



FRAGILESS: Videojuego 3D con Adaptación Dinámica de la  
Dificultad para Retrasar y/o Disminuir el Grado de Fragilidad  
en Personas Mayores

Trabajo Fin de Máster  
Máster en Inteligencia Artificial Avanzada

Autor: Zelai Sáenz de Urturi

Directora: Dra. Olga C. Santos Martín

Departamento de Inteligencia Artificial  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática  
Universidad Nacional de Educación a Distancia  
Madrid, septiembre 2018

## RESUMEN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), existen 605 millones de personas de más de 60 años en todo el mundo, y se prevé que esta cantidad aumentará durante las próximas décadas. En concreto, se estiman 1.200 millones de personas mayores para el año 2025 y además dos de cada tres vivirán en países en desarrollo

El envejecimiento humano es un proceso propio que involucra la pérdida progresiva de las capacidades físicas y cognitivas, y es precisamente mantener la independencia funcional lo que ha sido y seguirá siendo una de las metas más ambiciosas de la geriatría.

Sin embargo, existe una gran falta de información y conocimiento en relación con las personas mayores. En concreto, hay un sector de la población que se encuentra al borde del deterioro, justo en el límite, es lo que desde los años 70 se denomina anciano frágil. Desde entonces, muchas estrategias han sido planteadas con el objetivo de atender a este grupo de ancianos, pero lamentablemente, aún no se ha conseguido crear el marco conceptual del anciano frágil.

Debido a la gran importancia que tiene el sector de la salud y con especial interés, el envejecimiento, FRAGILESS pretende aportar una nueva solución tecnológica basada en Inteligencia Artificial y orientada especialmente al colectivo de personas mayores con fragilidad.

En concreto, FRAGILESS, es un sistema de rehabilitación desarrollado a través del ocio y que está al alcance de cualquier usuario, que tiene el objetivo de disminuir y/o retrasar su grado de fragilidad. Para ello, se han implementado ejercicios físicos en forma de juego, que han sido especificados por fisioterapeutas expertos y validado por usuarios, para conseguir un buen sistema de rehabilitación. Para saber qué ejercicios está realizando el usuario, el sistema incluye un sensor de movimiento para detectar todos y cada uno de los movimientos realizados.

Además, la herramienta implementa ajustes dinámicos de dificultad (a través de la resolución de problemas de satisfacción de restricciones), con el objetivo de adaptar cada sesión a cada participante, de forma que no sea ni demasiado aburrida ni demasiado difícil, creando sesiones adaptadas e individualizadas y ofreciendo a todas las personas mayores una experiencia atractiva.

Asimismo, FRAGILESS ha sido validado a través de un estudio realizado con ancianos institucionalizados durante un mes, obteniendo resultados muy similares en comparación con las personas mayores que realizan rehabilitación en el gimnasio.

A pesar de haber obtenido buenos resultados, pueden añadirse numerosas mejoras a la herramienta, haciendo de esta un sistema mejorado que se adapte mejor al usuario.

# TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	5
1.1	FRAGILIDAD.....	5
1.1.1	ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL DEL CONCEPTO .....	5
1.1.2	DEFINICIÓN.....	6
1.1.3	PREVALENCIA DE FRAGILIDAD EN MAYORES.....	7
1.1.4	DIAGNÓSTICO DE FRAGILIDAD .....	7
1.1.5	PREVENCIÓN DEL DETERIORO FUNCIONAL Y LA FRAGILIDAD .....	8
1.2	MOTIVACIÓN.....	9
1.3	HIPÓTESIS Y OBJETIVOS .....	10
1.4	METODOLOGÍA.....	11
1.5	ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO .....	11
2.	REVISIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA.....	12
2.1	ÍNDICES E INSTRUMENTOS DE VALORACIÓN Y MEDIDA DE LA FRAGILIDAD.....	12
2.1.1	ÍNDICES BASADOS EN CUESTIONARIOS.....	12
2.1.2	ÍNDICES BASADOS EN PRUEBAS DE EJECUCIÓN.....	14
2.2	SOLUCIONES TECNOLÓGICAS EN LAS ÁREAS DE INVESTIGACIÓN SOBRE FAGILIDAD.....	15
2.2.1	ÁREA: DIAGNÓSTICO.....	16
2.2.2	ÁREA: PREVENCIÓN .....	21
2.2.3	ÁREA: ASISTENCIA.....	24
2.2.4	ÁREA: TRATAMIENTO .....	27
2.2.5	RESUMEN .....	31
2.3	SENSORES Y VIDEOJUEGOS.....	38
2.3.1	SENSORES ÓPTICOS.....	38
2.3.2	VIDEOJUEGOS.....	42
2.4	AJUSTE DINÁMICO DE DIFICULTAD (DDA).....	43
2.4.1	TEORÍA DEL FLUJO (THEORY OF FLOW).....	44
2.4.2	TIPOS DE DDA .....	45
3.	DISEÑO.....	51
3.1	DISEÑO CENTRADO EN EL USUARIO.....	51
3.2	IMPLEMENTACIÓN DEL JUEGO .....	52
3.3	AJUSTE DINÁMICO DE DIFICULTAD .....	59
3.3.1	COMPONENTES DEL DDA .....	59
3.3.2	IMPLEMENTACIÓN .....	63

3.4	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	65
4.	RESULTADOS .....	68
4.1	RESULTADOS CUESTIONARIO: DISEÑO DE EJERCICIOS .....	68
4.2	RESULTADOS SPPB: PRIMERA EVALUACIÓN .....	69
4.3	RESULTADOS SPPB: SEGUNDA EVALUACIÓN.....	71
5.	CONCLUSIONES .....	73
6.	LÍNEAS FUTURAS .....	74
7.	ANEXOS.....	75
7.1	CUESTIONARIO VALIDACIÓN DISEÑO EJERCICIOS .....	76
7.2	CONSENTIMIENTO INFORMADO.....	79
7.3	ÍNDICE DE BARTHEL .....	81
7.4	SHORT PHYSICAL PERFORMANCE BATTERY (SPPB) .....	83
7.5	MANUAL DE USUARIO.....	86
7.5.1	REQUISITOS PREVIOS.....	86
7.5.2	PANTALLA DE INICIO .....	86
7.5.3	SELECCIÓN DE PERSONAJES .....	87
7.5.4	FRAGILESS .....	87
8.	REFERENCIAS .....	92
9.	GLOSARIO.....	102

## TABLA DE CONTENIDO: ILUSTRACIONES

Figura 1: Imagen que muestra el juego, tomada de (Zavala-Ibarra & Favela, 2012) ...	17
Figura 2 :Interfaces de los tres juegos (tomada de Szturm et al.) .....	28
Figura 3: Juego 'Your Shape Fitness Evolved' (tomada de Kim et al.) .....	29
Figura 4: Wiimote.....	39
Figura 5: Sensor Microsoft Kinect 2.0 .....	39
Figura 6: Articulaciones del esqueleto .....	40
Figura 7: Cámara Intel Real Sense SR300 .....	41
Figura 8: Teoría del Flujo.....	44
Figura 9: Esquema de los componentes del sistema (por Pfeifer, 2003).....	48
Figura 10: Mapeo de los joints de la SDK al modelo del personaje 3D .....	53
Figura 11: Escena de calibración.....	55
Figura 12: Modelos 3D de los personajes del juego.....	55
Figura 13: Objeto que implica una transferencia de carga .....	56
Figura 14: Objeto que implica agacharse y levantarse.....	57
Figura 15: Elevación de brazos.....	57
Figura 16: Circunducción de hombros .....	58
Figura 17: Señal de aviso .....	58
Figura 18: Ejemplo de camino de juego dividido en 3 segmentos. ....	59
Figura 19: Esquema de los componentes del DDA.....	60
Figura 20: Distancia a la que debe situarse el jugador.....	67
Figura 21: Resultados SPPB primera evaluación.....	70
Figura 22: Gráfico comparativo entre el estudio Semana 2 y Semana 6 .....	71
Figura 23: Menú Inicio .....	86
Figura 24: Piedras .....	87
Figura 25: Tiempo restante, puntuación y barra de vida. ....	87
Figura 26: Ramas altas.....	88
Figura 27: Troncos.....	88
Figura 28: Ramas con objetos .....	89
Figura 29: Movimiento homolateral.....	89
Figura 30: Movimiento contralateral.....	90
Figura 31: Espiral de monedas .....	90
Figura 32: Panel de puntuaciones finales .....	91

## TABLA DE CONTENIDO: TABLAS

Tabla 1: Trabajos de investigación analizados.....	37
Tabla 2: Numeración de las articulaciones detectadas por Kinect.....	40
Tabla 3: Resultados obtenidos del cuestionario de diseño de ejercicios .....	68
Tabla 4: Resultados tras el primer cribado de fragilidad en la semana 0 del estudio... 70	

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 FRAGILIDAD

En este apartado se presenta el concepto de fragilidad sobre el que se centra la investigación realizada, y se introduce la misma, presentando su motivación, hipótesis y objetivos, y metodología seguida. Se termina describiendo la estructura de esta memoria.

### 1.1.1 ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL DEL CONCEPTO

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), existen 605 millones de personas de más de 60 años en todo el mundo, y se prevé que esta cantidad aumentará durante las próximas décadas. En concreto, se estiman 1.200 millones de personas mayores para el año 2025 y además dos de cada tres vivirán en países en desarrollo (OMS, 2001).

En España, el porcentaje de población mayor de 65 años es de 18.4%, que pasará a ser un 34.6% en 2066. Asimismo, según los datos de Padrón Continuo del Instituto Nacional de Estadística, la esperanza de vida en España alcanzaría los 79.9 años en los varones y los 85.4 años en las mujeres en 2029, lo que supone una ganancia respecto a los valores actuales de 4.0 y de 3.0 años, respectivamente (Abellán García, Ayala García & Pujol Rodríguez, 2017).

El envejecimiento humano es un proceso propio que involucra la pérdida progresiva de las capacidades físicas y cognitivas, y es precisamente mantener la independencia funcional lo que ha sido y seguirá siendo una de las metas más ambiciosas de la geriatría.

Sin embargo, existe una gran falta de información y conocimiento en relación con las personas mayores. En concreto, hay un sector de la población que se encuentra al borde del deterioro, justo en el límite, es lo que desde los años 70 se denomina anciano frágil. Desde entonces, muchas estrategias han sido planteadas con el objetivo de atender a este grupo de ancianos, pero lamentablemente, aún no se ha conseguido crear el marco conceptual del anciano frágil. Además, no existen suficientes evaluaciones sobre dichas estrategias y hay escasa información sobre las herramientas y las escalas de evaluación de la fragilidad, por lo que se desconoce si el uso de dichas herramientas para el diagnóstico es efectivo.

Asimismo, el hecho de no existir un consenso sobre la definición de frágil (siendo denominados ancianos débiles, vulnerables, incapaces o en riesgo), hace imposible plantear soluciones adecuadas sin saber lo que los profesionales sanitarios entienden por fragilidad. Llegar a obtener un consenso sobre este concepto podría ayudar a evitar su deterioro, pues podrían plantearse nuevas medidas preventivas y actuaciones dirigidas a promover su independencia.

Autores como Carlos Gil et al. (2009) indican que, si se obtienen herramientas de diagnóstico o indicadores de riesgo, se podrían realizar prevenciones primarias del deterioro producido por la edad hasta en el 50% de los ancianos.

Por tanto, identificar causas, factores de riesgo, marcadores o predictores de fragilidad, puede ser útil en su diagnóstico, lo que supondría una mejora en la calidad asistencial y una creación de medidas preventivas, de diagnóstico y de rehabilitación adecuadas.

### 1.1.2 DEFINICIÓN

Durante muchos años, la investigación sobre la fragilidad seguía un ritmo lento debido a la ausencia de una definición válida. Es entonces cuando surgen dos grandes referencias en este campo:

- por un lado, el **modelo de Linda P. Fried** en 2001 (Fried et al., 2001), en el que define el fenotipo como situación de riesgo para desarrollar discapacidad y
- por otro, el **modelo de Kenneth Rockwood** (Rockwood et al., 2005), modelo de múltiples dominios que refiere que la fragilidad consiste en la adición de varias condiciones de salud que incluyen habilidad, síndromes geriátricos y medidas de discapacidad, con 70 ítems posteriormente agrupados en una escala jerárquica.

La más empleada y validada es la aplicación del fenotipo descrito por Linda P. Fried, en el estudio Cardiovascular Health Study, (que se detallará más adelante en el apartado 2.1). Esta definición considera que un sujeto es frágil si cumple tres o más criterios, pre-frágil si cumple uno o dos y no frágil si no cumple ninguno, y ha demostrado buena validez de criterio y constructo en diferentes cohortes de ancianos. Por orden decreciente de frecuencia, los ediles de fragilidad más permanentes en la comunidad son: la debilidad, lentitud, baja actividad, agotamiento y pérdida de peso. El criterio que se asoció con más intensidad al desarrollo incidente de fragilidad en sujetos no frágiles fue la pérdida de peso, seguido del agotamiento, debilidad, baja actividad y lentitud.

Sin embargo, en los últimos años el paradigma de la fragilidad en las personas mayores ha experimentado un crecimiento exponencial en la investigación y la práctica clínica, llegando a un consenso internacional reciente que define la fragilidad física como un importante «síndrome médico con múltiples causas y contribuyentes que se caracteriza por una disminución de fuerza, resistencia y función fisiológica que incrementa la vulnerabilidad individual para desarrollar mayor dependencia y/o muerte» (Morley et al., 2013).

Numerosos estudios han sugerido que la fragilidad es un predictor de deterioro funcional y de mortalidad (Graham et al., 2009; Wong et al., 2010; Vermeulen, Neyens, van Rossum, Spreeuwenberg, & de Witte, 2011).

Con el progresivo aumento de la población mayor se evidencian diferentes formas de llegar a la vejez: ***¿por qué algunas personas mayores pierden su autonomía y otros tienen un envejecimiento de calidad?***

La necesidad de explicar el peso de las enfermedades durante el envejecimiento y otras condiciones hace que se empieza a enfocar al anciano de forma más holística. El concepto de fragilidad con su continuo evolucionar, intenta explicar el proceso con evidencia científica.

Eventualmente la definición de paciente frágil solo podrá ser útil si podemos demostrar mediante estudios de promoción de la salud y de prevención que puede ser reversible,

o que sus consecuencias pueden ser modificadas o al menos, retrasadas (Martínez-Velilla & Romero-Ortuño, 2015).

### 1.1.3 PREVALENCIA DE FRAGILIDAD EN MAYORES

En el ámbito de la salud, se denomina prevalencia a la proporción de individuos de un grupo o una población que presentan una característica o evento determinado. Hay diferentes estudios que demuestran que conforme aumenta la edad aumenta significativamente la prevalencia de fragilidad, desde 3,2% a los 65 años, 16,3% a los 80 años y 23,1% a los 90 años de edad (Collard, Boter, Schoevers, & Oude Voshaar, 2012). A continuación, se analiza la prevalencia en la comunidad (i.e., comunidades urbanas o rurales) y en residencias.

#### *PREVALENCIA EN LA COMUNIDAD*

Resultados de diferentes estudios (Abizanda et al., 2013; Clegg et al., 2013) muestran que, de 61.000 mayores de 65 años de la comunidad, tienen una prevalencia de fragilidad del 10,7%, prevalencia que es mayor en mujeres y conforme se envejece, llegando a ser superior al 25% en mayores de 85 años. Otro dato no menos importante es la prevalencia de pre-fragilidad, es decir, el riesgo de convertirse en frágil en los dos años siguientes, que se encuentra alrededor del 40-50% de los mayores. La importancia de estas cifras tan llamativas sobre la fragilidad no radica en su elevada prevalencia (800.000 mayores frágiles en España y más de tres millones de pre-frágiles), sino en que es un factor de riesgo independiente de eventos adversos.

#### *PREVALENCIA EN RESIDENCIAS*

Hasta donde se ha podido averiguar, sólo se han encontrado dos investigaciones en España (Abizanda et al., 2011; Abejar, 2012), dos en Canadá (Rockwood, Abeysundera, & Mitnitski, 2007; Freiheit et al., 2011) y una en Polonia (Matusik et al., 2012) que incluyan en sus estudios a las personas institucionalizadas, con prevalencia de fragilidad entre 29,2% y 53,7%.

Uno de los pocos estudios realizados en España fue en Cuenca, donde la prevalencia encontrada fue 53,7% (60% en mujeres) en sus institucionalizados. Estudio que se midió utilizando el fenotipo de Fried (Abejar, 2012).

Los adultos mayores institucionalizados son una población heterogénea en las tasas de discapacidad, multimorbilidad, calidad de vida y la vulnerabilidad, por lo que las intervenciones en esta población deben ser individualizadas. La detección y el tratamiento de la fragilidad podrían ser de utilidad para prevenir la discapacidad, disminución de la movilidad, caídas y la mortalidad (Freiheit et al., 2011). Sin embargo, debido a los escasos estudios sobre la fragilidad especialmente diseñados para adultos mayores institucionalizados, muchas preguntas siguen sin resolverse (de Souto Barreto, Vellas, Morley, & Rolland, 2013).

### 1.1.4 DIAGNÓSTICO DE FRAGILIDAD

Como se ha comentado anteriormente, es difícil encontrar un consenso generalizado para la elaboración de criterios de fragilidad de una forma unificada, si bien es cierto,



que a raíz del segundo modelo basado en la teoría del acúmulo de déficits (índice de Rockwood) se construyeron distintos índices de fragilidad como el usado en el National Population Health Survey of Canada (Song, Mitnitski, & Rockwood, 2010), el utilizado en el Canadian Study of Health and Aging (CSHA) (Rockwood et al., 2005), o el elaborado a partir de una submuestra del CSHA usando la valoración geriátrica integral, denominada Comprehensive Geriatric Assessment – Index of Frailty (CGA-IF) (Davis, Rockwood, Mitnitski, & Rockwood, 2011). En los últimos años ha surgido un modelo unificador de dominios tanto de función física como dominios psicológicos (cognición y humor) y de rol social. Asimismo, se ha intentado elaborar diferentes constructos de fragilidad en base a criterios biológicos (Sanders et al., 2011), definiéndolo como un síndrome geriátrico (Bandeem-Roche et al., 2006) o evaluando el deterioro en distintas pruebas funcionales (Sternberg, Schwartz, Karunanathan, Bergman, & Mark Clarfield, 2011).

Uno de los últimos intentos por elaborar un constructo generalizado tanto del diagnóstico, como del cribado de fragilidad, fue a través de un modelo Delphi denominado Frailty Operative Definition-Consensus Conference Project (Rodríguez-Mañas et al., 2012). En dicha investigación, se acordó que en la definición de fragilidad se deben incluir evaluaciones relacionadas con la movilidad, la velocidad de la marcha, el rendimiento físico, la salud mental y la cognición, pero no llegaron a consensuar una única definición válida. Aunque sí se llegara a un acuerdo sobre las áreas que se debían evaluar, no llegaron a concluir los métodos de diagnóstico necesarios para realizar dichas evaluaciones. También estuvieron de acuerdo con relación a la necesidad de combinar biomarcadores, pero ninguna de las combinaciones propuestas fue aceptada para incluirse en la definición. Asimismo, llegaron a un acuerdo sobre la relación entre edad y fragilidad, pero no consensuaron un umbral de edad para evaluarla. Por último, se concluye diciendo que hubo un gran desacuerdo estableciendo un tiempo para evaluar los biomarcadores clínicos y de laboratorio en el proceso de diagnóstico. Estas áreas de acuerdos y desacuerdos proporcionan una línea a seguir en futuras investigaciones.

### 1.1.5 PREVENCIÓN DEL DETERIORO FUNCIONAL Y LA FRAGILIDAD

Las principales intervenciones que han demostrado ser eficaces para prevenir y disminuir el grado de fragilidad en las personas mayores son, por orden, la actividad física, la valoración geriátrica multidimensional, el estado nutricional y la hidratación, y un ajuste adecuado de la medicación (Fairhall et al, 2011).

Todas las intervenciones realizadas cuyo objetivo era fomentar la actividad física, han demostrado su eficacia en cuanto a funcionalidad y movilidad. Sin embargo, para otro tipo de intervenciones como las farmacológicas o las nutricionales, los resultados y las pruebas no son concluyentes (Clegg et al., 2013).

En cuanto a los programas que fomentan la actividad física, los ejercicios que están dirigidos a desarrollar la resistencia aeróbica, el equilibrio, la flexibilidad, la fuerza y la potencia muscular, constituyen las intervenciones más efectivas, ya que producen mejoras en la condición física global y en el estado de salud, además de retrasar la discapacidad (Clegg et al., 2013; Martín-Lesende et al, 2014).

Existe evidencia sobre la eficacia de tres enfoques diferentes en programas de actividad física que reducen la tasa y el riesgo de caídas (Gillespie et al, 2010): 1) ejercicios grupales y domiciliarios (incluyendo ejercicios de equilibrio y fuerza), 2)

ejercicios de componentes múltiples prescritos de forma individual realizados en el domicilio y 3) el Tai Chi como ejercicio grupal.

Una de las estrategias emergentes para fomentar la actividad física en ancianos es a través de juegos y aplicaciones, tanto para ser realizados en casa (de manera individual), así como en instituciones o residencias, ya que actualmente produce buenos resultados y no resulta tan monótona (Choi, Guo, Kang & Xion, 2017).

Estos juegos (denominados *exergames*) pretenden estimular y fomentar la movilidad del cuerpo entero, creando ambientes interactivos que simulan diferentes espacios y sensaciones de presencia. El uso de este tipo de videojuegos se popularizó tras la creación de Play Station Move, Nintendo Wii o Xbox 360 y su sensor Kinect, consolas que utilizan interfaces gestuales como forma de interacción, de donde cabe destacar esta última por la capacidad que posee de realizar una medición indirecta del gasto energético después de cada sesión de juego.

### *APLICACIÓN DE LA IA EN LA FRAGILIDAD*

En muchas ocasiones se dota a los *exergames* de Inteligencia Artificial (IA) con el fin de conseguir sesiones o partidas mucho más personalizadas evitando la generación de juegos repetitivos. Una de las tendencias existentes en la actualidad es el Ajuste Dinámico de la Dificultad (DDA), también llamado Balanceo Dinámico de la Dificultad del Juego, que tiene como objetivo alargar la vida útil del videojuego y mejorar la experiencia de usuario manteniendo al jugador en una zona de concentración durante más tiempo.

Aunque la aplicación de la IA en la fragilidad se verá con más detalle en el capítulo 2, cabe destacar que actualmente los ámbitos o campos en los que se encuentran técnicas y aplicaciones de IA es, sobre todo, en visión artificial aplicada a sistemas orientados a la prevención o detección de caídas, ya sea mediante sensores o robótica, así como en la extracción de información relevante mediante la recogida de datos de interacción que ayude a su diagnóstico. Hasta la fecha, no se ha encontrado ninguna aplicación explícita de la IA en videojuegos o *serious games* orientados a la mejora o tratamiento de la fragilidad.

## 1.2 MOTIVACIÓN

En una sociedad envejecida es necesario el establecimiento de nuevas alternativas que, de alguna manera, traten de satisfacer las necesidades de las personas mayores, a la vez que incrementan su calidad de vida percibida. En este sentido, las nuevas tecnologías, se han convertido en una herramienta básica de nuestra sociedad.

Actualmente son muchos países los que tienen gran interés en que las personas mayores frágiles reciban atención en sus propios hogares, intentando evitar al máximo los ingresos e institucionalizaciones innecesarias (ahorro en costes sanitarios), permitiendo así, que las personas mayores puedan vivir de forma independiente el máximo tiempo posible.

La reciente crisis económica y la epidemiología actual de tendencias de las poblaciones occidentales han puesto de relieve cómo los actuales sistemas de salud son insuficientes para responder a la evolución que la población necesita. Es el reto más importante de una sociedad que está envejeciendo, en la que a menudo se

asocia con la fragilidad, enfermedades crónicas, y el aumento de multimorbilidad. En el futuro los costos de una sociedad que envejece no serán sostenibles en términos de la asistencia sanitaria y los servicios sociales, a menos que se organicen con un enfoque en la prevención y promoción de la salud, en un sistema integrado. La innovación respaldada por la eHealth (término que engloba las Tecnologías de la Información y la Comunicación que se utilizan en el entorno sanitario para la prevención, diagnóstico, tratamiento, seguimiento y gestión de la salud, con el fin de reducir costes en el sistema sanitario y mejorar la eficacia de este) será el conductor capaz de dar un giro a la situación actual ofreciendo nuevas oportunidades (Illario et al., 2015).

Observando el gran papel que desempeña la eHealth en nuestra sociedad actual y el potencial de la IA para desarrollar sistemas que ofrezcan una interacción personalizada a los usuarios, nos planteamos la siguiente pregunta: **¿En qué manera se utiliza o puede utilizarse la IA para desarrollar sistemas que prevengan o ayuden a mejorar la fragilidad en las personas mayores?** O, dicho de otra forma, ¿Qué recursos tecnológicos y métodos en IA se utilizan en torno a la fragilidad? Nos interesa conocer qué algoritmos, dispositivos, programas o juegos se han desarrollado hasta la fecha en torno a la fragilidad relacionados con la prevención, el diagnóstico, la asistencia y el tratamiento para así identificar nuevas líneas de investigación y proponer e implementar nuevas soluciones tecnológicas inteligentes.

### 1.3 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

En los apartados anteriores se ha descrito el contexto en el que se encuentra esta investigación, la necesidad del proyecto y su motivación. A continuación, se definen la hipótesis y los objetivos para llevarlo a cabo:

#### **Hipótesis:**

*Es posible disminuir y/o retrasar el grado de fragilidad en personas mayores con actividades físicas propuestas a través de un sistema software de rehabilitación basado en un videojuego 3D que integre el sensor Kinect y realice ajustes dinámicos de dificultad.*

Para verificar dicha hipótesis, se proponen los siguientes objetivos:

- ✓ Diseñar y validar las actividades físicas que se incluirán dentro del sistema, en función de los requisitos establecidos por el sensor Kinect.
- ✓ Diseñar y desarrollar un videojuego 3D que implemente las actividades anteriormente diseñadas.
- ✓ Modelar y recoger los parámetros que definen los movimientos físicos exactos que realiza el usuario a través del sensor Kinect durante el tiempo de juego.
- ✓ Implementar técnicas de ajustes dinámicos de dificultad (DDA) para incrementar la satisfacción del usuario y asegurar un buen nivel de desafío/reto durante el juego, evitando el aburrimiento o la frustración.
- ✓ Validar dicho sistema de rehabilitación con una muestra de usuarios potenciales.

Además, con el sistema propuesto (denominado FRAGILESS) se han establecido los siguientes objetivos sociales:

- Mejorar la actividad física y funcional de las personas mayores gracias a la realización de actividades previamente definidas y seleccionadas en base a sus requerimientos y necesidades.
- Crear oportunidades para el aprendizaje mediante el uso de tecnologías avanzadas que disminuyen la dependencia y garantizan un futuro de mayor capacidad de adaptación al entorno y a las nuevas tecnologías por venir.
- Mejorar la percepción de la calidad de vida.
- Incentivar la realización de ejercicio.
- Motivar la participación y la interrelación.

## 1.4 METODOLOGÍA

Para evaluar la hipótesis y conseguir los objetivos anteriormente expuestos, se propone seguir la metodología experimental que se propone a continuación:

- Revisión del estado del arte de los dispositivos y proyectos existentes en el campo de la fragilidad.
- Revisión de los instrumentos de medida de fragilidad existentes.
- Revisión de los tipos y técnicas de DDA utilizadas actualmente.
- Diseño y validación de las actividades físicas que se incluirán en el juego, tanto por profesionales clínicos, como por los propios usuarios del sistema.
- Selección de una muestra de participantes que validen el sistema a desarrollar.
- Diseño y ejecución de un protocolo de pruebas siguiendo las directrices de una comisión de expertos en temas éticos.
- Diseño e implementación del sistema de rehabilitación.
- Realización y evaluación de las pruebas.
- Análisis de los resultados.

Siguiendo esta metodología, este TFM abarca desde una revisión bibliográfica hasta el análisis de los resultados, completando todo un ciclo de investigación.

## 1.5 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El presente trabajo se estructura de la siguiente forma:

- El capítulo 2 incluye una revisión bibliográfica de los índices de valoración de la fragilidad más utilizados, así como una revisión de los proyectos de investigación existentes en este ámbito, incluyendo un pequeño análisis del uso de la IA en cada uno de ellos. Asimismo, el capítulo también cuenta con una revisión de los sensores existentes para llevar a cabo el TFM y un análisis de las distintas técnicas de DDA actuales.
- En el capítulo 3 se explica tanto el diseño de la herramienta y su implementación, como el diseño y el protocolo de las pruebas realizadas.
- El capítulo 4 describe el análisis de los resultados obtenidos
- Los capítulos 5 y 6 incluyen las conclusiones que se extraen del trabajo realizado y las líneas futuras a seguir.

Por último, se incluye un apartado de anexos donde se recogen los documentos utilizados a lo largo de todo el transcurso del proyecto, así como un manual de usuario explicativo del juego.

## 2. REVISIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA

---

### 2.1 ÍNDICES E INSTRUMENTOS DE VALORACIÓN Y MEDIDA DE LA FRAGILIDAD

Existen diversas herramientas de detección que se pueden utilizar para identificar a la población frágil y que incluyen índices y escalas para valorar el estado nutricional, la dependencia, el estado cognitivo, etc.

Es difícil determinar cuál es la mejor herramienta de detección de fragilidad, ya que a pesar de que se ha demostrado la utilidad de todas ellas, se necesita su validación en estudios más amplios y centrados en la Atención Primaria.

#### 2.1.1 ÍNDICES BASADOS EN CUESTIONARIOS

##### *FENOTIPO DE FRAGILIDAD DE FRIED*

Entre ellas, se encuentra el ya citado fenotipo de fragilidad de Fried (Fried et al., 2001), que es una herramienta compuesta por cinco criterios: cansancio, pérdida de peso, debilidad en la fuerza de prensión manual, una velocidad de marcha lenta y bajo gasto energético. Los sujetos son definidos como frágiles si obtienen entre 3-5 puntos, pre-frágiles si tienen 1 o 2 puntos y sanos con 0 puntos.

- Pérdida de peso no intencionada de más de 5 kg o 5% del peso corporal en 1 año
- Debilidad muscular. Fuerza prensora de menos del 20% del límite de la normalidad ajustado a sexo y por IMC.
- Cansancio o baja resistencia a pequeños esfuerzos.
- Lentitud de la marcha, mayor al 20% del límite de la normalidad ajustado a sexo y altura, al recorrer 4,5m.
- Nivel bajo de actividad física. Cálculo del consumo de calorías semanales por debajo del quintil inferior ajustado por sexo.

##### *ÍNDICE DE FRAGILIDAD DE ROCKWOOD O DÉFICIT ACUMULATIVO*

El índice de fragilidad propuesto por Rockwood y Mitnisky (Rockwood et al., 2005) se basa en la acumulación de déficits a diferentes niveles, el cual contiene 70 aspectos que incluyen criterios basados en enfermedades, síndromes geriátricos, condiciones de salud o medidas de discapacidad. Posteriormente, se han agrupado esos aspectos hasta construir una escala jerárquica con 7 niveles (haciendo que su tiempo de uso sea menor) que abarcan desde la fragilidad hasta un estado de robustez, pasando por la enfermedad controlada. La principal crítica a este índice es la inclusión de ítems de discapacidad, cuando para otros autores se parte de la premisa de que la fragilidad es un estado de pre-discapacidad.

### *ESCALA FRAIL-NH*

La escala FRAIL-NH es una herramienta de diagnóstico de fragilidad indicada para personas que se encuentran en una residencia y que presentan una condición reversible con un tratamiento adecuado, pudiendo resultar en una mejora de los resultados (Kaehr, Visvanathan, Malmstrom, & Morley, 2015). Esta escala valora capacidades físicas y psicológicas, como habilidades, aspectos nutricionales y la dependencia en algunas actividades básicas de la vida diaria. La escala consta de siete variables con una puntuación posible entre 0 y 14 (a mayor puntuación más fragilidad), considerándose frágiles los sujetos cuya puntuación es mayor de 7.

### *ESCALA DE FRAGILIDAD DE EDMONTON (EFS)*

La EFS es una escala de evaluación de fragilidad, que fue elaborada por Rolfson y otros investigadores (Rolfson, Majumdar, Tsuyuki, Tahir & Rockwood, 2006) en 2006. Esta escala evalúa nueve áreas: cognición, estado general de salud, independencia funcional, soporte social, uso de medicamentos, nutrición, humor, continencia y desempeño funcional, que son evaluadas por 11 ítems. El nivel más elevado de fragilidad está representado con una puntuación máxima de 17 puntos y las demás puntuaciones comprenden los siguientes rangos: entre 0-4, el sujeto no presenta fragilidad; de 5 a 6 puntos, es aparentemente vulnerable; entre 7-8, sufre fragilidad ligera; de 9 a 10, fragilidad moderada, y 11 o más puntos, indican una fragilidad severa. Sin embargo, no cuenta con una validación para la población española, pero sí está validada en Brasil.

### *INDICADOR DE FRAGILIDAD DE TILBURG*

Se trata de un cuestionario validado que evalúa aspectos físicos, psicológicos y sociales y cuyo objetivo es medir la fragilidad. Está dividido en dos apartados: el primero es el que denominan determinantes de la fragilidad, en el que se hacen preguntas generales sobre edad, sexo, nivel de estudios, presencia de enfermedades y satisfacción con sus condiciones de vida; el segundo apartado se corresponde a los componentes de la fragilidad, dividiéndoles en físicos, psicológicos y sociales.

Se ha demostrado que la fiabilidad y validez de este cuestionario para determinar o predecir la fragilidad es alta. Los autores (Gobbens et al., 2011) afirman una evidencia clara en cuanto a la definición integral de fragilidad, teniendo en cuenta los aspectos físicos, psicológicos y sociales que son incluidos en dicho índice.

Es una herramienta de detección fácil de utilizar, de manera que podría evitar costes y evaluación de los individuos sanos. Los sujetos que son identificados como frágiles según el indicador de Tilburg, presentan un doble riesgo de desarrollar una discapacidad en comparación con el no frágil y mayor riesgo de ser hospitalizados. Sin embargo, no cuenta con validación para la población española.

### *ÍNDICE DE FRAGILIDAD DE GRONINGEN (GFI)*

Este índice es un cuestionario auto administrado de 15 ítems y 8 factores de fragilidad: movilidad, estado físico, visión, audición, nutrición, comorbilidad, cognición y aspectos psicosociales (Peters, Boter, Buskens, & Slaets, 2012). Sin embargo, al igual que el indicador de Tilburg, no cuenta con ninguna validación para la población española.

## 2.1.2 ÍNDICES BASADOS EN PRUEBAS DE EJECUCIÓN

Las pruebas basadas en ejecución tienen como objetivo detectar personas mayores en riesgo de deterioro funcional. A continuación, se presentan las pruebas más validadas y empleadas en la Atención Primaria en España (Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad, 2014):

### *SHORT PHYSICAL PERFORMANCE BATTERY (SPPB)*

La prueba “Short Physical Performance Battery” (SPPB) o Test de Guralnik está validada en la Atención Primaria en España y su uso está cada vez más extendido. Además, la prueba resulta relativamente sencilla de aplicar y no es de larga duración. Ha demostrado tener la suficiente capacidad de predecir mortalidad, institucionalización, dependencia y eventos adversos, siendo una prueba diseñada únicamente para predecir la discapacidad. Ya en los años 90, se demostró que esta herramienta permitía monitorizar la evolución del sujeto a lo largo del tiempo (cambios de 1 punto en los resultados de la prueba son clínicamente significativos), pudiendo predecir de manera significativa la institucionalización y muerte, así como el desarrollo de dependencia, tanto en las actividades cotidianas como en la movilidad a cuatro años vista. El estudio realizado por Guralnik et al. (2000) demuestra su capacidad predictiva en diferentes poblaciones, estando siempre ajustada por edad, sexo y comorbilidad.

### *TEST DE “LEVÁNTATE Y ANDA” CRONOMETRADO*

El test de “levántate y anda” cronometrado (Timed Up and Go Test “TUG”), se diseñó para cuantificar la movilidad del sujeto. Es capaz de predecir caídas, y un deterioro en el estado de salud y la realización de actividades cotidianas. Sin embargo, su capacidad para predecir discapacidad es más escasa (Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad, 2014). Es una herramienta útil como predictora a corto plazo (un año), pero debido a la escasa predicción relacionada con la actividad física y ejercicio que ofrecen, no se utiliza como herramienta predictora a largo plazo (3 años). Existen diferentes estudios sobre su uso y además está validada en España. Asimismo, esta prueba ha sido validada tanto como herramienta de diagnóstico de fragilidad, así como para la evaluación del riesgo de caídas.

### *VELOCIDAD DE LA MARCHA*

Haciendo una revisión de la bibliografía, esta prueba objetiva de evaluación de la limitación funcional del sujeto es la más utilizada en investigaciones, concretamente, en estudios longitudinales, donde ha demostrado tener capacidad para predecir hospitalización, fragilidad, dependencia, caídas y mortalidad (Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad, 2014). Además, la velocidad de la marcha es uno de los cinco criterios que se incluyen en el fenotipo de Fried. En el estudio de diagnóstico de fragilidad realizado en España por García-García et al. (2014), el percentil 20 se colocó con un valor de 0,37 y 0,5 m/sg ajustado por sexo y talla. Los test que más se utilizan calculan la velocidad en distancias de entre 2,4, 4 o 6 metros, y deben ser realizados a una velocidad de paso habitual. La duración de esta prueba suele oscilar entre 2 y 3 minutos. Además, este test proporciona un buen rendimiento como predictor y una buena fiabilidad test-retest.

Sin embargo, la interpretabilidad, el efecto suelo-techo y la sensibilidad al cambio, son los aspectos menos evidentes. Asimismo, el profesional sanitario que realiza la prueba debe tener un mínimo conocimiento previo sobre su ejecución, resultando en una prueba sencilla con alta aceptación entre pacientes y profesionales. Es, por tanto, una prueba simple que puede ser utilizada en hospitales como predictora de una discapacidad incipiente. Sin embargo, hay estudios que demuestran que tiene una menor predicción que la prueba SPPB (Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad, 2014).

Por todo esto, se utilizará la prueba SPPB en el cribado de fragilidad de los sujetos que participen en el estudio de este TFM.

### *LAS CAÍDAS COMO INDICADOR DE FRAGILIDAD*

Alrededor de un 30% de las personas mayores de 65 años que viven en entornos urbanos o rurales se cae al menos una vez al año, y la mitad de éstos vuelven a caerse de manera recurrente. A medida que se hacen mayores el porcentaje aumenta y en especial, el de las personas institucionalizadas que llega a alcanzar un 50% (Ugartemendia, 2011).

El análisis de las caídas en ancianos no es una tarea fácil, ya que existen muchos factores que las producen. L.Z. Rubenstein (2005) indica que “generalmente son el resultado de interacciones entre peligros medioambientales o actividades peligrosas y una mayor susceptibilidad individual por los efectos acumulados de la edad y la enfermedad”. El identificar todos y cada uno de estos factores es el principal objetivo para la prevención de caídas, ya que muchos factores de riesgo pueden ser potencialmente modificados.

Diferentes estudios (Ugartemendia, 2011) indican que varios factores como la edad, el lugar de residencia (tanto en comunidad, como en residencias) y el género, están relacionados con la frecuencia de las caídas. Además, las personas que viven en residencias tienden a caerse con mayor frecuencia que las personas que viven en entornos rurales o urbanos.

Otros factores de riesgo que también han sido identificados y relacionados con las caídas son el deterioro de la función cognitiva, la fuerza, la movilidad, la marcha, el equilibrio, la visión o el uso de fármacos. (Ugartemendia, 2011).

## **2.2 SOLUCIONES TECNOLÓGICAS EN LAS ÁREAS DE INVESTIGACIÓN SOBRE FAGILIDAD**

A continuación, se describen los sistemas más relevantes que se han desarrollado en torno a la fragilidad relacionados con el diagnóstico, la prevención, la asistencia y el tratamiento. El análisis de los trabajos en estas 4 áreas se ha realizado de forma cronológica para ver cómo han ido evolucionando los sistemas en función del progreso tecnológico. Por cada trabajo, se detalla el uso de la IA (en el caso de que se haya reportado). Posteriormente en la Tabla 1 se recopilan todos los trabajos analizados, incluyendo las técnicas de IA utilizadas. Además, en el caso de que se incluyan imágenes en los artículos que sirvan para comprender el sistema analizado, éstas se reproducen aquí.



## 2.2.1 ÁREA: DIAGNÓSTICO

Hasta 2011 no aparecen los primeros estudios dirigidos a investigar sobre alguna herramienta y algoritmo que puedan contribuir a realizar el diagnóstico de fragilidad.

Para diagnosticar la fragilidad se utilizan diversos tipos de sensores. Por un lado, sensores inerciales, muchas veces combinados con sensores magnéticos. Por otro lado, también se usan dinamómetros, que tienen en cuenta uno de los criterios de Fried, debilidad muscular, que se define como: fuerza prensora menor al 20% del límite de la normalidad ajustado por sexo y por IMC. Por último, están los sensores ópticos que, en cambio, no utilizan las propiedades mecánicas y eléctricas de los inerciales, sino que detectan diferentes factores a través de una lente. Entre ellos, se encuentra el sensor Microsoft Kinect, que ha sido utilizado en varios estudios para detectar caídas. Además, también se incorporan juegos serios o *serious games* en la evaluación de fragilidad.

En 2011, los autores Ganea et al. (Ganea, Paraschiv-Ionescu, Büla, Rochat, & Aminian, 2011) realizan el primer estudio que muestra que los parámetros obtenidos a través de un sensor inercial colocado en el pecho tienen propiedades discriminantes importantes para distinguir entre los sujetos de edad avanzada con salud y estado funcional diferente (la condición física fue evaluada a través de la escala TBAT). Para obtener dichos indicadores, los sujetos realizan una transición postural como es levantarse (sit-to-stand - Si) y sentarse (stand-to-sit - St) en una silla. Esta habilidad se va perdiendo con los años y es un importante indicador de la independencia funcional y la movilidad en la vida cotidiana. Los parámetros investigados fueron: la duración de la transición, el rango de inclinación del tronco, la uniformidad del patrón de transición evaluado por su dimensión fractal y la dinámica del movimiento del tronco, descrita por la energía de onda local. Los datos obtenidos a través del sensor inercial (compuesto por un giroscopio y tres acelerómetros) como son la velocidad angular en el plano sagital, y las aceleraciones vertical, frontal y lateral fueron analizados a través de la transformada discreta de Wavelet (Discrete Wavelet Transform - DWT) y procesados posteriormente para obtener dichos indicadores. Asimismo, tras los resultados obtenidos, se contemplan posibles aplicaciones potenciales para la salud fuera del ámbito específico de la evaluación del riesgo de caídas, tales como el seguimiento ampliado en personas de edad avanzada para detectar el deterioro temprano en la independencia funcional.

Martinez-Ramirez et al. (2011) realizaron un estudio cuyo objetivo era examinar la orientación y aceleración de señales procedentes de un sensor magnético inercial triaxial durante pruebas de equilibrio estando de pie, en población frágil, pre-frágil y sana. Los datos obtenidos por este sensor fueron analizados a través de DWT y el análisis de componentes principales (PCA). Los resultados muestran que la población frágil y pre-frágil tiene diferentes patrones de frecuencia en pruebas de equilibrio estando de pie, en comparación con la población sana. Sin embargo, la acelerometría no sirve para demostrar diferencias entre sujetos frágiles y pre-frágiles. El grado de fragilidad de los voluntarios que participaron en el estudio fue definido en base a los cinco criterios del fenotipo de Fried. En un futuro, estos parámetros podrían ser de gran interés en el ámbito clínico, tanto para los métodos de identificación de la población con síndrome frágil, como para la mejora de las terapias de rehabilitación.

Al año siguiente, García et al. (2012) diseñó un juego basado en la prueba *Choice Stepping Reaction Time* (CSRT), que se utiliza como un predictor importante de caídas

en personas mayores. El juego utiliza el sensor óptico Microsoft Kinect conectado a un ordenador, para realizar un tracking del cuerpo completo del participante. En la pantalla se muestra el avatar del usuario y alrededor de la imagen de sus pies, entre 6 y 10 círculos, que el usuario deberá pisar cuando se encuentren en color verde. El juego obtiene las medidas: tiempo de decisión, tiempo de movimiento, tiempo de respuesta y validación Go/ No Go, basándose en los requisitos del test CSRT, además de incluir otras propias como la distancia del paso.

También en este año, Zavala-Ibarra y Favela (2012), diseñaron una arquitectura que permite desarrollar videojuegos para medir la fuerza muscular del brazo, con el objetivo de detectar los primeros signos de dinapenia<sup>1</sup>. Para ello, como se ve en la Figura 1, crearon un dispositivo que pudiera integrarse en el mando de la consola Wii o Xbox 360 que midiera la fuerza de agarre. Diseñaron dos juegos para medir dicha fuerza y la compararon con la medición tradicional de la fuerza de agarre o prensora con dinamómetro.



*Figura 1: Imagen que muestra el juego, tomada de (Zavala-Ibarra & Favela, 2012)*

Los autores concluyen diciendo que el dispositivo mide con precisión la fuerza de agarre para ayudar en la detección de los primeros signos de dinapenia (pérdida de fuerza y rendimiento físico asociada con la edad), criterio incluido en la evaluación de la fragilidad. Según los autores, se podrían plantear orientaciones futuras que impliquen una mejor organización y tratamiento de los datos recogidos por el juego para evaluar las posibles condiciones físicas anormales. Otra interesante mejora, podría ser la introducción de la adaptación automática de la partida jugada basándose en las señales recibidas de los sensores para equilibrar la dificultad presentada con las habilidades percibidas o la condición física, para ofrecer mejores incentivos en la participación del jugador.

Asimismo, no solo encontramos en esta revisión el uso de tecnología que implica el uso de hardware para la evaluación y diagnóstico de la fragilidad. También nos encontramos el uso de software exclusivamente. En esta línea (Drubbel et al., 2013), realizaron un estudio para evaluar la fragilidad en una cohorte de 1580 sujetos con edad  $\geq$  a 60 años en atención primaria, para comparar los resultados obtenidos entre el cuestionario Groningen Frailty Indicator (GFI) y la puntuación FI calculada previamente por los investigadores, mediante el software de selección diseñado por

---

<sup>1</sup> La "dinapenia" se refiere específicamente a la pérdida de fuerza y rendimiento físico asociada con la edad, o la pérdida funcional de la capacidad para generar la fuerza en las personas de edad avanzada, ya sea por motivos morfológicos (sarcopenia) o neuronales y que afectará al rendimiento funcional de las actividades cotidianas.

los autores en un estudio previo (Drubbel et al., 2012). Este programa de ordenador instalado en el hospital calculó el número de déficits de salud entre los 36 déficits indicados en el FI, por cada participante. La investigación indica que los resultados de FI y GFI se superponen moderadamente en la identificación de fragilidad en los ancianos residentes en la comunidad. En base a estos resultados, los autores sugieren como mejora en la identificación y en la optimización de los recursos en atención primaria, realizar una estimación FI inicial con los datos de salud de rutina registrados. Sólo los pacientes con una alta puntuación FI, es decir, con alto riesgo de fragilidad, cumplimentaran el cuestionario GFI.

Más evolucionado es el desarrollo de un sistema de control de fragilidad física en las personas independientes de edad avanzada, propuesto en 2013 por Hewson et al. (2013); **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en el que se propone el diseño de un innovador sistema con el fin de cuantificar objetivamente el nivel de fragilidad de las personas mayores en su ambiente habitual, es decir, en su hogar, con referencia a la escala de fragilidad de Fried. Este sistema se basa en una serie de pruebas remotas, cada una de las cuales utiliza objetos similares a los encontrados en los hogares de las personas. Se utiliza una bola modificada (Grip-ball), para evaluar la fuerza de agarre máximo, un smartphone equipado con un acelerómetro triaxial, para estimar la velocidad de la marcha, el nivel de actividad física y la fatiga y, por último, se utiliza una báscula de baño para evaluar la pérdida de peso involuntaria. Todos estos dispositivos de medida están conectados de forma inalámbrica a un Tablet o PC, que permite un fácil manejo por parte de los cuidadores no profesionales. Los datos generados se transfieren a través del teléfono móvil a un servidor remoto donde el usuario, su entorno, o cualquier profesional de la medicina (con autorización) puede acceder a los mismos. Este sistema podría permitir que la aparición de la fragilidad se detectara de forma muy precoz, dando así tiempo suficiente para que un programa de intervención dirigido pueda ser implementado, lo que aumentaría la independencia para personas mayores.

En este año, también se avanza en el diseño de componentes electrónicos y Chang et al. (2013) desarrollaron un sistema automático para medir indicadores de fragilidad, que además ayude a las personas mayores a registrar los datos relacionados con su salud, por medio de sensores inalámbricos del llamado Internet de las Cosas. Para ello, utilizaron un dispositivo de medición basado en enseres de uso cotidiano, con el fin de proporcionar medios de medición basados en el hogar y así, conseguir que los controles de salud no se limiten a las instituciones de salud. El sistema consta de cinco partes: (1) *eScale*: escala para medir el tiempo de reacción del sujeto; (2) *eChair*: silla para detectar lentitud en el movimiento, debilidad y pérdida de peso; (3) *ePad*: para medir la capacidad de equilibrio; (4) *eReach*: para medir la distancia funcional que puede alcanzar el sujeto; y (5) un portal de información que recoge todos los datos y predice la fragilidad del sujeto. El modelo de análisis propuesto para procesar los datos recogidos por los distintos dispositivos utiliza un modelo de predicción basado en redes neuronales. Este modelo predice la degradación funcional y determina el nivel de fragilidad del sujeto basándose en los indicadores obtenidos previamente. Como métodos de entrenamiento utilizan BPN (Back Propagation Network), MPL (Multilayer Perception) y EBP (Error Back Propagation) y el vector de entrada incluye 11 campos: pérdida de peso, agotamiento, baja actividad, debilidad, lentitud, equilibrio, tiempo de reacción, alcance funcional, género, altura e IMC. Para probar dicho sistema, los autores realizaron un estudio para distinguir entre sujetos normales y pre-frágiles. El estudio contó con 149 voluntarios con los que se comprobó el grado de fragilidad tanto por el sistema, como por los clínicos profesionales que utilizaron el

fenotipo de Fried. La sensibilidad y especificidad del sistema fue de 79% y 86% respectivamente, mostrando que es un sistema con alta predicción. Además, a largo plazo, la variación en los indicadores obtenidos puede permitir la detección temprana de fragilidad y con ello, su tratamiento prematuro.

En paralelo, Fontecha, Hervás, Bravo y Navarro (2013) aprovecharon las características y capacidades de los smartphones (acelerómetros, capacidad de comunicación inalámbrica y capacidades de procesamiento, entre otros) para desarrollar un nuevo método que logra una evaluación objetiva de la fragilidad en una población de edad avanzada. En este trabajo, la detección y el diagnóstico del estado de fragilidad incluye dos aspectos fundamentales: el primero implica recopilar y procesar información de la marcha del paciente (elemento importante de detección de fragilidad), a través de los acelerómetros del teléfono móvil y el segundo, estudia todos los factores de riesgo de fragilidad encontrados en el registro del paciente (incluida la información sobre el análisis de la marcha). Con esto, el sistema realiza un análisis a través de comparaciones de similitud con el Gower General Similarity Coefficient (GGSC) con todos los datos recogidos, proporcionando resultados válidos y mostrándolos en el dispositivo móvil de una manera formal para su interpretación por médicos. Este modelo de diagnóstico de fragilidad permite la movilidad en entornos clínicos y obtener evaluaciones en tiempo real.

En la línea anteriormente descrita, Galán-Mercant y Cuesta-Vargas, con sus trabajos durante varios años (2013, 2014, 2015), consiguen identificar una serie de variables cinemáticas que demuestran mayor precisión en la discriminación de la capacidad funcional entre dos grupos de personas de edad avanzada: frágiles y no frágiles. Esta identificación se realiza durante las fases de la prueba ampliada del test Expanded Timed Up and Go (ETUG), usando sensores inerciales integrados en el iPhone 4®. Estas variables son relativas a los picos negativos de la aceleración en los ejes x, y, z. Además, concluyen diciendo que los parámetros cinemáticos obtenidos a través de los sensores inerciales internos del iPhone 4 son prometedores para el análisis ETUG, y que existen signos alentadores de que los análisis de estos parámetros en las fases separadas del procedimiento ETUG pueden ofrecer la posibilidad de mejorar la discriminación entre los individuos frágiles y no frágiles. El estudio se realiza con 14 personas frágiles y 16 personas no frágiles evaluadas a través del fenotipo de Fried. Sin embargo, es necesario realizar un estudio más profundo para verificar los hallazgos obtenidos.

Otra de las últimas investigaciones que también utilizó el sensor Kinect, es la de Hassani et al. (2014), en la que se utilizó dicho sensor para analizar el test TUG (Timed Up and Go) en tiempo real. Este test consiste en completar secuencias sit-to-stand (STS), andar 3 m y volverse a sentar (back-to-sit, BTS). El sistema de evaluación que diseñaron los autores obtiene los parámetros: duración del movimiento de los hombros en la fase STS y BTS, curvatura de los hombros, ángulo del tronco, ratio, que coincide con la duración de la fase vertical dividida por la duración de la fase horizontal, y la duración del test completo. El sensor fue colocado a una altura de 50-60 cm con respecto del suelo y a una distancia de 2-2.5m de la silla. Para que el sistema fuese capaz de reconocer automáticamente a una persona sentada en la silla, se aplicó el clasificador SVM lineal (Support Vector Machine) a los puntos del esqueleto obtenido por la SDK del sensor Kinect. El estudio se probó con 20 sujetos de los cuales 10 eran sujetos sanos.

Volviendo al uso de los dinamómetros, Soria et al. (2014) presentaron un estudio cuyo objetivo era evaluar la fuerza de prensión manual como predictor de mortalidad en 6

meses en los adultos mayores, después de una hospitalización por enfermedad aguda. Para el estudio, se utilizó un dinamómetro electrónico (hand-grip), ya que se quería comprobar si la fuerza prensora está relacionada con la fragilidad en cuanto al aumento de mortalidad. En el estudio participaron 897 personas mayores. La investigación concluye diciendo que la fragilidad se ha relacionado con una mayor vulnerabilidad a factores de estrés, deterioro funcional, y mal pronóstico de la salud. Se demuestra que un marcador de fragilidad, como la fuerza de agarre (fuerza prensora), se asocia fuertemente con una mortalidad de 6 meses después de la hospitalización por enfermedad aguda.

Varios estudios, realizados por Toosizadeh et al. (2015a, 2015b) implementan un nuevo método para evaluar objetivamente la fragilidad, utilizando dos sensores inerciales inalámbricos, compuestos por acelerómetros, giroscopios y magnetómetros triaxiales, que obtienen el movimiento de las extremidades superiores. Los sensores se fijan a la muñeca y al antebrazo, alrededor del bíceps, con velcros. Los sujetos realizaron la flexión del codo repetitiva durante 20 segundos en cada lado. Este método discrimina significativamente entre las categorías de fragilidad teniendo en cuenta la velocidad de la flexión del codo (marcador lentitud), la fuerza de los músculos (marcador de debilidad), el agotamiento en la realización de la flexión del codo, y la flexibilidad de las articulaciones de las extremidades superiores. Se demuestra que es posible predecir la fragilidad y la pre-fragilidad con una sensibilidad del 94% y una especificidad del 98% si se compara con los criterios de Fried. La evaluación física se realiza fácilmente en menos de 1 minuto. La singularidad de la tecnología propuesta es su aplicabilidad en individuos ambulatorios. Para comprobar la fiabilidad test-retest y la viabilidad del nuevo método, los autores contemplan evaluar la herramienta en una muestra de mayor tamaño, en diferentes tipos de personas y en diferentes ámbitos de asistencia sanitaria.

De las investigaciones más recientes en cuanto a telefonía móvil se trata, se encuentra el trabajo de Castro, Favela, Quintana y Pérez (2015) en el que diseñaron una aplicación llamada *InCense*, que integra distintos sensores del teléfono móvil: acelerómetro, giroscopio, compás digital, cámara, bluetooth, sensores de proximidad, GPS, micrófonos y WIFI. La aplicación recoge la actividad física realizada por las personas durante el día, la velocidad de la marcha y el tiempo de sueño, transfiriendo toda esta información a una BD que se encuentra en un servidor. De esta forma, a la hora de valorar la capacidad funcional de las personas mayores, los profesionales sanitarios pueden tener información objetiva (accediendo a dicha información almacenada) para la evaluación, ya que a menudo, el personal sanitario evalúa al paciente basándose en auto-informes de los propios sujetos y esta información puede variar mucho de unas personas a otras.

Por último, en la investigación de Ejupi et al. (2016), utilizan el sensor Kinect para analizar el test *five-times-sit-to-stand* (5STS), que es comúnmente utilizado para evaluar el riesgo de caídas. El test consiste en levantarse y sentarse en la silla 5 veces. Un tiempo mayor de 12-15 segundos está asociado con un gran riesgo de caídas. El estudio se realizó con 94 personas ancianas independientes y su objetivo era demostrar que esta implementación del test podía utilizarse tanto en instituciones, como en los hogares de los sujetos, por lo que podría utilizarse en un futuro para realizar evaluaciones periódicas desde casa.

Hasta la fecha, no se han encontrado investigaciones relevantes más actuales en el área del diagnóstico.

## *CONCLUSIONES ÁREA: DIAGNÓSTICO*

El problema de la creación de un índice de fragilidad general utilizando la tecnología está todavía sin resolver. Sin embargo, hemos podido comprobar que desde el año 2011 hasta la actualidad, se han desarrollado y se están desarrollando muchas investigaciones para lograr dar con la herramienta más adecuada. En los artículos revisados, se ha podido comprobar que a pesar de realizar desarrollos aislados para medir una variable como puede ser la fuerza de prensión o la velocidad de la marcha, es imprescindible la integración de distintos dispositivos de medición en una misma herramienta para conseguir un método de evaluación integral en el que se contemplen los 5 criterios descritos por Fried. De los estudios analizados en esta área, el que más se acerca es el sistema diseñado por Hewson et al (2013). Sin embargo, en cuanto al uso de la IA, encontramos que sólo cinco estudios aplican técnicas de extracción de características (DWT, PCA) o comparación de similitud (GGSC) o algoritmos de redes neuronales para tratar de identificar parámetros que puedan servir como posibles indicadores de fragilidad.

### **2.2.2 ÁREA: PREVENCIÓN**

La fragilidad en términos de condición física significa pérdida y/o deterioro de la capacidad funcional, y es también reconocida como un factor de riesgo de caídas. Las principales características de fragilidad incluyen debilidad, así como problemas de equilibrio y marcha, los cuales predisponen las personas mayores a la caída. No sólo son las caídas relacionadas con lesiones o fracturas, una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en las personas mayores, también se han demostrado tener un impacto psicológico negativo. Sin embargo, también se sabe que entre un 20%-40% de las caídas son potencialmente prevenibles (Kojima et al., 2015).

Por lo tanto, son necesarias investigaciones dirigidas a reducir y/o evitar las caídas y, en consecuencia, a prevenir la fragilidad. De esta forma, en este área la mayoría de los trabajos se centran en el diseño de dispositivos y herramientas dirigidas a la detección de situaciones de riesgo y/o caídas.

Aunque existe evidencia de estos estudios en 2005, el aumento de resultados es significativamente mayor a partir de 2012.

Siguiendo un orden cronológico, en 2005, (Lee & Mihailidis, 2005) realizaron una investigación basada en la colocación de unas cámaras en el techo de una habitación habilitada para el estudio, con mobiliario de dormitorio como es una cama y una silla, entre otros. El sistema obtiene imágenes en 2D a través de la cámara monitorizando al usuario cuando entra en la habitación y, dichas imágenes son tratadas por el sistema utilizando distintas técnicas de visión artificial, como Background Subtraction (BGS), para eliminar el fondo. Los investigadores solicitaron al grupo de estudio que adoptaran y repitieran tres veces las siguientes posiciones: caminar-permanecer quieto de pie, sentado-tumbado boca abajo, parado, tumbado boca abajo con cuerpo en posición muy estirada/tensa y, por último, tumbado boca abajo con el cuerpo en posición recogida/flexionada/fetal. Los resultados de patrón de comportamiento se compararon con grabaciones anteriores de simulación de caídas. El sistema detectó un 77% de caídas y perdió un 23%. Falsas alarmas se produjeron en sólo el 5% de las ocasiones.

Zouba et al. (2009), utilizaron también cámaras y sensores, pero introdujeron un entorno de laboratorio llamado GERHOME que comprendía cuatro habitaciones: cocina, salón, dormitorio y baño. De esta manera, se podía realizar un análisis más exhaustivo de los patrones de movimiento en la vida diaria en busca de cambios de comportamiento que pudieran predecir situaciones de riesgo. La detección y el seguimiento de los sujetos se realizó a través de un conjunto de algoritmos de visión artificial y clasificadores. Se analizaron los datos de 2 voluntarios (64 y 85 años de edad). La precisión en el reconocimiento de posturas y eventos osciló entre 62-94%, mientras que la sensibilidad estuvo en el rango de 62-87%.

También en 2009, Liang et al. (2009), utilizan el sistema de captura de movimiento 3D VICON y seis marcadores situados: dos en hombros, uno en la séptima vértebra cervical, uno en la doceava vertebra dorsal y dos en ambas rodillas. A este sistema le suman acelerómetros y giroscopios. El objetivo del estudio es la obtención detallada de parámetros en el laboratorio que se puedan utilizar en la detección de caídas. Estudian los patrones de marcha sobre la base de siluetas extraídas de secuencias de imágenes. Tres características de los patrones de marcha son investigadas a través de dos perspectivas diferentes de captura de imágenes: altura de los hombros, la inclinación de la columna vertebral, y el centro de la silueta. Mediante la evaluación de catorce secuencias de imágenes que representan una gama de estilos saludables de la marcha en personas frágiles, se extraen características y se comparan con los resultados obtenidos en la captura de movimiento con el sistema 3D Vicon, mediante técnicas de visión artificial. Se obtienen prometedores resultados para futuros estudios que aumenten tanto la precisión de la extracción de características, como la monitorización de las personas mayores en riesgo.

Un paso más adelante fue dado por Tolkiehn, Atallah, Lo y Yang (2011), incluyendo en su investigación un acelerómetro triaxial ADXL330, un sensor de presión barométrica (VTI SCP 1000-D01) y una red de sensores inalámbricos (BSN) fijados a la cintura del sujeto. Los resultados experimentales ofrecen, no solo un detector de caídas fiable (94% de precisión), sino que también logran conocer la dirección de la caída, pudiendo así predecir la localización de la articulación afectada. Primero se obtienen los datos de los sensores y luego se realiza una extracción de características. Si la presión barométrica del sensor aumenta con las características anteriormente extraídas, hay una alta probabilidad de que el sujeto caiga.

En 2012, se avanza con la investigación de Menelas y Otis (2012), en la que introducen los Serious Games como forma de entrenamiento. Teniendo en cuenta que el tipo de suelo puede afectar el equilibrio, diseñaron un juego para que los usuarios mantuvieran el equilibrio en cinco tipos de suelo diferentes (piedra rota, piedra en polvo, arena, hormigón y madera). El sujeto debe llevar un zapato interactivo compuesto por varios sensores, con los que se analizan la aceleración, la curvatura de la planta, la fuerza aplicada por el usuario, etc. El juego se visualiza en una Tablet o smartphone y expone al usuario a varios eventos desestabilizadores (perturbaciones) proporcionados por el zapato. Los estímulos o eventos generados se basan en la escala Berg Balance Scale (BBS) y la herramienta Tinetti Balance Assessment Tool (TBAT). El juego tiene por objeto ayudar a los usuarios a fortalecer sus extremidades inferiores, mientras que el aprendizaje de las perturbaciones que enfrentan ayuda a prevenir caídas en sus actividades diarias. Por otra parte, gracias al uso de un calzado interactivo, es posible registrar la dinámica de los usuarios y su capacidad para mantener la estabilidad postural después de una perturbación en tiempo real.

Nakajima et al. (2012) por su parte, realizaron un estudio con la ayuda de unas plantillas instrumentadas en el que los resultados revelaron que la captura de las características del patrón de la marcha puede identificar a las personas de edad avanzada con alto riesgo de caídas. El estudio contó con 498 participantes sanos y no sanos.

Una nueva herramienta aparece en la revisión en 2014. Se trata de la investigación llevada a cabo por Sadasivam et al. (2014) en la que proponían el desarrollo de un robot controlado de forma remota, equipado con videocámara y distintos sensores que superan todo tipo de suelo, incluidas las alfombras. El objetivo del estudio es que el robot sea capaz de realizar una evaluación de riesgos en el hogar, detectando los peligros potenciales y evitando las caídas. Para la evaluación de riesgos utilizaron la lista de 23 ítems de HEROS Environmental Safety Checklist y el video que obtenía el robot. El estudio identificó varias preguntas de investigación sobre cómo utilizar mejor los robots operados por control remoto, en otro sentido como, por ejemplo, reduciendo el número de visitas a domicilio por parte del personal y, por tanto, mejora de la eficiencia por la reducción de costes.

La investigación de Ando, Baglio, Lombardo y Marletta, (2015) trata de monitorizar las actividades diarias de las personas ancianas (movimiento, postura, etc.), ya que analizarlas, puede aportar gran información sobre su estado de salud. Realizan un estudio en laboratorio con 10 personas jóvenes, en el que utilizan todas las posibles capacidades de un smartphone no solo para detectar el riesgo de caída, sino para discriminar entre los distintos tipos de caídas en personas frágiles. El teléfono se coloca en la cadera y las actividades de control a realizar son: caerse hacia delante, caerse hacia atrás, caerse lateralmente y sentarse, entre otras. Una vez obtenidos los datos de estas actividades se realiza una extracción de características y su clasificación, basada en un algoritmo TA (Threshold-Based Algorithm) y PCA. En este trabajo, los autores demuestran que la metodología desarrollada es capaz de detectar y clasificar diferentes tipos de caídas posibles y que el trabajo desarrollado podría ser utilizado tanto para interiores como para el aire libre, tales como museos, hospitales, y sitios públicos, pero también para uso en el hogar (por ejemplo, el seguimiento de los pacientes recientemente dados de alta hospitalaria).

Por otro lado, muchas personas mayores precisan para la marcha, distinto tipo de ayudas técnicas como bastón o andador, entre otros. Chaccour et al. (2015) desarrollaron un andador equipado con señales acústicas, sensores infrarrojos, sensor ultrasónico, sensores ópticos y acelerómetros inerciales. El andador fue validado en un laboratorio con 5 estudiantes. Los resultados obtenidos demostraron la capacidad del andador para detectar obstáculos emitiendo señal acústica. Esto último, muy útil para evitar golpes y prevenir caídas.

Dubois y Charpillet (2017) proponen un sistema de prevención de caídas en el hogar. El sistema que se propone instalar se basa en el análisis de imágenes de profundidad proporcionada por el sensor Kinect, que al ser un sensor RGB-D activo que realiza una reconstrucción de profundidad a partir de imágenes de infrarrojos, tiene la ventaja de trabajar por la noche. Este sistema está diseñado para detectar si la persona monitorizada ha caído o realiza una arriesgada actividad como subir a una silla. Los resultados de investigaciones previas realizadas por los mismos autores tienen demostrado cómo se puede identificar a una persona a través de imágenes de profundidad obtenidas por la cámara Kinect y cómo obtener los parámetros necesarios de la marcha del sujeto a través de la misma cámara, pero uno de los problemas en el desarrollo de un sistema autónomo ambiental es la identificación de la persona



monitorizada. En concreto, la persona monitorizada podría compartir su casa con otras personas o recibir visitas, tales como miembros de la familia o enfermeras. Con el objetivo de reconocer a la persona monitorizada, y no a otras personas, en vez de reconocimiento facial, se utilizan los parámetros de la marcha de esa persona y se desarrollan algoritmos para lograr la detección por parte del sensor, consiguiendo así personalizar la prevención de caídas en el hogar, sin la necesidad de llevar consigo un dispositivo. Dichos algoritmos se basan en los modelos ocultos de Márkov (HMM) y el modelo generado, contiene 8 HMM correspondientes a las actividades: andar, estar tumbado, sentarse, tumbarse en el suelo, agacharse, sobrepasar un obstáculo, caerse e inclinarse. 45 sujetos sanos tomaron parte en el estudio que demostró ser un sistema robusto para ser utilizado en hogares.

Hasta la fecha, no se han encontrado investigaciones relevantes más actuales en el área de la prevención.

### *CONCLUSIONES ÁREA: PREVENCIÓN*

Es de suma importancia evitar las situaciones de riesgo y prevenir las caídas en las personas mayores, evitando así aumentar su grado de fragilidad y mantenerlas lo más autónomas e independientes el máximo tiempo posible.

Para este fin, en la mayoría de los estudios revisados encontramos sensores inerciales, ópticos y sistemas de captura de movimiento, que determinan en función de los datos registrados (la marcha, p. ej.) y las comparaciones con respecto a patrones normales de comportamiento, el riesgo de caída de las personas mayores.

Encontramos, por una parte, la inclusión dentro de la investigación de algo tan habitual en nuestro día a día, como son los smartphones y por otra, el reconocimiento de la persona a monitorizar de entre otras que puedan compartir el domicilio. Por último, pero más a medio plazo, el uso de los robots es un reto que ya está empezando a dar sus frutos.

Asimismo, el uso de la IA en esta área se centra mayoritariamente en aplicar técnicas de visión artificial a las imágenes obtenidas por los distintos dispositivos, para detectar una posible caída o monitorizar la actividad diaria de las personas desde casa.

### **2.2.3 ÁREA: ASISTENCIA**

Las primeras investigaciones en esta área aparecen en el año 2005, siendo muy significativo el repunte existente a partir del año 2012.

Sävenstedt, Zingmark, Hydén y Brulin (2005) realizan un estudio muy sencillo, en el que establecen un protocolo de internet con banda ancha y con sistema de videoconferencia con el objetivo de poner en marcha un servicio de teleasistencia para personas mayores en situación de fragilidad. En los resultados encuentran limitaciones técnicas en la transferencia de la comunicación, problema que hace que surjan demandas especiales entre los participantes, por lo que son necesarios más estudios en los que se mejoren las condiciones técnicas para valorar cuantitativa y cualitativamente los resultados que se obtengan.

Un año más tarde, Vincent et al. (2006), utilizan un medallón y un teléfono inalámbrico para establecer un sistema de teleasistencia en el hogar con 38 personas ancianas independientes en situación de fragilidad. Tras un estudio durante 6 meses,

comprueban como el servicio de teleasistencia es mucho más eficaz y eficiente cuando el servicio cuenta con los profesionales sanitarios.

Es en el 2008, cuando comienza la implementación de sensores para la monitorización en domicilio. Lin, Su, Chen y Lin (2008), realizan un estudio en el que utilizan un sistema de biosensores inalámbricos que monitorizan la frecuencia del pulso, la saturación del oxígeno arterial y la temperatura. Estos biosensores son monitorizados de forma remota gracias al WIFI, la radiofrecuencia y la tecnología Universal Plug and Play (UPnP). Los resultados demuestran que la combinación de los biosensores y tecnologías inalámbricas ayuda en la asistencia a las personas mayores frágiles, pudiendo reducir la morbilidad y mortalidad, porque ayudan a detectar de forma temprana los signos de deterioro, mejorando así la calidad en la atención y la satisfacción de las personas mayores frágiles.

Klack, Möllering, Ziefle y Schmitz-Rode (2010) desarrollan un suelo sensorial que puede ser integrado en hogares para asistir a personas en riesgo de fragilidad que viven de manera independiente. El suelo monitoriza la posición del sujeto, detecta patrones (anormales) y activa procedimientos de rescate ante una caída o caso de emergencia. A través de un sensor *piezo eléctrico* colocado en el suelo miden las fuerzas aplicadas sobre este, para posteriormente realizar un procesamiento de las señales obtenidas y obtener parámetros como la velocidad, dirección del movimiento o la identificación del usuario. Para generar robustos patrones de reconocimiento utilizan técnicas de aprendizaje automático. En la detección y extracción de características utilizan algoritmos SVM, HMM, CRF (Conditional Random Fields) y NNA (Nearest Neighbor Algorithms).

Más novedoso aún, es la aparición del robot en el área de la asistencia. Pigni et al. (2012) adelantan el futuro desarrollo de un robot multimisión, una plataforma móvil con la que pretenden conseguir que un robot acompañe a la persona mayor frágil en las distintas tareas diarias. Tras la encuesta a 60 ancianos frágiles, los resultados concluyen como positiva la asistencia del robot en los escenarios de la vida diaria en los que se ha experimentado. Aunque hoy en día ya existen robots mucho más desarrollados y novedosos para ser utilizados en hogares de ancianos independientes, existe todavía un gran rechazo por parte de los ancianos como se explica en el estudio realizado por Wu et al. (2016), ya que la gran mayoría no sienten la necesidad de ser ayudados, ni consideran convivir con un robot que les ayude en sus tareas cotidianas (como apagar la luz, p. ej.), por lo que hay muchos factores que se deben tener en cuenta antes de que su implantación en los hogares llegue a ser factible.

También en esta área se incluye el sensor Kinect (Stone & Skubic, 2013), en este caso, para dar asistencia a los profesionales sanitarios acerca del estado de los pacientes que se encuentran en sus hogares. Durante 16 meses se instaló un sistema de seguimiento de la marcha en los apartamentos de 17 personas ancianas de entre 68 y 98 años. El sistema, analiza en tiempo real y de manera continuada la marcha de los sujetos, a través de una cámara Kinect colocada cerca del techo. Para aislar la silueta de los sujetos y realizar el tracking utilizan técnicas de visión artificial aplicadas a las imágenes proporcionadas por el sensor. Los datos obtenidos son mapeados a través de una red neuronal no lineal que es entrenada a través del método Nelder-Mead. Estos datos son traducidos como si fueran los mismos que se extraen al realizar los test TUG y HGS (Habitual Gait Speed) para ser mostrados a los profesionales de una forma más entendible. En un futuro, el sistema también mapeará los datos al test SPPB.

Un año más tarde, la Comisión Europea funda el proyecto inCASA (Integrated Network for Complete Assisted Senior Citizen's Autonomy) que se define como una red integrada para la asistencia/autonomía de personas mayores frágiles. El sistema lo componen un sensor de presión colocado debajo del colchón y en ocasiones en una silla, y dos sensores de movimiento integrados en el hogar. En el estudio que realizan Folter et al. (2014) y en el que participan 44 personas que son monitorizadas durante 30 días las 24 horas del día, los resultados demuestran la capacidad del sistema para monitorizar la movilidad diaria. La visualización de las características extraídas es efectiva y fácil de entender para el personal clínico, ya que se ha definido con la participación de los usuarios siguiendo la metodología centrada en el usuario. Concluyen diciendo, que a pesar de que los investigadores optan por extraer una gran cantidad de datos, el profesional clínico prefiere tener menor cantidad, pero presentada de una manera clara y sencilla.

A medida que la tecnología en la asistencia avanza, es en 2015, cuando Man, Cremers, Spreeuwenberg y de Witte (2015), sugieren realizar una plataforma que incluya tanto comunicación como información para los ancianos frágiles, basándose en los requisitos que estas personas necesitan, y no en el de los profesionales sanitarios. Se trata de que la plataforma incluya necesidades como la participación social, información sobre servicios de cuidados, bienestar, etc. Esta plataforma, es un software interactivo que incluye once aplicaciones o funciones y que puede ser utilizado desde cualquier dispositivo: PC, Tablet o smartphone. Los autores en su estudio utilizan un PC estándar. Las once funciones que incluye son: llamada de ayuda, servicios, vídeo con contactos, reloj, calendario, recordatorio de medicación, noticias, enviar y recibir mensajes, información del barrio/comunidad, información sobre el municipio y juegos/pasatiempos. Los resultados muestran que es una plataforma muy útil y que se adecúa a cualquier dispositivo. Los participantes indican que es fácil de usar y que sirve como apoyo para la independencia y la autosuficiencia.

Por último, y con relación a investigaciones anteriores Liu et al. (2016) realizan una revisión de la literatura, para determinar si las smart-homes o casas inteligentes son realmente eficaces o no, para las personas ancianas que tienen necesidades especiales. Una smart-home es una casa dotada de sensores o actuadores integrados con la infraestructura de la propia casa, que realizan un seguimiento del residente, con el objetivo de proporcionarles ayuda y alargar su vida independiente. Sin embargo, tras este estudio, se explica que no hay una evidencia clara de que los sistemas instalados ayuden a la predicción de discapacidades, mejora en la calidad de vida o prevención de caídas. El problema no es la eficacia de los sistemas implantados en el hogar en sí, sino los beneficios reales para las personas ancianas, ya que esta tecnología es relativamente nueva para ellos y presenta grandes problemas de usabilidad.

Hasta la fecha, no se han encontrado investigaciones relevantes más actuales en el área de la asistencia.

### *CONCLUSIONES ÁREA: ASISTENCIA*

La tecnología puede supervisar los indicadores del estado de salud, proporcionar alertas a los eventos tales como caídas, y dar alertas tempranas de problemas potenciales y signos de deterioro de las personas mayores frágiles.

También hay un amplio reconocimiento del potencial de la tecnología para mejorar la seguridad y la independencia de las personas mayores frágiles. Esta tecnología

permite el acceso a los servicios de calidad y ampliar la capacidad de permanecer en sus propios hogares, mejorando su calidad de vida mediante la mejora de su independencia. Sin embargo, las personas ancianas no están preparadas para el uso de esta tecnología en sus hogares, por lo que hay que prestar gran atención a las interfaces y diseños de estos sistemas, para hacerlos más usables y sencillos para ellos.

Asimismo, la tecnología complementa la labor asistencial de los cuidadores y profesionales sanitarios porque, de momento, no la sustituye, ya que de entre los resultados anteriormente descritos, podemos extraer que la interacción con profesionales y/o cuidadores ofrece aún mayor independencia. Y es la que ofrece menos rechazo en comparación con la tecnología.

En esta área, sólo se han encontrado dos investigaciones que hagan uso de la IA, y que al igual que ocasiones anteriores, su uso ha sido especialmente aplicado en técnicas de clasificación para la extracción de patrones o de visión artificial para procesar información relevante obtenida a través de las imágenes proporcionadas por los distintos dispositivos ópticos.

## 2.2.4 ÁREA: TRATAMIENTO

El tratamiento, o rehabilitación, es la rama de la medicina que ayuda a prevenir las deficiencias, discapacidades o minusvalías causadas por limitaciones físicas y qué, además, evalúa los tratamientos utilizados en la adaptación o readaptación de las personas con limitaciones, con el objetivo de restaurar o restablecer el movimiento.

En este área es donde menor número de resultados se han encontrado en la presente revisión. Al igual que en el área de diagnóstico, los años en los que mayor número de resultados se concentran son entre 2011 y 2014.

No obstante, se debe señalar el comienzo de las investigaciones en el tratamiento de la fragilidad, siendo éste en el 2007 por Ganea et al. (2007). Los autores, realizaron un estudio con un sistema de sensores inerciales fijados al tronco (un giroscopio y dos acelerómetros) en el que extraen los datos y monitorizan la actividad durante el test sit-to-stand y stand-to-sit. Durante estas transiciones posturales el movimiento del tronco es analizando extrayendo su aceleración y velocidad angular mediante la DWT y medidas fractales. Los resultados indican que estos parámetros sirven tanto para evaluar objetivamente el riesgo de caída en personas con fragilidad, así como para evaluar la eficacia de un programa de rehabilitación que mejore su movilidad.

En 2011, Kwok, Mamun, Chandran y Wong (2011) presentaron los resultados obtenidos tras realizar un estudio en el que compararon la rehabilitación con el juego WiiActive de Nintendo® Wii™, que incluye ejercicios de resistencia, equilibrio y coordinación, entre otros, y la rehabilitación estándar en el gimnasio. Este estudio es el primer ensayo aleatorizado de control usando la Nintendo® Wii™ como una herramienta de rehabilitación para lograr la reducción y el miedo a las caídas en 80 personas mayores frágiles. Los resultados no sólo muestran que el uso de la Nintendo® Wii™ resulta eficaz en este tipo de tratamiento, sino que además reduce el tiempo físico que deben emplear los terapeutas con los pacientes, que el hecho de realizar los ejercicios en grupo aumenta su motivación y además el coste-efectividad del programa es adecuado. Sin embargo, todos los ejercicios realizados con la Nintendo® Wii™ necesitan ser realizados con un mando, lo que conlleva a que todos

los jugadores deben ser capaces de sujetar dicho mando con el brazo. Es por ello, que los autores proponen implementar juegos que no necesiten de dicho controlador y puedan utilizarse a través de una interfaz libre de controladores

También este año Szturm et al. (2011) realizaron un experimento aleatorizado en el que demuestran que un programa de rehabilitación basado en ejercicios dinámicos de equilibrio a través de un videojuego, es igual de eficaz que uno basado en programas de rehabilitación típica. El estudio se realizó con dos grupos de entre 65 y 85 años, realizando cada uno de ellos un tipo de rehabilitación distinta. El sistema implementado se compone de una colchoneta de presión colocada en el suelo y conectada a un ordenador en el que se ejecuta el juego. Durante el juego, el cursor del ratón se mueve con el movimiento y la presión realizada con el pie. El sistema se compone de tres juegos diferentes en los que hay que mover el peso hacia la izquierda o la derecha para capturar los distintos objetos (abejas y globos) que aparecen durante los tres juegos. El tercer juego, también incluye una parte cognitiva, ya que se trata del juego de memoria "buscar las parejas". A continuación, se muestra una imagen de dichos juegos:



Figura 2 :Interfaces de los tres juegos (tomada de Szturm et al.)

El objetivo del estudio es comprobar si el entrenamiento del equilibrio a través de los juegos interactivos daría lugar a una mejora en el control del equilibrio, en comparación con un programa de rehabilitación estándar. Antes y después de la rehabilitación se obtuvieron datos del estado de los participantes a través de la escala de equilibrio de Berg (BBS), el test TUG, la escala Activities-specific Balance Confidence y el test clínico Sensory Interaction and Balance. Los resultados demostraron una mejora significativa en los resultados obtenidos con el grupo experimental. Sin embargo, ninguno de los dos grupos presentó mejoría en el test TUG, por lo que realizar ejercicios estáticos de pie no indica que mejore la marcha en los sujetos con fragilidad. También muestran una mejora en la confianza que tienen en su equilibrio, que puede ser debido a que el juego incluye apoyo visual y auditivo cada vez que un usuario acierta o captura un objeto. El biofeedback visual aumenta el conocimiento del control de su propio equilibrio, haciendo así que aumente su confianza. Asimismo, los autores subrayan el hecho de que los ejercicios sean aleatorios y con diferentes niveles de dificultad (personalizados) para adaptarlos a las necesidades de cada uno de los participantes, así como para evitar que se "aprendan" el orden de los movimientos.

Un año más tarde y en la misma línea, Daniel (2012) presentó su estudio en el que comparó los resultados obtenidos de tres grupos distintos de 21 personas pre-frágiles, realizando distintas actividades de rehabilitación durante 15 semanas. En este caso, el

autor también utilizó la Nintendo® Wii™ como herramienta de rehabilitación, pero esta vez, colocó a los sujetos un chaleco con peso (con el 2% de su peso añadido) para jugar con los juegos comerciales: tenis, boxeo, bolos, esquí, etc. El estado de los participantes también se midió antes y después de la realización de los distintos programas de rehabilitación a través de los test: Senior Fitness Test (SFT), Community Healthy Activities Model Program for Seniors (CHAMPS), Activities-Specific Confidence Scale (ABC) y el índice Late Life Function and Disability (LLFDI). Cada uno de los tres grupos realizó un programa distinto: (1) realizar el mismo programa de rehabilitación que se venía haciendo hasta ahora en la residencia (grupo control), (2) realizar ejercicios de rehabilitación en posición sentada incluyendo zancadas y extensiones de tríceps y (3) realizar las actividades en base a los juegos propuestos por la Nintendo® Wii™. Los resultados indican que no hay diferencia entre los grupos de intervención, por lo que se concluye que es tan eficaz el programa de ejercicios con Nintendo® Wii™, como el programa de ejercicios realizado en posición sentada. Sin embargo, la mayoría de los componentes del grupo que utilizó la videoconsola perdió peso en comparación con el resto. Asimismo, el autor recalca que el uso de la videoconsola puede ser muy útil en la rehabilitación a domicilio, después del alta hospitalaria y/o para realizar el ejercicio en grupo.

También Jorgensen et al. (2012) realizan un estudio similar con la misma videoconsola y juegos comerciales, pero esta vez, incluyendo en los ejercicios el uso de la Wii Board, con la que los usuarios controlan los avatares a través del movimiento del cuerpo sobre una tabla colocada en el suelo. Sin embargo, en este caso, no se trata de probar si el programa de ejercicios propuesto con la Wii Board es eficaz como programa de rehabilitación, sino de comprobar los efectos que tiene su uso en los músculos de las piernas y en el equilibrio de las personas mayores. Tras 10 semanas de experimento los resultados mostraron una mejora significativa en los resultados fisiológicos relacionados con la función muscular mecánica del cuerpo inferior, donde hubo un aumento de aproximadamente el 20%, no solo en la fuerza muscular máxima, sino también en la capacidad de generación de fuerza rápida.

Un nuevo enfoque aparece con la introducción de la Realidad Virtual (RV) en el estudio de Kim, Son, Ko y Yoon (2013). Se trata de utilizar el sensor Kinect y el juego comercial en el que se realiza Tai Chi, "Your Shape Fitness Evolved" como tratamiento, para probar si mejora la fuerza muscular en caderas y el control del equilibrio en personas mayores. El estudio se llevó a cabo con 18 sujetos de entre 65 y 75 años durante 8 semanas y una hora de duración. Durante el juego, un entrenador virtual proporciona ayuda visual y verbal en todos y cada uno de los movimientos que realiza el usuario, asegurando que cada movimiento se realiza de forma correcta.



Figura 3: Juego 'Your Shape Fitness Evolved' (tomada de Kim et al.)

También motiva al usuario a que siga jugando, incluso cuando el movimiento no se ha realizado correctamente. Para medir el grado de fuerza, se utiliza un dinamómetro colocado en la tibia y así obtener el valor de la fuerza isométrica máxima. Tras el estudio, los resultados muestran una mejoría significativa en extensores (55.26%), flexores (29.93%), aductores (48.63%) y abductores (41.95%) de cadera y en los resultados del test TUG, el cual indica una mejora en el control del equilibrio. A pesar de los buenos resultados, los autores hacen hincapié en la importancia de proporcionar ayuda tanto visual como auditiva a los usuarios cada vez que realizan un movimiento (correcto o incorrecto), ya que esto ayuda a controlar su postura y evita la sensación de inestabilidad, así como proporcionar motivación durante el juego.

Continuando con la RV, Kubicki, Bonnetblanc, Petrement y Mourey (2014) realizaron un estudio con el objetivo de investigar la eficacia de un programa de rehabilitación basado en la coordinación entre control postural y rápidos movimientos de brazos en personas frágiles. Para el estudio, utilizan el sistema de captura de movimiento (Fovea Interactive®) junto con un marcador colocado en el brazo derecho del sujeto y un juego en 2D. El sujeto debe levantar el brazo hasta que el sistema lea el marcador y una vez detectado, aparecerá en pantalla (izquierda o derecha) un círculo amarillo que el usuario deberá tocar lo más rápidamente posible. 23 pacientes frágiles (seleccionados tras el test TUG) de un hospital participaron en el estudio. Los resultados muestran que las curvas de aprendizaje son diferentes para el control postural y para el movimiento de brazo, siendo esta última la más continua. Los autores indican, que cierto nivel de reaprendizaje motor se mantiene en pacientes frágiles con reservas funcionales bajas. Sin embargo, habría que realizar un estudio de entrenamiento longitudinal para establecer si a largo plazo, esta mejora sigue existiendo y se consigue automatizar el movimiento. Con respecto al sistema de captura de movimiento, este se limita sólo a leer el movimiento donde esté situado el marcador.

Por último, aparece recientemente en la revisión de la literatura el estudio de Geraedts et al. (2017) en el que realizan un programa de ejercicios basados en un sensor (en forma de colgante/medallón) y una Tablet, para que sean realizados en casa. El estudio duró 6 meses y participaron 40 sujetos frágiles (índice medido con el indicador GFI) que vivían en sus hogares, con una media de edad de 80 años. Los sujetos debían realizar los ejercicios mostrados en los videos de la Tablet 5 veces por semana y un coach realizaba una visita por semana a sus hogares con el objetivo de valorar la situación del sujeto. Una vez realizado el ejercicio, se mostraba al usuario la actividad recogida por el sensor (compuesto por un acelerómetro y un sensor de presión barométrica) del tiempo dedicado a mover las piernas de manera gráfica. Los resultados muestran que el sistema es un innovador método para la estimulación de la actividad física en los adultos mayores frágiles, mostrando una adherencia al programa del 69.9%. Los autores consideran el sensor válido para la evaluación de la actividad física en el domicilio.

### *CONCLUSIONES ÁREA: TRATAMIENTO*

La actividad física regular es esencial para los adultos mayores en general, por ser la forma de mantenerse saludables e independientes.

Principalmente los estudios han utilizado la consola Nintendo® Wii™ para promover la actividad física. Hasta la fecha, se ha experimentado con la puesta en marcha de este tipo de consola en el área de rehabilitación, pero su uso se limita a los juegos

comerciales diseñados para la consola, y estos juegos no siempre cubren las necesidades completas de un tratamiento.

Un paso más adelante ofrece la introducción de la realidad virtual, con el uso del sistema Fovea Interactive® como método de reaprendizaje o el sensor Kinect.

Distintos sensores inerciales de movimiento o contadores de actividad promueven y mejoran la actividad física como caminar. Podrían utilizarse como adyuvante de otras tecnologías para formar parte de un método más integral.

Parece evidente que el uso de juegos como tratamiento es factible, si éstos están adaptados (distintos niveles de dificultad, uso de interfaces libres de controladores, feedback visual y auditivo, etc.) a los usuarios con cierto grado de fragilidad. Sin embargo, no parece que existan investigaciones en los que se contemplen ejercicios físicos concretos de un tratamiento de rehabilitación que mejoren el estado de fragilidad de los ancianos, ni interfaces adaptadas a ellos.

Hasta la fecha, **no se ha encontrado ninguna investigación que haga uso de técnicas de IA en programas de tratamiento o rehabilitación para personas mayores frágiles.**

## 2.2.5 RESUMEN

La revisión del estado del arte realizada anteriormente ha llevado al análisis de 41 trabajos e investigaciones relacionadas con el campo de la fragilidad, las cuales, quedan resumidas en la Tabla 1 abajo incluida. Dicha revisión se ha realizado entre enero de 2005 y diciembre de 2017, utilizando las palabras clave en inglés: frailty, elderly, virtual reality, videogames, serious games, exergames, sensors, Kinect, Wii, AI, DDA.

Esta tabla se ha ordenado por áreas, y dentro de cada una de ellas, los trabajos se incluyen de manera cronológica. La información que recoge dicha tabla es la siguiente:

- Área: Área de investigación médica en la que se enfoca
- Referencia: Indicación de los autores del trabajo (a partir de 3, se indica sólo el primero y et al.).
- Año: Año de publicación del trabajo.
- Participantes: Número de usuarios que han participado en el estudio o experimento, indicando su estado de fragilidad.
- Índices: Índices o instrumentos de evaluación de la fragilidad que han sido utilizados en el estudio.
- Sensor: Tipo de sensor utilizado en el estudio.
- Objetivo: Objetivo o intención del estudio.
- Parámetros: Parámetros o características extraídas para la evaluación.
- Técnicas: Técnicas o algoritmos utilizados relacionados con la IA.

La tabla incluye los trabajos de las distintas áreas de investigación: 14 trabajos en diagnóstico, 10 en prevención, 9 en asistencia y 8 en tratamiento. El número de participantes varía de un estudio a otro, habiendo investigaciones con uno o dos participantes y otras que incluyen un estudio mucho más amplio con cientos de sujetos.



Los índices o instrumentos de evaluación de la fragilidad más utilizados han sido el fenotipo de Fried, seguido por el test TUG.

La mayoría de los sensores utilizados a lo largo de todas las áreas son los sensores inerciales (13 trabajos) y los de presión (7 trabajos), seguidos por los sensores ópticos Microsoft Kinect con 6 investigaciones y Nintendo Wii con 3.

El uso de la IA más relevante es el aplicado al campo de Minería de Datos cuyo objetivo ha sido el de la extracción de información o características (siendo las técnicas más utilizadas las de PCA, Redes Neuronales, SVM y HMM) a partir de los datos obtenidos por los distintos sensores con 7 trabajos, seguida por la aplicación en Visión Artificial con 4 trabajos para extraer información relevante de las imágenes obtenidas por las diferentes cámaras.

ÁREA	REFERENCIA	AÑO	PARTICIPANTES	ÍNDICES	SENSOR	OBJETIVO	PARÁMETROS	TÉCNICAS
Diagnóstico	Ganea et al.	2011	Frágiles= 79 No frágiles = 27	TBAT	Inercial (1 giroscopio y 3 acelerómetros): ADXRS300, ±400°/s, Analog Devices y ADXL202, ±2 g, Analog Devices	Extraer características (Si-St, St-Si) para el diagnóstico	- Duración de la transición - Rango de inclinación del tronco - Uniformidad del patrón de transición - Dinámica del movimiento del tronco	DWT
Diagnóstico	Martínez- Ramírez et al.	2011	Frágiles = 14 Pre-Frágiles = 18 No Frágiles = 20	Fenotipo de Fried	Inercial Magnético: Orientation Tracker MTx XSENS	Extraer características en pruebas de equilibrio	- Aceleración - Orientación	DWT y PCA
Diagnóstico	García et al.	2012	No se prueba con participantes	CSRT	Óptico: M. Kinect	Evaluar el rendimiento del usuario a través de la obtención de parámetros para el test CSRT	- Tiempo de decisión - Tiempo de movimiento - Tiempo de respuesta - Validación Go/ No Go - Medida del paso	-
Diagnóstico	Zavala-Ibarra y Favela	2012	No frágiles = 10	-	Dinamómetro integrado en mando Wii o Xbox	Detectar indicios de fragilidad midiendo la fuerza muscular	- Fuerza de agarre	-
Diagnóstico	Drubbel et al.	2013	Frágiles = 1580	- FI - GFI	Sólo software	- Evaluar si los indicadores FI y GFI son adecuados para el diagnóstico	- Las variables de cada uno de los índices (edad, sexo, nacionalidad, situación social, etc.)	-
Diagnóstico	Hewson et al.	2013	No se prueba con participantes	Fenotipo de Fried	- Acelerómetro del móvil - Dinamómetro	Cuantificar objetivamente el nivel de fragilidad de las personas mayores en su hogar	- Peso - Fuerza de agarre - Fatiga - Actividad física - Velocidad de la marcha	-
Diagnóstico	Chang et al.	2013	Pre- Frágiles y No Frágiles = 149	Fenotipo de Fried	Silla que incluye sensores de presión y ultrasónico	Detectar fragilidad en casa automáticamente	- Marcha - Tiempo de reacción - Duración de la transición	BPN, MPL, EBP
Diagnóstico	Fontecha et al.	2013	Frágiles= 20	Varios factores (edad, peso, sexo, Barthel...etc. )	Inercial: Smartphone	Diagnosticar fragilidad a través del móvil	- Marcha	Comparación de similitud (GGSC)

ÁREA	REFERENCIA	AÑO	PARTICIPANTES	ÍNDICES	SENSOR	OBJETIVO	PARÁMETROS	TÉCNICAS
Diagnóstico	Galán-Mercant y Cuesta-Vargas	2013, 2014, 2015	Frágiles= 14 No frágiles = 16	Fenotipo de Fried	Inercial: Smartphone	Identificar variables cinemáticas para la detección de fragilidad en el test ETUG	- Número total de pasos - Tiempo total - Variables de aceleración	-
Diagnóstico	Hassani et al.	2014	Frágiles= 10 No frágiles = 10	TUG	Óptico: M. Kinect	Detectar fragilidad en tiempo real en casa	- Duración movimiento hombros - Curvatura hombros - Ángulo del tronco - Ratio - Duración test completo	SVM
Diagnóstico	Soria et al.	2014	Frágiles= 897	AIVD	Dinamómetro	Evaluar la fuerza de prensión manual como predictor de fragilidad	- Fuerza prensión (la mayor de tres)	-
Diagnóstico	Toosizadeh et al.	2015 (a, b)	Frágiles = 19 Pre-Frágiles = 59 No Frágiles = 44	Fenotipo de Fried	Inercial x 2: - Acelerómetro - Giroscopio - Magnetómetro	Detectar fragilidad a través de la flexión de codo	- Velocidad de la flexión - Fuerza músculos - Agotamiento - Flexibilidad	-
Diagnóstico	Castro et al.	2015	Frágiles= 4 No frágiles = 15	Fenotipo de Fried	- Acelerómetro - Giroscopio - Proximidad	Obtener medidas sobre la actividad física y evaluar	- Tiempo actividad física - Velocidad de la marcha - Tiempo de sueño	-
Diagnóstico	Ejupi et al.	2016	No frágiles = 94	5STS	Óptico: M. Kinect	Detectar personas en riesgo de caída desde casa	- Tiempo - Velocidad	-
Prevención	Lee & Mihailidis	2005	No frágiles = 21	-	- Cámara digital	Detectar y prevenir caídas en casa a través de cámaras	- Diámetro y perímetro silueta - Velocidad del sujeto	BGS
Prevención	Zouba et al.	2009	No frágiles = 2	-	- Video cámaras - Sensores de presión, proximidad, contacto y de consumo	Monitorizar en casa actividades diarias	- Posición 3D - Diámetro y perímetro silueta - Orientación - Postura	Visión Artificial (segmentación, etc.), clasificadores
Prevención	Liang et al	2009	No frágiles = 1	-	3-D VICON Motion Capture System	Detectar caídas	- Nivel de los hombros - Inclinación espalda - Nivel de oscilación durante la marcha	Visión Artificial

ÁREA	REFERENCIA	AÑO	PARTICIPANTES	ÍNDICES	SENSOR	OBJETIVO	PARÁMETROS	TÉCNICAS
Prevención	Tolkiehn, Atallah, Lo y Yang	2011	-	-	- Acelerómetro triaxial ADXL330 - Sensor de presión barométrica (VTI SCP 1000-D01) - Red de sensores inalámbricos (BSN)	Detectar caídas	- Dirección de la caída - Presión barométrica	-
Prevención	Menelas y Otis	2012	-	-	Zapato interactivo que incluye acelerómetro y sensores de presión.	Prevenir caídas	- Aceleración - Curvatura de la planta del pie - Fuerza aplicada por el usuario	-
Prevención	Nakajima et al.	2012	Frágiles = 270 No frágiles = 228	-	Sensores de presión en plantillas (PSCR sensor, Yokohama Image System Co., Ltd., Japan)	Identificar a las personas de edad avanzada con alto riesgo de caídas	- Presión en distintas zonas del pie.	-
Prevención	Sadasivam et al	2014	No frágiles = 9	-	Robot Spykee (manufactured by Erector) que incluye videocámara y sensores	Prevenir caídas y evaluar riesgos en el hogar	- Evaluación de zonas de la casa - Movimiento del sujeto - Estado de salud	-
Prevención	Ando et al.	2015	No frágiles = 10	-	Inercial: Smartphone	Monitorizar actividades diarias para prevenir caídas	- Aceleración - Posición	PCA
Prevención	Chaccour et al.	2015	No frágiles = 5	-	Inercial Infrarrojos, Contacto, Ultrasonidos y Oxígeno	Proporcionar asistencia a las personas con déficits visuales	- Aceleración - Luz infrarroja (para detectar obstáculos) - Distancia al obstáculo - Velocidad - Vibración	-
Prevención	Dubois y Charpillet	2017	No frágiles = 45	-	Óptico: M. Kinect	Proporcionar información sobre la actividad diaria y la evolución de su marcha desde casa.	- Velocidad de la marcha - Número de pasos - Posición del sujeto - Dispersión vertical de la silueta	HMM

ÁREA	REFERENCIA	AÑO	PARTICIPANTES	ÍNDICES	SENSOR	OBJETIVO	PARÁMETROS	TÉCNICAS
Asistencia	Sävenstedt et al.	2005	Frágiles = 11	-	-	Establecer un protocolo de comunicación con las personas frágiles desde casa	-	-
Asistencia	Vincent et al.	2006	Frágiles = 38	-	-	Documentar resultados para proporcionar asistencia en casa a través de un medallón	-	-
Asistencia	Lin, Su, Chen y Lin	2008	-	-	Biosensores	Mejorar la asistencia en residencias a través de sensores inalámbricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ritmo Cardíaco</li> <li>- Temperatura</li> <li>- Saturación de oxígeno en sangre</li> <li>- Localización</li> </ul>	-
Asistencia	Klack et al.	2010	-	-	Sensor piezo eléctrico	Diseñar interfaces adaptativas que se integren en las casas de las personas frágiles	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posición</li> <li>- Postura</li> <li>- Peso</li> <li>- Velocidad</li> <li>- Dirección del movimiento</li> </ul>	SVM, HMM, CRF, NNA
Asistencia	Stone & Skubic	2013	Frágiles = 17	TUG y HGS (SPPB para el futuro)	Óptico: M. Kinect	Dar asistencia a los profesionales sanitarios, acerca del estado de los pacientes (análisis de la marcha) que se encuentran en sus hogares	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rectitud del camino</li> <li>- Velocidad marcha</li> <li>- Duración</li> <li>- Distancia</li> </ul>	Visión Artificial, Redes neuronales
Asistencia	Folter et al.	2014	No frágiles = 44	-	Un sensor de presión y uno de movimiento	Obtener información sobre cómo mostrar los datos al personal clínico para dar asistencia a los ancianos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo en la cama</li> <li>- Tiempo fuera de la cama</li> <li>- Tiempo medio</li> <li>- Periodos acumulados</li> </ul>	-
Asistencia	Man et al.	2015	-	-	Sólo software	Dar asistencia a través de una plataforma que cubra todas las necesidades de los ancianos	-	-

ÁREA	REFERENCIA	AÑO	PARTICIPANTES	ÍNDICES	SENSOR	OBJETIVO	PARÁMETROS	TÉCNICAS
Tratamiento	Ganea et al.	2007	Frágiles = 30	Tinetti Test of Gait and Balance	Inercial: Un giroscopio (Murata, ENC-03J, ±400 deg/sec) y dos acelerómetros (ADXL202, ±2g)	Rehabilitación a través del test TUG	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inclinación del tronco en el plano sagital</li> <li>- Tiempo entre transiciones posturales</li> <li>- Velocidad</li> <li>- Aceleración</li> </ul>	DWT, Fractal Dimension
Tratamiento	Kwok et al.	2011	Frágiles = 80	SPPB	Óptico: Nintendo Wii	Rehabilitación a través de juegos comerciales	-	-
Tratamiento	Szturm et al.	2011	No frágiles = 30	TUG, BBS	Presión (FSA pressure mat, Vista Medical Ltd, Winnipeg, Canada)	Examinar la viabilidad de los videojuegos en la terapia física	- Posición del pie	-
Tratamiento	Daniel	2012	Pre-Frágiles = 21	-	Óptico: Nintendo Wii-Fit	Examinar la viabilidad de los videojuegos para la rehabilitación de personas pre frágiles	-	-
Tratamiento	Jorgensen et al.	2012	No frágiles = 58	TUG	Óptico: Nintendo Wii	Examinar el potencial de la Nintendo Wii como herramienta para fortalecer fuerza y equilibrio en personas mayores	-	-
Tratamiento	Kim et al.	2013	No frágiles = 36	TUG	Óptico: M. Kinect	Demostrar la eficacia de la RV para mejorar la fuerza y el equilibrio en personas frágiles	-	-
Tratamiento	Kubicki et al.	2014	Frágiles = 46	Fenotipo de Fried, TUG	Sistema de captura de movimiento Fovea Interactive	Investigar la eficacia de la rehabilitación en control postural y movimientos de brazos en personas frágiles.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiempo de reacción</li> <li>- Velocidad máxima</li> <li>- Postura</li> </ul>	-
Tratamiento	Geraedts et al.	2017	Frágiles = 40	GFI	Inercial: acelerómetro, presión barométrica	Demostrar la validez de un programa de ejercicio para adultos frágiles	- Actividad física	-

Tabla 1: Trabajos de investigación analizados por números de participantes, instrumentos de evaluación de fragilidad utilizados, sensores utilizados, objetivo del trabajo, parámetros extraídos por el sistema y técnicas utilizadas

## 2.3 SENSORES Y VIDEOJUEGOS

Como hemos visto anteriormente, existen en la literatura distintos tipos de dispositivos que han sido utilizados a lo largo de estos últimos años para implementar aplicaciones y sistemas que aportan nuevas oportunidades al campo de la fragilidad. Entre ellos encontramos sensores inerciales, ópticos, textiles, smartphones y sistemas de captura de movimientos.

El uso de sensores inerciales en aplicaciones médicas es un campo en auge debido a las ventajas que este tipo de sensores presentan. Debido a la naturaleza de los sensores, la mayor parte de aplicaciones en medicina envuelven medición de movimiento en tareas tales como rehabilitación y diagnóstico, entre otras. Los sensores actuales son capaces de medir hasta tres ejes simultáneamente con voltajes de alimentación tan pequeños que una batería pequeña es suficiente para activarlos y con rangos de medición y resolución suficientes para aplicaciones de medición de movimiento del cuerpo humano.

Además, existen unidades que combinan tres tipos de sensores (acelerómetros, giroscopios y magnetómetros) en un mismo encapsulado, lo que impacta en el tamaño del equipo final y el consumo de potencia, además de incrementar la precisión de la medición.

Sin embargo, y aunque estos tipos de sensores inerciales recojan parámetros cinemáticos precisos que sirven para evaluar cierta actividad física, deben ser colocados en las extremidades del cuerpo de las cuales se quieren obtener los datos. Este método, aunque viable, resulta intrusivo para las personas mayores que no deseen llevar nada acoplado a su cuerpo.

Por otro lado, los sistemas 3D de captura de movimientos como Vicon, p. ej., son extremadamente caros y complejos de implementar, por lo que en este TFM se ha optado por los sistemas de captura de movimientos de bajo coste (sensores ópticos) y que provean de una SDK (Software Development Kit) libre para desarrollar aplicaciones y juegos.

### 2.3.1 SENSORES ÓPTICOS

Se han estudiado en detalle tres sensores ópticos: Nintendo Wii Motion, Microsoft Kinect V2 y la cámara Intel Real Sense.

#### *NINTENDO WIIMOTE*

Wiimote es un mando para la consola Nintendo Wii y Wii U, que permite capturar los movimientos que se realizan mientras se juega con ésta. El Wiimote o Wii Remote detecta la luz de la barra del sensor que tiene la consola, permitiendo así jugar a una distancia de 5 metros de manera precisa. Además, este controlador detecta la aceleración en tres ejes mediante un acelerómetro y renderiza en pantalla el movimiento en tiempo real. El dispositivo incorpora un sensor de doble eje de velocidad angular “tuning fork” que sirve para determinar movimientos de rotación, permitiendo distinguir un mayor rango de movimientos.



Figura 4: Wiimote

Sin embargo, la consola Nintendo® Wii está condicionada por el uso de un mando necesario para interactuar con el juego, por lo que todos los movimientos que se hagan serán únicamente los realizados al sujetar el mando con esa extremidad. La mejora de la movilidad en un caso de rehabilitación se reduce al ejercicio realizado con dicho mando. Asimismo, autores como Theng, Teo y Truc (2010) indican que su uso continuado puede generar hasta 14 lesiones distintas incluyendo laceraciones en las manos.

### *MICROSOFT KINECT V2*

El sensor Microsoft® Kinect 2.0 es una barra horizontal de aproximadamente 23 cm de largo, que está diseñado para ser colocado junto a la televisión de manera longitudinal (por debajo o por encima de la pantalla).

Este sensor se utiliza principalmente para el reconocimiento gestual y postural, ya que es capaz de reconocer 25 puntos del cuerpo humano de hasta 6 personas de manera simultánea. El dispositivo incorpora una cámara RGB, con un procesador interno que ejecuta el software de Microsoft, proporcionando la captura del movimiento de todo el cuerpo en 3D a través de su sensor de profundidad. También cuenta con un micrófono multiarray interno, que permite poder reconocer las voces de los interlocutores.



Figura 5: Sensor Microsoft Kinect 2.0

Los principales componentes de este sensor son:

- Una cámara con una resolución de 1920 x 1080 píxeles full HD, que permite detectar con facilidad todo el entorno y que puede diferenciar la orientación del cuerpo del jugador.
- Una cámara de profundidad, que proporciona la información en escala de grises (512 x 424 píxeles) de la profundidad de los 25 puntos del cuerpo humano que detecta.
- Un sensor de infrarrojos (IR) que se utiliza para poder detectar a los jugadores en la oscuridad. Este sensor utiliza la tecnología Time-of-Flight (ToF), para



reconocer la profundidad en la que se encuentran las diferentes partes del cuerpo.

A continuación, se describen las 25 articulaciones del esqueleto humano que detecta:

0	Columna vertebral abajo
1	Columna vertebral medio
2	Cuello
3	Cabeza
4	Hombro izquierdo
5	Codo izquierdo
6	Muñeca izquierda
7	Mano izquierda
8	Hombro derecho
9	Codo derecho
10	Muñeca derecha
11	Mano derecha
12	Cadera izquierda
13	Rodilla izquierda
14	Tobillo izquierdo
15	Pie izquierdo
16	Cadera derecha
17	Rodilla derecha
18	Tobillo derecho
19	Pie derecho
20	Espina dorsal
21	Mitad mano izquierda
22	Pulgar izquierdo
23	Mitad mano derecha
24	Pulgar derecho

Tabla 2: Numeración de las articulaciones detectadas por Kinect

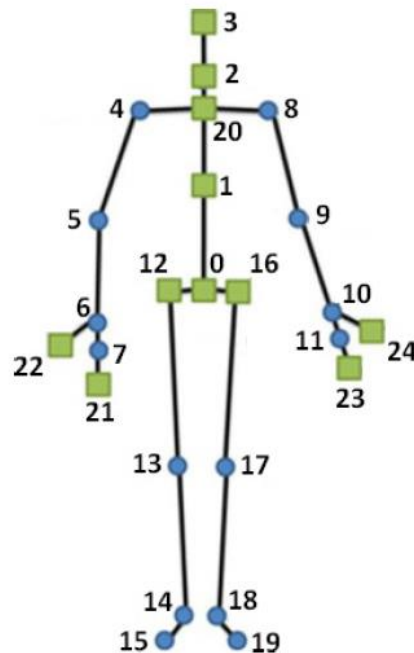


Figura 6: Articulaciones del esqueleto humano

El campo de visión del sensor es de 70° y 60° en horizontal y en vertical, respectivamente. Esto le permite detectar hasta un total de 6 jugadores, ya que amplía su rango de visión en comparación con su anterior versión (Kinect v.1.0). Sin embargo, no tiene el motor de inclinación que desplaza el sensor hacia arriba y abajo con el que contaba la anterior.

El sensor de profundidad tiene un rango de actuación de entre 0.5m y 4.5m, lo que significa que detecta la profundidad de cada una de las articulaciones que se detectan en ese rango, por lo que el jugador deberá estar colocado entre estas distancias, sin que haya nada entre él y el sensor. Para el desarrollo de este TFM, esta función ha sido realmente útil para detectar la posición y los movimientos del jugador.

Para poder conectar el sensor al ordenador, es necesario hacerlo a través de un puerto USB 3.0. Además, se debe obtener un adaptador (que no se proporciona junto con el sensor) para poder conectarlo al PC.

## *CÁMARA INTEL REAL SENSE*

La cámara 3D Intel® RealSense™ SR300 se compone, en realidad, de dos cámaras: una cámara web a color full HD (1080 píxeles) y una segunda cámara que mide la profundidad de los objetos o personas. Además, monta un proyector láser de luz infrarroja que se centra en las dimensiones. Cada uno de los tres elementos se centra en su propia tarea y, dependiendo del software que se utilice, se lleva a cabo una u otra.



*Figura 7: Cámara Intel Real Sense SR300*

Esta cámara permite a los usuarios jugar y controlar sus dispositivos únicamente con el movimiento de las manos y los dedos a una distancia de entre 0.2 y 1.5 metros. Su tecnología permite detectar 22 puntos de seguimiento por mano, pudiendo reproducir así los movimientos de forma más realista. Además, es capaz de identificar 8 gestos estáticos y 6 dinámicos como el gesto con los pulgares hacia arriba, el movimiento del saludo o el símbolo de la paz.

También integra un subsistema de sonido con doble micrófono que permite hacer uso de la voz como medio de control, emitir órdenes para ejecutar comandos en modo manos libres o dictar y traducir textos a voz en nueve idiomas.

Además, puede identificar hasta 78 puntos de un rostro reproduciendo tanto el movimiento de la cabeza, como las expresiones faciales, en tiempo real.

La cámara 3D Intel® RealSense™ proporciona un SDK libre para desarrolladores, con el fin de poder crear todo tipo de aplicaciones. Sin embargo, el SDK sólo hace un tracking del esqueleto humano de cintura para arriba, no detectando los posibles movimientos que se realicen con las piernas, por ejemplo.

## *CONCLUSIONES*

Los recientes avances tecnológicos han permitido crear aplicaciones a través de sensores inerciales, ópticos, por reconocimiento de voz, etc., que permiten monitorizar la actividad física que realiza una persona.

La supresión de controladores como el teclado y el ratón en distintas plataformas han permitido la creciente evolución de los dispositivos de interacción por gestos que, además, tienen una gran aplicabilidad en multitud de ámbitos, como en el caso de los videojuegos. Estas tecnologías emergentes están siendo aprovechadas por videoconsolas como Xbox 360 con Kinect o Nintendo Wii, que ofrecen una entrada de datos mediante gestos sin necesidad de utilizar controladores de juego. Además, existen evidencias de que el uso de sistemas interactivos hace más motivante y agradable un programa de rehabilitación o el ejercicio físico en general. Asimismo, el uso de interfaces gestuales como las que utiliza Kinect es beneficioso para las personas mayores (que padezcan artritis, por ejemplo), ya que se evita tener que

utilizar un mando o llevar nada acoplado al cuerpo. Es por ello, que se ha optado por el sensor Kinect para la implementación de este proyecto. Además, este sensor proporciona una SDK gratuita que da la posibilidad de mapear todas las articulaciones del esqueleto humano completo (al contrario que la cámara Intel Real Sense), necesarias para detectar la actividad física que se propone realizar.

Sin embargo, tiene una limitación, ya que para que funcione, el sensor necesita leer el cuerpo completo del usuario y así obtener todos los puntos de las articulaciones relevantes del esqueleto humano. Por lo tanto, no es posible realizar movimientos físicos que necesiten mover una extremidad por detrás del cuerpo, ya que están fuera del campo de visión de Kinect.

### 2.3.2 VIDEOJUEGOS

Como se ha comentado anteriormente, una de las estrategias emergentes para fomentar la actividad física (principal intervención en la fragilidad) en ancianos es a través de videojuegos, tanto para ser utilizados en casa (de manera individual), como en instituciones o residencias. De hecho, algunas ya cuentan con videoconsolas entre su oferta de entretenimiento para sus residentes, con la intención de estimular sus sentidos o fomentar el ejercicio físico. En Estados Unidos, por ejemplo, Microsoft puso en marcha el proyecto *Exergamers Wellness Group* en 2012, con el objetivo de ayudar a las personas mayores de Los Ángeles a ponerse en forma y a relacionarse con sus compañeros. En España, también existen residencias que utilizan videojuegos en sus actividades diarias (GeriatricArea, 2014).

Asimismo, y a medida que el mercado de los videojuegos crece, surgen metodologías para abarcar a un público mayor haciendo que los videojuegos se adapten a los distintos tipos de jugadores (ya sean jóvenes o adultos) ofreciéndoles a todos una experiencia personalizada.

Una de estas metodologías, con una clara tendencia creciente es el Ajuste Dinámico de la Dificultad (DDA) que no sólo tiene como meta abarcar a un mayor número de jugadores para generar más ingresos, también tiene como objetivo alargar la vida útil del videojuego, haciéndolo más rejugable, así como una mejora sustancial de la jugabilidad (y por ende de la experiencia del usuario), manteniendo al jugador en una zona de concentración durante más tiempo (González-Sánchez, 2010).

Además, debido a que muchos adultos han crecido jugando a videojuegos, éstos tienen un amplio interés como herramienta de enseñanza o de mejora de la salud (Edutainment o Exergames). Si a esto le sumamos las iniciativas de la sanidad pública en promover y mejorar la calidad de vida de las personas mayores y su independencia funcional (mediante la prevención de la discapacidad y la fragilidad), hace que un estudio más exhaustivo de dicha metodología sea necesario para producir una nueva generación de juegos, más enfocados hacia todos los públicos y que ofrezcan una sensación más complaciente de cara al usuario.

Asimismo, en el caso de los serious games aplicados en el ámbito del ejercicio físico (exergames), aumentar la satisfacción del usuario asegura que se consiguen alcanzar los propósitos terapéuticos y clínicos necesarios (Calin, 2016).

Hoy en día existen poderosos motores de juegos que pueden ser utilizados con bajo costo (como Unity 3D) para la implementación de dichos Serious Games.

## UNITY 3D

Este es el caso de Unity<sup>2</sup>, un motor de videojuegos basado en C++ nativo que proporciona una versión gratuita y que es ampliamente utilizado en la industria de los videojuegos gracias a su facilidad de uso. Los lenguajes de programación que pueden utilizarse son JavaScript, C# o Boo. El desarrollo se hace en plataforma Windows o Mac OS X, pero los juegos se pueden compilar para una amplia variedad de sistemas operativos, como pueden ser Windows, Linux, OS, navegadores (Firefox, Chrome, etc.), móviles (Android, iOS, etc.) y consolas de juegos (PS4, Xbox, Wii, etc.).

Además, Unity posee un *Assets Store* que proporciona una gran variedad de paquetes de desarrollo gratuitos y de pago. Un paquete es un archivo con una extensión *.unitypackage* que contiene recursos empaquetados como escenas, modelos 3D, código, complementos, etc., es decir, componentes que pueden ser utilizados en un videojuego. Todos los paquetes que se descarguen son almacenados localmente en el ordenador.

En Unity los proyectos tienen la siguiente estructura de directorios: Assets, Galería, Library, ProjectSettings y UnityPackageManager, pero la única carpeta que aparece en la interfaz de Unity y sobre la que se trabaja es Assets. Esta carpeta contiene todos los elementos del juego: material gráfico, código, audio, etc. La carpeta Library es la caché local para todos los archivos importados que además guarda todos sus metadatos y a carpeta ProjectSettings almacena las opciones que están configuradas desde la opción Edit | Project Settings de la interfaz.

En la base de Unity se encuentran los *gameObjects*, la clase base para todos los elementos de una escena. Así, los personajes, la cámara, cualquier objeto del escenario y los elementos de los menús son *GameObjects*.

Como característica y patrón de diseño de todo motor de videojuegos, cabe destacar el llamado *game loop*, que no es más que un bucle infinito que por cada iteración recibe una entrada, actualiza los elementos de juego necesarios y termina mostrando el resultado en pantalla. Sin embargo, en Unity este se encuentra oculto de cara al programador, pero proporciona la clase *MonoBehaviour*, que heredarán todos los scripts que dependan del ciclo de ejecución del motor.

## 2.4 AJUSTE DINÁMICO DE DIFICULTAD (DDA)

En este apartado, se introduce el concepto de DDA, no sin antes explicar la Teoría del Flujo en la que se basa.

El principal objetivo de la adaptabilidad en los videojuegos es poder medir las capacidades de un jugador durante una partida y conseguir adaptarla de modo que no sea aburrida ni compleja, evitando que el jugador lo perciba (*flow*). Este es básicamente el concepto de ajuste dinámico de la dificultad (Dynamic Difficulty Adjustment, DDA) o balanceo dinámico de la dificultad del juego (Dynamic Game Difficulty Balancing), desarrollar un sistema que cambie automáticamente los parámetros, escenarios y comportamientos necesarios en un videojuego en función de las capacidades del jugador, en tiempo real.

---

<sup>2</sup> Unity Technologies. Unity 3D. <https://unity3d.com/es>

## 2.4.1 TEORÍA DEL FLUJO (THEORY OF FLOW)

La introducción del mundo de los videojuegos en el sector de la salud ha sido provocada tras descubrir el efecto que los serious games provocan en el comportamiento de las personas.

La Teoría del Flujo (Csikszentmihalyi, 1991), formulada en 1975 por el psicólogo estadounidense Mihály Csíkszentmihályi, habla del *flujo* o *flow* como un estado cerebral que la persona alcanza cuando ésta se encuentra completamente absorta en la actividad que está realizando.

En los videojuegos se produce un primer contacto con el juego, momento en el que el jugador experimenta y aprende en que consiste el mismo, pero una vez interiorizado, puede producirse una absorción que hará que el usuario pueda estar jugando durante horas, estando inmerso en la actividad y sin ser consciente del tiempo que lleva jugando.

Para mantener a una persona dentro de dicha zona, la actividad necesita alcanzar un equilibrio entre el reto que presenta y las habilidades del jugador, siguiendo una Curva de Dificultad. Según dicha curva, se describe la gráfica mostrada a continuación:

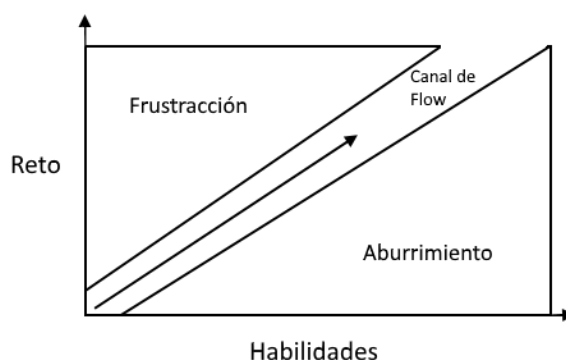


Figura 8: Teoría del Flujo

El eje vertical define la dificultad (el reto) y el eje horizontal las habilidades del jugador. Así, si la dificultad aumenta demasiado con relación a la progresión de las habilidades del jugador, se produce frustración; mientras que, si la dificultad disminuye de forma proporcional a la evolución del jugador y sus habilidades en el juego, termina generando aburrimiento.

Hoy en día, existen en el mercado videojuegos muy populares que provocan una fuerte atracción entre sus jugadores por su gran dificultad. Sin embargo, lo que puede llegar a ser estimulante en un caso (la frustración), puede generar el efecto contrario en personas mayores cuyo umbral de superación y/o frustración ya es lo bastante alto en su vida diaria. Generar frustración en este tipo de personas, sería perderlas como jugadores, por lo que en el caso de los serious games, evitar la frustración es mucho más determinante que evitar el aburrimiento. Sin embargo, para que exista una recuperación en el sujeto, se debe generar un aumento en la dificultad no dejando que salga de la zona de flow, hecho muy importante debido a los largos periodos de rehabilitación (uso del juego) que son prescritos a los usuarios.

Para conseguir esto, el aumento de la dificultad debe ser lento y progresivo, e incrementarse a medida que el sujeto supere los retos que el juego le propone, demostrando así que su habilidad es la adecuada en ese momento y manteniendo satisfactoriamente el flujo. Si esto ocurre, el nivel de interés, de reto y de distracción que está provocando su inmersión en el juego, hará que la persona “utilice sus habilidades al máximo”.

Para tratar de mantener al jugador en la zona adecuada, los juegos tradicionales siempre han tenido un ‘ajuste’ de dificultad, desde donde el jugador podía elegir entre 3 o 4 niveles (fácil, medio, difícil) antes de comenzar a jugar. El problema con este enfoque (estático) es que muchas veces el usuario no sabe qué nivel elegir, o lo elige de manera errónea (ya que siguen una curva de aprendizaje o dificultad predefinida), por lo que su experiencia de juego puede verse afectada negativamente y tienen un número limitado de niveles de dificultad (Andrade et al., 2016).

El ajuste dinámico de la dificultad intenta remediar esto intentando crear una experiencia más adaptada al jugador. A medida que éste mejora sus habilidades, así lo hace el reto. Sin embargo, implementar tales elementos en el juego no es una tarea fácil, y como resultado, estos métodos no están muy extendidos.

## 2.4.2 TIPOS DE DDA

A continuación, se presentan las diversas formas en las que se puede realizar un ajuste dinámico de la dificultad. Casi cualquier aspecto de un juego puede ser adaptado: los comportamientos de los NPCs (Non-Player Characters), el ritmo dramático, el contenido del juego, la narrativa, etc. Para ello, existen distintos tipos de implementación, desde una sencilla fórmula hasta mecanismos de aprendizaje que eligen el comportamiento o comportamientos (ya sea del juego o de los NPCs) más adecuados (Márquez, 2014).

### *DDA MEDIANTE GENERACIÓN AUTOMÁTICA DEL NIVEL*

Este tipo de DDA es utilizado en juegos donde el participante debe controlar un personaje cuyo principal objetivo es salir de un punto A y llegar a un punto B, realizando una serie de acciones durante el trayecto. Por ejemplo, en el juego de plataformas *Super Mario Bros* (Nintendo, 1985), estas acciones podrían ser saltar los barrancos, esquivar a los enemigos o recoger las monedas.

Utilizando como base el juego *Infinite Mario Bros* (un clon de *Super Mario Bros* de dominio público creado por Persson), autores como Yannakakis y Hallam (2006) desarrollaron un sistema para generar contenido automáticamente utilizando tecnología de Generación de Contenido Procedural (PCG). El PCG consiste en que el contenido del juego (tanto gráficos como elementos de juego) sean creados sin necesidad de que un programador los sitúe manualmente.

En la actualidad el PCG se utiliza de manera online para generar contenido de juego en tiempo real, como mapas o tracks de carreteras en juegos de coches, a medida que el juego avanza. En el caso del juego *Infinite Mario Bros*, los elementos de juego que son creados automáticamente son los propios niveles, generando así un juego infinito que cambia cada vez que alguien juega.

Un paso más allá se da tras la investigación de Shaker, Yannakakis y Togelius en 2010. Los autores adaptaron los niveles del Infinite Mario Bros proceduralmente partiendo de los datos obtenidos de 327 jugadores. Estos datos fueron: las características controlables de juego (número de agujeros, etc.), los datos obtenidos durante la partida (número de saltos, tiempo, etc.) y la experiencia subjetiva del jugador en base a diversión, reto y frustración puntuada del 1 al 4. Primero, las características controlables eran determinados por un perceptrón. Después, se entrenaba un perceptrón multicapa para que dado un conjunto de características controlables del nivel y de datos obtenidos durante la partida, aprendiese que experiencia tendría el jugador. Por lo que una vez entrenado, a partir de los datos del nivel, el perceptrón multicapa podría proporcionar información sobre cómo iba a ser para el jugador la experiencia en ese nivel (divertida, desafiante o frustrante).

Asimismo, en el estudio propuesto por Teats, Smith y Fruin (2010), también utilizaron una Red Neuronal Multicapa para clasificar los distintos segmentos que completan un nivel. Por lo que, basándose en el grado de dificultad del jugador, en vez de generarse todo un nivel completo, se generaba uno u otro segmento del nivel durante el juego.

Aunque ambos estudios presenten un gran avance en la generación de niveles y sean fácilmente portables (basta con identificar las partes controlables del nivel, y determinar mediante testing que características contribuyen más a la experiencia del usuario) necesitan gran evaluación por parte de los usuarios y grandes volúmenes de información proporcionados por el diseñador para un óptimo aprendizaje.

En las anteriores investigaciones, se trata la Generación de Nivel Procedural (Procedural Level Generation), ya que lo que se genera en el juego son niveles (aunque sean pequeños segmentos) y no el contenido de los mismos.

A pesar de existir multitud de juegos con contenido generado proceduralmente (como *Minecraft*, por ejemplo), existen pocos estudios en los que se utilice para generar niveles conforme a las habilidades del jugador. Sin embargo, sí se utiliza para modificar su contenido, apartado que veremos más adelante.

### *DDA MEDIANTE LA MODIFICACIÓN DE LA IA*

Existen muchos juegos en los que el usuario percibe el nivel de dificultad del mismo, en función de cómo juega su contrincante. Sobre todo, esto ocurre en juegos de estrategia donde el jugador tiene que enfrentarse a su oponente (*Civilization*, *Command & Conquer*, etc.)

En estos casos, la Inteligencia del juego funciona con un algoritmo predefinido. El nivel de fuerza que tenga esta IA en la partida estará determinado por la calidad de dicho algoritmo y dependerá de la dificultad que elija el jugador desde la sección de configuración del juego. Si en este caso, se quisiera realizar un ajuste de la dificultad del oponente que está siendo controlado por la IA de manera dinámica, se debería seleccionar el algoritmo que utilizaría la IA contra un determinado jugador, en modo online y en función de sus habilidades.

Las técnicas más utilizadas para este tipo de DDA son el scripting dinámico, algoritmos genéticos, agentes adaptativos (MiniMax) o aprendizaje por refuerzo (Q-Learning), con las que se controlan los movimientos de los oponentes (NPC) y modifican sus comportamientos.

Por ejemplo, en el caso de los algoritmos genéticos, se crean tanto online como offline (manual) una serie de agentes predefinidos con buenas características, y son usados como padres con el objetivo de guiar la evolución. Así, evolucionan los que se encuentran más cerca de las habilidades del jugador (Chang, 2013). No obstante, aunque puede resultar un enfoque interesante, presenta varias limitaciones. Por ejemplo, en el caso de los jugadores expertos puede que no exista ningún agente predefinido y, por el contrario, en el caso de los jugadores inexpertos, el proceso de aprendizaje puede llegar a ser bastante lento. Asimismo, no existe posibilidad de regresión, por lo que la capacidad de los agentes sólo puede crecer, es decir, si por ejemplo un usuario deja de jugar durante un tiempo determinado y pierde parte de sus habilidades, los agentes no serán capaces de adaptarse a dicho cambio. Con esto, se debe asegurar que los agentes cubren todos los distintos tipos de habilidad, comenzando su evolución desde el nivel más fácil. Sin embargo, este hecho implica que un jugador habilidoso pueda aburrirse durante todo el proceso que el algoritmo necesita mientras evoluciona, hasta que consigue alcanzar sus habilidades (Márquez, 2014).

Por otro lado, en su investigación en un juego de lucha, Andrade et al. (2005), proponen el aprendizaje por refuerzo abordando el problema del DDA de dos formas diferentes: primero aprendiendo offline (creando agentes que aprendan estrategias óptimas), y luego adaptándolo online (donde el agente puede elegir qué acción realizar en función de las habilidades del jugador). Para ello, se necesita medir implícita o explícitamente la dificultad que está experimentando un jugador en un determinado momento. Esto se consigue a través de una *función heurística* o *función de reto*. Esta función obtiene el estado del juego en un momento dado con un valor de dificultad que indica cómo le está resultando la partida al jugador: fácil o difícil. Ejemplos de heurísticas pueden ser el tiempo que está tardando en completar un nivel o su nivel de salud. De esta manera, si el juego está resultando demasiado fácil al jugador, se le penaliza, y si el juego está resultando difícil, se ofrecerá una recompensa. Este enfoque tiene la ventaja de que el modelo matemático de aprendizaje corresponde con los objetivos del agente. Sin embargo, también presenta inconvenientes, y es que el agente puede que no sea capaz de ganar a un jugador experto, ya que tendría que aprender previamente (es por eso por lo que primero se realiza un aprendizaje offline), o, por el contrario, puede crear comportamientos poco creíbles con tal de mantener un equilibrio en la partida (Márquez, 2014).

### *DDA MEDIANTE EL AJUSTE DEL CONTENIDO DEL NIVEL*

Este tipo de DDA consiste en realizar un ajuste de dificultad en base a los tipos y cantidades de elementos (contenido del nivel) que aparecen durante el transcurso de la partida.

Este ajuste es uno de los más utilizados en los juegos en los que el personaje utiliza un inventario (salud, munición, armas, escudos, etc.), así pues, dependiendo de las habilidades del jugador, el juego realizará los ajustes necesarios como repartir los objetos importantes (armas) o dejar botiquines a lo largo del nivel actual.

Aparte del uso de técnicas comunes como los algoritmos evolutivos (Andrade et al., 2016), también existen técnicas como el *Secuenciador de Pfeifer* que controla la tensión dramática y el ritmo de juego mediante la dificultad (Pfeifer, 2003) y en el que se basan juegos como *Left 4 Dead*, o el método probabilista propuesto por Hunicke y



Chapman (2004) para evaluar dinámicamente la dificultad de un obstáculo basándose en las acciones del jugador.

Sobre todo, nos centraremos en explicar el secuenciador propuesto por Pfeifer, ya que será la técnica en la que nos basaremos para implementar nuestro sistema.

## SECUENCIADOR

El objetivo del autor es implementar un sistema que permita controlar qué eventos se crean en el juego para poder ajustar la experiencia del jugador. El sistema, actuará como un secuenciador que mezclará los distintos eventos con el objetivo de crear un ritmo de juego que sea adecuado para el jugador. Si además se miden las habilidades del jugador, se puede saber en qué zona de *flow* se encuentra, pudiendo así aumentar el desafío del juego.

El secuenciador está compuesto por los siguientes elementos:

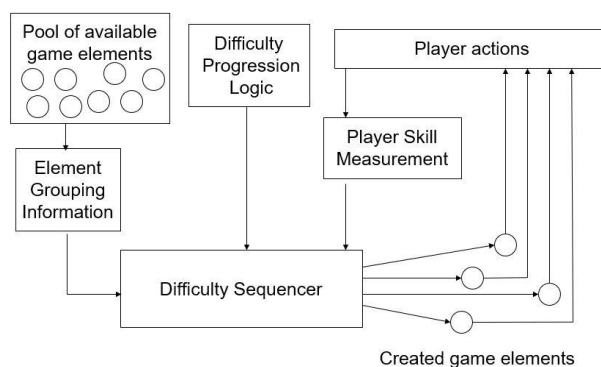


Figura 9: Esquema de los componentes del sistema (por Pfeifer, 2003)

## Elementos dinámicos de juego

Son los objetos del juego que pueden cambiar en un momento dado y que afectan a la dificultad. A estos objetos se les puede evaluar su dificultad: tipos de enemigos, tipos de armas, botiquines, etc. Éstos, a su vez, pueden estar compuestos de otros subelementos que también necesitan ser evaluados.

Es el programador del videojuego, la persona encargada de asignar una puntuación de dificultad a cada objeto, de esta forma, como no existe una gran variedad de factores, las heurísticas pueden ajustar su valor de manera sencilla. Asimismo, también se define una escala de dificultad que se corresponde con el valor de las habilidades del jugador (p. ej. 1 fácil, 10 difícil).

Intentar definir mediante una fórmula este cálculo, en vez de realizarlo manualmente, es una tarea problemática, ya que el programador definirá una heurística que puede tener varios factores como: la precisión, el daño, estrategias de IA utilizadas, el rango, etc. sin añadir excesiva dificultad al sistema. Si la dificultad que tienen asociada los elementos de manera individual cambia de una forma frecuente, es posible que el juego necesite un sistema más robusto y automático para poder definir la dificultad de los elementos, hecho que hará que el sistema sea mucho más complejo de ajustar (Márquez, 2014). En un juego de acción, por ejemplo; si los enemigos acceden a modificadores que afectan a su nivel de fuerza (coger un arma poderosa), el juego tendría que volver a calcular la dificultad de los enemigos en base a las combinaciones

de los diferentes factores de dificultad que los programadores hayan asignado a cada subelemento.

### *Progresión lógica de la dificultad*

Tras una etapa de balanceo de juego, se determinan dónde están los puntos fáciles y difíciles y pueden ser de dos tipos:

- *Offline*: en este caso, son los programadores los que indican al sistema donde están los puntos fáciles y difíciles del juego. Pueden crear áreas de triggers y asociar a cada área una dificultad, así como una lista de los enemigos disponibles o los puntos en los que deben aparecer. Esto también es conocido como *especificación*, la cual define el estado del jugador 'medio' y los objetos que puede haber en ese área.
- *Basado en mecánicas de juego*: en este otro caso, la dificultad se basa en algún elemento que indique la experiencia en el juego como, por ejemplo, la cantidad restante para finalizar el nivel. Así, a medida que el jugador va completando todos los objetivos propuestos para completar ese nivel, el juego irá adaptando su dificultad.

### *Medición de las habilidades del jugador*

La medición se basa en una heurística que puntúa cómo lo está haciendo el jugador hasta el momento, midiendo de esta forma sus habilidades. Un ejemplo de heurística podría incluir el tiempo, la dificultad de los elementos completados y el número de elementos no completados.

Uno de los factores a tener en cuenta para realizar la medición, es que el ajuste de la dificultad debe hacerse de forma invisible para el jugador, si no es así, es posible que se deba descartar dicho ajuste. Además, se deberían evitar factores adicionales (como lo efectiva que es un arma o el daño causado p. ej.) que no estén directamente asociados con la efectividad, ya que utilizando elementos básicos ya se están teniendo en cuenta (p.ej. una mala puntería con un arma no significa que no esté derrotando enemigos) (Márquez, 2014).

### *Información de los elementos agrupados*

Agrupar los elementos es un paso previo antes de ser seleccionarlos para asignarles una determinada dificultad. Esta información es una serie de restricciones extras, que se utilizan para elegir los elementos que acentúan los objetivos del juego, ya que el seleccionar los elementos aleatoriamente no produce buenos resultados. En el caso de Pfeifer (2003), esta información es las combinaciones posibles de los elementos. Las restricciones pueden ser estéticas (los enemigos del tipo A siempre salen de dos en dos, p.ej.) o propias de la dificultad del juego (el enemigo del tipo A está siempre acompañado de uno del tipo B o, completando el objeto X, se desbloquea el objeto Y). Normalmente, una manera sencilla de realizarlo es que el programador añada la información adicional como una entrada al sistema, permitiendo que controle las relaciones concretas entre elementos (Márquez, 2014).

### *Secuenciador de dificultad*

El objetivo del secuenciador es seleccionar los elementos necesarios para lograr la dificultad deseada en el juego, con respecto a la información de éstos, la progresión de la dificultad y la pericia del jugador.

De entre el conjunto de elementos disponibles, el secuenciador elige de forma aleatoria el elemento que cumpla las características asignadas por la agrupación, siempre y cuando la suma no supere el valor de la dificultad objetivo.

$$\text{Dificultad objetivo} = \text{Habilidad del jugador} \times \text{Modificador de Dificultad}$$

El Modificador de Dificultad está definido por la progresión de la dificultad dado un lugar y/o un tiempo en el juego, por ejemplo: muy difícil: 5, difícil: 4, normal:3, fácil: 2 y muy fácil un 1. Si en el juego se han definido subelementos (escudos), éstos deberán tener su propia dificultad asignada. Así pues, el secuenciador tendrá en cuenta cada una de las posibles combinaciones (enemigo A con escudo del tipo B) y la dificultad total, será la suma de todos los elementos. Por ejemplo: si las habilidades del jugador son 2, y el jugador se encuentra en un área que tiene asignado un valor de 4 (un área difícil), la Dificultad Objetivo será  $2 \times 4 = 8$ .

Es posible permitir que sea el programador el que especifique los modificadores de dificultad directamente, pero el ejemplo anterior tiene varias ventajas: el hecho de limitar el número de dificultades a estados discretos hace que el sistema sea más intuitivo para el programador, que sabe que resultado debe obtener en cada momento. Además, esta opción permite cambiar el valor de los modificadores, de modo que, si un valor de 1 no es suficiente para ser 'muy fácil', este puede ser modificado sin necesidad de ajustar las dificultades en cada área del juego (Márquez, 2014).

Uno de los puntos fuertes de este enfoque es su facilidad para ser ajustado (ya que no hace falta ajustar cada posición del enemigo, el tipo, etc.), su rapidez y su sencillez de desarrollo. Asimismo, poder tener diferentes situaciones y que no sean percibidas por el jugador durante la partida, hace que el sistema sea más rejugable.

### *MÉTODO PROBABILISTA*

Otra de las técnicas de ajuste del contenido del nivel es la propuesta por Hunicke y Chapman en 2004, donde se describe 'Hamlet', el sistema desarrollado por los autores y que utiliza técnicas de investigación operativa y teoría de inventario, con el objetivo de realizar un análisis y ajustar la provisión y demanda de objetos en el juego, pudiendo tener un control general de la dificultad.

A medida que avanza el juego, Hamlet usa métricas estadísticas para monitorizar los datos del mismo. Pasado un tiempo, y en base a dichos datos, Hamlet estima el futuro estado del jugador. Cuando se predice un estado no deseado pero que puede ser evitado, el sistema interviene y ajusta los parámetros necesarios del juego.

Realizando un análisis de manera offline y mediante técnicas de minería de datos, los autores proponen una técnica probabilista para evaluar de forma dinámica la dificultad de un obstáculo en función de las acciones del jugador.

Sin embargo, y a pesar de tratarse de una técnica muy interesante para realizar ajustes de contenido del nivel y que a priori, parece que puede trasladarse a otros géneros que no sean juegos de acción, no parece haber indicios de que esta técnica haya sido aplicada en juegos reales, ya que sólo aparece nombrada en varios artículos científicos (Márquez, 2014).

## 3. DISEÑO

---

Una vez realizada la revisión bibliográfica, se detalla a continuación el diseño seguido para la implementación del sistema FRAGILESS.

Como se ha comentado anteriormente, la práctica de ejercicio físico es, hasta ahora, la intervención más eficaz para retrasar la discapacidad y los eventos adversos que asocia habitualmente el síndrome de la fragilidad en las personas mayores. Es por ello, que este proyecto tiene como objetivo disminuir o retrasar su grado de fragilidad mediante la realización de actividad física, mejorando así su capacidad funcional.

Para ello, se ha querido proponer un programa de ejercicios diseñados a medida para tal fin, que se realicen junto con el sensor Kinect, con el que la persona podrá interactuar y realizar los distintos tipos de ejercicio dentro de un escenario progresivo tanto de ejecución como de dificultad. Este programa de ejercicios se llama *FRAGILESS*.

### 3.1 DISEÑO CENTRADO EN EL USUARIO

Con el objetivo de conocer y comprender las necesidades y limitaciones de las personas mayores, se ha seguido la metodología del Diseño Centrado en el Usuario. Los resultados preliminares de su aplicación fueron presentados en el congreso ACM User Modelling, Adaptation and Personalization (UMAP 2019), dentro del workshop HAAPIE: Human Aspects in Adaptive and Personalized Interactive Environments (Sáenz-de-Urturi & Santos, 2018).

La primera fase, consistió en hablar con un fisioterapeuta experto para identificar las necesidades y los objetivos de la terapia física tradicional para tratar la fragilidad.

La conclusión fue que la mayoría de los ejercicios que se realizan actualmente en los gimnasios y en terapias, están dirigidos a reducir el riesgo de caídas, ya que incluyen mejoras en el equilibrio, fuerza en las extremidades superiores e inferiores, coordinación, transferencia de cargas, velocidad de la marcha y orientación espacial. Además, estos ejercicios se relacionan con la flexibilidad y la fuerza progresiva con el peso.

Como se ha comentado anteriormente, se ha elegido el sensor Kinect para la implementación de este proyecto, sin embargo y tras la limitación debida a su campo de visión, el primer prototipo del sistema incluye ejercicios en el plano frontal o coronal, evitando los planos transversales y sagitales.

A pesar de esta limitación, el sistema puede implementar los ejercicios diseñados por el fisioterapeuta, como agacharse y levantarse, movimientos laterales que implican transferencias de carga (desplazamiento del centro de masa), levantamiento de brazos y piernas en forma homolateral y contralateral (que involucra mantenimiento de peso y equilibrio) y movimiento de circunducción de los hombros. Con estos ejercicios, se incluye un entrenamiento de ejercicio neuromotor, que se recomienda específicamente para adultos mayores que tienen poca movilidad o que sufren un alto riesgo de caída.

Una vez diseñadas las actividades, 20 usuarios potenciales fueron encuestados con el objetivo de evaluar la validez de este diseño teniendo en cuenta sus comentarios. Este

cuestionario (ver Anexo 7.1) incluye tanto preguntas demográficas y de condición física, así como preguntas sobre la utilidad y la ejecución del conjunto de ejercicios diseñados. De esta forma, se obtiene una visión general de la condición física de los participantes y su opinión acerca de los ejercicios propuestos.

Todos los ejercicios que se incluyen en el cuestionario fueron realizados delante de los participantes para su completa comprensión. Estos ejercicios son:

- Agacharse
- Levantarse
- Movimiento lateral de piernas
- Elevación y descenso de piernas
- Elevación y descenso de brazos
- Elevación y descenso de piernas y brazos homolateral
- Elevación y descenso de piernas y brazos contralateral
- Movimiento de circunducción del hombro sobre plano frontal

Los requisitos para incluir a los voluntarios en este estudio fueron:

- Edad  $\geq$  70 años
- Puntuación MMSE (Mini Mental State Examination)  $\geq$  21/30

El test MMSE (Folstein, Folstein & McHugh, 1975) se incluyó para asegurar que los candidatos tenían suficiente habilidad cognitiva para responder a las preguntas del cuestionario.

Una vez realizado este estudio preliminar y analizados los resultados (incluidos en la sección 4.1), se implementaron dichos ejercicios en el juego.

## 3.2 IMPLEMENTACIÓN DEL JUEGO

Para llevar a cabo dicha implementación, primero es necesario recoger los movimientos del usuario y mapearlos en un avatar 3D. Los juegos en tercera dimensión son de carácter inmersivo, es decir, tienen la capacidad de hacer sentir a las personas que son ellos los que, con sus propias piernas, se desplazan por los escenarios e intentan pasar de un nivel a otro. Este factor es de suma importancia cuando se trata de mantener al jugador y hacer que no abandone el juego, especialmente si se trata de terapias de rehabilitación que pueden llegar a tener largos periodos de tiempo.

Para dotar al videojuego de un entorno en tres dimensiones y, especialmente, utilizar un avatar en 3D, se ha utilizado el motor gráfico Unity 3D.

### *PERSONAJE*

Como se ha comentado anteriormente, el personaje (modelo 3D) es mapeado a las 25 articulaciones del esqueleto humano que proporciona la SDK. Para ello, los modelos 3D necesitan ser del tipo *rigged*. En Unity, estas articulaciones o joints, se mapean a través de sus transformadas. Una vez relacionada cada articulación, con su extremidad en el modelo, hay que adjuntar al mismo el componente *AvatarController* (proporcionado por el paquete Kinect v2 MS-SDK) que será el encargado de unir los movimientos del usuario recogidos por el sensor con el personaje. Cabe destacar que, en este caso, no se utiliza el modo espejo (Mirrored Movement), ya que la posición del

personaje por defecto en esta librería es de espaldas, justo la posición que necesitamos para el juego. Esto significa que, si el usuario mueve su brazo izquierdo, el personaje también moverá su brazo izquierdo de igual manera, ya que estará de espaldas.



Figura 10: Mapeo de los joints de la SDK al modelo del personaje 3D

## PAQUETES DE UNITY 3D

A pesar de que Unity permite escribir código de juego en C#, JavaScript o Boo, Fragiless está implementado un 90% en C#, con algún script sencillo de manejo de objetos del juego en Javascript.

Para el diseño de este videojuego, se han utilizado los paquetes gratuitos: Kinect v2 MS-SDK, EasyRoad3D, Time of Day o PBR Desert Landscape entre otros.

El paquete Kinect v2 MS-SDK, proporciona la librería necesaria para obtener los puntos del esqueleto humano y mapearlos en un avatar 3D, permitiendo así obtener los movimientos que realiza el usuario a través del sensor Kinect. Este paquete utiliza la librería SDK/Runtime de Microsoft.

## SESIONES PLAYTESTING

Estas sesiones se realizaron con el objetivo de descubrir como los usuarios interactuaban con el juego, en concreto, para comprobar cómo interactuaban con el sensor, si las alturas de los objetos/obstáculos eran las adecuadas y sobre todo para recoger una serie de estadísticas que nos ayudasen a balancear el juego.

Aunque hubieran sido necesarias más sesiones de testeo, por motivos de tiempo sólo se pudieron llevar a cabo dos sesiones con varios usuarios cada una.

Tras estas sesiones hubo que realizar varias modificaciones en el juego:

- El modelo 3D del personaje (avatar) pasó a tener una textura grisácea y transparente, ya que si la silueta del modelo tenía el color de la textura (ropa) original, impedía a algunos usuarios poder ver correctamente los obstáculos.
- Hubo que añadir un dibujo de una señal de aviso o peligro, así como un texto y una flecha, cada vez que una rama alta horizontal (ejercicio de agacharse) aparecía en el camino, ya que algunos usuarios percibían que el obstáculo

estaba más lejos, por lo que no se agachaban en el momento adecuado. Cada vez que aparece esta rama, aparece junto a ella una flecha hacia abajo indicando que hay que agacharse, y una vez se pasa el obstáculo, una flecha hacía arriba indicando que hay que levantarse.

- Hubo que realizar varias modificaciones en las alturas de las ramas que contienen un objeto, ya que ni en el mejor de los casos los usuarios levantaban el brazo tan alto.
- A todos los modelos 3D de los obstáculos se les añadió un borde rojo alrededor, para ayudar a su visualización.

## *ESCENAS DE JUEGO*

Todos los elementos que se ejecutan durante el juego existen en una escena. Cuando el juego es compilado para una plataforma (en este caso un PC), el juego resultante es un conjunto de una o más escenas. Fragiless tiene alrededor de 4 escenas consecutivas. Una escena se puede entender como un nivel de un juego.

Estas escenas, y especialmente todos los componentes que aparecen en ellas, han sido diseñados siguiendo una serie de directrices para diseñar juegos para personas mayores (Gerling, Schild & Masuch, 2010). Es por ello, que todas las imágenes o botones que aparecen en la interfaz tienen un tamaño grande para poder ser correctamente visualizados, especialmente si tenemos en cuenta que los usuarios se encuentran a 1.5 metros de distancia de la pantalla.

A lo largo del recorrido, no se han insertado objetos en el paisaje, con el fin de no distraer a los usuarios de su tarea y todos los brillos o *shaders* que podían tener los objetos 3D han sido eliminados para no dificultar su visión. Además, han sido contorneados en rojo para indicar su presencia en el juego.

A continuación, se detallan las escenas del juego que han sido desarrolladas en orden secuencial.

### *Escena 1: Menú de inicio*

El menú de inicio es la primera escena que se visualiza e incluye tres opciones que el jugador puede seleccionar:

- *Jugar*: Se dará paso a la escena 2.
- *Opciones*: Permite cancelar el audio del juego (la música de fondo) o realizar una calibración del sensor. Esta opción visualiza en pantalla el campo de visión de Kinect en esos momentos, además de mostrar el tracking de los puntos del usuario. Esta opción es recomendable ejecutarla si el sensor no está leyendo bien a alguno de los participantes.
- *Salir*: Termina la ejecución del programa.

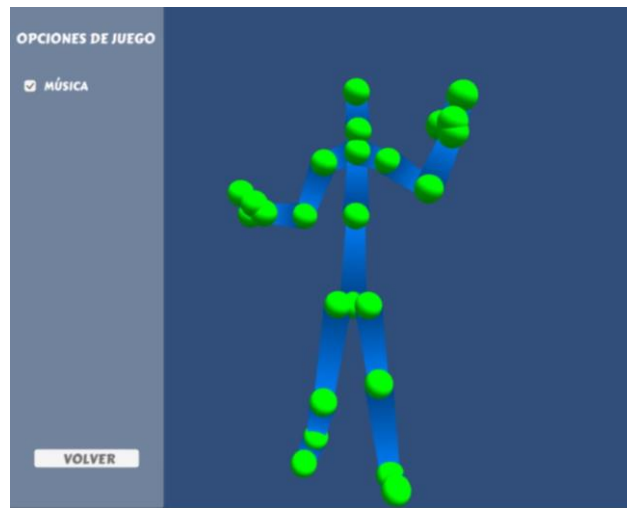


Figura 11: Escena de calibración

### Escena 2: Selección del personaje

Al inicio del diseño de este proyecto, se realizó un *focus group* con 5 usuarios potenciales del juego (Nielsen, 2000), para comentarles la idea de hacer ejercicio a través de un videojuego. Como aspecto relevante tras la discusión, se obtuvo que, si el juego iba a tener un avatar a modo de representación del usuario, todos preferían un personaje que se pareciera a ellos, es decir, que el personaje fuera un humano y no un robot o un *cartoon*. Es por ello, que los personajes de este juego son modelos 3D que intentan parecerse a personas mayores.

En esta escena, el jugador elige el personaje con el que desea empezar la actividad teniendo que elegir entre una mujer o un hombre:



Figura 12: Modelos 3D de los personajes del juego.

Si bien es cierto que, aunque el personaje pueda tener parecido a una persona mayor, a lo largo del juego sólo se visualiza su parte de atrás. Además, después de hacer una prueba de juego, las texturas de los modelos tuvieron que ser cambiadas a un tono gris y transparente, ya que la figura del propio personaje les impedía ver el recorrido de manera adecuada.



### Escena 3: Escena de Juego

La siguiente escena del juego empieza con un largo camino recto por el que el personaje irá avanzando automáticamente sobre una plataforma. Mientras avanza, el jugador deberá ir esquivando obstáculos y recogiendo objetos.

Al iniciar un nuevo juego, el jugador comenzará siempre con una vida al 100% y una puntuación de 0 puntos. El objetivo es recoger tantas monedas y evitar todos los obstáculos que pueda para conseguir la mayor puntuación.

Dentro de los objetos que se pueden recoger existen dos tipos: monedas y manzanas. Las manzanas no aumentarán la puntuación, sólo proporcionarán puntos de vida al personaje, con lo que la duración del juego se verá incrementada, ya que la única forma de 'morir' es que el personaje agote todos sus puntos de vida.

Si el usuario pasa un obstáculo, aumenta su puntuación con 10 puntos más. Cuando esto ocurre aparece un texto indicativo de los puntos conseguidos en verde en el centro de la pantalla (+10), además de producirse un feedback auditivo representado con un sonido de acierto.

Con la idea de que el usuario realice los actividades físicas o ejercicios inicialmente planteados: levantarse, agacharse, etc., los obstáculos se encuentran situados de manera estratégica a lo largo del camino. Los tipos de obstáculos junto con los ejercicios que implican se detallan a continuación:

*Rocas o troncos bajos:* Este tipo de objetos aparecen a la altura de la base de la plataforma, tanto por el lado izquierdo como por el derecho. Para salvar el obstáculo el usuario deberá realizar un movimiento lateral (implicando una transferencia de carga) hacia el lado contrario al que se encuentra el obstáculo.

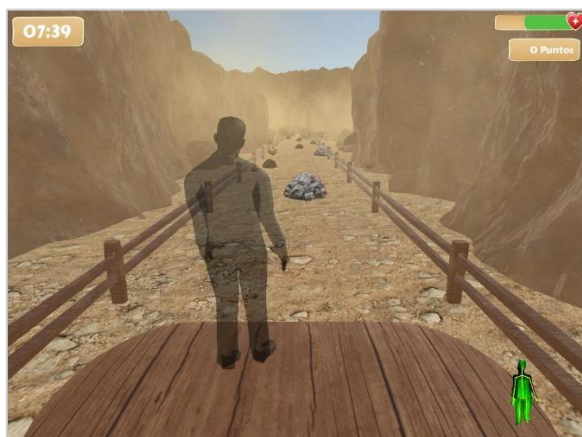


Figura 13: Objeto que implica una transferencia de carga

*Ramas altas:* Estos obstáculos aparecen en la parte superior del camino, aproximadamente a la altura de la cabeza del personaje. Salvar este obstáculo implica que inicialmente deben agacharse, y una vez pasado, volver a levantarse para volver a su posición inicial.



Figura 14: Objeto que implica agacharse y levantarse

*Ramas altas con manzanas/monedas y troncos bajos:* En este tipo de obstáculos el camino y la plataforma se estrechan un poco y aparecen troncos bajos a la altura de la base de la plataforma y ramas altas con manzanas o monedas en la parte alta. Manteniendo una posición en el centro de la plataforma, se debe levantar una pierna por el mismo lado por el que se acerca el tronco. La pierna ha de levantarse tan alto como para no tropezar con el tronco, implicando una elevación y descenso de piernas como ejercicio. A su vez, aparece un objeto en la parte alta, por lo que para completar el ejercicio se debe levantar bien alto el brazo por el lado en que aparezca la manzana/moneda y tocarla al llegar. Si se llega a tocar la manzana/moneda, desaparecerá de inmediato de la rama en la que se encontraba y dejaremos de verla en la pantalla antes de dejarla atrás. Un sonido de acierto volverá a reproducirse.

Para que su visualización fuera más fácil, se ha aplicado tanto a las manzanas como a las monedas un movimiento rotatorio infinito, con el fin de distinguirse del resto de la rama.

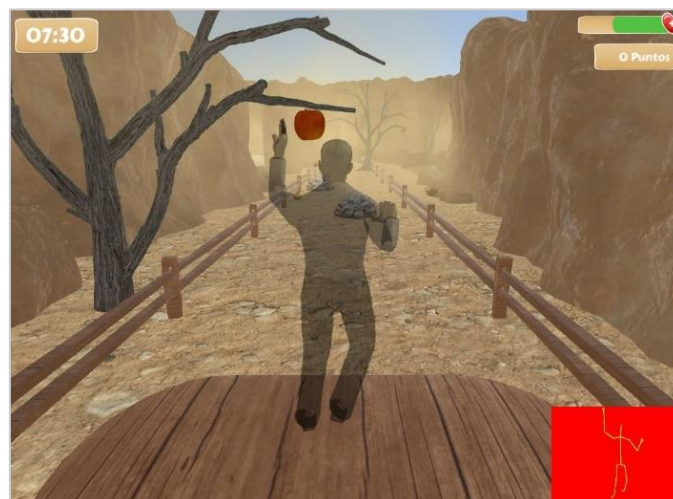


Figura 15: Elevación de brazos

*Monedas sin rama:* Para conseguir un movimiento que implicase una circunducción de hombros en el plano coronal, se han colocado monedas en la parte superior y a lo

largo del camino de forma que aparezcan una detrás de otra simulando una espiral. Si el usuario desea coger todas las monedas, se verá obligado a ejecutar este movimiento.



Figura 16: Circunducción de hombros

A modo de ayuda (y tras varias pruebas de juego con los usuarios), cada vez que se acerca un obstáculo aparece una señal de peligro en mitad de la pantalla, indicando que un obstáculo se aproxima.



Figura 17: Señal de aviso

### 3.3 AJUSTE DINÁMICO DE DIFICULTAD

En esta sección explicaremos el DDA propuesto, el cual está basado en un ajuste de contenido de nivel que trata de implementar este proceso como un problema de satisfacción de restricciones.

Debido al diseño de juego definido, un personaje que tiene que ir por un camino evitando obstáculos y realizando ejercicios empezando en un punto A y terminando en un punto B, se trata de un juego lineal. Los obstáculos que aparecen en el camino pueden variar, ya que son elegidos por el DDA, por lo que ninguna partida será igual que la anterior.

#### 3.3.1 COMPONENTES DEL DDA

El sistema desarrollado es una extensión del secuenciador descrito por Pfeifer anteriormente explicado y sus componentes son los siguientes:

**Segmentos:** Se trata de una división del camino en segmentos, estando cada uno de ellos compuesto por los elementos u obstáculos que pueden aparecer, las restricciones (información de los elementos) y la dificultad correspondiente.

El camino (o nivel) se ha creado manualmente y está compuesto por 20 segmentos en total, estando cada segmento unido con el anterior como se indica en la figura siguiente:

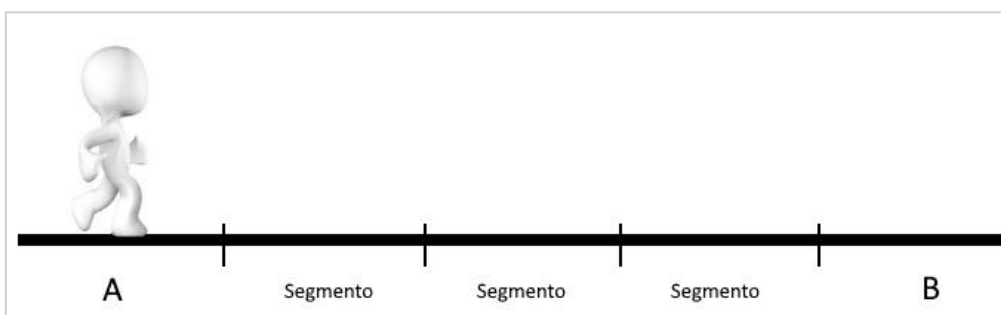


Figura 18: Ejemplo de camino de juego dividido en 3 segmentos.

La duración del personaje dentro de un segmento es aproximadamente de un minuto (a medida que la plataforma avanza a una velocidad constante), por lo que en completar el camino/nivel entero se tarda unos 20 minutos aproximadamente.

**Restricciones:** Son las restricciones que deben cumplir los elementos que el DDA elija para ser asignados a un segmento en concreto.

**Progresión lógica de la dificultad o especificación:** Describe el estado del jugador 'medio' en un segmento dado.

**Estadísticas:** Este componente realiza un seguimiento del comportamiento del jugador y el estado actual del juego.

*Secuenciador de dificultad:* Este componente es el que incluye la parte de IA, ya que trata de resolver el problema de satisfacción de restricciones propuesto por el segmento y las estadísticas.

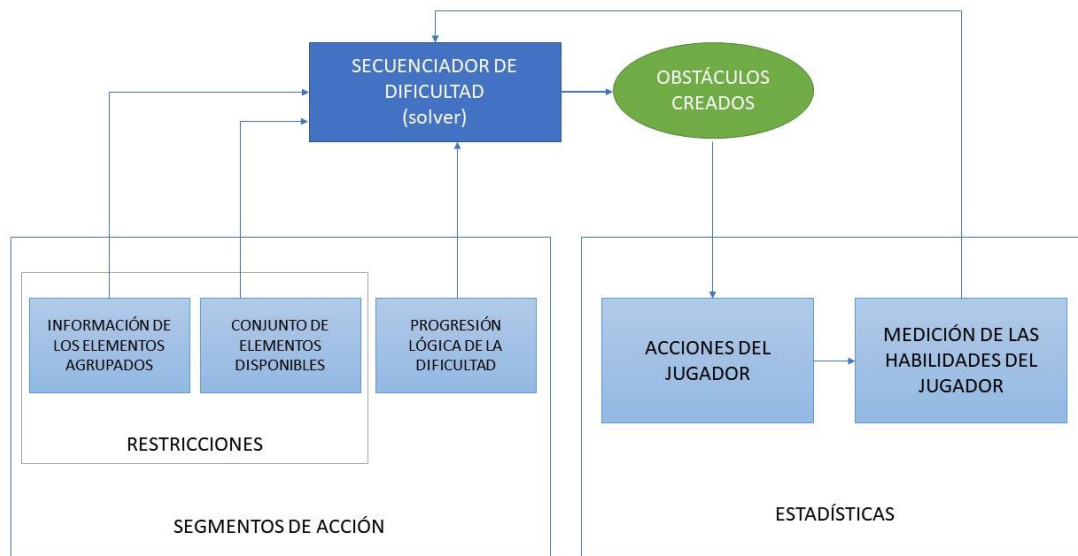


Figura 19: Esquema de los componentes del DDA

### DEFINICIÓN DE RESTRICCIONES

Una vez que el camino está dividido en segmentos se añaden las restricciones, haciendo de esta implementación un problema de satisfacción de restricciones (Constraint Satisfaction Problem, CSP) que debe resolver el DDA.

Estas restricciones principalmente se basan en el tipo de obstáculos que pueden aparecer en un segmento, el número máximo y el número mínimo. Esto último es importante, ya que la técnica de DDA que se propone se basa en que existe al menos una función de optimización. Aparte de las restricciones básicas, pueden aparecer otro tipo de restricciones que impliquen, por ejemplo, la aparición de un tipo de obstáculo, si y sólo si ha aparecido previamente uno anterior.

En este caso, las restricciones de cada segmento están relacionadas con mostrar un número determinado de obstáculos en el mismo, de forma que la dificultad de los obstáculos no pueda exceder el número que devuelve la heurística de reto. Las principales restricciones de este DDA quedan definidas de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & \text{máx} \sum_{i \in O} v_i x_i \\ & \sum_{i \in O} w_i x_i \leq C, x_i \in \{0, 1, \dots, c_i\} \end{aligned}$$

Donde  $O$  es el número de elementos disponibles (Obstáculos) en ese segmento y  $C$  el valor que devuelve la función de reto, resultando ser una versión del problema de la

mochila (*knapsack problem*<sup>3</sup>) acotado, donde el valor de un objeto es igual a su peso ( $v_i = w_i$ , también conocido como *Subset-sum*) (Márquez, 2014).

Cabe indicar que el conjunto finito de elementos del que se dispone en el juego no es muy numeroso, no llegan a la veintena, por lo que a pesar de ser un problema NP-Completo, el tiempo de ejecución no resulta excesivamente problemático.

### DEFINICIÓN DE ESPECIFICACIONES

Una especificación define el estado del jugador 'medio' y los obstáculos que puede haber en el segmento. En este caso, y por simplicidad, el estado ideal o especificación que ponemos en un segmento se corresponde con el estado de un jugador 'medio'. Si quisiéramos definir un segmento complicado (en lugar de un factor como hacía Pfeiffer), basta con definir una especificación en la que el usuario se encuentre en un estado crítico, con poca salud, p. ej.

De esta forma, el estado del juego  $\sigma$  en un instante  $t$  podemos definirlo como una N-tupla  $\sigma_t = (v_1, v_2, \dots, v_n)$  donde cada uno de los  $v_i$  representa el valor de una de las variables del juego que se miden mediante el componente de estadísticas.

En este caso, el estado de juego queda representado por:

$$e_t = (s(t))$$

donde  $s(t)$  es la salud del jugador en el instante  $t$ .

Para que los valores de una especificación sean definidos adecuadamente, se deben realizar varias sesiones de juego con usuarios en las que se recogen estadísticas; por ello se necesita dotar al juego de este componente. Partiendo de dichas estadísticas obtenidas, se puede definir el estado medio del jugador en un punto concreto del juego y compararlo con la especificación planteada inicialmente, si no coincide, será necesario balancear más el juego. En este caso, las estadísticas fueron recogidas durante las sesiones *playtesting* (anteriormente explicadas) para realizar los cambios oportunos en el balanceo y en las que también se probó el diseño.

### ESTADÍSTICAS

El objetivo del componente de estadísticas es realizar un seguimiento del estado de la partida. Este seguimiento puede realizarse de manera continuada, tras un periodo de tiempo, o por eventos, es decir, en el juego pueden definirse diferentes puntos de control, y cada vez que el jugador llegue a uno de ellos, se recogen las estadísticas. Para cualquier sistema adaptativo que implemente un DDA es imprescindible este componente de obtención de datos.

El elemento fundamental que forma parte de este componente es la función heurística:

$$h(\sigma_t) = N$$

Esta función devuelve un número  $N$  (normalmente entre 0 y 1) a partir del estado actual del juego  $\sigma_t$ , que estima como de bien está jugando un usuario. Asimismo, es muy recomendable (Márquez, 2014) que la estimación de esta función no se base sólo en el estado actual, sino que utilice los estados anteriores ( $\sigma_t, \sigma_{t-1}, \dots, \sigma_{t-n}$ ).

---

<sup>3</sup> Knapsack Problem: <http://www.or.deis.unibo.it/kp/KnapsackProblems.pdf>

## SECUENCIADOR DE DIFICULTAD O SOLVER

En este componente se encuentra el algoritmo principal de este DDA, un algoritmo AC-3 (Arc Consistency) de resolución de problemas de satisfacción de restricciones. Como ya se ha comentado anteriormente en este caso, el dominio es finito, muy reducido y con suficientes soluciones, por lo que no es necesario un algoritmo más robusto.

Ya en el año 2012 Gillian Smith (Horswill & Foged, 2012) utilizó algoritmos CSP aplicados al diseño de niveles. Aun así, como esta tarea se realiza en tiempo de diseño, podrían ser utilizados algoritmos independientes sin necesidad de ser integrados en el juego. En el caso de Fragiless, se necesita un *solver* integrado en el juego, que se pueda ejecutar y que continúe con la búsqueda durante varios ciclos durante la partida. Si las búsquedas se pueden realizar en un solo ciclo, esto no sería necesario.

Por ejemplo, si un segmento tiene los siguientes obstáculos disponibles:

- 3 obstáculos de tipo A con una dificultad  $dA$ .
- 2 obstáculos de tipo B con una dificultad  $dB$ .

y suponemos, que no hay más restricciones y que  $C$  es el valor que devuelve la función heurística con respecto a la especificación del segmento. Las variables y restricciones que se pasan al solver son las siguientes:

$$x_a \in \{0, 1, 2, 3\}$$

$$x_b \in \{0, 1, 2\}$$

$$R1 : \text{máx } x_a d_a + x_b d_b$$

$R1$  es la función objetivo que se debe optimizar.

$$R2 : x_a d_a + x_b d_b \leq C$$

El siguiente paso, es llamar al algoritmo de resolución junto con los parámetros:

$$ac\_3(V, D, R)$$

dónde:

$V = \{x_a, x_b\}$  es el conjunto de variables,  $D(x) = \{x_a: \{0, 1, 2, 3\}, x_b: \{0, 1, 2\}\}$  son los dominios de las variables y  $R = \{R1, R2\}$  las restricciones.

Si se quiere añadir una restricción para que siempre aparezca un número mínimo de obstáculos de tipo A,  $n_a$ , sólo habría que añadir dicha restricción:

$$R3 : x_a \geq n_a$$

A modo de observación, es necesario explicar que la asignación de obstáculos no falla nunca porque es posible no generar ninguno. El problema puede ocurrir cuando

restricciones 'extra' a la optimización puedan generar conflictos que hagan de esto un sistema irresoluble.

La solución que se propone en este caso, está basada en realizar en dos pasos la satisfacción de restricciones. Entonces:

Primero, se aplican las restricciones extras, es decir, las que no son la función objetivo que se quiere optimizar: y segundo, se aplican sobre las soluciones generadas anteriormente la solución al problema de la mochila.

Aun así, sólo se traslada el problema ya que, si la primera opción no encuentra una solución, el problema sigue siendo irresoluble, por lo que es entonces que se propone hacer que el algoritmo resuelva el problema de la mochila sin tener en cuenta las restricciones aplicadas con anterioridad.

### 3.3.2 IMPLEMENTACIÓN

La técnica descrita durante el apartado anterior se ha incluido en este juego, cuya implementación consta de dos partes: una de obtención de datos (estadísticas) y otra de generación de obstáculos (contenido) del camino en función de éstos.

Cabe mencionar que los primeros 10 segundos de juego no se tienen en cuenta ya que se consideran como una primera toma de contacto con el juego, durante la que el usuario 'aprende' a moverse junto con el avatar.

Aunque en este caso se ha reducido a una sola iteración, el proceso que se explica a continuación es en realidad un proceso iterativo:

#### *DEFINICIÓN DE VARIABLES Y ESTADÍSTICAS*

Antes de definir una especificación u obtener las estadísticas, hay que definir las variables o los datos que se van a medir. A partir de las sesiones realizadas se han obtenido las siguientes estadísticas básicas:

- Número de veces que el personaje muere
- Número de obstáculos pasados
- Número de obstáculos no pasados
- Número de objetos recogidos
- Número de segmentos visitados y completados

Estas variables son utilizadas para definir las restricciones extras del juego y para definir las siguientes especificaciones con respecto al estado del juego:

- La salud del personaje tras visitar y completar los segmentos.
- Segmentos visitados y completados.

En este caso, se ha optado por definir las especificaciones a partir de los resultados de las estadísticas. Asimismo, la recogida de estadísticas se realiza una vez finalizado el segmento.

#### *DEFINICIÓN DE LA HEURÍSTICA DE RETO*

Una vez se obtienen las estadísticas, se define la fórmula que estimará la actuación del jugador. Por cuestiones de tiempo y necesitar un primer prototipo del juego para



ser evaluado con usuarios, se ha reducido la heurística de reto a la propia salud del jugador durante la partida.

En este caso, la función de reto normaliza la salud del jugador dividiéndola entre la salud máxima  $\hat{S}$ . Este número es escalado según la especificación del segmento de esta manera:

Primero, se calcula el reto  $C_{segmento_i}$  que le corresponde a la especificación  $e_{segmento_i}$ , del segmento en el que se encuentra. Consiste en que a partir de la población inicial que ha sido generada, es decir, antes de realizar ningún ajuste, se sumen las dificultades de los obstáculos que se encuentran en ese segmento y se establece como el reto de la especificación.

Luego, tomando el número anterior se calcula el nuevo reto  $C$ , mediante una regla de tres con  $e_{segmento_i}$  ( $\hat{S}_{segmento_i}$ ) y  $C_{segmento_i}$ . Este valor es entonces utilizado como restricción en el problema de la mochila.

## *IMPLEMENTACIÓN DEL DDA*

Una vez se obtiene la función heurística y las especificaciones, se implementa el ajuste de dificultad para validar los resultados obtenidos en los apartados anteriores. Este proceso debe ser validado con muchas sesiones de juego, aunque este no haya sido el caso.

### *1. RESTRICCIONES:*

Éstas han sido implementadas en una sola clase y se reducen al tipo de obstáculos disponibles, junto al número máximo de obstáculos que pueden aparecer y su número mínimo; que realmente es como una restricción extra para hacer que la persona mayor haga al menos algún ejercicio enfrentándose a una determinada serie de obstáculos. Esta clase traslada los parámetros que se establecen para el nivel del juego, como si fueran las restricciones de un CSP.

### *2. SECUENCIADOR DE DIFICULTAD O SOLVER*

En caso de existir más de una solución óptima y con la intención de que hubiese más variedad de obstáculos, el juego elige de manera aleatoria una de ellas. Aun así, cabe aclarar que se generarán un número máximo de soluciones determinadas en tiempo de diseño, aunque no todas las posibles.

La generación de obstáculos se realiza por la implementación del secuenciador en dos pasos: primero, se generan  $N$  soluciones que satisfagan las restricciones previas; y segundo se generan los obstáculos conforme a una de las soluciones anteriores.

En realidad (y a modo de crítica), como no se utilizan más restricciones (sólo la de asignación de obstáculos), la primera búsqueda de soluciones es innecesaria, haciendo que el solver sea totalmente prescindible. Definir más restricciones da más sentido a la implementación propuesta.

## 3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Con el objetivo de testear la herramienta anteriormente explicada, se ha diseñado un protocolo de pruebas para realizar un experimento con ancianos frágiles institucionalizados. En esta sección, se explica en detalle el protocolo de pruebas a seguir para la correcta ejecución del experimento.

El protocolo seguido para la realización de dichas pruebas ha sido el establecido por la UNED para experimentos de esta índole, recibiendo la aprobación necesaria por parte del Comité de Bioética.

Para llevar a cabo este estudio, primero se han realizado unas pruebas previas de valoración para conocer la capacidad funcional del sujeto al inicio del mismo. Los criterios de inclusión se explican a continuación.

### INCLUSIÓN EN EL EXPERIMENTO

Basándonos en el Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad, (2014), las escalas de valoración de la discapacidad más utilizadas en España son los cuestionarios que valoran las actividades básicas de la vida diaria (ABVD), es decir, las actividades de autocuidado. Para valorar estas actividades, la escala de uso más extendido es la de Barthel, que además está validada en España (Baztán et al, 1993; Cid-Ruzafa, 1997). Estas escalas son necesarias para mantener la autonomía en el hogar.

Es por ello que, como prueba inicial en este proyecto, se realiza una valoración de las ABVD mediante la escala autorreferida de Barthel (ver Anexo 7.3). Esta valoración se ha realizado con ayuda de los auxiliares de la residencia.

- ✓ En caso de que la persona obtenga una puntuación mayor o igual a 90, se procederá a realizar el cribado de fragilidad.
- × Si la puntuación obtenida es menor de 90 puntos, es decir, con resultado de dependencia para la ABVD moderada, grave o total, la persona no se incluye en el estudio, ya que no podrá beneficiarse de la intervención descrita en este TFM para retrasar y/o disminuir la fragilidad.

Esta valoración a través de la escala de Barthel se realizará en personas mayores de 70 años, por ser la población con más riesgo de fragilidad.

### CRIBADO DE FRAGILIDAD/LIMITACIÓN FUNCIONAL

El cribado para determinar la situación de fragilidad se realiza en base a una prueba de ejecución. Esta valoración también se ha realizado con ayuda de los auxiliares de la residencia.

La prueba a utilizar es la prueba de ejecución Short Physical Performance Battery (SPPB), validada en España y que combina equilibrio, velocidad de la marcha y levantarse y sentarse en una silla (ver Anexo 7.4). Esta elección está basada en su buena predicción para detectar fragilidad y elevada fiabilidad en predecir discapacidad, así como su uso factible en Atención Primaria (Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad, 2014).

Tras realizar el cribado de fragilidad en base a la prueba de ejecución SPPB, la persona queda enmarcada en uno de los siguientes tipos:

- × Personas no frágiles: Aquellas personas con un resultado no alterado en la prueba de ejecución (SPPB  $\geq$ 10 puntos).
- ✓ Personas frágiles: Aquellas personas con un resultado alterado de la prueba de ejecución (SPPB <10 puntos).

La población que tras el cribado queda clasificada como 'persona frágil', es la seleccionada para formar parte en la intervención mediante Fragiless.

Tras finalizar esta evaluación, el número total de participantes es dividido en dos grupos: uno de estudio y otro de control.

Una vez divididos los dos grupos, se vuelve a pasar el test SPPB dos semanas más tarde a todos los sujetos, sin haber realizado ejercicio, para ver cómo es su evolución sin ningún tipo de ayuda.

## PARTICIPANTES Y PROCEDIMIENTO

Los voluntarios para participar en este estudio son personas mayores de 70 años de la Residencia San Antonio en Vitoria que cumplen con los criterios de inclusión arriba indicados. Todos ellos han firmado el consentimiento informado aprobado por el Comité de Bioética de la UNED (ver anexo 7.2). Los grupos se presentan a continuación:

- Grupo de estudio: Este grupo compuesto por 20 voluntarios debe realizar ejercicio 3 veces por semana durante 20 minutos con la herramienta/juego que se ha desarrollado de manera individual, durante 4 semanas, en un espacio que ha sido habilitado de forma expresa en la residencia. El ejercicio consiste en realizar con el sensor Kinect la secuencia de ejercicios programados y que previamente les han sido explicados, realizando ensayos previos para garantizar su correcta ejecución.
- Grupo de control: Este grupo está formado por 20 personas y durante 4 semanas seguirá realizando las actividades programadas en el gimnasio como venían haciendo hasta ahora, 3 veces por semana, en la residencia. Posteriormente, podrán hacer uso de la herramienta/juego desarrollado.

Al finalizar las 4 semanas de duración del experimento, se realizan de nuevo las pruebas de valoración (SPPB) para comprobar el efecto de la investigación en ambos grupos.

## MATERIALES

El experimento es llevado a cabo en una zona de la sala de actividades de la residencia, con el objetivo de realizar las pruebas en un entorno conocido para los participantes y así evitar distracciones. Los fisioterapeutas y auxiliares que habitualmente los acompañan están presentes durante las pruebas para ayudar en caso necesario.

En la zona habilitada para llevar a cabo el experimento, se coloca una televisión de 42" sobre un mueble. Sobre dicho mueble y delante del televisor, se sitúa el sensor Kinect, quedando éste a una altura de 1.5 metros aproximadamente. El participante se debe colocar a una distancia aproximada de 1.8 metros entre el sensor y él y no tener ningún objeto en medio.

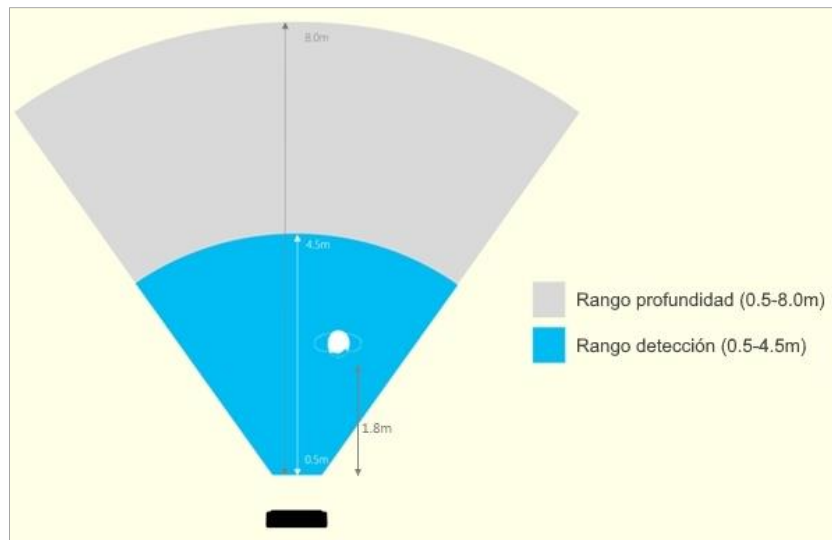


Figura 20: Distancia a la que debe situarse el jugador

El juego es instalado en un ordenador portátil que se conecta a través de un cable HDMI a la televisión. Se juega con luz ambiente y sólo una persona por sesión.

## 4. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos durante el proyecto, divididos en cuatro apartados:

### 4.1 RESULTADOS CUESTIONARIO: DISEÑO DE EJERCICIOS

Estos resultados hacen referencia a los datos obtenidos tras completar el primer cuestionario con relación a los ejercicios físicos que se iban a implementar en el juego (ver cuestionario en anexo 7.1). El objetivo de pasar este cuestionario a los usuarios era validar el diseño de los ejercicios propuestos. Los criterios de inclusión están explicados en la sección 3.1.

Doce usuarios (8 mujeres y 4 hombres) con edades comprendidas entre los 71 y 87 años y con una edad media de 76.91 (SD = 5.66) completaron este cuestionario. Todos los participantes fueron capaces de realizar los ejercicios propuestos.

Las preguntas 1-5 están relacionadas con la condición física cuyos resultados se muestran a continuación:

ÍTEM	GÉNERO	SI (%)	NO (%)
1	Mujeres	12,5	87,5
1	Varones	25	75
2	Mujeres	12,5	87,5
2	Varones	50	50
3	Mujeres	25	75
3	Varones	25	75
4	Mujeres	75	25
4	Varones	100	0
5	Mujeres	75	25
5	Varones	75	25

Tabla 3: Resultados obtenidos del cuestionario de diseño de ejercicios

Los resultados muestran que la mayoría de los usuarios (83.33%) no necesitan ayuda (bastón, andador) para caminar y no van al gimnasio, ni siguen un programa de rehabilitación (75%). Sin embargo, observando las repuestas del grupo de hombres, un 50% respondió que sí siguen un programa de rehabilitación. Tanto las mujeres como los hombres (un 25% en ambos casos) han tenido algún problema físico en el último año que les ha impedido moverse total o parcialmente durante más de un día. Además, un 83.33% ha estado a punto de caerse o se ha caído entre una y dos veces en el último año.

Continuando con el resto de las preguntas, los ejercicios físicos más realizados por los usuarios son: andar (movimiento de piernas), subir y bajar escaleras (levantar las piernas) y levantar los brazos. Los movimientos físicos que nunca realizan son

aquellos relacionados con correr, saltar y coger peso. La parte del cuerpo que mueven con mayor dificultad fue en un caso las manos (debido a un alto grado de artritis), en otro caso el cuello, y tres mujeres (25%) contestaron que la zona lumbar.

En cuanto a las preguntas relacionadas específicamente con los ejercicios propuestos (9-13), los resultados muestran que un 100% de los participantes realiza habitualmente los ejercicios de agacharse, levantarse y elevación de brazos y piernas. Sin embargo, una mujer respondió que no realizaba movimientos laterales de piernas y 3 mujeres y 4 hombres contestaron que no levantaban brazos y piernas en forma homolateral y contralateral. Con relación al movimiento de circunducción de hombro, el 100% de las mujeres contestaron que sí, porque relacionaron este movimiento con el gesto que realizan al limpiar una ventana, haciendo movimientos circulares. Sin embargo, el 100% de los hombres contestó que no.

Asimismo, siete participantes (58.33%) reportaron no tener problemas para realizar los ejercicios propuestos, sin embargo, una mujer indicó tener inconvenientes para agacharse y levantarse debido al dolor en la zona lumbar y dos hombres y dos mujeres reportaron dificultades para levantar brazos y piernas en forma homolateral y contralateral.

Una respuesta afirmativa del 100% se obtuvo para la pregunta *¿Consideras que puede ser útil realizar alguno de estos movimientos?* Esto puede deberse a que los participantes asocian el realizar ejercicio físico con una buena salud física.

Finalmente, una mujer y un hombre reportaron que no es conveniente para ellos agacharse y levantarse debido al dolor en la zona lumbar y tres participantes reportaron que no les conviene levantar brazos y piernas de forma contralateral por miedo a caerse.

En resumen, **las respuestas obtenidas nos dan una idea de la diversidad de necesidades que tienen los usuarios, por lo que es conveniente incluir técnicas de modelado de usuario en el sistema, y para ello, son necesarias técnicas de IA.**

Además, todos los participantes consideran que los ejercicios propuestos son útiles y que pueden ser realizados por personas adultas, por lo que validan el diseño de un juego que soporte su práctica.

Estos resultados se consideran prometedores y pueden sugerir que el set de ejercicios propuestos y que se implementa en el videojuego, es adecuado para las personas adultas.

## 4.2 RESULTADOS SPPB: PRIMERA EVALUACIÓN

Tras realizar el cribado de fragilidad (explicado en la sección 3.4) el grupo de voluntarios ( $n = 37$ ) queda dividido en dos grupos: estudio y control.

El estudio estaba inicialmente compuesto por 40 participantes, sin embargo, dos voluntarios del grupo de control abandonaron el estudio antes de terminar las sesiones completas en el gimnasio y uno de ellos (grupo de estudio) se vio obligado a abandonar el estudio por motivos de salud tras sufrir una caída (sin ninguna relación con la realización de este estudio).

Esta primera evaluación se realizó con el objetivo de ver cómo es la evolución de los sujetos a través de la prueba SPPB sin realizar ningún tipo de ejercicio, es decir, sin ayuda tecnológica.

A continuación, se muestran los resultados tras el primer cribado de fragilidad realizado. A este estudio lo denominaremos 'Semana 0':

	Grupo de Control (n = 18)	Grupo de estudio (n = 19)
Género	- Mujeres: 66.6% (n = 12) - Varones: 33.3 % (n= 6)	- Mujeres: 78.95% (n= 15) - Varones: 21.05% (n= 4)
Edad	76.44 (SD = 5.71)	76.21 (SD = 5.64)
Barthel	- Dependencia escasa: 60% - Independencia: 40%	- Dependencia escasa: 60% - Independencia: 40%
SPPB	7.06 (SD = 1,05)	7.00 (SD= 0.94)

Tabla 4: Resultados tras el primer cribado de fragilidad en la semana 0 del estudio.

El grupo de control está compuesto por 18 participantes con una media de edad de 76.44, y en el grupo de estudio participan 19 sujetos con una media de edad de 76.21. De acuerdo con los resultados obtenidos, los dos grupos resultan ser bastante homogéneos en relación con la edad, la prueba de Barthel y la prueba SPPB.

Tras realizar esta primera prueba, se volvió a pasar el test SPPB a los dos grupos dos semanas más tarde (estudio denominado 'Semana 2') y en las mismas condiciones, cuyos resultados son los siguientes:

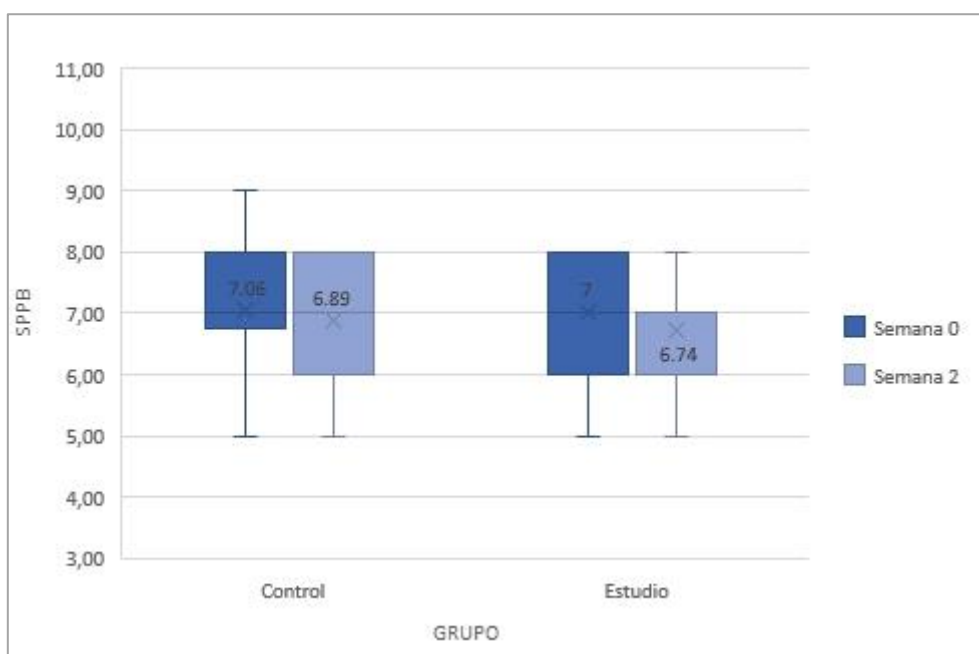


Figura 21: Resultados SPPB primera evaluación

A pesar de que el lector podría pensar que con tan poco tiempo entre la primera prueba y la segunda (sólo dos semanas) sin hacer ejercicio, los resultados serían muy similares, existe en ambos grupos una tendencia al decremento de la puntuación SPPB ( $m_c = 6.89$  y  $m_e = 6.74$ ), lo que indica que su grado de fragilidad ha aumentado en cierta medida.

### 4.3 RESULTADOS SPPB: SEGUNDA EVALUACIÓN

Tras realizar la segunda prueba anterior, se procede a iniciar el estudio utilizando FRAGILESS, la herramienta desarrollada en este TFM y que ha sido utilizada durante las 12 sesiones (3 sesiones por semana durante 20 minutos a lo largo de 4 semanas) que dura el experimento.

A continuación, se muestran los resultados tras la prueba SPPB utilizando la herramienta durante un mes:

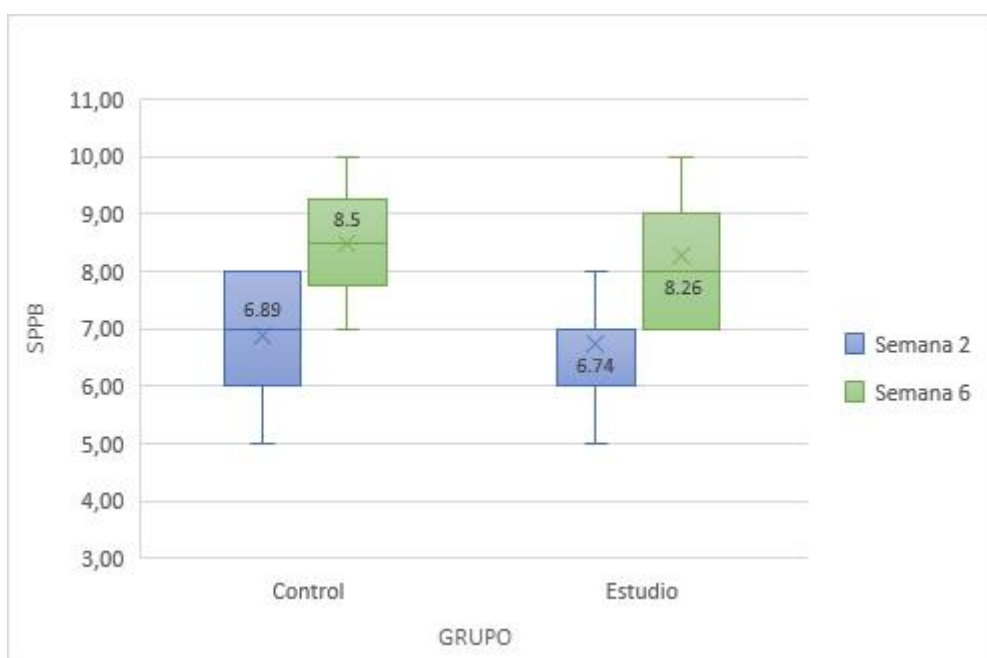


Figura 22: Gráfico comparativo entre el estudio Semana 2 y Semana 6

Esta gráfica muestra los resultados anteriores correspondientes a la semana 2 y los nuevos datos obtenidos tras pasar la prueba SPPB (Semana 6).

Tras analizar los resultados en detalle, se puede apreciar como hay dos participantes, tanto en el grupo de control como en el grupo de estudio, cuya puntuación SPPB es igual a 10, por lo que han dejado de presentar signos de fragilidad y se encuentran fuera de riesgo.

Se puede observar cómo, a diferencia de lo ocurrido en la primera evaluación del SPPB, en el que al final del periodo de evaluación los usuarios redujeron su valor del índice, en este caso éste ha mejorado debido a la realización de actividad física, bien en el gimnasio con los ejercicios impartidos por el terapeuta (grupo control) o bien con los ejercicios implementados en FRAGILESS (grupo de estudio).

Así, aunque los demás participantes siguen presentando cierto grado de fragilidad, vemos como la puntuación SPPB, en comparación con la semana 2, ha aumentado,



ya que los intervalos en la semana 2 del grupo de estudio (5-8), se han incrementado hasta los valores 7-10. Asimismo, la puntuación media SPPB al inicio de las sesiones era de 6.74 y ahora se encuentra en 8.26.

Con relación al grupo de control que realizó las sesiones de ejercicio en el gimnasio, los intervalos iniciales eran de 5-8, y ahora se encuentran entre los valores 7 y 10, por lo que también existe una mejora, ya que la puntuación media inicial era de 6.89 y ahora es de 8.5.

En ambos casos, ha mejorado la puntuación obtenida en el índice SPPB. No obstante, la puntuación media del grupo de control es mayor que la puntuación obtenida por el grupo de estudio. Esto puede ser debido a que en el gimnasio realizan ejercicios más completos, debido a las limitaciones técnicas de la Kinect explicadas en el apartado 2.3.1. Por lo tanto, sería necesario buscar una forma alternativa de implementar los mismos ejercicios que se realizan en el gimnasio por el terapeuta.

Por otro lado, cabe mencionar que la adherencia al estudio mediante el uso de FRAGILESS ha sido de un 100% en cuanto a decisión de los participantes se trata. Sin embargo, como se anticipó anteriormente, dos de los voluntarios del grupo de control abandonaron el estudio antes de su finalización, dos mujeres en ambos casos. Cuando se les preguntó el motivo de su abandono, la respuesta recibida fue un simple: *'no quiero ir al gimnasio, no lo necesito'*.

Aunque no sabemos con toda seguridad si el enfoque de la IA aplicado en el videojuego fue motivo discriminante para continuar jugando (zona de confort), lo cierto es que el resto de los 19 voluntarios del grupo de estudio no faltó a ninguna sesión de juego.

Si comparamos las puntuaciones de ambos grupos, podemos decir que el videojuego desarrollado obtiene resultados similares a un programa de rehabilitación en el gimnasio, por lo que dicha herramienta podría utilizarse como un sistema de rehabilitación.

# 5. CONCLUSIONES

---

La práctica de ejercicio físico es, hasta ahora, la intervención más eficaz para retrasar la discapacidad y los eventos adversos que asocia habitualmente el síndrome de la fragilidad en personas mayores.

Es por ello, que este TFM ha tenido por objetivo proponer una solución tecnológica para disminuir y/o retrasar el grado de fragilidad en las personas mayores mediante la realización de actividad física, mejorando así su capacidad funcional. Para ello, se ha propuesto un programa de ejercicios diseñados a medida para tal fin, implementados a modo de videojuego y que utiliza el sensor Kinect, con el que la persona puede interactuar y realizar los distintos tipos de ejercicios dentro de un escenario progresivo tanto de ejecución como de dificultad que presenta el videojuego.

Dicho videojuego, incluye técnicas de DDA con el objetivo de adaptar cada sesión a cada participante, de forma que no sea ni demasiado aburrida ni demasiado difícil, creando sesiones adaptadas e individualizadas y ofreciendo a todos una experiencia atractiva.

Tras llevar a cabo el estudio completo con ancianos frágiles institucionalizados, se han obtenido resultados prometedores, ya que todos los usuarios mejoraron su puntuación SPPB, lo que indica un grado menor de fragilidad, incluyendo una persona que se encuentra fuera de riesgo.

Además, los resultados obtenidos son similares al grupo que realizó el programa de rehabilitación en el gimnasio, por lo que este videojuego puede utilizarse como un sistema de rehabilitación para personas mayores frágiles en residencias.

Sin embargo, esta herramienta sólo ejercita algunos de los ejercicios recomendados para la coordinación, equilibrio, etc. y es un añadido (no sustituto) a la rehabilitación y ejercicios tradicionales que se siguen realizando en gimnasios y terapias.

## 6. LÍNEAS FUTURAS

---

Aunque los resultados obtenidos en este TFM son prometedores en el campo de la fragilidad, hay muchos aspectos que por motivos de tiempo no han sido realizados y cuya inclusión en versiones posteriores sería muy recomendable. Es por ello, que quedan a continuación comentados como líneas futuras en este apartado.

Por un lado, el sensor Kinect cuenta con un micrófono interno del que no se ha hecho uso en este proyecto. No obstante, es importante señalarlo de cara a nuevas versiones ya que podría ser una herramienta útil para realizar comandos por voz. También hay investigaciones centradas en identificar el deterioro de las personas mayores por medio de la voz (ej., Hailstone, et al., 2011).

De cara a la interfaz de usuario, sería altamente recomendable incluir en la pantalla de calibración del usuario, avisos (posición correcta o incorrecta) indicando si el sensor es capaz de visualizar la silueta completa del jugador o no.

Por otro lado, y con relación a la implementación de la técnica de DDA empleada, se proponen las siguientes mejoras:

- Incluir como ajuste cambios estéticos en la interfaz, por ejemplo: cambios de contraste, colores, tamaños de fuentes, etc.
- En cuanto a la generación de los segmentos, esta podría realizarse de manera dinámica en vez de hacerlo de manera offline.
- También sería interesante definir más restricciones, como las alturas de los obstáculos.

Además, se podrían utilizar los movimientos del usuario para saber si el juego le está resultando agradable o no, es decir, obtener la posición del usuario y si éste mantiene los brazos cruzados, en jarras, mira hacia la derecha o hacía la izquierda, pueden ser signos de que el jugador se está aburriendo.

Por último, es conveniente implementar FRAGILESS sin el componente de DDA añadido, y realizar un estudio entre un grupo de voluntarios que utilice el videojuego con aplicación de IA y otro sin ella, con el objetivo de averiguar si el componente de IA añadido es discriminante para su rehabilitación.

# 7. ANEXOS

---

En esta sección se detallan los siguientes documentos utilizados a lo largo del proyecto:

- 7.1: Hoja de Información y consentimiento informado.
- 7.2: Cuestionario de validación de los ejercicios
- 7.3: Índice de Barthel
- 7.4: Prueba de ejecución SPPB
- 7.5: Manual de Usuario

## 7.1 CUESTIONARIO VALIDACIÓN DISEÑO EJERCICIOS

Fecha: \_\_ / \_\_ / \_\_

ID Usuario: \_\_\_\_\_

Género:

Fecha de Nacimiento: \_\_ / \_\_ / \_\_

	SI	NO
1. ¿Utilizas bastón, muleta, andador u otra ayuda para caminar?		
2. ¿Vas al gimnasio y/o haces rehabilitación?		
3. ¿Has tenido algún problema físico en el último año que te haya impedido moverte total o parcialmente, durante más de un día?		
4. ¿Has estado a punto de caerte alguna vez en el último año? En caso afirmativo, ¿cuántas veces? _____		
5. ¿Te has caído alguna vez en el último año? En caso afirmativo, ¿cuántas veces? _____		

6. ¿Qué movimientos físicos realizas habitualmente?

---



---

7. ¿Qué movimientos físicos no realizas nunca?

---



---

8. ¿Qué parte del cuerpo mueves con mayor dificultad?

---



---

9. ¿Realizas habitualmente alguno de los siguientes movimientos? Marca todos los que consideres.

	SI	NO
Agacharse		
Levantarse		
Movimiento lateral de piernas		
Elevación y descenso de piernas		
Elevación y descenso de brazos		
Elevación y descenso de piernas y brazos homolateral		
Elevación y descenso de piernas y brazos contralateral		
Movimiento de circunducción del hombro sobre plano frontal		

10. ¿Tienes problemas para realizar alguno de los siguientes movimientos? Marca todos los que consideres.

	<b>SI</b>	<b>NO</b>
Agacharse		
Levantarse		
Movimiento lateral de piernas		
Elevación y descenso de piernas		
Elevación y descenso de brazos		
Elevación y descenso de piernas y brazos homolateral		
Elevación y descenso de piernas y brazos contralateral		
Movimiento de circunducción del hombro sobre plano frontal		

11. ¿Consideras que puede ser útil realizar alguno de los siguientes movimientos? Marca todos los que consideres.

	<b>SI</b>	<b>NO</b>
Agacharse		
Levantarse		
Movimiento lateral de piernas		
Elevación y descenso de piernas		
Elevación y descenso de brazos		
Elevación y descenso de piernas y brazos homolateral		
Elevación y descenso de piernas y brazos contralateral		
Movimiento de circunducción del hombro sobre plano frontal		



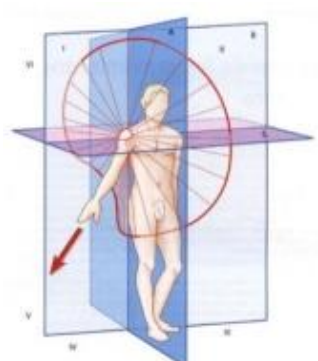
12. ¿Consideras que no te conviene realizar alguno de los siguientes movimientos? Marca todos los que consideres.

	<b>SI</b>	<b>NO</b>
Agacharse		
Levantarse		
Movimiento lateral de piernas		
Elevación y descenso de piernas		
Elevación y descenso de brazos		
Elevación y descenso de piernas y brazos homolateral		
Elevación y descenso de piernas y brazos contralateral		
Movimiento de circunducción del hombro sobre plano frontal		

13. Ordena los ejercicios del 1 al 8 donde 1 significa el más fácil y 8 el más difícil.

	ORDEN
Agacharse	
Levantarse	
Movimiento lateral de piernas	
Elevación y descenso de piernas	
Elevación y descenso de brazos	
Elevación y descenso de piernas y brazos homolateral	
Elevación y descenso de piernas y brazos contralateral	
Movimiento de circunducción del hombro sobre plano frontal	

**ANEXO: EJEMPLO EJERCICIOS**

ELEVACIÓN DE BRAZO	ELEVACIÓN DE PIERNA
	
MOVIMIENTO DE CIRCUNDUCCIÓN DEL HOMBRO	
	

## 7.2 CONSENTIMIENTO INFORMADO



Comité de Bioética

### HOJA DE INFORMACIÓN SOBRE EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y/O EXPERIMENTACIÓN

Título del Trabajo Fin de Máster: *FRAGILESS: Videojuego 3D con adaptación dinámica de la dificultad para retrasar el grado de fragilidad en personas mayores.*

La legislación vigente establece que la participación de toda persona en una experimentación requerirá una previa y suficiente información sobre el mismo y la prestación de su consentimiento. A tal efecto, a continuación, se detallan los objetivos y características de esta experimentación, como requisito previo a la prestación del consentimiento y a su colaboración voluntaria en el mismo:

- 1) **OBJETIVO:** El objetivo de este estudio es evaluar si existe mejora en la capacidad funcional en personas mayores con un videojuego.
- 2) **DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO:** Consta de diferentes tipos de actividades: 1) responder a un cuestionario y realizar unos ejercicios para conocer la capacidad funcional del participante en diversos momentos del estudio; 2) realizar 3 veces por semana durante 4 semanas las actividades programadas en el gimnasio de la residencia, y 3) realizar durante 30 minutos 3 veces por semana durante 4 semanas en un espacio amplio con una medida mínima de 3m<sup>2</sup> que se habilitará de forma expresa en la residencia y en el que habrá un sensor de movimiento (Kinect) colocado sobre una televisión, la secuencia de ejercicios programados en el videojuego que previamente se le habrán explicado, realizando ensayos previos para garantizar su correcta ejecución.
- 3) **POSIBLES BENEFICIOS:** Los beneficios esperados de esta investigación para usted son que mejore su capacidad funcional. No recibirá ningún beneficio económico.
- 4) **POSIBLES INCOMODIDADES Y/O RIESGOS DERIVADOS DEL ESTUDIO:** No consideramos que haya riesgos para su salud derivados de la participación en el estudio.
- 5) **PREGUNTAS E INFORMACIÓN:** Puede contactar con la investigadora principal del estudio y directora del Trabajo Fin de Máster, Olga Santos Martín ([ocsantos@dia.uned.es](mailto:ocsantos@dia.uned.es)) o con Zelai Sáenz de Urturi (Tfno. 685724928), estudiante que está realizando este estudio en el contexto de su Trabajo Fin de Máster. Asimismo, se le entrega esta hoja informativa del estudio y un consentimiento que indica que está de acuerdo en la participación en el mismo, el cual deberá firmar y entregar antes de empezar el estudio.
- 6) **PROTECCIÓN DE DATOS:** Este proyecto requiere la utilización y manejo de datos de carácter personal que, en todo caso, serán tratados conforme a las normas aplicables garantizando la confidencialidad de los mismos.

La participación en este estudio es voluntaria. Usted es libre de retirarse en cualquier momento sin que ello tenga consecuencia de ningún tipo en la residencia. Usted tiene el derecho de negarse a participar, sin que ello pueda ocasionarle ningún perjuicio.

Y para que conste por escrito a efectos de información se ha formulado y se entrega la presente hoja informativa.

En..... a ..... de.....de.....

Nombre y firma del Investigador/a principal



## CONSENTIMIENTO INFORMADO

D. / Dña. ....

He leído la hoja de información que se me ha entregado, copia de la cual figura en el reverso de este documento, y la he comprendido en todos sus términos.

Se me ha explicado las características y el objetivo del estudio, así como los posibles beneficios y riesgos del mismo.

He contado con el tiempo y la oportunidad para realizar preguntas y plantear las dudas que poseía. Todas las preguntas fueron respondidas a mi entera satisfacción.

Se me ha asegurado que se mantendrá la confidencialidad de mis datos.

El consentimiento lo otorgo de manera voluntaria y sé que soy libre de retirarme del estudio en cualquier momento, por cualquier razón, sin tener que dar explicaciones y sin que tenga ningún efecto sobre mi tratamiento o mi atención en la residencia.

Por todo lo cual, PRESTO MI CONSENTIMIENTO para participar en el estudio asociado al Trabajo Fin de Máster *“FRAGILESS: Videojuego 3D con adaptación dinámica de la dificultad para retrasar el grado de fragilidad en personas mayores”* que se realiza en el Departamento de Inteligencia Artificial de la UNED.

En ..... a.... de ..... de .....

Fdo. ....

## 7.3 ÍNDICE DE BARTHEL

<b>FECHA:</b>		
<b>NOMBRE:</b>		
<b>COMER</b>		
10	Independiente. Capaz de comer por sí solo en un tiempo razonable. La comida puede ser cocinada y servida por otra persona	
5	Necesita ayuda para cortar la carne, extender la mantequilla... pero es capaz de comer sólo/a	
0	Dependiente. Necesita ser alimentado por otra persona	
<b>LAVARSE (BAÑO)</b>		
5	Independiente. Capaz de lavarse entero, de entrar y salir del baño sin ayuda y de hacerlo sin que una persona supervise	
0	Dependiente. Necesita algún tipo de ayuda o supervisión	
<b>VESTIRSE</b>		
10	Independiente. Capaz de ponerse y quitarse la ropa sin ayuda	
5	Necesita ayuda. Realiza sin ayuda más de la mitad de estas tareas en un tiempo razonable	
0	Dependiente. Necesita ayuda para las mismas	
<b>ARREGLARSE</b>		
5	Independiente. Realiza todas las actividades personales sin ayuda alguna, los complementos necesarios pueden ser provistos por alguna persona	
0	Dependiente. Necesita alguna ayuda	
<b>DEPOSICIÓN (Valorar la semana previa)</b>		
10	Continente. No presenta episodios de incontinencia	
5	Accidente ocasional. Menos de una vez por semana o necesita ayuda para colocar enemas o supositorios.	
0	Incontinente. Más de un episodio semanal	
<b>MICCIÓN (Valorar la semana previa)</b>		
10	Continente. No presenta episodios. Capaz de utilizar cualquier dispositivo por sí solo/a (botella, sonda, orinal ...).	
5	Accidente ocasional. Presenta un máximo de un episodio en 24 horas o requiere ayuda para la manipulación de sondas o de otros dispositivos.	
0	Incontinente. Más de un episodio en 24 horas	
<b>USAR EL RETRETE</b>		
10	Independiente. Entra y sale solo y no necesita ayuda alguna por parte de otra persona	
5	Necesita ayuda. Capaz de manejarse con una pequeña ayuda; es capaz de usar el cuarto de baño. Puede limpiarse solo/a.	
0	Dependiente. Incapaz de acceder a él o de utilizarlo sin ayuda mayor	
<b>TRASLADARSE (SILLÓN/ CAMA)</b>		
15	Independiente. No requiere ayuda para sentarse o levantarse de una silla ni para entrar o salir de la cama.	
10	Mínima ayuda. Incluye una supervisión o una pequeña ayuda física.	
5	Necesita gran ayuda. Precisa ayuda de una persona fuerte o entrenada.	
0	Dependiente. Necesita una grúa o el alzamiento por dos personas. Es incapaz de	

	permanecer sentado	
<b>DEAMBULAR</b>		
15	Independiente. Puede andar 50 metros o su equivalente en casa sin ayuda supervisión. Puede utilizar cualquier ayuda mecánica excepto un andador. Si utiliza una prótesis, puede ponérsela y quitársela solo/a.	
10	Necesita ayuda. Necesita supervisión o una pequeña ayuda física por parte de otra persona o utiliza andador.	
5	Independiente en silla de ruedas. No requiere ayuda ni supervisión	
0	Dependiente	
<b>SUBIR Y BAJAR ESCALERAS</b>		
10	Independiente. Capaz de subir y bajar un piso sin ayuda ni supervisión de otra persona.	
5	Necesita ayuda. Necesita ayuda o supervisión	
0	Dependiente. Es incapaz de salvar escalones	
		<b>TOTAL:</b>

Sus resultados, a la hora de valorar el grado de dependencia para las ABVD, se establecen de la siguiente manera:

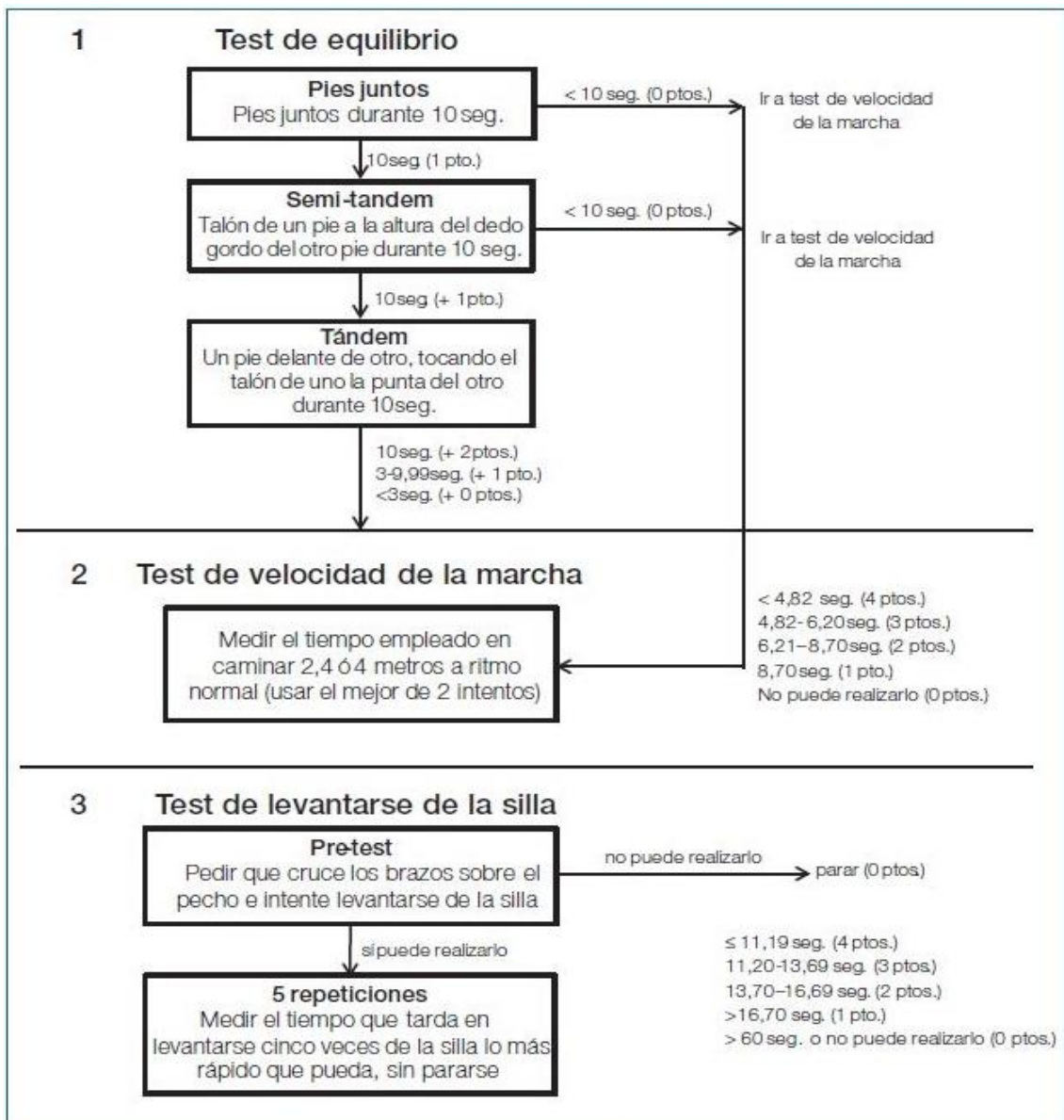
- Independencia 100,
- Dependencia escasa (91-99),
- Dependencia moderada (61-90),
- Dependencia grave (21-60),
- Dependencia total (< 21).

## 7.4 SHORT PHYSICAL PERFORMANCE BATTERY (SPPB)

Esquema y protocolo tomado del Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad, (2014).

El test SPPB está compuesto por tres pruebas: equilibrio (en tres posiciones: pies juntos, semitándem y tándem), velocidad de la marcha (sobre 2.4 o 4 metros) y levantarse y sentarse en una silla cinco veces. Es muy importante respetar la secuencia de las pruebas ya que, si empezamos por las levantadas, el paciente se puede fatigar y ofrecer rendimientos falsamente bajos en los otros dos sub-test. El tiempo medio de administración se sitúa entre los 6 y los 10 minutos. Los valores normativos para la población española se han establecido en diversos estudios de cohortes poblacionales y en atención primaria. La puntuación total del SPPB resulta de la suma de los tres sub-test, y oscila entre 0 (peor) y 12; cambios en 1 punto tienen significado clínico. Una puntuación por debajo de 10 indica fragilidad y un elevado riesgo de discapacidad, así como de caídas.

A continuación, se presenta el esquema y el protocolo de ejecución de la prueba:



## PROTOCOLO

### TEST DE EQUILIBRIO

**Instrucciones:** Comenzar con equilibrio en semitándem (talón de un pie a la altura del dedo gordo del otro pie). Los sujetos que no pueden mantener esta posición deberán intentar el equilibrio con pies juntos. Aquéllos que sí puedan, deberán probar la posición en tándem sin pasar por la de pies juntos.

a. Equilibrio en semitándem: Quiero que mantenga el equilibrio con el lateral de un talón tocando el lateral del dedo gordo del otro pie, alrededor de 10 segundos. Puede poner el pie que prefiera delante.

- Se mantiene 10 s: 2
- Se mantiene menos de 10 s (apuntar número de segundos .....): 1
- No lo consigue: 0

b. Equilibrio con pies juntos: Quiero que intente estar de pie con los pies juntos, durante 10 segundos aproximadamente. Puede usar sus brazos, doblar las rodillas o mover el cuerpo para mantener el equilibrio, pero intente no mover los pies. Mantenga esta posición hasta que yo se lo diga.

- Se mantiene 10 s: 2
- Se mantiene menos de 10 s (apuntar número de segundos .....): 1
- No lo consigue: 0

c. Equilibrio en tándem: Ahora quiero que mantenga el equilibrio con un pie delante de otro, tocando el talón de uno la punta del otro, durante 10 segundos. Puede poner delante el pie que usted quiera. Espere mientras se lo demuestro.

(Mantenerse cerca del participante para ayudarlo a adoptar la posición. Permitir que el sujeto se apoye en sus brazos hasta que se equilibre. Empiece a cronometrar cuando el participante esté equilibrado con los pies en tándem).

- Se mantiene 10 s: 2
- Se mantiene menos de 10 s (apuntar número de segundos .....): 1
- No lo consigue: 0

### Puntuación:

- **Equilibrio con pies juntos incapaz o entre 0-9 s: 0**
- **Equilibrio con pies juntos 10 s y < 10 s semitándem: 1**
- **Semitándem 10 s y tándem entre 0 y 2 s: 2**
- **Semitándem 10 s y tándem entre 3 y 9 s: 3**
- **Tándem 10 s: 4**

### **DEAMBULACIÓN 2,44 o 4,00 METROS**

**Instrucciones:** Tiene que caminar a su ritmo normal hasta donde está el final del pasillo. Tiene que haber pasado la marca final antes de pararse. Puede emplear bastón, andador o cualquier ayuda que usted emplee para caminar por la calle. Yo caminaré con usted. ¿Está preparado?

**Puntuación:** Comience a cronometrar cuando el participante empiece a caminar y pare el cronómetro cuando el último pie haya sobrepasado la marca de la distancia a recorrer.

**Distancia 2,44 metros | Distancia 4 metros | m/s: Puntuación**

- **No puede hacerlo | No puede hacerlo: 0**
- **5,7 seg | > 8,70 seg | < 0,43 m/seg: 1**
- **4,1 - 6,5 seg | 6,21 – 8,70 seg | 0,44-0,60 m/seg: 2**
- **3,2 - 4,0 seg | 4,82 – 6,20 seg | 0,61-0,77 m/seg: 3**
- **< 3,1 seg | < 4,82 seg | > 0,78 m/s): 4**

### **LEVANTARSE DE UNA SILLA REPETIDAS VECES**

**Instrucciones:** ¿Cree que es seguro para usted intentar levantarse de una silla 5 veces sin emplear los brazos? Por favor, levántese y siéntese tan rápido como pueda 5 veces sin pararse entre medias. Mantenga los brazos cruzados sobre su pecho todo el tiempo. Le voy a cronometrar el tiempo que tarda mientras lo hace. ¿Está preparado? Comience.

**Puntuación:** Comience a cronometrar cuando el sujeto inicia el primer levantamiento. Cuente en alto cada vez que el participante se levanta. Termine de cronometrar cuando el sujeto esté totalmente de pie la última vez. Parar el cronómetro si se ayuda de las manos, si después de 1 minuto no ha completado la prueba o si está preocupado por la seguridad del participante.

- **No puede hacer la prueba: 0**
- **≥ 16,7 seg: 1**
- **Entre 16,6 y 13,7 seg: 2**
- **Entre 13,6 y 11,2 seg: 3**
- **≤ 11,1 seg: 4**

## 7.5 MANUAL DE USUARIO

En este manual se explica la utilización del videojuego, el cuál ha sido compartido en un repositorio Git y puede descargarse desde esta url: <https://github.com/ZelaiS/TFM>

### 7.5.1 REQUISITOS PREVIOS

Antes de comenzar a jugar debe asegurarse de que el sensor Kinect v2 y sus drivers se encuentran correctamente instalados en su ordenador Windows.

Se recomienda tener instalado Windows 8 o posterior y tener al menos 4GB de memoria RAM.

### 7.5.2 PANTALLA DE INICIO

Para inicializar el juego, deberá hacer doble clic en el icono FRAGILESS.exe instalado en su ordenador.

A continuación, aparecerá una pequeña pantalla en la que podrá adaptar la resolución del juego a su pantalla. Si desconoce este tipo de ajuste o no sabe con seguridad cuál es la resolución de su pantalla, se aconseja pulsar en el botón OK para continuar, ya que el juego utilizará la configuración predeterminada.

Una vez hecho esto, aparecerá la pantalla de inicio del juego en la que se pueden seleccionar varias opciones:



Figura 23: Menú Inicio

- *Jugar*: Se dará paso a la segunda escena de selección de personajes.
- *Opciones*: Permite cancelar el audio del juego (la música de fondo) o realizar una calibración del sensor. Esta opción visualiza en pantalla el campo de visión de Kinect en esos momentos, además de mostrar el tracking de los puntos del usuario. Esta opción es recomendable ejecutarla si el sensor no está leyendo bien a alguno de los participantes.
- *Salir*: Termina la ejecución del juego.

### 7.5.3 SELECCIÓN DE PERSONAJES

En esta escena, el jugador elige el personaje con el que desea empezar la actividad pudiendo elegir entre un hombre o una mujer.

### 7.5.4 FRAGILESS

Nada más comenzar, el jugador visualizará en pantalla el personaje elegido de espaldas. El personaje, comenzará a avanzar a lo largo del recorrido. En él, se deben evitar diferentes obstáculos, aumentando la puntuación en caso de éxito y generando un efecto de colisión en caso contrario.

Para poder jugar, hay que posicionarse delante del sensor Kinect, de modo que detecte el cuerpo entero del jugador. En la posición adecuada, en frente del sensor, pero a cierta distancia (1.5 m aprox.), podremos ver cómo se nos detecta y podremos movernos libremente, imitando el personaje nuestras acciones y posicionándose en pantalla según cómo nos desplazemos en el espacio real.

#### *OBSTÁCULOS PIEDRAS/ROCAS:*

Durante el recorrido se deben esquivar diferentes piedras o rocas que obstaculizarán el camino. Para esquivar estos objetos, el jugador debe desplazarse lateralmente de un lado a otro. De esta forma veremos cómo el personaje o avatar reacciona a nuestro desplazamiento.



Figura 24: Piedras

En pantalla, nos encontraremos tanto el tiempo que falta para terminar la sesión completa, la puntuación conseguida hasta el momento, y la vida restante. A su vez, cuando se esquiva un objeto, se mostrará la puntuación que se suma por el acierto en el centro de la pantalla.



Figura 25: Tiempo restante, puntuación y barra de vida.



## RAMAS ALTAS

El segundo objeto a esquivar en el camino, son ramas que pasan por encima a la altura de la cabeza. Para evitar este obstáculo, hay que agacharse antes de chocar con la rama y luego volver a levantarse una vez pasado.

Una flecha blanca indica el momento en que hay que agacharse y una segunda flecha, el momento en que podemos alzarnos de nuevo.



Figura 26: Ramas altas

## TRONCOS

Manteniendo una posición en el centro, se debe levantar una pierna por el mismo lado por el que se acerca el tronco. La pierna ha de levantarse tan alto como para no tropezar. Para asegurar que se comprende el sistema, si nos salimos del camino escucharemos un sonido de advertencia que indicará que hay que volver a posicionarse en el camino.



Figura 27: Troncos

### *RAMAS CON OBJETOS*

Las ramas pueden contener objetos. La forma de completar el ejercicio de forma adecuada es levantar bien alto el brazo por el lado en que aparezca el objeto y tocarlo al llegar. Si se toca, desaparecerá de inmediato de la rama en la que se encontraba y dejaremos de verlo en pantalla antes de dejarlo atrás.



*Figura 28: Ramas con objetos*

### *TRONCOS Y RAMAS CON OBJETOS HOMOLATERAL*

Este ejercicio supone una combinación de los dos anteriores. Al mismo tiempo hay que esquivar un tronco con la pierna y coger un objeto con la mano. En este caso, ambos objetos aparecen por el mismo lado.

Si sólo se supera una de las dos tareas, la puntuación sumada es la mitad que si se superasen ambas al mismo tiempo.



*Figura 29: Movimiento homolateral*

### *TRONCOS Y RAMAS CON OBJETOS CONTRALATERAL*

De nuevo, tenemos una situación en la que se combinan tanto los troncos a esquivar del suelo como los objetos que se encuentran en la rama. La diferencia esta vez es que aparecen de forma simultánea en lados opuestos. El sistema de puntuación se mantiene igual que en el formato homolateral.



*Figura 30: Movimiento contralateral*

### *ESPIRAL DE OBJETOS*

En este caso, una serie de objetos aparece formando una espiral en el recorrido. Si el jugador desea coger todos los objetos que aparecen en la espiral, deberá de realizar un movimiento de circunducción de hombro al tiempo que el personaje va avanzando.



*Figura 31: Espiral de monedas*

## *PUNTUACIÓN*

Una vez acabado el tiempo (aproximadamente 20 minutos), se muestra la puntuación obtenida y una valoración con un máximo de tres estrellas que indican el grado de éxito obtenido.



*Figura 32: Panel de puntuaciones finales*

## 8. REFERENCIAS

---

- Abejar, M. G. (2012). Longevidad y cuidados de larga duración en España: diferencias en la calidad de vida relacionada con la salud y en la fragilidad entre en hombres y mujeres (Doctoral dissertation, Universidad de Castilla-La Mancha).
- Abellán García, A., Ayala García, A., Pujol Rodríguez, R. (2017). Un perfil de las personas mayores en España, 2017. Indicadores estadísticos básicos. Madrid, Informes Envejecimiento en red nº 15, 48 p. [Última versión: 27/03/2017]. <http://envejecimiento.csic.es/documentos/documentos/enred-indicadoresbasicos17.pdf>
- Abizanda, P., Romero, L., Sánchez-Jurado, P. M., Martínez-Reig, M., Gómez-Arnedo, L., & Alfonso, S. A. (2013). Frailty and mortality, disability and mobility loss in a Spanish cohort of older adults: the FRADEA study. *Maturitas*, 74(1), 54-60.
- Abizanda, P., Sánchez-Jurado, P. M., Romero, L., Paterna, G., Martínez-Sánchez, E., & Atienzar-Núñez, P. (2011). Prevalence of frailty in a Spanish elderly population: The Frailty and Dependence in Albacete Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 59(7), 1356-1359.
- Andò, B., Baglio, S., Lombardo, C. O., & Marletta, V. (2015). An event polarized paradigm for ADL detection in AAL context. *IEEE Transactions on instrumentation and Measurement*, 64(7), 1814-1825.
- Andrade, G., Ramalho, G., Santana, H., & Corruble, V. (2005). Challenge-sensitive action selection: an application to game balancing. In *Intelligent agent technology, ieeewic/acm international conference on* (pp. 194-200). IEEE.
- Andrade, K. D. O., Pasqual, T. B., Caurin, G. A., & Crocomo, M. K. (2016). Dynamic difficulty adjustment with Evolutionary Algorithm in games for rehabilitation robotics. In *Serious Games and Applications for Health (SeGAH), 2016 IEEE International Conference on* (pp. 1-8). IEEE.
- Bandeen-Roche, K., Xue, Q. L., Ferrucci, L., Walston, J., Guralnik, J. M., Chaves, P., ... & Fried, L. P. (2006). Phenotype of frailty: characterization in the women's health and aging studies. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 61(3), 262-266.
- Baztán, J. J., Pérez del Molino, J., Alarcón, T., San Cristóbal, E., Izquierdo, G., & Manzarbeitia, J. (1993). Índice de Barthel: instrumento válido para la valoración funcional de pacientes con enfermedad cerebrovascular. *Revista Española de Geriátría y Gerontología*, 28(1), 32-40.
- Calin, Alina. (2016). Dynamic game difficulty balancing in active ageing systems. *Proceedings of the 11th Joint Conference on Mathematics and Computer Science*.
- Carlos, Gil, A. M., Martínez Pecino, F., Molina Linde, J. M., Villegas Portero, R., Aguilar García, J., García Alegría, J., & Formiga Pérez, F. (2009). Desarrollo de criterios, indicadores de complejidad y estrategias de manejo en fragilidad. *Sevilla: Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias de Andalucía*.

- Castro, L. A., Favela, J., Quintana, E., & Perez, M. (2015). Behavioral data gathering for assessing functional status and health in older adults using mobile phones. *Personal and Ubiquitous Computing*, *19*(2), 379-391.
- Chaccour, K., Eid, J., Darazi, R., el Hassani, A. H., & Andres, E. (2015). Multisensor guided walker for visually impaired elderly people. In *Advances in Biomedical Engineering (ICABME), 2015 International Conference on* (pp. 158-161). IEEE.
- Chang, D. M. J. (2013). Dynamic difficulty adjustment in computer games. In *Proceedings of the 11th Annual Interactive Multimedia Systems Conference*.
- Chang, Y., Lin, C., Lin, P., Chen, C., Lee, R., Huang, J., & Tsai, T. (2013). eFurniture for home-based frailty detection using artificial neural networks and wireless sensors. *Medical Engineering & Physics*, *35*(2), 263-268. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.medengphy.2011.09.010>
- Choi, S. D., Guo, L., Kang, D., & Xiong, S. (2017). Exergame technology and interactive interventions for elderly fall prevention: a systematic literature review. *Applied ergonomics*, *65*, 570-581.
- Cid-Ruzafa, J., & Damián-Moreno, J. (1997). Valoración de la discapacidad física: el índice de Barthel. *Revista española de salud pública*, *71*(2), 127-137.
- Clegg, A., Young, J., Iliffe, S., Rikkert, M. O., & Rockwood, K. (2013). Frailty in elderly people. *The Lancet*, *381*(9868), 752-762.
- Collard, R. M., Boter, H., Schoevers, R. A., & Oude Voshaar, R. C. (2012). Prevalence of frailty in community-dwelling older persons: a systematic review. *Journal of the American Geriatrics Society*, *60*(8), 1487-1492.
- Csikszentmihalyi, M. (1991) *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. New York: Harper & Row.
- Daniel, K. (2012). Wii-Hab for Pre-Frail Older Adults. *Rehabilitation Nursing*, *37*(4), 195-201.
- Davis, D. H., Rockwood, M. R., Mitnitski, A. B., & Rockwood, K. (2011). Impairments in mobility and balance in relation to frailty. *Archives of gerontology and geriatrics*, *53*(1), 79-83.
- de Folter, J., Gokalp, H., Fursse, J., Sharma, U., & Clarke, M. (2014). Designing effective visualizations of habits data to aid clinical decision making. *BMC medical informatics and decision making*, *14*(1), 102.
- de Souto Barreto, P., Vellas, B., Morley, J. E., & Rolland, Y. (2013). The nursing home population: An opportunity to make advances on research on multimorbidity and polypharmacy.
- Drubbel, I., Bleijenberg, N., Kranenburg, G., Eijkemans, R. J., Schuurmans, M. J., de Wit, N. J., & Numans, M. E. (2013). Identifying frailty: do the Frailty Index and Groningen Frailty Indicator cover different clinical perspectives? a cross-sectional study. *BMC family practice*, *14*(1), 64.

Drubbel, I., de Wit, N. J., Bleijenberg, N., Eijkemans, R. J., Schuurmans, M. J., & Numans, M. E. (2012). Prediction of adverse health outcomes in older people using a frailty index based on routine primary care data. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 68(3), 301-308.

Dubois, A., & Charpillet, F. (2017). Measuring frailty and detecting falls for elderly home care using depth camera. *Journal of ambient intelligence and smart environments*, 9(4), 469-481.

Ejupi, A., Brodie, M., Gschwind, Y. J., Lord, S. R., Zagler, W. L., & Delbaere, K. (2016). Kinect-based five-times-sit-to-stand test for clinical and in-home assessment of fall risk in older people. *Gerontology*, 62(1), 118-124.

Fairhall, N., Langron, C., Sherrington, C., Lord, S. R., Kurrle, S. E., Lockwood, K., ... & Cameron, I. D. (2011). Treating frailty-a practical guide. *BMC medicine*, 9(1), 83.

Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state": a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of psychiatric research*, 12(3), 189-198.

Fontecha, J., Hervás, R., Bravo, J., & Navarro, F. J. (2013). A mobile and ubiquitous approach for supporting frailty assessment in elderly people. *Journal of medical Internet research*, 15(9).

Freiheit, E. A., Hogan, D. B., Strain, L. A., Schmaltz, H. N., Patten, S. B., Eliasziw, M., & Maxwell, C. J. (2011). Operationalizing frailty among older residents of assisted living facilities. *BMC geriatrics*, 11(1), 23.

Fried, L.P., Tangen, C.M., Walston, J., Newman, A.B., Hirsch, C., Gottdiener, J., Seeman, T., Tracy, R., Kop, W.J., Burke, G. and McBurnie, M.A., (2001). Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 56(3), M146-M157.

Galán-Mercant, A., & Cuesta-Vargas, A. I. (2013). Differences in trunk accelerometry between frail and nonfrail elderly persons in sit-to-stand and stand-to-sit transitions based on a mobile inertial sensor. *JMIR mhealth and uhealth*, 1(2).

Galán-Mercant, A., & Cuesta-Vargas, A. I. (2014). Differences in trunk accelerometry between frail and non-frail elderly persons in functional tasks. *BMC research notes*, 7(1), 100.

Galán-Mercant, A., & Cuesta-Vargas, A. I. (2015). Clinical frailty syndrome assessment using inertial sensors embedded in smartphones. *Physiological measurement*, 36(9), 1929.

Ganea, R., Paraschiv-Ionescu, A., Büla, C., Rochat, S., & Aminian, K. (2011). Multi-parametric evaluation of sit-to-stand and stand-to-sit transitions in elderly people. *Medical Engineering and Physics*, 33(9), 1086-1093.

Ganea, R., Paraschiv-Ionescu, A., Salarian, A., Bula, C., Martin, E., Rochat, S., ... & Aminian, K. (2007). Kinematics and dynamic complexity of postural transitions in frail

elderly subjects. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE* (pp. 6117-6120). IEEE.

Garcia, J. A., Navarro, K. F., Schoene, D., Smith, S. T., & Pisan, Y. (2012). Exergames for the elderly: Towards an embedded Kinect-based clinical test of falls risk. In *HIC* (pp. 51-57).

García-García, F. J., Carcaillon, L., Fernandez-Tresguerres, J., Alfaro, A., Larrion, J. L., Castillo, C., & Rodriguez-Mañas, L. (2014). A new operational definition of frailty: the Frailty Trait Scale. *Journal of the American Medical Directors Association, 15*(5), 371-e7.

Geraedts H. A, Zijlstra W., Zhang W., Spoorenberg S. L., Báez M., Far I. K., et al. (2017). A Home-Based Exercise Program Driven by Tablet Application and Mobility Monitoring for Frail Older Adults: Feasibility and Practical Implications. *Prev Chronic Dis 14*, 160227.

GeriatricArea (2014). Retrieved from: <http://geriatricarea.com/el-videojuego-kineage-la-final-del-premio-social-innovation-ageing-european-award/>

Gerling, K. M., Schild, J., & Masuch, M. (2010). Exergame design for elderly users: the case study of SilverBalance. In *Proceedings of the 7th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology* (pp. 66-69). ACM.

Gillespie, L., Robertson, M., Gillespie, W., Lamb, S., Gates, S., Cumming, R., & Rowe, B. (2010). Intervenciones para la prevención de caídas en las personas de edad avanzada que residen en la comunidad. *Cochrane Database of Systematic Reviews 2010 Issue 10*. Art. No.: CD007146. DOI: 10.1002/14651858.CD007146.

Gobbens, R. J., van Assen, M. A., Luijkx, K. G., Wijnen-Sponselee, M. T., & Schols, J. M. (2010). The Tilburg frailty indicator: psychometric properties. *Journal of the American Medical Directors Association, 11*(5), 344-355.

González Sánchez, J. L. (2010). Jugabilidad. Caracterización de la experiencia del jugador en videojuegos.

Graham, J. E., Al Snih, S., Berges, I. M., Ray, L. A., Markides, K. S., & Ottenbacher, K. J. (2009). Frailty and 10-year mortality in community-living Mexican American older adults. *Gerontology, 55*(6), 644-651.

Guralnik, J. M., Ferrucci, L., Pieper, C. F., Leveille, S. G., Markides, K. S., Ostir, G. V., ... & Wallace, R. B. (2000). Lower extremity function and subsequent disability: consistency across studies, predictive models, and value of gait speed alone compared with the short physical performance battery. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 55*(4), M221-M231.

Hailstone, J. C., Ridgway, G. R., Bartlett, J. W., Goll, J. C., Buckley, A. H., Crutch, S. J., & Warren, J. D. (2011). Voice processing in dementia: a neuropsychological and neuroanatomical analysis. *Brain, 134*(9), 2535-2547.



Hassani, A., Kubicki, A., Brost, V., & Yang, F. (2014). Real-time 3D TUG test movement analysis for balance assessment using Microsoft Kinect. *Aii2014*. Di. Unipi. It, 1-10.

Hewson, D. J., Jaber, R., Chkeir, A., Hammoud, A., Gupta, D., Bassement, J., ... & Duchêne, J. (2013). Development of a monitoring system for physical frailty in independent elderly. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2013 35th Annual International Conference of the IEEE* (pp. 6215-6218). IEEE.

Horswill, I., & Foged, L (2012). How to build a constraint propagator in a weekend. Retrieved from: <http://www.cs.northwestern.edu/~ian/GDCCConstraintsHowTo.pdf>

Hunicke, R., and Chapman, V (2004). AI for dynamic difficulty adjustment in games. In *Challenges in Game Artificial Intelligence AAAI Workshop*, pp. 91-96.

Illario, M., Vollenbroek-Hutten, M., Molloy, D. W., Menditto, E., Iaccarino, G., & Eklund, P. (2015). Active and healthy ageing and independent living. *Journal of aging research*, 2015.

Jennings-Teats, M., Smith, G., & Wardrip-Fruin, N. (2010). Polymorph: A model for dynamic level generation. In *Sixth artificial intelligence and interactive digital entertainment conference*.

Jorgensen, M. G., Laessoe, U., Hendriksen, C., Nielsen, O. B. F., & Aagaard, P. (2012). Efficacy of Nintendo Wii training on mechanical leg muscle function and postural balance in community-dwelling older adults: a randomized controlled trial. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 68(7), 845-852.

Kaehr, E., Visvanathan, R., Malmstrom, T. K., & Morley, J. E. (2015). Frailty in nursing homes: the FRAIL-NH scale. *Journal of the American Medical Directors Association*, 16(2), 87-89.

Kim, J., Son, J., Ko, N., & Yoon, B. (2013). Unsupervised virtual reality-based exercise program improves hip muscle strength and balance control in older adults: a pilot study. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 94(5), 937-943.

Klack, L., Möllering, C., Ziefle, M., & Schmitz-Rode, T. (2010). Future care floor: a sensitive floor for movement monitoring and fall detection in home environments. In *International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare* (pp. 211-218). Springer, Berlin, Heidelberg.

Kojima, G., Masud, T., Kendrick, D., Morris, R., Gawler, S., Treml, J., & Iliffe, S. (2015). Does the timed up and go test predict future falls among British community-dwelling older people? Prospective cohort study nested within a randomised controlled trial. *BMC geriatrics*, 15(1), 38.

Kubicki, A., Bonnetblanc, F., Petrement, G., & Mourey, F. (2014). Motor-prediction improvements after virtual rehabilitation in geriatrics: frail patients reveal different learning curves for movement and postural control. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 44(1), 109-118.

- Kwok, B. C., Mamun, K., Chandran, M., & Wong, C. H. (2011). Evaluation of the Frails' Fall Efficacy by Comparing Treatments (EFFECT) on reducing fall and fear of fall in moderately frail older adults: study protocol for a randomised control trial. *Trials*, 12(1), 155.
- Lee, T., & Mihailidis, A. (2005). An intelligent emergency response system: preliminary development and testing of automated fall detection. *Journal of telemedicine and telecare*, 11(4), 194-198.
- Liang, J., Abbott, C. C., Skubic, M., & Keller, J. (2009). Investigation of gait features for stability and risk identification in elders. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2009. EMBC 2009. Annual International Conference of the IEEE* (pp. 6139-6142). IEEE.
- Lin, Y. J., Su, M. J., Chen, H. S., & Lin, C. I. (2008). A study of integrating digital health network with UPnP in an elderly nursing home. In *Computer Systems Architecture Conference, 2008. ACSAC 2008. 13th Asia-Pacific* (pp. 1-7). IEEE.
- Liu, L., Stroulia, E., Nikolaidis, I., Miguel-Cruz, A., & Rincon, A. R. (2016). Smart homes and home health monitoring technologies for older adults: A systematic review. *International journal of medical informatics*, 91, 44-59.
- Man, Y. P., Cremers, G., Spreeuwenberg, M., & de Witte, L. (2015). Platform for frail elderly people supporting information and communication. *Stud Health Technol Inform*, 217, 311-318.
- Márquez, Q., D. (2014). IA para el ajuste dinámico de la dificultad en videojuegos. TFM.
- Martínez-Ramírez, A., Lecumberri, P., Gómez, M., Rodríguez-Mañas, L., García, F. J., & Izquierdo, M. (2011). Frailty assessment based on wavelet analysis during quiet standing balance test. *Journal of biomechanics*, 44(12), 2213-2220.
- Martínez-Velilla, N., & Romero-Ortuno, R. (2015). Fragilidad: sí, pero evitemos el «fragilismo». *Revista Española de Geriátria y Gerontología*, 50(5), 209-210.
- Martín-Lesende, I., López-Torres, J. D., de-Hoyos, M. C., Baena, J. M., Gorroñoigoitia, A., & Herreros, Y. (2014). Detección e intervenciones en la persona mayor frágil en Atención Primaria. recomendaciones PAPPS (de la semFYC). Disponible en: <http://www.papps.org/>.
- Matusik, P., Tomaszewski, K., Chmielowska, K., Nowak, J., Nowak, W., Parnicka, A., ... & Grodzicki, T. (2012). Severe frailty and cognitive impairment are related to higher mortality in 12-month follow-up of nursing home residents. *Archives of gerontology and geriatrics*, 55(1), 22-24.
- Menelas, B. A. J., & Otis, M. J. (2012). A serious game for training balance control over different types of soil. In *International Conference on Serious Games Development and Applications* (pp. 31-42). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Menéndez-Colino, R., Sánchez-Castellano, C., de Tena-Fontaneda, A., del Nogal, M. L., Cuesta-Triana, F., & Ribera-Casado, J. M. (2005). Utilidad de la estación unipodal

en la valoración del riesgo de caídas. *Revista española de geriatría y gerontología*, 40, 18-23.

Ministerio de Sanidad Servicios Sociales e Igualdad (2014). Documento de consenso sobre prevención de fragilidad y caídas en la persona mayor. Retrieved from: [https://www.mscbs.gob.es/ca/profesionales/saludPublica/prevPromocion/Estrategia/docs/FragilidadyCaídas\\_personamayor.pdf](https://www.mscbs.gob.es/ca/profesionales/saludPublica/prevPromocion/Estrategia/docs/FragilidadyCaídas_personamayor.pdf)

Morley, J. E., Vellas, B., Van Kan, G. A., Anker, S. D., Bauer, J. M., Bernabei, R., ... & Fried, L. P. (2013). Frailty consensus: a call to action. *Journal of the American Medical Directors Association*, 14(6), 392-397.

Nakajima, K., Saito, M., Kodama, M., Iwakami, Y., Ino, S., Ifukube, T., ... & Ohta, Y. (2011). Evaluation of ambulatory function by using the shoe device. In *5th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering* (pp. 868-871). Springer, Berlin, Heidelberg.

Nielsen, J. (2000). Why You Only Need to Test With 5 Users. Alertbox March 19, 2000. Retrieved from: <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/>

OMS, (2001). The Global Embrace Handbook. Retrieved from: [http://www.who.int/ageing/publications/alc\\_elmanual.pdf](http://www.who.int/ageing/publications/alc_elmanual.pdf)

Peters, L. L., Boter, H., Buskens, E., & Slaets, J. P. (2012). Measurement properties of the Groningen Frailty Indicator in home-dwelling and institutionalized elderly people. *Journal of the American Medical Directors Association*, 13(6), 546-551.

Pfeifer, B. (2003). AI to control pacing in games. In *Artificial Intelligence, Interactivity, and Immersive Environments: 2nd Annual Game Development Workshop*, University of Texas at Austin.

Pigini, L., Facal, D., Garcia, A., Burmester, M., & Andrich, R. (2012). The proof of concept of a shadow robotic system for independent living at home. In *International Conference on Computers for Handicapped Persons* (pp. 634-641). Springer, Berlin, Heidelberg.

Rockwood, K., Abeysondera, M. J., & Mitnitski, A. (2007). How should we grade frailty in nursing home patients? *Journal of the American Medical Directors Association*, 8(9), 595-603.

Rockwood, K., Song, X., MacKnight, C., Bergman, H., Hogan, D. B., McDowell, I., & Mitnitski, A. (2005). A global clinical measure of fitness and frailty in elderly people. *Canadian Medical Association Journal*, 173(5), 489-495.

Rodríguez-Mañas, L., Féart, C., Mann, G., Viña, J., Chatterji, S., Chodzko-Zajko, W., ... & Scuteri, A. (2012). Searching for an operational definition of frailty: a Delphi method based consensus statement. The frailty operative definition-consensus conference project. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 68(1), 62-67.

- Rolfson, D. B., Majumdar, S. R., Tsuyuki, R. T., Tahir, A., & Rockwood, K. (2006). Validity and reliability of the Edmonton Frail Scale. *Age and ageing*, 35(5), 526-529.
- Rubenstein, L. Z., & Josephson, K. R. (2005). Intervenciones para reducir los riesgos multifactoriales de caídas. *Revista Española de Geriatría y Gerontología*, 40, 45-53.
- Sadasivam, R. S., Luger, T. M., Coley, H. L., Taylor, B. B., Padir, T., Ritchie, C. S., & Houston, T. K. (2014). Robot-assisted home hazard assessment for fall prevention: A feasibility study. *Journal of telemedicine and telecare*, 20(1), 3-10.
- Sáenz-de-Urturi, Z., & Santos, O. C. (2018). User Modelling in Exergames for Frail Older Adults. In *Adjunct Publication of the 26th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization* (pp. 83-86). ACM.
- Sanders, J. L., Boudreau, R. M., Fried, L. P., Walston, J. D., Harris, T. B., & Newman, A. B. (2011). Measurement of organ structure and function enhances understanding of the physiological basis of frailty: the Cardiovascular Health Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 59(9), 1581-1588.
- Sävenstedt, S., Zingmark, K., Hydén, L. C., & Brulin, C. (2005). Establishing joint attention in remote talks with the elderly about health: a study of nurses' conversation with elderly persons in teleconsultations. *Scandinavian journal of caring sciences*, 19(4), 317-324.
- Shaker, N., Yannakakis, G. N., & Togelius, J. (2010). Towards Automatic Personalized Content Generation for Platform Games. In *AIIDE*.
- Silva-Gama, Z. A. D., Gómez-Conesa, A., & Sobral-Ferreira, M. (2008). Epidemiología de caídas de ancianos en España: Una revisión sistemática, 2007. *Revista Española de Salud Pública*, 82(1), 43-55.
- Song, X., Mitnitski, A., & Rockwood, K. (2010). Prevalence and 10-year outcomes of frailty in older adults in relation to deficit accumulation. *Journal of the American Geriatrics Society*, 58(4), 681-687.
- Soria, S., Gallego, E., Vidan, M., Ortiz, J., & Serra-Rexach, J. A. (2014). Elaboración de una herramienta para la estimación del riesgo de mortalidad a corto y medio plazo tras el alta de una Unidad de Hospitalización de Agudos de Geriatría. *Revista Española de Geriatría y Gerontología*, 49(5), 223-227.
- Sternberg, S. A., Schwartz, A. W., Karunanathan, S., Bergman, H., & Mark Clarfield, A. (2011). The identification of frailty: a systematic literature review. *Journal of the American Geriatrics Society*, 59(11), 2129-2138.
- Stone, E. E., & Skubic, M. (2013). Mapping Kinect-based in-home gait speed to TUG time: a methodology to facilitate clinical interpretation. In *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth), 2013 7th International Conference on* (pp. 57-64). IEEE.
- Szturm, T., Betker, A. L., Moussavi, Z., Desai, A., & Goodman, V. (2011). Effects of an interactive computer game exercise regimen on balance impairment in frail community-

dwelling older adults: a randomized controlled trial. *Physical therapy*, 91(10), 1449-1462.

Theng, Y. L., Teo, P. F., & Truc, P. H. (2010). Investigating sociability and affective responses of elderly users through digitally-mediated exercises: a case of the Nintendo Wii. In *Human-Computer Interaction* (pp. 152-162). Springer, Berlin, Heidelberg.

Tolkiehn, M., Atallah, L., Lo, B., & Yang, G. Z. (2011). Direction sensitive fall detection using a triaxial accelerometer and a barometric pressure sensor. In *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011 Annual International Conference of the IEEE* (pp. 369-372). IEEE.

Toosizadeh, N., Mohler, J., & Najafi, B. (2015). Assessing upper extremity motion: an innovative method to identify frailty. *Journal of the American Geriatrics Society*, 63(6), 1181-1186.

Toosizadeh, N., Mohler, J., Wendel, C., & Najafi, B. (2015). Influences of frailty syndrome on open-loop and closed-loop postural control strategy. *Gerontology*, 61(1), 51-60.

Ugartemendia Yerobi, M. (2011). Estudio de indicadores de la fragilidad en ancianos institucionalizados. TFM.

Unity Technologies. Unity 3d. <https://unity3d.com/es>, 2017

Vermeulen, J., Neyens, J. C., van Rossum, E., Spreeuwenberg, M. D., & de Witte, L. P. (2011). Predicting ADL disability in community-dwelling elderly people using physical frailty indicators: a systematic review. *BMC geriatrics*, 11(1), 33.

Vincent, C., Reinhartz, D., Deaudelin, I., Garceau, M., & Talbot, L. R. (2006). Public telesurveillance service for frail elderly living at home, outcomes and cost evolution: a quasi experimental design with two follow-ups. *Health and quality of life outcomes*, 4(1), 41.

Wong, C. H., Weiss, D., Sourial, N., Karunanathan, S., Quail, J. M., Wolfson, C., & Bergman, H. (2010). Frailty and its association with disability and comorbidity in a community-dwelling sample of seniors in Montreal: a cross-sectional study. *Ageing clinical and experimental research*, 22(1), 54-62.

Wu, Y. H., Cristancho-Lacroix, V., Fassert, C., Faucounau, V., de Rotrou, J., & Rigaud, A. S. (2016). The attitudes and perceptions of older adults with mild cognitive impairment toward an assistive robot. *Journal of Applied Gerontology*, 35(1), 3-17.

Yannakakis, G. N., & Hallam, J. (2006). Towards capturing and enhancing entertainment in computer games. In *Hellenic Conference on Artificial Intelligence* (pp. 432-442). Springer, Berlin, Heidelberg.

Zavala-Ibarra, I. & Favela, J. (2012). Ambient videogames for health monitoring in older adults. In *Intelligent Environments (IE), 2012 8th International Conference on* (pp. 27-33). IEEE.

Zouba, N., Brémond, F., Thonnat, M., Anfosso, A., Pascual, E., Mallea, P., ... & Guerin, O. (2009). A computer system to monitor older adults at home: Preliminary results. *Gerontechnology Journal*, 8(3), 129-139.

## 9. GLOSARIO

---

- 5STS: five-times-Sit-To-Stand.
- ABC: Activities-Specific Confidence Scale.
- BBS: Berg Balance Scale.
- BGS: Background Subtraction.
- BPN: Back Propagation Network.
- BTS: Back-To-Sit.
- CHAMPS: Community Healthy Activities Model Program for Seniors.
- CRF: Conditional Random Fields.
- CSP: Constraint Satisfaction Problem.
- CSRT: Choice Stepping Reaction Time.
- DDA: Dynamic Difficulty Adjustment (Ajuste Dinámico de Dificultad).
- DWT: Discrete wavelet transform.
- EBP: Error Back Propagation.
- EFS: Escala de Fragilidad de Edmonton.
- ETUG: Expanded Timed Up and Go.
- GFI: Groningen Frailty Indicator.
- GGSC: Gower General Similarity Coefficient.
- HGS: Habitual Gait Speed.
- HMM: Hidden Markov Models.
- IA: Inteligencia Artificial.
- IMC: Índice de Masa Corporal.
- LLFDI: Late Life Function and Disability.
- MPL: Multilayer Perception.
- NNA: Nearest Neighbor Algorithms.
- NPC: Non-Player Characters.
- PCA: Principal Component Analysis.
- PCG: Procedural Content Generation.
- RV: Realidad Virtual.
- SDK: Software Development Kit.
- SFT: Senior Fitness Test.
- SPPB: Short Physical Performance Battery.
- STS: Sit-To-Stand.
- SVM: Support Vector Machine.

- TA: Threshold-Based Algorithm.
- TBAT: Tinetti Balance Assessment Tool.
- TUG: Timed Up and Go.