 2011.
- *A Mobile Proposal for Frailty Monitoring by Rehabilitation and Physical Daily Activity*. José Bravo, Francisco Navarro, Jesús Fontecha, Ramón Hervás. IEEE International Conference on Consumer Electronics. Berlin, Germany. September 6-8th, 2011.
- *Soporte a la monitorización y seguimiento geriátrico a través de mecanismos de acelerometría e interacción por contacto*. J. Fontecha, F.J. Navarro, I. Diezma, R. Hervás, J. Bravo. XVIII Congreso Nacional SEEGG (Sociedad Española de Enfermería Geriátrica y Gerontológica). Murcia, Spain. April 2011.

■ Premios y galardones recibidos a partir del trabajo realizado

- 17/05/2012: Finalista VI Premio Treelogic al Espíritu Innovador con el trabajo titulado “Sistema móvil para la detección y valoración del estado de fragilidad en personas ancianas”, concedido por la empresa I+D+i Treelogic¹
- 05/11/2011: Primer premio a la mejor comunicación becado por COMEAL titulada “Aplicabilidad de la tecnología móvil en residencias y centros especializados”, concedido por la Sociedad Española de Médicos de Residencias (SEMER) en su XI congreso nacional.

7.3. Trabajo Futuro

A partir de la realización de esta tesis doctoral, se han observado ciertas limitaciones y mejoras que no hacen sino abrir nuevas líneas de investigación con el fin de marcar la continuidad del trabajo presentado. Algunas de estas líneas son expuestas a continuación.

- Incorporación a la arquitectura de sistemas completos de clasificación y análisis estadístico, para el estudio conjunto de subgrupos o *clusters* de población anciana, utilizando las variables de fragilidad como parámetros clasificatorios que determinen el grado de pertenencia al grupo sobre el cual se calculan los coeficientes de similitud correspondientes. Esto se debe a que el sistema desarrollado parte de un único grupo, previamente seleccionado, de pacientes ancianos. Para este aspecto, sería necesario disponer por tanto, de un elevado número de instancias de pacientes con un amplio rango de edades. Aunque esta característica puede ser aplicada en el sistema actual con el grupo de ancianos, los resultados en este caso no serían tan fiables debido a que la muestra con la que se ha trabajado es limitada, dificultando la determinación de puntos de corte basados en edad.

¹<http://www.treelogic.com>. <http://www.premiotreelogic.com>

7. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

- Adaptación del sistema a entornos *AAL* y *Homecare* para favorecer la monitorización de la fragilidad de los pacientes ancianos en el hogar. Actualmente, la propuesta desarrollada actúa como soporte al geriatra que es quién la utiliza para la valoración y diagnóstico. Sin embargo, se propone el desarrollo de una adaptación del sistema para su uso en el hogar, utilizando el teléfono móvil como mecanismo principal de monitorización, principalmente de la actividad física pero considerando el resto de parámetros clínicos necesarios.
- El análisis del movimiento y de la actividad física de la persona anciana, como parte del estudio integral, es otro de los puntos que el sistema trata y que pueden estudiarse de una forma aún más detallada. No obstante, el análisis de la actividad física constituye trabajos de investigación que se sustentan por sí solos. En esta tesis se ha tratado de que el análisis de la actividad comparta protagonismo con el resto de factores y variables influyentes relacionadas con la fragilidad, pero destacando la objetividad e importancia de la actividad sobre el resto de variables. Por ello se plantea la realización de un estudio completo de la marcha del anciano en su entorno habitual, utilizando sensores acelerómetros que permitan conocer las principales características procedentes de tests de referencia como el de Tinetti, e incluso abordar la influencia de la marcha sobre otras patologías (por ejemplo de origen cognitivo). Se considerará el uso de varios sensores acelerómetros colocados en zonas estratégicas del tren inferior y con capacidad de comunicación con dispositivos móviles, enriqueciendo la parte correspondiente al estudio del movimiento presentada en la tesis, en combinación con el resto de factores clínicos.
- Otras capacidades de comunicación y procesamiento del sistema podrían ser optimizadas a partir del prototipo desarrollado. De esta forma, aspectos como la disposición de un buffer o espacio de almacenamiento temporal permitiría poder trabajar al sistema en escenarios de conectividad de red limitada. De la misma forma, los algoritmos de generación de resultados podrían ser revisados con el fin de reducir el tiempo de procesamiento en su uso con grandes cantidades de datos correspondientes a instancias de pacientes. E incluso la generación automatizada de informes clínicos a partir de los resultados del sistema podría constituir otro de los aspectos a tener en cuenta.

Referencias

- [1] K.W. WOODHOUSE, H. WYNNIE, S. BAILLIE, O.F. JAMES, AND M.D. RAWLINS. **Who are the frail elderly?** *Q J Med*, **68**:505–506, 1988.
- [2] L. FERRUCCI, C. CAVAZZINI, A. CORSI, B. BARTALI, C.R. RUSSO, AND F. LAURETANI ET AL. **Biomarkers of frailty in older persons.** *J Endocrinol Invest*, **25**:10–15, 2002.
- [3] J.W. ROWE AND R.L. KAHN. **Successful Aging.** *Gerontologist*, **37**:433–440, 1997.
- [4] W.C. HOOI AND H. BERGMAN. **A review on models and perspectives on frailty in older persons.** *Singapore General Hospital Proceedings*, **14**:121–127, 2005.
- [5] D.B. HOGAN, C. MACNIGHT, AND H. BERGMAN. **Models, definitions and criteria of frailty.** *Aging Clin Exp Res.*, **15**:3–29, 2003.
- [6] D. HAMERMAN. **Toward an understading of frailty.** *Ann Intern Med*, **130**:945–50, 1999.
- [7] J.L. GONZÁLEZ-MONTALBO, J. PÉREZ DEL MOLINO, L. RODRÍGUEZ MAÑAS, A. SALGADO ALBA, AND F. GUILLÉN LLERA. **Geriatría y asistencia geriátrica: para quién y cómo (I).** *Med Clin (Barc)*, **96**:183–8, 1991.
- [8] J. WALTSON AND L.P. FRIED. **Frailty and the old man.** *Medical Clinics Of North America*, **83**:1173–94, 1999.
- [9] L.P. FRIED, C.M. TANGEN, J. WALTSON, AND A.B. NEWMAN ET AL. **Frailty in older adults: evidence for phenotype.** *J Gerontol*, **56**:146–56, 2001.
- [10] F.I. MAHONEY AND D.W. BARTHEL. **Functional Evaluation: The Barthel Index.** *Md State Med J*, pages 61–65, 1965.
- [11] S. KATZ, T.D. DOWN, AND H.R. CASH ET AL. **Progress in the Development of the Index of ADL.** *Gerontologist*, **10**:20–30, 1970.
- [12] M.P. LAWTON AND E.M. BRODY. **Assessment of older people: self-maintaining and instrumental activities of daily living.** *Gero*, **9**:179–186, 1969.
- [13] E. VIEL ET AL. *La marcha humana, la carrera y el salto. Biomecánica, exploraciones, normas y alteraciones.* Barcelona: Masson; 2002. Barcelona, 2002.
- [14] M.E. TINETTI. **Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients.** *J Am Geriatr Soc*, **34**:119–26, 1986.
- [15] S. MATIAS, U. NAYAK, AND B. ISAACS. **Balance in elderly patients: the "get-up and go" test.** *Arch Phys Med Rehabil.*, **67**:387–389, 1986.
- [16] D. PODSIADLO AND S. RICHARDSON. **The timed "Up and Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons.** *J Am Geriatr Soc*, **39**:142–148, 1991.
- [17] M.D. SCHAAN, C.H. SCHWANKE, M. BAUER, C. LUZ, AND I.B. DA CRUZ. **Hematological and nutritional parameters in apparently healthy elderly individuals.** *Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia*, **29**:136–143, 2007.
- [18] M. FOLSTEIN, S. FOLSTEIN, AND P. MCHUGH. **"Mini mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician.** *Journal of Psychiatric Research*, **12**:189–198, 1975.
- [19] A. SAN JOSÉ LAPORTE, C. JACAS ESCARCELLÉ, A. SELVA O'CALLAGHAN, AND M. VILARDELL TARRÉS. **Protocolo de valoración geriátrica.** *Medicine*, **7(124)**:5829–5832, 1999.
- [20] J. HOY. **Bone, fracture and frailty.** *Current opinion in HIV and AIDS*, **6**:309–314, 2011.
- [21] M.J. LEVERS, C.A. ESTABROOKS, AND J.C. ROSS KERR. **Factors contributing to frailty: literature review.** *Journal of Advanced Nursing*, **56**:282–291, 2006.
- [22] E. GRUNDY AND A. SLOGGETT. **Health inequalities in the older population: the role of personal capital, social resources and socio-economic circumstances.** *Social Science & Medicine*, **56**:935–947, 2003.
- [23] E. BRUERA, N. KUEHN, M.J. MILLER, P. SELMSER, AND K. MACMILLAN. **The Edmonton symptom assessment system (ESAS): a simple method for the assessment of palliative care patients.** *Journal of Palliative Care*, **7**:6–9, 1991.
- [24] A. TALUKDER AND R. YAVAGAL. *Mobile computing: technology, applications, and service creation.* McGraw-Hill professional engineering. McGraw Hill, 2007.
- [25] U. VARSHNEY. **Pervasive Healthcare.** *IEEE Computer*, **36**:138–140, 2003.
- [26] P. FILIPE AND N. MAMEDE. *A Task Repository for Ambient Int*, chapter Natural Language Processing and Information Systems, pages 70–81. Springer Berlin, 2006.
- [27] MARK WEISER. **Some computers science issues in Ubiquitous Computing.** *Communications of ACM*, **36**:75–84, 1993.
- [28] M.H. COEN. **Design principles for Intelligent Environments.** In *AAAI Spring Symposium on Intelligent Environments*, 1998.
- [29] G. CHEN AND D. KOTZ. **A Survey of Context-Aware Mobile Computing Research.** 2000.
- [30] ISTAG. **Scenarios for Ambient Intelligence in 2010.** Technical report, ISTag, 2001.
- [31] A. NIJHOLT, T. RIST, AND K. TULJENBREIJER. **Lost in ambient intelligence?** In *CHI '04 extended abstracts on Human factors in computing systems*, CHI EA '04, pages 1725–1726, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [32] D.A. NORMAN. *The Invisible Computer.* MIT Press, 1998.
- [33] E.R. AARTS. **The Invisible Future: the seamless integration of technology into everyday life.** *Ambient Intelligence*, 2001.
- [34] MARK WEISER. **The computer of the twenty-first century.** *Scientific American*, pages 94–104, 1991.
- [35] G. CHEN. **Solar: Builder a Context Fusion Network for Pervasive Computing.** 2004.
- [36] W. MARK. **Turning Pervasive Computing into mediated spaces.** *IBM Systems Journal*, **38**:677–692, 1999.

REFERENCIAS

- [37] ISTAG. **Ambient Intelligence: from vision to reality**. Technical report, ISTag European Commission, 2003.
- [38] THE AMERICAN HERITAGE MEDICAL DICTIONARY. **HealthCare Definition**. Website: <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/health+care>, 2007. Last checked: 07.05.2013.
- [39] ROY WANT. **People First, Computers Second**. *IEEE Pervasive Computing*, 2007.
- [40] J. FAVELA, L. CASTRO, V. GONZÁLEZ, E. MORAN, AND A. MARTÍNEZ. **Estimating Hospital Workers' Activities and its use in Context-Aware Hospital Applications**. In *Conference in Pervasive Healthcare*, 2006.
- [41] V. FUCHSBERGER. **Ambient assisted living: Elderly people's needs and how to face them**. In *1st ACM International Workshop on Semantic Ambient Media Experience*, pages 21–24, Vancouver, 2008.
- [42] **Ambient Assisted Living (AAL) Joint Programme**. Website: <http://www.aal-europe.eu>. Last checked: 14.08.2013.
- [43] WORLD HEALTH ORGANIZATION. *mHealth: New Horizons for health through mobile technologies*. World Health Organization, 2011.
- [44] R. ISTEPANIAN AND J. LACAL. **Emerging mobile communication technologies for health: some imperative notes on m-health**. In *Engineering in Medicine and Biology Society*, 2003.
- [45] J. LEE. **Smart health: Concepts and status of ubiquitous health with smartphone**. In *International Conference on ICT Convergence (ICTC)*, 2011.
- [46] W.C. MANN, S. HELAL, R.D. DAVENPORT, M.D. JUSTISS, M.R. TOMITA, AND B. KEMP. **Use of cell phones by elders with impairments: Overall appraisal, satisfaction, and suggestions**. *Technology and Disability*, 16:49–57, 2004.
- [47] A. STEINDLER. *Kinesiology of the human body*. Charles C Thomas Pub, 1997.
- [48] K. WELLS AND K. LUTTGENS. *Kinesiology: scientific basis of human motion*. Saunders, 1976.
- [49] P.J. RASCH AND R.K. BURKE. *Kinesilogía y Anatomía aplicada*. Buenos Aires, 1986.
- [50] PAUL TIPLER. *Física para la ciencia y la tecnología*. Reverté, 2000.
- [51] H. DAVID, R. RESNICK, AND S.K. KENNETH. *Physics v. 1*. Jhon Wiley & Sons, 2001.
- [52] SENSR. **Practical guide to accelerometers**. Technical report, Sensr, Website: <http://www.sensr.com/pdf/practical-guide-to-accelerometers.pdf>. Last checked: 12.09.2013.
- [53] MNX. MEMS & NANOTECHNOLOGY EXCHANGE. **What is MEMS Technology?** Website: <http://www.mems-exchange.org/MEMS/what-is.html>, 12 2011. Last checked: 19.12.2012.
- [54] SPARKFUN ELECTRONICS. **WiTilt v3 Datasheet**. Datasheet, SparkFun, Website: <http://www.sparkfun.com/datasheets/Accelerometers/WiTilt-v3.pdf>, 2008. Last checked: 14.12.2012.
- [55] A. OLIVER, K. MARTIN, AND T. GERHARD. **Probabilistic Parsing of Dietary Activity Events**. In *International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, pages 242–247, Marzo 2008.
- [56] L. BAO AND S. INTILLE. **Activity Recognition from user-annotated acceleration data**. *Lecture Notes Computer Science*, pages 1–17, 2004.
- [57] F. FOERSTER AND J. FAHRENBERG. **Motion pattern and posture: correctly assessed by calibrated accelerometers**. *Behaviour Research Methods, Instruments & Computers*, 32:450–457, 2000.
- [58] B. AUVINET, D. CHALEIL, AND E. BARREY. **Accelerometric gait analysis for use in hospital outpatients**. *Rev Rhum engl Ed.*, 66(7-9):389–97, 1999.
- [59] G. BIEBER, P. KOLDRACK, C. SABLowski, C. PETER, AND B. URBAN. **Mobile physical activity recognition of stand-up and sit-down transitions for user behavior analysis**. In *3rd International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, 2010.
- [60] KENNETH HOWELL. *Principles of Fourier Analysis*. CRC Press, 2001.
- [61] WALTEGENUS DARGIE. **Analysis of Time and Frequency Domain Features of Accelerometer Measurements**.
- [62] T. SCHOLMER, B. POPPINGA, N. HENZE, AND S. BOLL. **Gesture recognition with a wii controller**. In *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction*, 2008.
- [63] M. JOSELLI AND E. CLUA. **grmobile: A framework for touch and accelerometer gesture recognition for mobile games**. In *Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment*, 2009.
- [64] E. NELSON. *Dynamical Theories of Brownian Motion*. Princeton University Press, Website: <http://www.math.princeton.edu/~nelson/books/bmotion.pdf>, 2001. Last checked: 29.12.2012.
- [65] FRED SCHLOSS. **Accelerometer noise**. *SV Sound and Vibration*, 27:22–23, 1993.
- [66] R. BARANIUK, B. FITE, M. HAAG, D. JONES, AND R. NOWAK ET AL. *Digital Signal Processing: A User's Guide*. Creative Commons License, Website: <http://www.freeinfosociety.com/media/pdf/2819.pdf>, 2008. Last checked: 28.11.2012.
- [67] A. BERSON, S. SMITH, AND K. THEARLING. **An Overview of Data Mining Techniques**. Excerpted from the book "Building Data Mining Applications for CRM", <http://www.thearling.com/text/dmtechniques/dmtechniques.htm> 2000. Last checked: 10.01.2013.
- [68] R.E. NEAPOLITAN. *Learning Bayesian Networks*. Prentice Hall, 2003.
- [69] M. STEINBACH PANG-NING TAN AND V. KUMAR. *Introduction to Data Mining - Ch.8: Cluster Analysis: Basic Concepts and Algorithms*. Addison-Wesley, 2006.
- [70] B. EVERITT. *Cluster Analysis*. McGraw-Hill, 1980.
- [71] P. JACCARD. **Distribution de la flore alpine dans le bassin des Dranses et dans quelques régions voisines**. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 37:241–272, 1990.
- [72] A.D. GORDON. *Cluster Classification*. Wiley New York, 1990.
- [73] I. PONZONI A.J. SOTO AND G.E. VÁZQUEZ. **Análisis numérico de diferentes criterios de similitud en algoritmos de clustering**. *Mecanica Computacional*, 25:993–1011, 2006.
- [74] J. GOWER. **A general coefficient of similarity and some of its properties**. *Biometrics*, 27:857–872, 1971.
- [75] T.M. LIM AND H.W. KHOO. **Sampling properties of Gower's general coefficient of similarity**. *Ecology*, 66(5):1682–1685, 1985.
- [76] B. KITCHENHAM. **Procedures for Performing Systematic Review**. Technical report, 2004.

- [77] M. MUNOZ, J. FAVELA, A.I. MARTINEZ-GARCIA, AND V. GONZALEZ. **Context-Aware Mobile Communication in Hospitals.** *IEEE Computer*, 2003.
- [78] R. HERVÁS AND J. BRAVO. **COIVA: Context-aware and Ontology-powered Information Visualization Architecture.** *Practice and Experience Journal*, 41:403–426, 2011.
- [79] J. BARDHAM. **Hospitals of the future - Ubiquitous Computing support for Medical Work in Hospitals.** In *2nd. International Workshop on Ubiquitous Computing for Pervasive Healthcare Applications*, 2003.
- [80] A. ZARAZAGA. **Las PDA en el entorno hospitalario. Mitos y realidades.** Technical report, Website: <http://www.conganat.org/seis/is/is40/pdahospital.htm>, 2003. Last checked: 23.10.2012.
- [81] S. HUFFSTUTLER AND C. WRIGHT. **The use of handheld technology in nursing education.** 2002.
- [82] J. FONTECHA. **ACA-ICo: Una propuesta de Arquitectura Contextual Asistencial basada en elementos de Interacción por Contacto,** 2010.
- [83] J. FONTECHA, R. HERVÁS, V. VILLARREAL, AND J. BRAVO. **A NFC Approach for Nursing Care Training.** In *3rd. International Workshop on Near Field Communication*, Hagenberg, Austria, 2011.
- [84] V. VILLARREAL, J. FONTECHA, R. HERVÁS, AND J. BRAVO. **An Architecture to development an Ambient Assisted Living applications: A study case in Diabetes.** In *V International Symposium on Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence (UCAmI2011)*, 2011.
- [85] R. HERVÁS, J. FONTECHA, D. AUSÍN, F. CASTANEDO, D. LÓPEZ DE IPIÑA, AND J. BRAVO. **Mobile Monitoring and Reasoning Methods to Prevent Cardiovascular Diseases.** *Sensors*, 13(5):6524–6541, 2013.
- [86] J.P. GARCÍA-VÁZQUEZ, M.D. RODRÍGUEZ, M.E. TENTORI, D. SALDAÑA, A.G. ANDRADE, AND A.N. ESPINOZA. **An agent-based architecture for developing activity-aware systems for assisting elderly.** *Journal of Universal Computer Science*, 16:1500–1520, 2010.
- [87] J. BRAVO, M. VERGARA, J. FONTECHA, AND R. HERVÁS ET AL. **Adaptabilidad de la tecnología NFC para AAL.** In *XXVII Congreso anual de la Sociedad Española de Ingeniería Biomédica*, 2009.
- [88] H. PINNOCK, R. SLACK, C. PAGLIARI, D. PRICE, AND A. SHEIKH. **Understanding the potential role of mobile phonebased monitoring on asthma self-management: Qualitative study.** *Clin Exp Allergy*, 37 (5):794–802, 2007.
- [89] O.A. ALSOS, B. DABELOW, AND A. FAXVAAG. **Doctors' concerns of PDAs in the ward roun situation: Lessons from a formative simulation study.** *Methods of Information in Medicine*, 50:190–200, 2011.
- [90] H.J. LEE, S.H. LEE, K. HA, H.C. JANG, W. CHUNG, AND J. KIM ET AL. **Ubiquitous healthcare service using Zigbee and mobile phone for elderly patients.** *International Journal of Medical Informatics*, 78:193–198, 2009.
- [91] W.R. JIH, J.Y. HSU, AND T.M. TSAI. **Context-aware service integration for elderly care in a smart environment.** Technical report, AAAI Workshop - Technical Report, 2006.
- [92] C. LIN, M. CHIU, C. HSIAO, R. LEE, AND Y.TSAI. **Wireless health care service system for elderly with dementia.** *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 10:696–704, 2006.
- [93] S. HSIEH, I. HOU, P. CHENG, C. TAN, AND P. SHEN ET AL. **Design and implementation of web-based mobile electronic medication administration record.** *Journal of Medical Systems*, 34:947–58, 2010.
- [94] S. EHRENBURG, A. ALONSO, B. VALLESPÍN, M. DE ARANA, R. LOZANO, AND J. ROCAB UM. **Knowledge sharing and decision support for healthcare professionals: The Doc@Hand project.** *Technology and Health Care*, 13:381–382, 2005.
- [95] Y. HONG, I. KIM, S.C. AHN, AND H. KIM. **Activity recognition using wearable sensors for elder care.** In *2nd International Conference on Future Generation Communication and Networking, FGNCN*, 2, pages 302–305, 2008.
- [96] A. GODFREY, A. BOURKE, G.M. OLAIGHIN, P. VAN DE VEN, AND J. NELSON. **Activity classification using a single chest mounted tri-axial accelerometer.** *Medical Engineering and Physics*, 33:1127–35, 2011.
- [97] H. MAKI, H. OGAWA, S. MATSUOKA, Y. YONEZAWA, AND W.M. CALDWELL. **A daily activity remote monitoring system for solitary elderly people.** In *33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2011.
- [98] B. CHEN AND B. KATE. **PAMSys: Long-term physical activity monitoring with single wearable motion sensor.** In *2nd Wireless Health Conference*, 2011.
- [99] R. MUSCILLO, M. SCHMID, S. CONFORTO, AND T. DALESSIO. **An adaptive Kalman-based Bayes estimation technique to classify locomotor activities in young and elderly adults through accelerometers.** *Medical Engineering and Physics*, 32:849–59, 2010.
- [100] D. KANG, J. CHOI, J. LEE, S. CHUNG, S. PARK, AND G. TACK. **Real-time elderly activity monitoring system based on a tri-axial accelerometer.** *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 5:247–53, 2010.
- [101] A. PURWAR, Y. LEE, AND W. CHUNG. **Triaxial MEMS accelerometer for activity monitoring of elderly person.** *Sensor Letters*, 6:1054–58, 2008.
- [102] K. AMINIAN AND B. NAJAFI. **Capturing human motion using body-fixed sensors: Outdoor measurement and clinical applications.** *Computer Animation and Virtual Worlds*, 15:79–94, 2004.
- [103] M. HYNES, H. WANG, L. KILMARTIN, AND E. MCCARRICK. **Monitoring of activity levels of the elderly in home and community environments using off the shelf cellular handsets.** In *2010 International Conference on Consumer Electronics*, number 978-142444316-1, pages 9–10, 2010.
- [104] S. SONG, J. JANG, AND S. PARK. **A phone for human activity recognition using triaxial acceleration sensor.** In *26th IEEE International Conference on Consumer Electronics*, 2008.
- [105] T. ZHANG, J. WANG, P. LIU, AND J. HOU. **Fall detection by embedding an accelerometer in cellphone and using kfd algorithm.** *International Journal of Computer Science and Network Security*, 2006.
- [106] J. OBERZAUCHER, H. JAGOS, C. ZODL, W. HLAUSCHEK, AND W. ZAGLER. **Using a wearable insole gait analyzing system for automated mobility assessment for older people.** In *12th International Conference on Computers Helping People with Special Needs*, 2010.
- [107] F.J. FERNANDEZ-LUQUE, J. ZAPATA, AND R. RUIZ. **A system for ubiquitous fall monitoring at home via a wireless sensor network.** In *32nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2010.

REFERENCIAS

- [108] E. CAMPO AND E. GRANGEREAU. Wireless fall sensor with GPS location for monitoring the elderly. In *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2008.
- [109] C. DOUKAS AND I. MAGLOGIANNIS. Advanced patient or elder fall detection based on movement and sound data. In *2nd International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 2008.
- [110] R. Y. LEE AND A. J. CARLISLE. Detection of falls using accelerometers and mobile phone technology. *Age and Ageing*, 40:690–696, 2011.
- [111] J. DAI, X. BAI, Z. YANG, Z. SHEN, AND D. XUAN. Mobile phone-based pervasive fall detection. *Personal and Ubiquitous Computing*, 14:633–643, 2010.
- [112] F. SPOSARO AND G. TYSON. iFall: An android application for fall monitoring and response. In *31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society: Engineering the Future of Biomedicine*, 2009.
- [113] C. HSIEH, C. CHIANG, C. HUANG, C. CHAN, AND S. HSU. Development of fall characteristics collection system for fall prevention strategies. In *5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 2011.
- [114] M. NARAYANAN, S. LORD, M. BUDGE, B. CELLER, AND N. LOVELL. Falls management: Detection and prevention, using a waist-mounted triaxial accelerometer. In *29th Annual International Conference of IEEE-EMBS, Engineering in Medicine and Biology Society*, 2007.
- [115] D. GIANANTI. Investigation of fall-risk using a wearable device with accelerometers and rate gyroscopes. *Physiological Measurement*, 27, 2006.
- [116] S. REDMOND, M. SCALZI, M. NARAYANAN, S. LORD, S. CERUTTI, AND N. LOVELL. Automatic segmentation of triaxial accelerometer signals for falls risk estimation. In *32nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2010.
- [117] S. HERNANDEZ. Conceptos básicos relacionados con la rehabilitación. Website: <http://www.sld.cu/sitios/rehabilitacion/temas.php?idv=615>. Last checked: 16.02.2013.
- [118] T. TAMURA, K. NAKAJIMA, AND M. NAMBU. Assistive devices in the elderly. *IRYO - Japanese Journal of National Medical Services*, 56:606–609, 2002.
- [119] K.M. CULHANE, M. O'CONNOR, D. LYONS, AND G.M. LYONS. Accelerometers in rehabilitation medicine for older adults. *Age and Ageing*, 34:556–560, 2005.
- [120] L. SEWELL, S. SINGH, J.E. WILLIAMS, R. COLLIER, AND M.D. MORGAN. Can individualized rehabilitation improve functional independence in elderly patients with COPD. *Chest*, 128:1194–1200, 2005.
- [121] J.M. POTTER, A.L. EVANS, AND G. DUNCAN. Gait speed and activities of daily living function in geriatric patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 76:997–999, 1995.
- [122] I. RASO, R. HERVÁS, AND J. BRAVO. Personalized accelerometer-based physical rehabilitation platform. In *4th. International Conference of Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies*, 2010.
- [123] S. LORD, L. ROCHESTER, K. BAKER, AND A. NIEUWBOER. Concurrent validity of accelerometry to measure gait in Parkinsons Disease. *Gait and Posture*, 27(09666362):357–359, 2008.
- [124] B. POGORELC AND M. GAMS. Identification of gait patterns related to health problems of elderly. In *7th International Conference on Ubiquitous Intelligence and Computing*, 2010.
- [125] N. WANG, E. AMBIKAIKAJAH, B.G. CELLER, AND N.H. LOVELL. Accelerometry based classification of gait patterns using empirical mode decomposition. In *Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2008.
- [126] M. NYAN, F. TAY, K. SEAH, AND Y. SITO. Classification of gait patterns in the time-frequency domain. *Journal of Biomechanics*, 39:2647–2656, 2006.
- [127] J. CHOI, H. OH, D. KANG, K. MUN, M. CHOI, S. LEE, AND J. YANG ET AL. Comparison of gait and cognitive function among the elderly with alzheimer's disease, mild cognitive impairment and healthy. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 12:169–173, 2011.
- [128] M. VAN LERSEL. *The interplay between gait and cognitive function in elderly people*. PhD thesis, Radboud University Nijmegen, 2007.
- [129] H. AILISTO, M. LINDHOLM, J. MANTYJARVI, E. VILDJOUNAITE, AND S. MAKELA. Identifying people from gait pattern with accelerometers. 5779, pages 7–14, 2005.
- [130] A. HARTMANN, S. LUZI, K. MURER, R.A. DE BIE, AND E.D. DE BRUIN. Concurrent validity of a trunk tri-axial accelerometer system for gait analysis in older adults. *Gait and Posture*, 29:444–448, 2009.
- [131] T. ISO AND YAMAZAKI K. Gait analyzer based on a cell phone with a single three-axis accelerometer. In *8th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 159, pages 141–144, 2006.
- [132] S. SPRAGER AND D. ZAZULA. A cumulant-based method for gait identification using accelerometer data with principal component analysis and support vector machine. *WSEAS Transactions on Signal Processing*, 5(17905022):369–378, 2009.
- [133] R. LEMOYNE, T. MASTROIANNI, M. COZZA, C. COROIAN, AND W. GRUNDFEST. Implementation of an iPhone as a wireless accelerometer for quantifying gait characteristics. In *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2010.
- [134] H.K. CHAN, H. ZENG, H. WANG, R. GAWLEY, M. YANG, AND R. STERRITT. Feasibility study on iPhone accelerometer for gait detection. In *5th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops*, 2011.
- [135] F.C. MARTIN AND P. BRIGHTON. Frailty: different tools for different purposes? *Age and Ageing*, 37:129–31, 2008.
- [136] K. KARNIK AND D.J. MAZZATTI. Review of tools and technologies to assess multi-system functional impairment and frailty. *Clinical Medicine: Geriatrics*, 3:1–8, 2009.
- [137] D.M. JONES, X. SONG, AND K. ROCKWOOD. Operationalizing a frailty index from a standardized comprehensive geriatric assessment. *J Am Geriatr Soc*, 52:1929–33, 2004.
- [138] K. ROCKWOOD, X. SONG, C. MACKNIGHT, H. BERGMAN, D.B. HOGAN, I. MACDOWELL, AND A. MITNITSKI. A global clinical measure of fitness and frailty in elderly people. *CMAJ*, 173(5):489–95, 2005.
- [139] S.D. SEARLE, A. MITNITSKI, E.A. GAHBAUER, T. GILL, AND K. ROCKWOOD. A standard procedure for creating a frailty index. *BMC Geriatrics*, 8:8–24, 2008.

- [140] J. PARTRIDGE, D. HARARI, AND J. DHESI. Frailty in the older surgical patient: a review. *Age and Ageing*, 41(2):142–147, 2012.
- [141] R.J. GOBBENS, K.G. LUIJKX, M.T. WIJNEN-SPONSELEE, AND J.M. SCHOLS. Towards an Integral Conceptual Model of Frailty. *Journal of Nutrition Health & Aging*, 14:175–81, 2010.
- [142] J. DE LEPELEIRE, M. YLIEFF, J. STESSSENS, F. BUNTINX, AND L. PAQUAY. The validity of the Frail instrument in general practice. *Archives of Public Health*, 62 (3-4):185–196, 2004.
- [143] J.A. VAN KEMPEN, H.J. SCHERS, A. JACOBS, S.U. ZUIDEMA, F. RUIKES, S.H. ROBBER, AND R.J. MELIS AND M.G. OLDE RIKKERT. Development of an instrument for the identification of frail older people as a target population for integrated care. *British Journal of General Practice*, 63(608):225–231, 2013.
- [144] Y.T. MING AND Y.L. SHYU. A concept analysis of frailty in the elderly. *Journal of Nursing*, 55 (6):80–85, 2008.
- [145] O. THEOU, J.M. JAKOBI, A. VANDERVOORT, AND G. JONES. A comparison of physical activity (PA) assessment tools across levels of frailty. *Gerontology and Geriatrics*, (Article in press), 2011.
- [146] J.M. GOODSON A.D. HAFFAJEE ET AL. S.S. SOCRANSKY, A.C. TANNER. An approach to the definition of periodontal disease syndromes by cluster analysis. *Journal of Clinical Periodontology*, 9(6):460–471, 1982.
- [147] E. GELNAROVÁ AND L. SAFARÍK. Comparison of three statistical classifiers on a prostate cancer data. *Neural Network World*, 15(4):311–318, 2005.
- [148] G. PASSARINO, A. MONTESANTO, F. DE RANGO, S. GARASTO, M. BERRARDELLI, F. DOMMA, V. MARI, E. FERACO, C. FRANCESCHI, AND G. BENEDICTIS. A cluster analysis to define human aging phenotypes. *Biogerontology*, 8 (3):283–290, 2007.
- [149] J.A. ZAUSZNIIEWSKI AND G.C. GRAHAM. Comparison of short scales to measure depressive symptoms in elders with diabetes. *Western Journal of Nursing Research*, 31 (2):219–234, 2009.
- [150] I. SCHAFER, H. HANSEN, G. SCHON, S. HOFELS, A. ALTINER, A. DAHLHAUS, J. GENSICHEN, S. RIEDEL-HELLER, S. WEYERER, W.A. BLANK, H. KONIG, O. VON DEM KNESEBECK, K. WEGSHIEDER, M. SCHERER, H. VAN DEN BUSSCHE, AND B. WEISE. The influence of age, gender and socio-economic status on multimorbidity patterns in primary care. First results from the multicare cohort study. *BMC health services research*, 12:89, 2012.
- [151] V. PROVENCHER, L. DEMERS, AND I. GÉLINAS. Factors that may explain differences between home and clinic meal preparation task assessments in frail older adults. *International Journal of Rehabilitation Research*, 35 (3):248–255, 2012.
- [152] Y. LEE, J. KIM, M. SON, AND M. LEE. Implementation of accelerometer sensor module and fall detection monitoring system based on wireless sensor network. In *International Conference of IEEE-EMBS, Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC'07*, number 1424407885; 978-142440788-0, pages 2315–2318, 2007.
- [153] N. GUARINO. Formal Ontology and Information Systems. In *Formal Ontology in Information Systems*, 1998.
- [154] T. GRUBER. What is an Ontology? Website: <http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>, 1992. Last checked: 19.02.2013.
- [155] Y. LAFON. Web Services Activity. Website: <http://www.w3.org/2002/ws/>, 2011. Last checked: 05.02.2013.
- [156] SUN. *Cloud Computing. Take your business to a Higher level*. Sun Microsystems, 2009.
- [157] J.R. KWAPISZ, G.M. WEISS, AND S.A. MOORE. Activity recognition using cell phone accelerometers. In *Fourth International Workshop on Knowledge Discovery from Sensor Data*, pages 10–18, 2010.
- [158] D.T. WADE, V.A. WOOD, A. HELLER, J. MAGGS, AND R.L. HEWER. Walking after stroke. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 19:25–30, 1987.
- [159] J.M. MONTERO. *Estadística Descriptiva*. Thomson Paraninfo, 2007.
- [160] B. SHNEIDERMAN. Treemaps for space-constrained visualization of hierarchies. Website: <http://www.cs.umd.edu/hcil/treemap-history/index.shtml>, June 2009. Last checked: 06.03.2013.
- [161] M. SENDÍN. Evaluación de la Usabilidad Móvil. Technical report, Universidad de Lleida, 2012.
- [162] J. NIELSEN. *Usability Inspection Methods*. John Wiley & Sons, 1994.
- [163] M. VUOLLE, M. TAINEN, T. KALLIO, T. VAINIO, M. KULJU, AND H. WIGELIUS. Developing a questionnaire for measuring mobile business service experience. In *International conference on HCI with mobile devices and services*, 2008.
- [164] K. FINSTAD. The Usability Metric for User Experience. *Interacting with Computers*, 22(5):323–327, 2010.

REFERENCIAS

Anexos

A.1. Escalas cognitivas y funcionales

ESCALA DE BARTHEL.

COMER:

- (10) Independiente. Capaz de comer por sí solo y en un tiempo razonable. La comida puede ser cocinada y servida por otra persona.
- (5) Necesita ayuda. Para cortar la carne o el pan, extender la mantequilla, etc., pero es capaz de comer solo.
- (0) Dependiente. Necesita ser alimentado por otra persona.

LAVARSE (BAÑARSE):

- (5) Independiente. Capaz de lavarse entero. Incluye entrar y salir del baño. Puede realizarlo todo sin estar una persona presente.
- (0) Dependiente. Necesita alguna ayuda o supervisión.

VESTIRSE:

- (10) Independiente. Capaz de ponerse y quitarse la ropa sin ayuda.
- (5) Necesita ayuda. Realiza solo al menos la mitad de las tareas en un tiempo razonable.
- (0) Dependiente.

ARREGLARSE:

- (5) Independiente. Realiza todas las actividades personales sin ninguna ayuda. Los complementos necesarios pueden ser provistos por otra persona.
- (0) Dependiente. Necesita alguna ayuda.

DEPOSICIÓN:

- (10) Continente. Ningún episodio de incontinencia.
- (5) Accidente ocasional. Menos de una vez por semana o necesita ayuda para enemas y supositorios.
- (0) Incontinente.

MICCIÓN (Valorar la semana previa):

- (10) Continente. Ningún episodio de incontinencia. Capaz de usar cualquier dispositivo por sí solo.
- (5) Accidente ocasional. Máximo un episodio de incontinencia en 24 horas. Incluye necesitar ayuda en la manipulación de sondas y otros dispositivos.
- (0) Incontinente..

USAR EL RETRETE:

- (10) Independiente. Entra y sale solo y no necesita ningún tipo de ayuda por parte de otra persona.
- (5) Necesita ayuda. Capaz de manejarse con pequeña ayuda: es capaz de usar el cuarto de baño. Puede limpiarse solo.
- (0) Dependiente. Incapaz de manejarse sin ayuda mayor.

TRASLADO AL SILLON/CAMA:

- (15) Independiente. No precisa ayuda.
- (10) Mínima ayuda. Incluye supervisión verbal o pequeña ayuda física.
- (5) Gran ayuda. Precisa la ayuda de una persona fuerte o entrenada.
- (0) Dependiente. Necesita grúa o alzamiento por dos personas. Incapaz de permanecer sentado.

DEAMBULACION:

- (15) Independiente. Puede andar 50 m, o su equivalente en casa, sin ayuda o supervisión de otra persona. Puede usar ayudas instrumentales (bastón, muleta), excepto andador. Si utiliza prótesis, debe ser capaz de ponérsela y quitársela solo.
- (10) Necesita ayuda. Necesita supervisión o una pequeña ayuda física por parte de otra persona. Precisa utilizar andador.
- (5) Independiente. (En silla de ruedas) en 50 m. No requiere ayuda o supervisión.
- (0) Dependiente.

SUBIR / BAJAR ESCALERAS:

- (10) Independiente. Capaz de subir y bajar un piso sin la ayuda ni supervisión de otra persona.
- (5) Necesita ayuda. Precisa ayuda o supervisión.
- (0) Dependiente. Incapaz de salvar escalones

Evalúa diez actividades básicas de la vida diaria, y según estas puntuaciones clasifica a los pacientes en:

- 1- Independiente: 100 pts (95 sí permanece en silla de ruedas).
- 2- Dependiente leve: >60 pts.
- 3- Dependiente moderado: 40-55 pts.
- 4- Dependiente grave: 20-35 pts.
- 5- Dependiente total: <20 pts.

Índice de Katz de independencia en las actividades de la vida diaria

A. Independiente en alimentación, continencia, movilidad, uso del retrete, vestirse y bañarse.

B. Independiente para todas las funciones anteriores excepto una.

C. Independiente para todas excepto bañarse y otra función adicional.

D. Independiente para todas excepto bañarse, vestirse y otra función adicional.

E. Independiente para todas excepto bañarse, vestirse, uso del retrete y otra función adicional.

F. Independiente para todas excepto bañarse, vestirse, uso del retrete, movilidad y otra función adicional.

G. Dependiente en las seis funciones.

H. Dependiente en al menos dos funciones, pero no clasificable como **C, D, E o F**.

Independiente significa sin supervisión, dirección o ayuda personal activa, con las excepciones que se indican más abajo. Se basan en el estado actual y no en la capacidad de hacerlas. Se considera que un paciente que se niega a realizar una función no hace esa función, aunque se le considere capaz.

Bañarse (con esponja, ducha o bañera):

Independiente: necesita ayuda para lavarse una sola parte (como la espalda o una extremidad incapacitada) o se baña completamente sin ayuda.

Dependiente: necesita ayuda para lavarse más de una parte del cuerpo, para salir o entrar en la bañera, o no se lava solo.

Vestirse:

Independiente: coge la ropa solo, se la pone, se pone adornos y abrigos y usa cremalleras (se excluye el atarse los zapatos).

Dependiente: no se viste solo o permanece vestido parcialmente.

Usar el retrete:

Independiente: accede al retrete, entra y sale de él, se limpia los órganos excretores y se arregla la ropa (puede usar o no soportes mecánicos).

Dependiente: usa orinal o cuña o precisa ayuda para acceder al retrete y utilizarlo.

Movilidad:

Independiente: entra y sale de la cama y se sienta y levanta de la silla solo (puede usar o no soportes mecánicos).

Dependiente: precisa de ayuda para utilizar la cama y/o la silla; no realiza uno o más desplazamientos.

Continencia:

Independiente: control completo de micción y defecación.

Dependiente: incontinencia urinaria o fecal parcial o total.

Alimentación:

Independiente: lleva la comida desde el plato o su equivalente a la boca (se excluyen cortar la carne y untar la mantequilla o similar).

Dependiente: precisa ayuda para la acción de alimentarse, o necesita de alimentación enteral o parenteral.

El resultado se informa mediante la letra adecuada, por ejemplo: **Índice de Katz: C.**

A.1 Escalas cognitivas y funcionales

Escala de actividades instrumentales de la vida diaria

Escala de Lawton y Brody

ASPECTO A EVALUAR	Puntuación
Puntuación total:	
CAPACIDAD PARA USAR EL TELÉFONO:	
- Utiliza el teléfono por iniciativa propia	1
- Es capaz de marcar bien algunos números familiares	1
- Es capaz de contestar al teléfono, pero no de marcar	1
- No es capaz de usar el teléfono	0
HACER COMPRAS:	
- Realiza todas las compras necesarias independientemente	1
- Realiza independientemente pequeñas compras	0
- Necesita ir acompañado para hacer cualquier compra	0
- Totalmente incapaz de comprar	0
PREPARACIÓN DE LA COMIDA:	
- Organiza, prepara y sirve las comidas por sí solo adecuadamente	1
- Prepara adecuadamente las comidas si se le proporcionan los ingredientes	0
- Prepara, calienta y sirve las comidas, pero no sigue una dieta adecuada	0
- Necesita que le preparen y sirvan las comidas	0
CUIDADO DE LA CASA:	
- Mantiene la casa solo o con ayuda ocasional (para trabajos pesados)	1
- Realiza tareas ligeras, como lavar los platos o hacer las camas	1
- Realiza tareas ligeras, pero no puede mantener un adecuado nivel de limpieza	1
- Necesita ayuda en todas las labores de la casa	1
- No participa en ninguna labor de la casa	0
LAVADO DE LA ROPA:	
- Lava por sí solo toda su ropa	1
- Lava por sí solo pequeñas prendas	1
- Todo el lavado de ropa debe ser realizado por otro	0
USO DE MEDIOS DE TRANSPORTE:	
- Viaja solo en transporte público o conduce su propio coche	1
- Es capaz de coger un taxi, pero no usa otro medio de transporte	1
- Viaja en transporte público cuando va acompañado por otra persona	1
- Sólo utiliza el taxi o el automóvil con ayuda de otros	0
- No viaja	0
RESPONSABILIDAD RESPECTO A SU MEDICACIÓN:	
- Es capaz de tomar su medicación a la hora y con la dosis correcta	1
- Toma su medicación si la dosis le es preparada previamente	0
- No es capaz de administrarse su medicación	0
MANEJO DE SUS ASUNTOS ECONÓMICOS:	

Escala de Lawton y Brody	
ASPECTO A EVALUAR	Puntuación
- Se encarga de sus asuntos económicos por sí solo	1
- Realiza las compras de cada día, pero necesita ayuda en las grandes compras, bancos...	1
- Incapaz de manejar dinero	0

La información se obtendrá de un cuidador fidedigno. Se puntúa cada área conforme a la descripción que mejor se corresponda con el sujeto. Por tanto, cada área puntúa un máximo de **1 punto** y un mínimo de **0 puntos**. La máxima dependencia estaría marcada por la obtención de **0 puntos**, mientras que una suma de **8 puntos** expresaría una independencia total.

Esta escala es más útil en mujeres, ya que muchos varones nunca han realizado algunas de las actividades que se evalúan

ESCALA DE TINETTI

Evaluación de la marcha y el equilibrio

1. MARCHA Instrucciones: El paciente permanece de pie con el examinador, camina por el pasillo o por la habitación (unos 8 metros) a "paso normal" luego regresa a "paso ligero pero seguro".	
1. Iniciación de la marcha (inmediatamente después de decir que ande).	
- Algunas vacilaciones o múltiples para empezar.....	0
- No vacila.....	1
2. Longitud y altura de peso	
a) Movimiento del pie derecho	
- No sobrepasa el pie izquierdo con el paso.....	0
- Sobrepasa el pie izquierdo.....	1
- El pie derecho no se separa completamente del suelo con el peso.....	0
- El pie derecho se separa completamente del suelo.....	1
b) Movimiento del pie izquierdo	
- No sobrepasa el pie derecho con el paso.....	0
- Sobrepasa al pie derecho.....	1
- El pie izquierdo no se separa completamente del suelo con el peso.....	0
- El pie izquierdo se separa completamente del suelo.....	1
3. Simetría del paso	
- La longitud de los pasos con los pies derecho e izquierdo no es igual.....	0
- La longitud parece igual.....	1
4. Fluidez del paso	
- Paradas entre los pasos.....	0
- Los pasos parecen continuos.....	1
5. Trayectoria (observar el trazado que realiza uno de los pies durante unos 3 metros)	
- Desviación grave de la trayectoria.....	0
- Leve/moderada desviación o uso de ayudas para mantener la trayectoria.....	1
- Sin desviación o ayudas.....	2
6. Tronco	
- Balanceo marcado o uso de ayudas.....	0
- No se balancea pero flexiona las rodillas o la espalda o separa los brazos al caminar.....	1
- No se balancea, no se reflexiona, ni otras ayudas.....	2
7. Postura al caminar	
- Talones separados.....	0
- Talones casi juntos al caminar.....	1
- Puntuación Marcha: 12 Puntuación Total: 28	

2. EQUILIBRIO Instrucciones: El paciente está sentado en una silla dura sin apoyabrazos. Se realizan las siguientes maniobras:	
1.-Equilibrio sentado	
- Se inclina o se desliza en la silla.....	0
- Se mantiene seguro.....	1
2. Levantarse	
- Imposible sin ayuda.....	0
- Capaz, pero usa los brazos para ayudarse.....	1
- Capaz de levantarse de un solo intento.....	2
3. Intentos para levantarse	
- Incapaz sin ayuda.....	0
- Capaz pero necesita mas de un intento.....	1
- Capaz de levantarse de un solo intento.....	2
4. Equilibrio en bipedestación inmediata (los primeros 5 segundos)	
- Inestable (se tambalea, mueve los pies), marcado balanceo del tronco.....	0
- Estable pero usa el andador, bastón o se agarra u otro objeto para mantenerse.....	1
- Estable sin andador, bastón u otros soportes.....	2
5. Equilibrio en bipedestación	
- Inestable.....	0
- Estable, pero con apoyo amplio (talones separados más de 10 cm) o usa bastón u otro	

soporte.....	1
- Apoyo estrecho sin soporte.....	2
6. Empujar (el paciente en bipedestación con el tronco erecto y los pies tan juntos como sea posible). El examinador empuja suavemente en el esternón del paciente con la palma de la mano, tres veces.	
- Empieza a caerse.....	0
- Se tambalea, se agarra pero se mantiene.....	1
- Estable.....	2
7. Ojos cerrados (en la posición 6)	
- Inestable.....	0
- - Estable.....	1
8. Vuelta de 360 grados	
- Pasos discontinuos.....	0
- Continuos.....	1
- Inestable (se tambalea, se agarra).....	0
- Estable.....	1
9. Sentarse	
- Inseguro, calcula mal la distancia, cae en la silla.....	0
- Usa los brazos o el movimiento es brusco.....	1
- Seguro, movimiento suave.....	2
- PUNTUACIÓN EQUILIBRIO: 16	

Escala de incapacidad de la Cruz Roja

Esta escala (desarrollada en el Hospital Central de la Cruz Roja de Madrid) destaca por la facilidad de su aplicación, por lo que es muy práctica. De uso habitual en centros geriátricos en España, se compone de dos subescalas: física y mental. Califica en forma de estadios o grados de incapacidad, desde el "0" (normalidad) hasta el "5" (máximo grado de deterioro).

Grados de incapacidad mental

Grado 0:

Completamente normal.

Grado 1:

Presenta trastornos de la memoria, pero puede mantener una conversación normal.

Grado 2:

Ciertas alteraciones de la memoria, y a veces de la orientación.

La conversación razonada es posible pero imperfecta.

Trastornos del carácter.

Algunas dificultades en el autocuidado.

Incontinencia ocasional.

Grado 3:

Alteraciones graves de memoria y orientación.

Imposible mantener una conversación coherente.

Trastornos evidentes del comportamiento.

Graves dificultades para el autocuidado.

Incontinencia frecuente.

Grado 4:

Desorientación completa.

Claras alteraciones mentales, ya etiquetadas de demencia.

Incontinencia habitual.

Grado 5:

Demencia avanzada.

Vida vegetativa con o sin episodios de agitación.

Incontinencia total.

A.1 Escalas cognitivas y funcionales

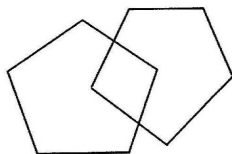
HOSPITAL NACIONAL DE GERIATRIA Y GERONTOLOGIA
HOSPITAL DE DIA

PROTOCOLO PRUEBA CORTA DE DESEMPEÑO FÍSICO Y ESCALA DE EDMONTON DE FRAGILIDAD

Nombre _____ Fecha _____
Expediente _____ Médico _____

ITEM	DESCRIPCIÓN	PTS
PENTÁGONOS	5 lados iguales en cada pentágono que se intersecan creando figura de 4 lados.	0
	5 lados desiguales (2:1) en cada pentágono pero se intersecan creando figura 4 lados.	1
	Las figuras no tienen 5 lados, no hay intersección o se crean una figura sin 4 lados.	2
Deletree la palabra "MUNDO" al revés.	0 errores	0
	1 error	1
	2 errores	2
	3 errores	3
¿Cómo diría que ha estado su salud últimamente?	Bien, muy bien	0
	Regular	2
	Mala, muy mala	4
Escala de Lawton & Broddy	Dependiente en 0 a 1 actividad	0
	Dependiente en 2 a 4 actividades	1
	Dependiente en 5 o más actividades	2
"La gente usualmente tiene 1 o más personas que las ayudan y las cuidan. ¿Tiene usted a alguien así en su vida?"	Sí	0
	No sé	1
	No	2
Número de medicamentos que tiene prescritos	Menos de 5	0
	5 o más	1
¿Tiene problemas para manejar pequeñas cantidades de dinero?	Muy leve o ninguno	0
	Gran dificultad	1
"En los últimos 6 meses el peso ha..."	Aumentado o mantenido	0
	Disminuído	1
¿Se ha sentido desanimado o triste últimamente?	No	0
	Sí	1
¿Se orina o se defeca en la ropa?	No, u Ocasionalmente	0
	Frecuentemente o incontinencia doble	1
"Levántese y Camine Minutado" Tiempo: ____ seg.	0-10 seg.	0
	11-20 seg	1
	>20 seg.	2
PUNTAJE TOTAL		/20

Autorizado por Darryl B. Rolfson, MD y Jack Guralnick M.D. / Adaptado por el Dr. Fernando Coto Yglesias



Prueba de Balance

Pruebas de Balance



Posición Paralela
Pies juntos paralelos por 10 seg

10 seg (1 pt)



Posición Semi-Tandem
El talón de un pie contra el lado del dedo grande del otro pie por 10 seg

10 seg (+1 pt)



Posición Tandem
Pies alineados, el talón con el dedo grande por 10 seg

10 seg (+2 pt)
3-9.99 seg (+1 pt)
<3 seg (+0 pt)

Puntuación

_____ pts

_____ pts

_____ pts

Prueba Levantarse de la Silla



Pre-prueba
Los participantes doblan sus brazos contra su pecho y tratan de ponerse de pie una vez desde su silla.

↓ Capaz

5 repeticiones
Mide el tiempo requerido para desarrollar cinco levantadas desde una silla hasta una posición erguida tan rápido como sea posible, sin el uso de sus brazos.

No pudo

→ Pare (0 pt)



≤11.19 seg 4 pt
11.20-13.69 seg 3 pt
13.70-16.69 seg 2 pt
>16.7 seg 1 pt
> 60 seg o No pudo 0 pt

_____ pts

Velocidad de la Marcha (6m)

Tiempo total (seg):	Resultado (m/seg)
---------------------	-------------------

Si el tiempo es mayor de 13.04 seg 1 pt
Si el tiempo es 9.32 a 13.04 seg 2 pt
Si el tiempo es 7.24 a 9.32 seg 3 pt
Si el tiempo es menor a 7.24 seg 4 pt

_____ pts

Puntaje Global

Balance: ()


Levantarse Silla: ()

Velocidad Marcha: ()


TOTAL: _____ pts

A.2. Muestra de análisis clínico

1 de 3


Hospital [redacted]

INFORME DE LABORATORIO


Paciente: [redacted]

N.H.C: [redacted]
Nº Laboratorio: [redacted]

Procedencia: RESIDENCIA GREGORIO MARAÑÓN
F. Extracción: 21/Mar/2012

Servicio (GFH): [redacted]
Cama: [redacted]

Doctor: [redacted]

Hematología


Hemograma

Prueba	Resultado	Unidades		Valores de referencia
LEUCOCITOS	3.5	miles/mcL		B (4 - 10)
Segmentados	2.2	miles/mcL	63.2 %	(1.3 - 7.5)
Linfocitos	1	miles/mcL	29.4 %	B (1.5 - 7)
Monocitos	0.2	miles/mcL	4.6 %	(0.08 - 1.2)
Eosinófilos	0.1	miles/mcL	2.3 %	(Inf. 0.6)
Basófilos	0	miles/mcL	0.5 %	(Inf. 0.3)
HEMATIES	4.33	mill./mcL		(4 - 5.5)
Hemoglobina	13.5	g/dl		(12 - 16)
Hematocrito	39.1	%		(37 - 48)
VCM	90.2	fl		(80 - 99)
HCM	31.2	pg		(26 - 34)
CHCM	34.6	gr/dl		(32 - 36)
ADE	13.7	%		(11.5 - 19)
PLAQUETAS	122	miles/mcL		B (150 - 400)
VPM	9.9	fl		(7 - 13)
Plaquetocrito	0.121	%		(0.12 - 0.5)
ADP	16.1	%		(12 - 20)
VSG (1ª hora)			14 mm	(1 - 20)

Fdo: [redacted]

Modelo de análisis clínico (1 de 3)

2 de 3


Hospital [redacted]

INFORME DE LABORATORIO

Paciente: [redacted]

N.H.C: [redacted]

Procedencia: RESIDENCIA GREGORIO MARAÑON

Servicio (GFH): [redacted]

Doctor: [redacted]

Nº Laboratorio: [redacted]

F. Extracción: 21/Mar/2012

Cama: [redacted]


Bioquímica - Hormonas

Bioquímica General


Prueba	Resultado	Unidades	Valores de referencia
Glucosa	87	mg/dL	(74 - 106)
Estudio de urea			
No procede estudio de urea			
Creatinina	0.87	mg/dl	(0.5 - 1.1)
Ac. Urico	3.9	mg/dl	(2.6 - 6.0)
Bilirrubina Total	0.5	mg/dL	(0.3 - 1.2)
Proteínas Totales	6	g/dL	B (6.4 - 8.3)
Albumina en Suero	3.9	g/dL	(3.4 - 4.8)
Colesterol	163	mg/dL	(50 - 240)
**Nivel recomendado de colesterol (NCEP) < 200 mg/dl.			
Triglicéridos	153	mg/dL	(50 - 200)
HDL-Colesterol	46	mg/dl	(40 - 60)
LDL-Colesterol calculado	86	mg/dL	(65 - 175)
Aspartato aminotransferasa (AST/GOT)	77	UI/L	A (6 - 31)
Alanina aminotransferasa (ALT/GPT)	68	UI/L	A (7 - 40)
Amilasa	197	UI/L	A (20 - 110)
Fosfatasa Alcalina	98	UI/L	(25 - 100)
Sodio	143	mmol/L	(136 - 145)
Potasio	3.4	mmol/l	B (3.5 - 5.1)
Cloro	101	mmol/l	(98 - 107)
Calcio	8.7	mg/dl	(8.7 - 10.4)
Fósforo	2.2	mg/dl	B (2.7 - 4.5)

Modelo de análisis clínico (2 de 3)

3 de 3

 Hospital

INFORME DE LABORATORIO

 Paciente:

N.H.C.: N°Laboratorio:

Procedencia: RESIDENCIA GREGORIO MARAÑÓN F. Extracción: 21/Mar/2012

Servicio (GFH): Cama:

Doctor:

Bioquímica Anemias

Prueba	Resultado	Unidades	Valores de referencia
Hierro	49	mcg/dL	B (50 - 170)
Ferritina	636.5	ng/ml	A (10 - 120)

Estudio bioquímico de anemia megaloblástica
 No procede el estudio bioquímico de anemia megaloblástica

Fdo:


Fecha: 22/Mar/2012 - Hora: 11:31:55


Modelo de análisis clínico (3 de 3)

A.3. Hoja de especificación SMB380 Bosch Sensortech

SMB380

Triaxial acceleration sensor

Bosch Sensortec




Invented for life

General description

The SMB380 is a triaxial low-g acceleration sensor with digital output for consumer market applications. It allows measurements of accelerations in perpendicular axes. An evaluation circuitry converts the output of a three-channel micromechanical acceleration-sensing structure that works according to the differential capacitance principle.

The SMB380 package and interface have been defined to match a multitude of hardware requirements. Since the sensor has small footprint and flat package it is attractive for mobile applications. The sensor can be programmed to optimize functionality, performance and power consumption in customer specific applications.

The SMB380 senses tilt, motion and shock vibration in cell phones, handhelds, computer peripherals, man-machine interfaces, virtual reality features and game controllers.

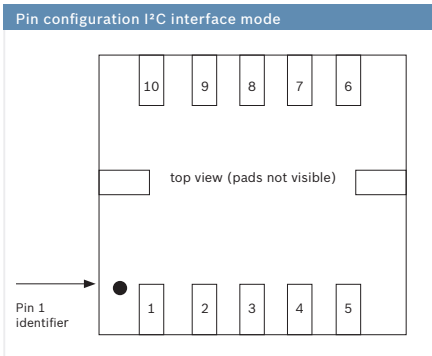
Key features SMB380

- ▶ Switchable g-range and bandwidth
- ▶ Very low power
- ▶ SPI (3-wire/4-wire) / I²C interface
- ▶ Programmable interrupt feature for mobile wake-up or free-fall detection
- ▶ Ultra-low-power self-wake-up mode
- ▶ Self-test capability
- ▶ Absolute temperature output
- ▶ QFN package (footprint 3 mm x 3 mm, height 0.9 mm)
- ▶ RoHS compliant

Applications based on low-g sensing

- ▶ Advanced system power management for mobile applications
- ▶ HDD protection
- ▶ Drop protection for warranty logging
- ▶ Menu scrolling, tip-tap function
- ▶ Pedometer, step-counting
- ▶ Display profile switching
- ▶ Shock detection
- ▶ Gaming

Technical data	SMB380
Sensitivity axes	x/y/z
Measurement range	±2 g, ±4 g, ±8 g (switchable via SPI/I ² C)
Sensitivity (calibrated)	2 g: 256 LSB/g 4 g: 128 LSB/g 8 g: 64 LSB/g
Resolution	10 bit → 4 mg (±2 g range)
Nonlinearity	±0.5% FS
Axes mixing (max.)	2%
Zero-g-offset (calibrated)	±60 mg
Zero-g-offset temperature drift	1 mg/K
Noise	0.5 mg/√Hz
Bandwidth	25 Hz ... 1500 Hz (switchable via SPI/I ² C)
Digital input / output	SPI & I ² C, Interrupt pin
Supply voltage	2.4 ... 3.6 V, 1.62 ... 3.6 V IO
Current consumption	200 μA
Idle current	1 μA
Wake-up time	1 ms
Temperature range	-40°C ... +85°C



Pin No.	Name	Function
1	DNC	Do not connect
2	V _{DD}	Analog power supply
3	GND	Ground
4	INT	Interrupt
5	CSB	Chip select
6	SCK	Serial clock
7	SDO	Serial data output
8	SDI	Serial data in/out
9	V _{DDIO}	Digital interface power supply
10	DNC	Do not connect

Sensor operation

The function and performance of SMB380 can be tailored to customer specific applications by means of parameter and control settings.

The SMB380 provides a digital 10 bit output signal in SPI/I²C format. Via serial interface command the full measurement range can be chosen to ±2 g, ±4 g or ±8 g. A second-order filter with a pole-frequency of 1500Hz is included to provide preconditioning

of the measured acceleration signal. The maximum data conversion rate is 3kHz.

Additional digital filtering is possible to improve S/N ratio (down to 25 Hz bandwidth). Typical noise level and quantization lead to a resolution of 4 mg. The current consumption is typically 200 µA at a supply voltage of 2.5V. In addition there are several features implemented to support the host system in reducing power consumption.

Parallel to normal operation where acceleration values are provided to the output registers the SMB380 is capable to perform internal computations of the results. The customer is enabled to define specific criteria, e.g. high-g or low-g thresholds but also criteria for the recognition of smooth motion profiles. The sensor can inform the host system about the violation of one of these criteria via an interrupt pin. This feature can be used for many purposes, e.g. to wake-up the host system from a global sleep mode, to signalise a shock situation or to indicate free fall.

The SMB380 sensor also features self-test capability. Thus, it enables testing of the complete signal evaluation path including the micromachined sensor structure and the evaluation ASIC.

The sensor is available in a standard SMD QFN package with a footprint of 3mm x 3mm and a height of 0.9mm.

A sensor version with an LGA type package of the same dimensions is also available.

The SMB380 offers this high experience and reliability for consumer applications. Please contact us for further details. We are happy to provide you with more information.

**Headquarters
Bosch Sensortec GmbH**

Gerhard-Kindler-Strasse 8
72770 Reutlingen · Germany
Telephone +49 7121 3535 900
Fax +49 7121 3535 909
contact@bosch-sensortec.com
www.bosch-sensortec.com

A.4. Cuestionario evaluación aplicación móvil

Modelo de cuestionario para la evaluación de la aplicación *Frailty Mobile System*

Fecha: _____

Edad del usuario: _____

¿Es usted médico? Sí No Indique la especialidad: _____

El cuestionario presentado a continuación debe ser rellenado por el usuario tras el uso de la aplicación móvil. El usuario deberá responder a cada cuestión en un rango de 1 (muy en desacuerdo) a 5 (muy de acuerdo), con posibilidad de contestar *NS* si no sabe o no quiere responder. Se ha estimado un tiempo de 30 minutos para completar el formulario.

Cuestiones según dominio	Valoración					NS
	1	2	3	4	5	
Usabilidad percibida						
1. Es fácil aprender a manejar la aplicación						
2. Es fácil dominar la aplicación cuando se aprende su funcionamiento						
3. La navegación por la aplicación es simple y sencilla						
4. No se han observado errores durante su funcionamiento						
5. Es suficientemente ágil en la obtención de datos y cálculo de resultados						
6. Cuenta con las funcionalidades necesarias/útiles						
Adecuación a las capacidades del dispositivo						
7. El dispositivo es apropiado para manejar la aplicación						
8. El tamaño de la pantalla es adecuado						
9. El dispositivo se usa bien con una mano						
10. Resulta adecuado para su uso en movimiento						
11. Permite la entrada de información de una manera sencilla						
Productividad percibida en las tareas						
12. La selección y creación de instancias de pacientes es sencilla y eficiente						
13. El acceso a los datos clínicos del paciente se presenta de manera correcta						
14. El proceso de colocación del dispositivo en el paciente y análisis del movimiento es intuitivo						
15. La modificación de pesos de las variables de fragilidad se hace de forma eficiente e intuitiva						
16. El cálculo y obtención de los resultados de afinidad se presenta de forma eficiente y comprensible						
17. El uso de la aplicación ayuda a la toma de decisiones diagnósticas, mejorando la productividad del profesional						
18. La comunicación con los servicios de obtención de datos y generación de resultados es adecuada y ágil						
19. La configuración de los parámetros de fragilidad y de la propia aplicación es de fácil edición y acceso						