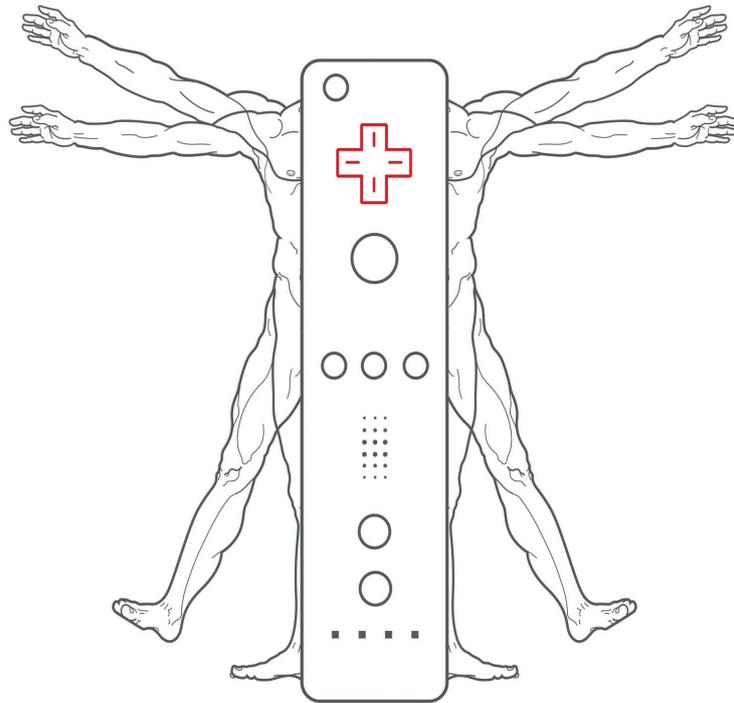




---

**Universidad de Valladolid**



---

## TESIS DOCTORAL

Implementación de la Realidad Virtual en el ámbito de la  
recuperación funcional del Sistema Propioceptivo:  
Rehabilitación con Videojuegos Comerciales

---

**Sergio Fuertes González**

Directores:

**Dra. Ana González Rebollo**

**Dr. Héctor José Aguado Hernández**



# Palabras Clave

AVDs Actividades de la Vida Diaria

ACV Accidente Cerebrovascular

CG Registro de centro de gravedad sobre el polígono de sustentación

LCA Ligamento Cruzado Anterior

RV Realidad Virtual

SDRC Síndrome de Dolor Regional Complejo

TCE Traumatismo Cráneo Encefálico

WBB Wii Balance Board



# Agradecimientos

La memoria de la presente Tesis Doctoral no hubiera sido posible sin la inestimable ayuda de mis tutores; Ana González Rebollo y Héctor José Aguado Hernández, capaces de encauzarme y dirigirme en la consecución de ella, argumentando todos los puntos que la componen de forma correcta y a la vez concisa.

Gracias a Jorge, Mercedes y Juanjo; infatigables compañeros en esta aventura. Ha sido un placer trabajar a vuestro lado...

Destacar la disposición positiva y el apoyo que me ha brindado en todo momento, mi gran amigo y compañero, el Dr. Pedro Olmos Lezáun.

El empuje y la positividad de los grandes Ángel Sebastián López y Pedro Martín Gallardo.

Y por supuesto, agradecer a Teresa, a Nano y a Hugo, nuestro nuevo compañero en este emocionante viaje llamado VIDA. Sin vuestra comprensión y el aliento que me habéis proporcionado, cuando más flaqueaban mis fuerzas... esto no hubiera sido posible.

Finalmente reconocer la generosidad de todas esas entidades y compañeros, que sin querer ser nombrados, han tendido su mano desde el inicio, demostrando una fe ciega en este proyecto.



# Índice de Figuras

1. Kinect / XBOX 360 .....	9
2. Wii (Nintendo) .....	11
3. Wii Balance Board .....	13
4. Wii Fit Plus .....	15
5. Kinect Adventures .....	29
6. Componentes funcionales del Sistema Propioceptivo .....	35
7. Retroalimentación del Sistema sensitivo-motor .....	36
8. Registro de centro de gravedad .....	45
9. Test de la Estatua .....	46
10. Test de Equilibrio básico .....	46
11. Test dinámico de marcha .....	47
12. Test en apoyo monopodal .....	47
13. Modificaciones de entorno con Balón de Pilates .....	50
14. WBB sobre Din air .....	51
15. FOAM sobre WBB .....	51
16. Asistencia con andador .....	52
17. Asistencia con muletas .....	52
18. Modificación de entorno con colchoneta .....	53
19. Distribucion por sexo .....	56
20. Distribucion por edad .....	58

21. Recuento de pacientes según patología .....	58
22. Distribución de resultados, según número de ronda, alcanzado en el test de Equilibrio básico pretratamiento .....	62
23. Distribución de resultados, según número de ronda, alcanzado en el test de Equilibrio básico postratamiento .....	62
24. Gráfico evolutivo de cada paciente en test de Equilibrio básico .....	63
25. Tendencia en el registro de la proyección del centro de gravedad sobre polígono de sustentación (CG) .....	64
26. Tendencia en Test de la Estatua .....	64
27. Tendencia en Test Dinámico de marcha .....	65
28. Tendencia en test en apoyo monopodal .....	65
29. Distribución de resultados en el Registro de la proyección del centro de gravedad sobre polígono de sustentación pretratamiento (CG)(%).....	69
30. Distribución de resultados en el Registro de la proyección del centro de gravedad sobre polígono de sustentación pretratamiento (CG)(%) .....	70
31. Distribución de resultados en el Registro de la proyección del centro de gravedad sobre polígono de sustentación postratamiento (CG Postto)(%) .....	70
32. Distribución de resultados en el Registro de la proyección del centro de gravedad sobre polígono de sustentación postratamiento (CG Postto)(%) .....	71
33. Distribución de los resultados en el Test de la Estatua pretratamiento (T. Estatua)(%) .....	73
34. Distribución de los resultados en el Test de la Estatua pretratamiento (T. Estatua)(%) .....	74

35. Distribución de los resultados en el Test de la Estatua postratamiento (T. Estatua Postto)(%) .....	74
36. Distribución de los resultados en el Test de la Estatua postratamiento (T. Estatua Postto)(%) .....	75
37. Distribución de los resultados para el Test Dinámico de marcha pretratamiento ( T. Dinámico de marcha)(%) .....	77
38. Distribución de los resultados para el Test Dinámico de marcha pretratamiento ( T. Dinámico de marcha)(%) .....	78
39. Distribución de los resultados para el Test Dinámico de marcha postratamiento ( T. Dinámico de marcha Postto)(%) .....	78
40. Distribución de los resultados para el Test Dinámico de marcha postratamiento ( T. Dinámico de marcha Postto)(%) .....	79
41. Distribución de los resultados para el Test en apoyo monopodal pretratamiento ( T. En apoyo monopodal )(%) .....	81
42. Distribución de los resultados para el Test en apoyo monopodal pretratamiento ( T. En apoyo monopodal )(%) .....	82
43. Distribución de los resultados para el Test en apoyo monopodal postratamiento ( T. En apoyo monopodal Postto)(%) .....	82
44. Clasificación de Milgram .....	91



# Índice de Tablas

1. Distribución por sexo .....	55
2. Distribución por edad .....	57
3. Patologías .....	59
4. Test de Equilibrio básico pre y postratamiento .....	60
5. Test de Equilibrio básico pretratamiento (n° de ronda) .....	61
6. Test de Equilibrio básico postratamiento (n° de ronda) .....	61
7. Resumen del procesamiento de los casos para CG .....	67
8. Descriptivos para CG .....	68
9. Pruebas de normalidad para CG .....	69
10. Resumen del procesamiento de los casos para T. Estatua .....	70
11. Descriptivos para T. Estatua .....	71
12. Pruebas de normalidad para T. Estatua .....	73
13. Resumen del procesamiento de los casos para T. Dinámico de marcha .....	75
14. Descriptivos para T. Dinámico de marcha .....	76
15. Pruebas de normalidad para T. Dinámico de marcha .....	77
16. Resumen del procesamiento de los casos para T. en apoyo monopodal .....	79
17. Descriptivos para T. En apoyo monopodal .....	80
18. Pruebas de normalidad para el Test en apoyo monopodal .....	81
19. Estadísticos de muestras relacionadas T.Estatua .....	84

## ÍNDICE

20. Correlaciones de muestras relacionadas T.Estatua .....	84
21. Prueba de muestras relacionadas T.Estatua .....	84
22. Estadísticos descriptivos T. Equilibrio básico .....	86
23. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon T. Equilibrio básico .....	86
24. Estadísticos de contraste T. Equilibrio básico .....	85
25. Estadísticos de muestras relacionadas T. En apoyo monopodal .....	87
26. Correlaciones de muestras relacionadas T. En apoyo monopodal .....	88
27. Prueba de muestras relacionadas T. En apoyo monopodal .....	89

# Índice general

Capitulo 1: Introducción.....	1
1.1 Enfoque y aproximación al estudio .....	1
1.2 Videojuegos y Salud.....	2
1.3 La democratización de la tecnología.....	8
Capitulo 2: Detalles Técnicos.....	9
2.1 Videoconsolas.....	9
2.1.1 Kinect / XBOX 360.....	9
2.1.2 Wii / Wii Balance Board / Nintendo.....	10
Capitulo 3: Evaluación funcional y utilidad terapéutica de videojuegos comerciales.....	15
3.2.1 Wii Fit Plus.....	15
3.2.2 Kinect Adventures.....	29
Capitulo 4: Marco teórico.....	33
4.1 Definición de Sistema Propioceptivo.....	33
4.2 Papel de la Rehabilitación con videojuegos en las alteraciones del Sistema Propioceptivo.....	35
4.3 Diana terapéutica: Patologías que cursan con alteraciones de la propiocepción.....	37
4.3.1 Patología del Aparato Locomotor.....	37
4.3.2 Patología Neurológica.....	39

Capitulo 5: Metodología.....	43
5.1 Objetivo.....	43
5.2 Tipo de estudio.....	43
5.3 Selección de pacientes.....	43
5.3.1 Pacientes blanco.....	43
5.3.2 Pacientes de estudio.....	43
5.4 Criterios de inclusión.....	44
5.5 Criterios de exclusión.....	44
5.6 Protocolo terapéutico .....	44
5.6.1 Evaluación pretratamiento.....	45
5.6.2 Fase de tratamiento / adiestramiento.....	48
5.6.3 Evaluación postratamiento.....	48
5.7 Entorno de tratamiento.....	48
5.8 Modificaciones de entorno.....	49
Capitulo 6: Resultados.....	55
Capitulo 7: Discusión.....	91
Capitulo 8: Conclusiones.....	99
Capitulo 9: Consideraciones éticas.....	101
Bibliografía.....	105

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Enfoque y aproximación al estudio

El empleo de nuevas tecnologías se configura como el futuro de la Rehabilitación Médica. Hasta el momento, uno de los grandes problemas que se presentaba era su elevado coste e inaccesibilidad. Sin embargo, este obstáculo se ha superado, y contamos con dispositivos muy económicos que ofrecen un amplísimo abanico de posibilidades diagnósticas y terapéuticas.

La realidad virtual (RV) y los videojuegos interactivos, es una de las áreas que más interés ha suscitado. El poder “sumergir” al paciente en un ambiente interactivo, creado por computadora, que de forma realista recrea las actividades adecuadas para sus necesidades funcionales, permite fusionar objetivos médicos y lúdicos. Esto da lugar a un biofeedback ideal para incrementar parámetros como el motivacional, mejorando la adherencia y consecuentemente la eficacia, de tratamientos de largo recorrido que pueden caer fácilmente en la monotonía.

El objetivo de este estudio, es mostrar la utilidad y el interés de la implementación de esta terapia en el ámbito de la Rehabilitación, refiriéndonos de forma concreta a las alteraciones del Sistema Propioceptivo. Hemos utilizado para ello, dos videoconsolas de séptima generación y videojuegos comerciales, recursos de fácil acceso y cuyo uso está muy extendido a nivel doméstico. Siendo esto último un factor que ha facilitado la inclusión de pacientes y el desarrollo de la terapia.

## 1.2 Videojuegos y salud

Los usamos para divertirnos, y ese es el propósito con el que fueron creados, pero cada vez más investigaciones muestran que los videojuegos pueden ser utilizados para mejorar la salud<sup>1,2</sup>. Con su tecnología avanzada e importantes repercusiones en la cultura y la economía aún persisten dudas sobre su seguridad y son denostados por ello. Los videojuegos han sido relacionados con el comportamiento violento e incluso con los más crueles asesinatos, y acusados de provocar destructivas adicciones, obesidad, vida sedentaria, aislamiento social y hasta pérdida de valores. ¿Qué hay de cierto en todo esto? ¿Pueden estos riesgos persuadirnos de su potencial uso positivo?

Los videojuegos son una industria creciente pese a la crisis económica, cuyos usos superan ya lo lúdico, llegando a ser una forma de cultura. ¿Qué parte de esta tecnología puede ser utilizada en ciencia y medicina con fines positivos para la salud humana? Los videojuegos están listos para saltar de los salones y la diversión a la medicina, tal y como hizo en su momento el éter para la anestesia. Ya se utilizan con fines educativos y formativos además en psicología, fisioterapia, terapia ocupacional y medicina. Es responsabilidad de los profesionales sanitarios utilizarlos para mejorar la salud y eludir los riesgos.

### **Usos positivos**

Las investigaciones muestran que jugar es seguro para la gran mayoría de los usuarios y que los videojuegos pueden ser utilizados para mejorar la salud por su capacidad para motivar, educar y promover cambios en la conducta<sup>3</sup>. También han sido utilizados para investigación en neurociencias y ciencias básicas aprovechando el potencial de la inteligencia colectiva para resolver problemas complejos como el plegado de proteínas, la genética del cáncer o los mecanismos de propagación de una epidemia virtual en un entorno con decenas de miles de jugadores. Por su capacidad para distraer se han utilizado durante procedimientos terapéuticos dolorosos en lugar de anestésicos y sedantes.

Pese a todo, muchas veces las investigaciones sobre sus usos positivos para la salud son trivializadas y poco tenidas en cuenta. A

nivel académico se ha utilizado con preferencia el término "realidad virtual"(RV), considerado más serio y respetado. Sin embargo la tecnología de la RV y la de los videojuegos lúdicos comerciales tiene límites difusos. Incluso los sistemas de RV con finalidad militar o científica deben mucho a la tecnología y funcionamiento de los videojuegos, tanto en relación con la imagen y sonido como en modos de interactuar. Podríamos considerar los videojuegos como la aplicación de la realidad virtual con mayor éxito comercial. Hoy en día se utiliza más el término "Serious Games"<sup>4</sup> (Videojuegos serios en inglés) para referirse a los usos de ésta tecnología más allá de la diversión, ya sea hardware, software o ideas procedentes de la misma. Las aplicaciones serias de los videojuegos van desde la educación, al entrenamiento de habilidades, el fomento de actitudes positivas, la denuncia social o la publicidad. Hay aplicaciones en defensa, educación, exploración científica, sanidad, urgencias, planificación cívica, ingeniería, religión y política. Dentro de ellos los "Games for Health", o videojuegos para la salud, serían aquellos destinados al entrenamiento médico, la educación sanitaria, la terapia psicológica y para rehabilitación cognitiva o física. En este último campo la Sociedad Internacional de Rehabilitación Virtual (<http://isvr.org>) trata de aglutinar todas las investigaciones y reunir a los investigadores en todo el mundo. Se habla de gamification, o gamificación de la salud para los usos de la forma de pensar y la mecánica de los videojuegos en usos no lúdicos. Así, la telerrehabilitación desarrollada a través de un entorno virtual interactivo estaría dentro de ese campo de videojuegos serios para la salud y gamificación de la terapia. También se utiliza el término exergaming (una mezcla de ejercicio y jugando a videojuegos) para referirse a los videojuegos utilizados como forma de promover o realizar ejercicio físico.

Como única forma de ocio audiovisual interactiva y de venta masiva, los videojuegos tienen un papel importante en el desarrollo de tecnología de reproducción de sonido e imagen, creación de animaciones y entornos virtuales e incluso inteligencia artificial. Actores, diseñadores, dibujantes, informáticos, músicos, ingenieros, técnicos de sonido, matemáticos, psicólogos, etc. todo tipo de

profesionales pueden trabajar en el desarrollo de videojuegos y en todos los campos tienen a su vez una repercusión. Desde las artes a las ciencias. Un desarrollo tecnológico para videojuegos puede ser utilizado a la vez tanto en el cine para crear efectos especiales, como en los laboratorios de biomecánica humana, con captadores de movimiento que permiten digitalizar actores para introducirlos en imágenes creadas por ordenador o analizar los movimientos patológicos de una persona con discapacidad para desarrollar mejores terapias y evaluar productos sanitarios. Incluso el diseño de robots y el diseño industrial o la arquitectura utilizan estas tecnologías con sus repercusiones en el diseño accesible para todos, los robots asistenciales o para rehabilitación. Las mejoras en imagen digital animada e interactiva pueden utilizarse para formación de profesionales, tanto sanitarios como militares o industriales. Por ejemplo, en el entrenamiento de técnicas intervencionistas guiadas por ecografía<sup>5</sup> o quirúrgicas sin utilizar caros modelos anatómicos, pacientes reales o cadáveres<sup>6</sup>. Médicos que juegan a videojuegos son mejores realizando artroscopias y laparoscopias, por ejemplo; y por ello los simuladores virtuales pueden utilizarse para entrenamiento de estas habilidades<sup>7,8</sup>.

Alejándose de la imagen de niños o adolescentes varones jugadores, los videojuegos han alcanzado a ambos sexos y a todas las edades aumentando y mejorando la variedad y contenidos. O bien tanto los jugadores como los propios videojuegos y su tecnología han madurado introduciendo contenidos variados y acordes a todo tipo de edades y gustos. También se han desarrollado nuevas formas de jugar más inmersivas y que fomentan el movimiento real captado con cámaras o sensores giroscópicos y acelerómetros. Se han introducido en nuestros bolsillos en los móviles, además de en el ordenador, las consolas o los juegos de mano. Se han llegado a considerar como una más de las artes, creándose un lugar en la biblioteca del Congreso en los Estados Unidos para guardar los antiguos juegos, que en un futuro podría ser considerados como las primeras imágenes en blanco y negro de los hermanos Lumière (<http://www.digitalpreservation.gov/>). O formándose una Academia de las Ciencias y las Artes Interactivas en

España (<http://www.interactivas.org/>), algo que valora el contenido cultural y repercusión económica. El guión de algunos videojuegos, las imágenes o el sonido no tienen nada que envidiar a los argumentos de las mejores novelas, películas o composiciones musicales; y están teniendo tanto o más repercusión a nivel cultural, especialmente entre los sectores de población más jóvenes, pero no solo en ellos. Los comportamientos, las formas de vestir y los valores transmitidos por los personajes digitales tienen repercusiones en muchas personas, y éstos pueden ser tanto positivos como negativos.

Se ha llegado a decir que la industria de los videojuegos mueve más dinero que las del cine y la música juntas. De hecho, han generado su propia cultura y los personajes de los juegos han sido llevados al cine, tienen sus propias bandas sonoras, series de novelas gráficas y libros. Al igual que en otras formas de cultura, hay contenidos para todos los gustos, desde los que transmiten valores positivos o simplemente inocentes y divertidos (como rescatar personas en una catástrofe, simular deportes o cuidar una mascota) hasta negativos. Los efectos de los videojuegos deberían ser valorados en función del contenido del juego o tipo de juegos y no como si todos pertenecieran a un único conjunto. De la misma manera que no juzgamos todo el cine o toda la literatura por un solo género. Esto hace que sea más complicado sacar conclusiones sobre la investigación en videojuegos. Cada tipo de juego, cada juego particular tiene sus efectos diferentes<sup>9</sup>. Al igual que en otras formas de cultura se deben seleccionar los contenidos en función de la edad y, en el caso de los adultos, del estado de salud mental previo a su uso. El sistema PEGI evalúa los juegos según su contenido y edad recomendada (<http://www.pegi.info/es/>).

Riesgos y efectos secundarios

¿Son los videojuegos los culpables de la obesidad, especialmente la obesidad infantil?

Aunque actualmente se utilizan videojuegos para promover la actividad física<sup>9</sup>, esta relación entre videojuegos y obesidad es una creencia extendida a nivel popular y un estigma sobre el ocio electrónico. También se les culpa de que, aparentemente, se

practique menos deporte o se lean menos libros, incluso del fracaso escolar. Las investigaciones más serias tienden a considerar el delante de la pantalla, incluyendo todo tipo de pantallas de cualquier tipo de dispositivo, y no solo videojuegos; ya que todas ellas contribuirían a llevar una vida más sedentaria. Pero en general cualquier actividad sedentaria es culpable del bajo gasto energético. Debe valorarse qué proporción de ese tiempo se debe al ocio electrónico para evaluar correctamente el problema. La dificultad para tener otros tipos de ocio por la falta de lugares seguros al aire libre para los jóvenes podría tener más relación que el uso de videojuegos en la disminución de la práctica de deportes. Y lo mismo sucede con la motivación para leer o estudiar. Pese a ello los videojuegos siguen siendo acusados como culpables por la prensa y pensamiento popular, sin valorar realmente estos problemas de forma más global y multifactorial. Por otro lado las nuevas formas de jugar se han utilizado como medida para educar en nutrición y para promover el ejercicio físico o como forma de aprendizaje. Es decir, los videojuegos también pueden utilizarse para combatir la obesidad y la diabetes tipo 2 y promover dietas más saludables o aprender cualquier tipo de materia. Simplemente es necesario un diseño adecuado y enfocado <sup>10,11</sup>.

¿Aíslan socialmente los videojuegos?

Investigar esto es algo muy complejo. Sin embargo los adultos y adolescentes con dificultades de relación personal podrían encontrar un sustituto en los videojuegos online donde las relaciones personales se sustituyen por contactos virtuales. En este sentido, el uso de videojuegos y redes sociales online estaría unido.

¿Son muchas o muy graves las lesiones producidas por las nuevas formas de jugar a videojuegos?<sup>12</sup>

Las plataformas de baile, los mandos con acelerómetros y giroscopios o la captura de movimientos con cámaras hacen que jugar a videojuegos se parezca a otras actividades físicas. Los términos Nintendinitis<sup>13</sup> y Wiitis<sup>14</sup> han aparecido en la literatura científica para describir patología musculoesquelética derivada del

uso de videojuegos, ya sea por los mandos tradicionales o por los más actuales que requieren movimientos reales en lugar de pulsación de botones. Se trata de patologías leves y menos frecuentes que las derivadas de determinados trabajos o aficiones como tocar instrumentos, bailar o practicar deporte. Son producidas por gestos bruscos o repetitivos, además de por la vibración de los mandos. Con los simuladores deportivos en forma de videojuego no se suelen alcanzar la gravedad de las lesiones de los deportes reales y suelen ser sobrecargas musculares, esguinces o tendinopatías como en cualquier otra actividad física. La incidencia no es demasiado alta, ni la patología grave o con especial tendencia a cronificar. Normalmente cede simplemente dejando de jugar una temporada. Los jugadores profesionales de videojuegos y desarrolladores podrían tener este tipo de lesiones como enfermedad laboral, para el resto se trata de elegir variados tipos de juegos u otras formas de ocio y respetar tiempos de descanso. Simplemente la etiología parece una novedad y, por tanto, el problema ha sido magnificado. En realidad esta forma de jugar más activa ha llevado a tener actividad física a personas que antes no la tenían y eso ha producido que sufran agujetas, pequeños traumatismos o algunas lesiones como las mencionadas, pero no se debe menospreciar el efecto positivo para la salud de estos juegos.

En definitiva, al igual que otras terapias como las farmacológicas o el ejercicio terapéutico, los videojuegos pueden no estar exentos de algunos riesgos, pero como la posible adicción a opiáceos, las alergias u otras predisposiciones personales a algunos efectos adversos, no impiden el uso de ciertos fármacos, ni el riesgo de sufrir lesiones impide hacer deporte, el hecho de que los videojuegos tengan efectos psicológicos y físicos reales no debe impedirnos utilizarlos. Lo que hace que estos juegos puedan ser positivos o negativos, depende de nosotros potenciar las ventajas y minimizar los riesgos. El abaratamiento de la tecnología puede facilitar el acceso a potentes herramientas tecnológicas de formación para el profesional, evaluación de terapias, motivación para el paciente y seguimiento a distancia en medicina. Depende

de nosotros aprender a utilizarlos seriamente y participar en el diseño de contenidos específicos para la salud. Ya hay muchos usos propuestos y direcciones en las que se puede investigar para fomentar un uso saludable de estas tecnologías.

### 1.3 La democratización de la tecnología

Actualmente vivimos una época en la que la tecnología se está "democratizando". Su extraordinario avance e infiltración en la sociedad está facilitando el acceso a la misma tanto de personas en general como de profesionales, en particular. Se trata de un caldo de cultivo de nuevas ideas, en el que la sociedad utiliza esa tecnología y modela su avance a través de una interacción constante obteniéndose, por el camino nuevas herramientas, nuevas formas de hacer y nuevos conceptos orientados a mejorar nuestras vidas.

Especialmente relevante es la interacción con la biología y las ciencias de la salud, pues, no en vano, estamos ya abriendo las puertas de la revolución biológica. Tras esas puertas espera un camino con multitud de variantes y extensos campos de aplicación. Desde la mejora de las herramientas diagnósticas y terapéuticas, hasta la realización de ingeniería con la materia viva, pasando por un abanico de diferentes opciones que actualmente no somos realmente capaces de imaginar.

Las nuevas aplicaciones nacidas en base a este proceso no deben estar, y no estarán, limitadas solo a campos especializados, sino que una parte relevante de las mismas estará orientada a resolver problemas cotidianos y mejorar nuestras capacidades.

En este contexto de uso cotidiano de la tecnología son especialmente relevantes las nuevas formas de interacción hombre-máquina, siendo las consolas multimedia uno de los campos donde más se ha avanzado. Aunque inicialmente estaban pensadas, sólo para el mundo de los videojuegos, sus posibilidades de aplicación abarcan campos mucho más amplios y quizá, más importantes para nuestra vida a largo plazo.

# Capítulo 2

## Detalles técnicos

### 2.1 Videoconsolas

#### 2.1.1 Kinect / XBOX 360

Kinect™ para Xbox™ 360, o simplemente Kinect™ (originalmente conocido por el nombre en clave «Project Natal»)³⁰,³¹, es «un controlador de juego libre y entretenimiento» creado por Alex Kipman (empresa israelí 3DV Systems), desarrollado por Microsoft® para la videoconsola Xbox™ 360, y desde junio del 2011 para PC a través de Windows 7 y Windows 8. Kinect™ permite a los usuarios controlar e interactuar con la consola sin necesidad de tener contacto físico con un controlador de videojuegos tradicional, mediante una interfaz natural de usuario que reconoce gestos, comandos de voz, y objetos e imágenes.

El sensor de Kinect™ es una barra horizontal de aproximadamente 23 cm (9 pulgadas) conectada a una pequeña base circular con un eje de articulación de rótula, y está diseñado para ser colocado longitudinalmente por encima o por debajo de la pantalla de vídeo.

El dispositivo cuenta con una cámara RGB, un sensor de profundidad, un micrófono de múltiples matrices y un procesador personalizado que ejecuta el software patentado, que proporciona captura de movimiento de todo el cuerpo en 3D, reconocimiento facial y capacidades de reconocimiento de voz.



Figura 1. Kinect / XBOX 360

El micrófono de matrices del sensor de Kinect permite a la Xbox™ 360 llevar a cabo la localización de la fuente acústica y la supresión del ruido ambiente, permitiendo participar en el chat de Xbox™ Live sin utilizar auriculares.

El sensor contiene un mecanismo de inclinación motorizado y en caso de usar Xbox™ 360 del modelo original, tiene que ser conectado a una toma de corriente, ya que la corriente que puede proveerle el cable USB es insuficiente; para el caso del modelo de Xbox™ 360 S esto no es necesario ya que esta consola cuenta con una toma especialmente diseñada para conectar el Kinect™ y esto permite proporcionar la corriente necesaria que requiere el dispositivo para funcionar correctamente.

El sensor de profundidad es un proyector de infrarrojos combinado con un sensor CMOS monocromo que permite a Kinect™ ver la habitación en 3D en cualquier condición de luz ambiental. El rango de detección de la profundidad del sensor es ajustable gracias al software de Kinect capaz de calibrar automáticamente el sensor, basado en la jugabilidad y en el ambiente físico del jugador, tal como la presencia de sofás.

El hardware de Kinect™ se basa en un diseño de referencia y la tecnología 3D-calor fabricados por la compañía israelí de desarrollo PrimeSense Ltd.

### 2.1.2 Wii / Wii Balance Board / Nintendo

Wii™ es una videoconsola producida por Nintendo® y estrenada el 19 de noviembre de 2006 en Norteamérica y el 8 de diciembre del mismo año en Europa. Perteneciente a la séptima generación de consolas<sup>15</sup>, es la sucesora directa de Nintendo® GameCube y compite principalmente con los sistemas Xbox™ 360 de Microsoft® y PlayStation 3 de Sony. Nintendo® afirmó que Wii™ estaba destinada a una audiencia más amplia a diferencia de las otras dos consolas mencionadas previamente<sup>16</sup>.

La característica más distintiva de la consola es su mando inalámbrico, el Wii™ Remote, que puede usarse como un

dispositivo de mano con el que se puede apuntar, además de poder detectar movimientos en un plano tridimensional. Otra de sus peculiaridades es el servicio Wii™Connect24, que permite recibir mensajes y actualizaciones a través de Internet en modo de espera<sup>17</sup>. Adicionalmente, la consola puede sincronizarse con la portátil Nintendo® DS, lo cual permite que Wii™ aproveche la pantalla táctil de la Nintendo® DS como mando alternativo<sup>18</sup>.

Desde su lanzamiento, ha recibido premios por la innovación de su controlador y la tecnología que incorpora al sistema de juego. Al notar el éxito de Wii™ a nivel internacional, algunos desarrolladores third-party pidieron disculpas a Nintendo® por haber lanzado juegos de baja calidad y no haber sido optimistas con el sistema en sus orígenes. En el evento E3 de 2006, la consola ganó varios premios en distintas categorías<sup>19</sup>. El 25 de abril de 2011 Nintendo® anuncia oficialmente, mediante un comunicado de prensa, el desarrollo de la sucesora de Wii™, Wii™ U, que es la que actualmente, se puede encontrar en el mercado.

El paquete original de Wii™ incluía la consola, un soporte para permitir que el sistema pudiera ponerse de forma vertical, un estabilizador circular para el soporte principal, un Wii™ Remote, un accesorio Nunchuk, una barra de sensores, un soporte removible para la barra, un adaptador de energía externo, dos baterías AA, un conector de AV compuesto con un conector RCA, un adaptador SCART en países europeos (donde los cables de video compuesto y otras variantes están disponibles de forma individual), documentos relacionados con el funcionamiento de la consola y, en todas los países excepto Japón y Corea del Sur, una copia del juego "Wii™ Sports"<sup>20</sup>.

El Wii™ Remote (comúnmente conocido como «control remoto Wii™» en Hispanoamérica, «mando de Wii™» en España o simplemente «Wii™mote»)<sup>21</sup> es el mando principal de Wii™. Utiliza una combinación de



Figura 2. Wii (Nintendo)

acelerómetros y detección infrarroja para sentir su posición en un espacio tridimensional cuando es apuntado a los leds en el interior de la barra de sensores<sup>22</sup>. Este diseño le permite a los usuarios controlar el juego mediante gestos físicos, así como presionar los botones clásicos de un controlador estándar. El controlador se conecta a la consola mediante Bluetooth, puede vibrar y tiene un altavoz interno. El Wii™ Remote puede conectarse a otros dispositivos a través de un puerto propietario ubicado en la base del controlador. El dispositivo que viene incluido con el paquete de la consola Wii™ es el Nunchuk, el cual cuenta con un acelerómetro y un control tradicional con dos botones y una palanca. Además, dispone de una correa de muñeca para impedir que el jugador tire accidentalmente el Control Remoto Wii™. Respecto a este último accesorio, Nintendo® ha ofrecido una correa aún más fuerte y el Wii™ Remote Jacket que proporciona una mayor protección al usar el mando de Wii™. A su vez, el Wii™ MotionPlus es un dispositivo que se conecta al controlador para aumentar las capacidades del acelerómetro y la barra de sensores permitiendo que la consola detecte acciones en la pantalla en tiempo real conforme se van realizando. Adicionalmente, Nintendo® anunció el Wii™ Vitality Sensor, un pulsioxímetro que se conecta en el dedo por medio del controlador.

Wii™ contiene 512 megabytes de memoria flash interna y posee una ranura para tarjetas SD a manera de almacenamiento externo. Las tarjetas SD pueden ser utilizadas para subir fotografías, así como para realizar copias de seguridad de los datos guardados de los juegos y de los títulos disponibles para su descarga por medio de la Consola Virtual o Wii™Ware. Al utilizar la ranura SD para transferir los juegos guardados, se debe instalar una actualización. La actualización puede iniciarse desde el menú de opciones de Wii™ a través de una conexión a Internet, o mediante la inserción de un disco de juego que contenga la actualización. La Consola Virtual es un sistema digital de descargas cuyos juegos no pueden ser usados en ningún otro sistema a excepción de la consola de origen<sup>23</sup>. Las tarjetas SD se pueden utilizar también para añadir música personalizada a un juego, si en ésta hay archivos MP3 almacenados.

Esta utilidad aparecía en juegos como "Excite Truck"<sup>24</sup>. Además puede utilizarse como música de fondo para la presentación de diapositivas del Canal Fotos. En la versión 1.1 del Canal Fotos se eliminó la opción de reproducción de MP3 al ser sustituida por una aplicación AAC.

La consola dispone de una gran variedad de accesorios, que incluyen: controladores, pistolas, volantes, raquetas de tenis, teclados usb, adaptadores de red, cables audio y video<sup>25</sup>. Algunos de los accesorios son complemento del diseño del Control Remoto Wii™, tales como Wii™ Zapper que convierte al controlador en una pistola o ballesta<sup>26</sup>.

En julio de 2007 en la E3 fue presentado el Wii™ Balance Board (WBB), un accesorio que ayuda a los usuarios a hacer ejercicio<sup>27</sup>. El equipo viene acompañado con su respectivo software conocido como "Wii Fit®"<sup>28</sup>. WBB es uno de los accesorios de mayor éxito de la consola; desde su estreno, se vendieron más de un millón de unidades en los tres primeros meses en Europa, América del Norte y Japón<sup>29</sup>.



Figura 3. Wii Balance Board



## Capítulo 3

# Evaluación funcional y utilidad terapéutica de videojuegos comerciales

Estos han sido los videojuegos seleccionados en el desarrollo de este trabajo. Se explican a continuación, algunos de los objetivos funcionales perseguidos mediante su empleo.

### 3.2.1 Wii Fit Plus

Wii Fit<sup>®</sup>, es un juego cuyo funcionamiento depende de la Wii<sup>™</sup> Balance Board, una báscula capaz de medir el peso y el centro de gravedad del usuario. Además de estos parámetros, realizará un test para calcular nuestra "edad Wii Fit<sup>®</sup>". Este valor sirve para evaluar el estado físico en el juego y nos permite realizar un seguimiento de los progresos del paciente.

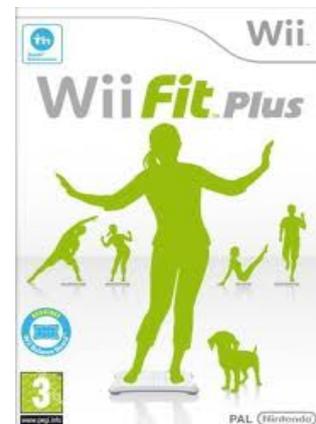


Figura 4. Wii Fit plus

Wii Fit<sup>®</sup> utiliza un "sistema de crédito" que bloquea los minijuegos adicionales. Para acceder a ellos deben superarse 4 horas de juego, empleando un perfil concreto.

El juego contiene cerca de 40 actividades, pertenecientes a cuatro áreas distintas: yoga, tonificación, aeróbic y equilibrio. En las áreas de tonificación y yoga, el paciente verá siempre a su entrenador personal, que podrá elegir con forma de chico o de chica. En las

categorías de equilibrio y aeróbic, estará representados por sus Miis.

Áreas de trabajo:

## Tonificación

### *Balancín sobre una pierna*

Instrucciones básicas

1. Paciente en apoyo monopodal, sobre la Wii™ Balance Board. Si esto es demasiado difícil, se recomienda utilizar una ayuda técnica, tipo andador.
2. Se lleva a cabo una flexión de tronco, y se asocia una antepulsión de hombro con extensión de cadera contralateral. Si esto es demasiado difícil, se recomienda utilizar una ayuda técnica tipo andador.
3. Durante la actividad, animar al paciente a centrarse en mantener el equilibrio, procurando incluir el punto rojo dentro de la zona amarilla que representa el polígono de sustentación. Esto se realiza a través de la transferencia de cargas sobre las extremidades inferiores.
4. Se alternarán ambas extremidades inferiores.

Objetivos

1. Aumentar el rango de movimiento de las extremidades superiores.
2. Aumentar la fuerza muscular de las extremidades superiores y la estabilidad de la articulación del hombro. Se pueden incluir pesas en el ejercicio.
3. Aumentar la coordinación de la extremidad superior. Reeduación neuromuscular.
4. Aumentar el rango de movimiento de las extremidades inferiores.
5. Aumentar la fuerza muscular y mejorar la propiocepción a

- nivel de extremidades inferiores.
6. Reeducción del proceso de marcha. Reeducción neuromuscular.
  7. Aumentar el equilibrio dinámico en bipedestación, a través del biofeedback audiovisual, que favorece que el paciente sea consciente de la posición de su centro de gravedad pudiendo modificarlo con la transferencia de cargas sobre las extremidades inferiores. Reeducción neuromuscular.

## ***Torsiones***

### Instrucciones básicas

1. Paciente en bipedestación sobre la Wii™ Balance Board, con hombros en abducción de 90°. Si esto es demasiado difícil, se omitirá la posición de los hombros y nos centraremos en las rotaciones del tronco.
2. Indicar al paciente que gire el tronco hacia derecha e izquierda, en horizontal y en diagonal, como se indica en la pantalla.
3. Durante la actividad, animar al paciente a centrarse en mantener el equilibrio, manteniendo el punto rojo dentro de la zona amarilla de la tabla de equilibrio, como se indica en la pantalla. Esto se realiza modificando la transferencia de cargas sobre las extremidad inferiores.
4. Se realizarán repeticiones completas.

### Objetivos

1. Aumentar el rango de movimiento de las extremidades superiores.
2. Aumentar la fuerza muscular de las extremidades superiores, con un incremento en la estabilidad de la articulación del hombro. Mejoría propioceptiva asociada.
  - Las instrucciones descritas deben realizarse con pesas.
3. Aumentar la coordinación de las extremidades superiores.

4. Aumentar el rango de movimiento de las extremidad inferiores.
5. Aumentar la fuerza muscular de las extremidades inferiores mediante la activación muscular de flexores y extensores de cadera. Mejoría propioceptiva asociada.
6. Aumentar el equilibrio dinámico en bipedestación, mediante el trabajo de reeducación desarrollado a través de la visualización en tiempo real de la proyección del centro de gravedad sobre el polígono de sustentación del paciente.
  - Se puede iniciar la terapia con ayudas técnicas de asistencia, aspirando a eliminarlas completamente. Esto contribuirá a disminuir el riesgo de caídas y mejorar la independencia en las actividades de la vida diaria.

### *Zancada frontal*

#### Instrucciones básicas

1. Paciente con manos en occipucio y un pie sobre la Wii™ Balance Board.
  - Si existiesen alteraciones de la estabilidad, se omite la posición de las extremidades superiores y se utilizan ayudas técnicas, tipo andador, para obtener una mayor estabilidad y seguridad.
2. Indique al paciente que, cuando se le solicite, se incline ligeramente hacia adelante, aumentando la carga sobre el pie colocado sobre la WBB.
3. Durante la actividad, animar al paciente para que se concentre en transferir la cantidad adecuada de peso sobre el pie adelantado.

#### Objetivos

1. Aumentar el rango de movimiento de las extremidades superiores.
2. Aumentar el rango de movimiento de las extremidades

inferiores.

3. Aumentar la fuerza muscular de las extremidades inferiores.
  4. Mejorar la propiocepción y la estabilidad articular de caderas, rodillas y tobillos.
  5. Aumentar la coordinación de las extremidades inferiores.
  6. Aumentar el equilibrio dinámico en bipedestación, mediante el trabajo de reeducación desarrollado a través de la visualización en tiempo real, de la proyección del centro de gravedad sobre el polígono de sustentación del paciente.
- Se puede iniciar la terapia con ayudas técnicas de asistencia, aspirando a eliminarlas completamente.
    - Se mejora la capacidad del paciente para agacharse y recoger un objeto sin perder el equilibrio.

## Yoga

### *Medialuna*

#### Instrucciones básicas

1. Paciente en bipedestación sobre la WBB.
2. Cuando se le indique, el paciente debe juntar sus manos y levantar los brazos por encima de la cabeza. Si esto es demasiado difícil, se puede omitir, centrando la atención del paciente en la realización de lateralizaciones mantenidas de raquis lumbar.
3. Mientras se mantiene la postura, animar al paciente a inhalar y exhalar lentamente.
4. Durante la actividad, animar al paciente a centrarse en mantener el equilibrio, procurando que el punto rojo permanezca dentro de la zona amarilla de la tabla de equilibrio, como se indica en la pantalla. Esto se consigue mediante una adecuada transferencia de cargas.
5. Llevar a cabo repeticiones completas.

## Objetivos

1. Aumentar el rango de movimiento de las extremidades superiores.
2. Aumentar la fuerza muscular de las extremidades superiores, contribuyendo al trabajo propioceptivo de hombro.
3. Aumentar la coordinación de las extremidades superiores.
4. Aumentar la fuerza muscular de las extremidades inferiores.
5. Mejorar la propiocepción y la estabilidad articular de caderas, rodillas y tobillos.
6. Aumentar el equilibrio dinámico en bipedestación, haciendo consciente al paciente de la situación de su centro de gravedad sobre el polígono de sustentación, para que modifique la transferencia de cargas en consecuencia.

## Guerrero

### Instrucciones básicas

1. Paciente en bipedestación sobre la WBB.
2. Indicar al paciente que dé un paso hacia atrás, bajando uno de sus pies de la plataforma.
3. Señalar, al paciente cuando debe levantar ambos brazos a la altura de los hombros y flexionar la rodilla de la extremidad en carga sobre la WBB 90 grados.
4. Avisar al paciente cuando aumentar la carga sobre la extremidad inferior adelantada y situada sobre la plataforma.
5. Mientras mantiene la postura, animar al paciente a realizar una respiración diafragmática lenta.
6. Durante la actividad, animar al paciente a centrarse en aplicar la cantidad adecuada de peso en su pie delantero, para poder colocar el listón rojo, que aparece en pantalla, dentro de la región azul.
7. Repeticiones completas.

## Objetivos

1. Aumentar el rango de movimiento de las extremidades superiores.
2. Aumentar la fuerza muscular de las extremidades superiores contribuyendo al trabajo propioceptivo del hombro. Se puede introducir peso.
3. Aumentar la coordinación de las extremidades superiores.
4. Aumentar el rango de movimiento de las extremidades inferiores.
5. Aumentar el equilibrio dinámico en bipedestación, haciendo consciente al paciente de la situación de su centro de gravedad sobre su polígono de sustentación para que modifique la transferencia de cargas en consecuencia.
6. Aumentar la coordinación de las extremidades inferiores.

## Actividades aeróbicas

### *Hula Hoop*

#### Instrucciones

1. Paciente en bipedestación , sobre la Wii™ Balance Board, en posición neutra.
2. Indicar al paciente que, cuando se le solicite, debe describir círculos suaves de radio amplio con las caderas, simulando el movimiento del hula hoop.
3. Animar al paciente para que levante los brazos a la altura del hombro, contribuyendo a mejorar el equilibrio. Si esto es demasiado difícil o si el paciente utiliza un dispositivo de ayuda, se puede omitir.
4. Durante la actividad, deben realizarse lateralizaciones de raquis lumbar para capturar más aros que nos son arrojados por los personajes del fondo de la pantalla.
5. Animar al paciente para aumentar progresivamente la tolerancia al ejercicio.

## Objetivos

1. Aumentar el rango de movimiento de las extremidades superiores. Se debe bajar la flexión del hombro (superior a 90 grados) y la movilidad articular de codo en todo su recorrido.
2. Aumentar la coordinación de las extremidades superiores, con la movilidad desarrollada en el trabajo de equilibrio.
3. Aumentar la resistencia muscular de las extremidades inferiores.
4. Aumentar el equilibrio dinámico en bipedestación.

## Step

### Instrucciones básicas

1. Paciente en bipedestación sobre la Wii™ Balance Board.
2. La actividad consiste en subir y bajar de la plataforma. Puede ser solicitado en sentido frontal, o en sentido lateral.
3. Animar al paciente a seguir el ritmo del audio y a utilizar los avatares que aparecen en la pantalla, como otras señales visuales.
4. Animar al paciente para intentar completar el ejercicio.

## Objetivos

1. Aumentar la coordinación de las extremidades superiores, simulando el patrón de balanceo propio del proceso de marcha.
2. Aumentar el rango de movimiento de las extremidades inferiores.
3. Aumentar la fuerza muscular de las extremidades inferiores.
4. Mejorar la coordinación de las extremidades inferiores en relación a las señales visuales que establece el minijuego.
5. Aumentar el equilibrio dinámico de pie, haciendo hincapié en la conciencia propioceptiva de las extremidades inferiores al caminar sobre y fuera de una superficie elevada.

- El paciente puede aferrarse a un dispositivo de asistencia con una o ambas manos, progresando gradualmente a realizar la actividad sin apoyo externo.

## *Run Basic*

### Instrucciones básicas

1. Paciente en bipedestación sobre la WBB.
2. El mando de Wii™ se colocará en el bolsillo o la mano (la detección de movimiento es más preciso con el mando en un bolsillo que en la mano).
3. Se simulará un movimiento de marcha sin desplazamiento real que generará el movimiento del Mii. Este paso no debe ser demasiado rápido, si su velocidad es muy elevada, su avatar puede tropezar y caer.

### Objetivos

1. Aumentar la coordinación de las extremidades superiores, al seguir un patrón regular de control de motor que imita actividades funcionales habituales.
2. Aumentar el rango de movimiento de las extremidades inferiores, mediante la promoción de la movilidad global de todas sus articulaciones, en el contexto de una patrón de movimiento típico.
3. Aumentar la resistencia muscular de las extremidades inferiores.
4. Aumentar el equilibrio dinámico en posición erguida, haciendo hincapié en la propiocepción de las extremidades inferiores.

## Equilibrio

### *Slalom ski*

#### Instrucciones básicas

1. Paciente en bipedestación sobre la WBB. Si existiese déficit de estabilidad, se puede utilizar una ayuda técnica tipo andador o muletas.
2. El minijuego emula el movimiento típico del esquí:
  - Prevenir al paciente sobre la sensibilidad de la Wii™ Balance Board; pequeños cambios en la transferencia de cargas, sobre las extremidades inferiores, pueden traducirse en grandes movimientos con su avatar.
  - Para mejorar la progresión, animar al paciente a ponerse en cuclillas, incrementando su control en los giros y la velocidad de descenso.

#### Objetivos

1. Aumentar la coordinación de las extremidades superiores; elaborando un patrón de movimiento similar al que haríamos con los bastones, esquiando.
2. Aumentar la fuerza y resistencia muscular de las extremidades inferiores.
3. Aumentar el equilibrio en bipedestación.
  - El paciente puede iniciar la actividad con un dispositivo de asistencia e ir progresando gradualmente hasta conseguir eliminarlo.
4. Mejorar la propiocepción de las articulaciones de las extremidades inferiores.

## *Snowboard*

### Instrucciones básicas

1. Paciente en bipedestación sobre la WBB. Si existiese déficit de estabilidad, puede utilizar una ayuda técnica tipo andador o muletas.
2. Indicar al paciente que, cuando se le solicite, tendrá que realizar una flexión combinada raquis lumbar-caderas-rodillas-tobillos (según tolerancia), transfiriendo su peso sobre el antepie/retropie, para hacer girar la tabla.
3. Animar al paciente a incrementar la velocidad de descenso.

### Objetivos

1. Aumentar la coordinación de las extremidades superiores.
2. Aumentar la fuerza y resistencia muscular de las extremidades inferiores.
3. Aumentar el equilibrio en bipedestación.
  - El paciente puede iniciar la actividad con un dispositivo de asistencia e ir progresando gradualmente hasta conseguir eliminarlo.
4. Mejorar la propiocepción de las articulaciones de las extremidades inferiores.

## *Funambulismo*

### Instrucciones básicas

1. Paciente en bipedestación sobre la Wii™ Balance Board. Si existiese déficit de estabilidad, podemos utilizar una ayuda técnica tipo andador o muletas.
2. Indicar al paciente que, cuando se le solicite, deberá transferir la carga de peso, de forma alternativa, sobre las extremidades inferiores, para que su avatar avance sobre la "cuerda floja".
  - Advertir al paciente sobre la sensibilidad de la WBB.
3. Enseñar al paciente a utilizar las señales visuales de su avatar.

4. Cuando se le pida, indicar al paciente que flexione ligeramente las rodillas seguido de una rápida extensión que permitirá que el avatar salte por encima de los obstáculos que vayan apareciendo en la pantalla.
  - Asegurarse de pedir al paciente que simplemente extienda las rodillas. No debe saltar sobre la tabla de equilibrio.

## Objetivos

1. Aumentar la fuerza y la resistencia muscular de las extremidades inferiores.
2. Aumentar el equilibrio en bipedestación.
  - El paciente puede iniciar la actividad con un dispositivo de asistencia e ir progresando gradualmente hasta conseguir eliminarlo.
3. Mejorar la propiocepción de las articulaciones de las extremidades inferiores.

## Cabeceos

### Instrucciones básicas

1. Paciente en bipedestación sobre la WBB. Si existiese déficit de estabilidad, podemos utilizar una ayuda técnica tipo andador o muletas.
2. Indicar al paciente que, cuando se le solicite, debe cambiar el peso de una extremidad a otra, para conseguir desplazar la cabeza de su avatar en la dirección del balón.
  - Advertir al paciente sobre la sensibilidad de la WBB.
  - No es necesario inclinarse hacia delante para rematar los balones.
3. Se enseña al paciente a utilizar las señales visuales de su avatar.
4. Además, debemos explicar al paciente que deberá evitar ser golpeado por otros objetos distintos a los balones de fútbol, como zapatos y cabezas de osos panda.

## Objetivos

1. Aumentar la coordinación de las extremidades superiores.
2. Aumentar la fuerza y la resistencia muscular de las extremidades inferiores.
3. Aumentar el equilibrio en bipedestación.
  - El paciente puede iniciar la actividad con un dispositivo de asistencia e ir progresando gradualmente hasta conseguir eliminarlo.
4. Mejorar la propiocepción de las articulaciones de las extremidades inferiores.
5. Mejorar aspectos neuropsicológicos como la atención dividida.

## *Table Tilt*

### Instrucciones básicas

1. Paciente en bipedestación sobre la WBB. Si existiese déficit de estabilidad, podemos utilizar una ayuda técnica tipo andador o muletas.
2. Indicar al paciente que, cuando se le solicite, debe cambiar el peso de una extremidad a otra (en sentido anteroposterior o lateralmente), para conseguir balancear la plataforma y desplazar las bolas, hasta introducirlas en los agujeros.
3. Advertir al paciente sobre la sensibilidad de la WBB.
4. Inicialmente, indicar la mejor dirección y maniobra, en la transferencia de carga, para dirigir las bolas hacia el agujero.

## Objetivos

1. Aumentar la fuerza y la resistencia muscular de las extremidades inferiores.
2. Aumentar el equilibrio en bipedestación.
  - El paciente puede iniciar la actividad con un dispositivo de asistencia e ir progresando gradualmente hasta conseguir eliminarlo.
3. Mejorar la propiocepción de las articulaciones de las extremidades inferiores.
4. Mejorar aspectos neuropsicológicos como la atención dividida.

## *Bubble river*

### Instrucciones básicas

1. Paciente en bipedestación sobre la WBB. Si existiese déficit de estabilidad, puede utilizar una ayuda técnica tipo andador o muletas.
2. Indicar al paciente que, cuando se le solicite, debe cambiar el peso de una extremidad a otra (en sentido anteroposterior o lateralmente), para conseguir hacer avanzar la burbuja a lo largo del cauce del río, sin contactar con las orillas y con diferentes insectos que aparecerán en el desarrollo del minijuego.
  - Advertir al paciente sobre la sensibilidad de la Balance Board.
3. Inicialmente, indicar la mejor dirección y maniobra, en la transferencia de carga, que tiene que hacer para dirigir la burbuja.

## Objetivos

1. Aumentar la coordinación de las extremidades superiores.
2. Aumentar la fuerza y resistencia muscular de las extremidades

- inferiores.
3. Aumentar el equilibrio en bipedestación.
    - El paciente puede iniciar la actividad con un dispositivo de asistencia e ir progresando gradualmente hasta conseguir eliminarlo.
  4. Mejorar la propiocepción de las articulaciones de las extremidades inferiores.
  5. Mejorar aspectos neuropsicológicos como la atención dividida.

### 3.2.2 Kinect Adventures

Fue el primer juego en el que se requería el sensor Kinect™. Se lanzó a la par que el sensor como juego complementario.

Se compone de cinco minijuegos, cada uno de los cuales nos permitirá incidir sobre distintos aspectos

#### *Tapagrietas*

##### Instrucciones

Como su nombre indica, consiste en tapan las grietas que ocasionan los peces, al chocar contra el cristal, y evitar así que se hunda el observatorio.

##### Objetivos

1. Mejorar el equilibrio estático y dinámico.
2. Mejorar la elaboración de desplazamientos laterales.
3. Aumentar el rango de movilidad de extremidades superiores.
4. Aumentar el rango de movilidad de extremidades inferiores.
5. Mejorar la coordinación temporo-espacial.
6. Mejorar el timing.



Figura 5. Kinect Adventures

## ***Carambola***

### Instrucciones

El objetivo es simple: golpear las bolas que se dirigen al jugador e intentar romper los bloques con ellas. Las bolas pueden rebotar y en ocasiones, aparecerán varias y habrá que golpearlas todas a la vez.

### Objetivos

1. Aumentar la fuerza y resistencia muscular de extremidades inferiores.
2. Aumentar la movilidad de extremidades superiores.
3. Realizar un trabajo propioceptivo con extremidades inferiores en apoyo monopodal.
4. Mejorar la coordinación temporo-espacial.
5. Mejorar el timing.

## ***Rio abajo***

### Instrucciones

En este minijuego, el movimiento del cuerpo permite descender con una balsa por un río. El paciente deberá sortear obstáculos y recoger los pines que hay a lo largo del cauce, hasta llegar a la meta.

### Objetivos

1. Aumentar la fuerza y resistencia muscular de extremidades inferiores.
2. Mejorar la elaboración del salto y su recepción.
3. Aumentar la movilidad de extremidades superiores.
4. Mejorar la coordinación temporo-espacial.
5. Mejorar el timing.

## *Cumbre de reflejos*

### Instrucciones

Quizás este sea el minijuego más activo de todos. Se trata de ir sorteando obstáculos en una antigua mina del lejano oeste sobre una de sus vagonetas.

### Objetivos

1. Aumentar la fuerza y resistencia muscular de extremidades inferiores.
2. Mejorar la elaboración del salto y su recepción.
3. Mejorar la elaboración de desplazamientos laterales.
3. Aumentar la movilidad de extremidades superiores.
4. Mejorar la coordinación temporo-espacial.
5. Mejorar el timing.

## *Burbujas*

### Instrucciones

En una habitación llena de burbujas, el paciente debe explotar el mayor número posible.

### Objetivos

1. Aumentar la fuerza y resistencia muscular de extremidades inferiores.
2. Mejorar la elaboración de desplazamientos laterales.
3. Aumentar la movilidad articular, fuerza y resistencia muscular de las extremidades superiores.
4. Mejorar la coordinación temporo-espacial.
5. Mejorar el timing.



# Capítulo 4

## Marco teórico

### 4.1 Definición de Sistema Propioceptivo

El Sistema Propioceptivo es el sistema mediante el cual, el cerebro recibe la información sobre la posición y el movimiento de las partes del cuerpo entre sí y en relación a su base de soporte. Esto se produce a través de una serie de receptores distribuidos por todo el organismo.

Esta información es muy precisa sobre los movimientos rápidos y contribuye a mantener el tono muscular, desencadenando la mayor parte de los reflejos que mantienen el equilibrio.

En colaboración con la vista, la sensibilidad propioceptiva tiene vital importancia en la coordinación del movimiento: acción de músculos agonistas – antagonistas, sinérgicos y fijadores, de modo tal que la resultante final sea un desplazamiento del cuerpo, o de una extremidad, con las siguientes características:

- Recorrido exacto, de modo que no falte ni sobre distancia, según el objetivo deseado.
- Perfecta relación de trabajo entre músculos agonistas y antagonistas, ya que estos deben trabajar alternamente, por ejemplo, flexiones y extensiones.
- Ausencia del temblor kinésico, síntoma inequívoco de inestabilidad articular, tanto al inicio del movimiento, como a su término.
- Ejecución de la acción pedida, o deseada, sin descomponerla en sus movimientos simples. Por ejemplo, si se pide elevar el

brazo al frente (flexión), y tomar un objeto, lo normal es ir levantando el segmento y al mismo tiempo la mano debe ir abriéndose, preparándose para la acción de aprehensión. Lo anormal es descomponer el gesto de modo que primero se efectúa una acción y cuando ella ha terminado, se hace la otra.

- Efectuar las diferentes contracciones musculares, siguiendo un orden, de modo que no haya movimientos parásitos, innecesarios, que perturben el resultado final.

La información se recibe a través de unos receptores que se encuentran distribuidos por todo el cuerpo. Esta nace en los músculos y en las piezas que ellos movilizan. Dichos receptores son:

- Husos neuromusculares. Éstos tienen una función sensitiva, informando de la longitud del músculo y una función motora, al ser los mantenedores del tono muscular.
- Receptores tendinosos de Golgi, situados en la unión tendino-muscular. Se estimulan por el alargamiento pasivo de las fibras musculares o por la contracción activa. Son los captosres del reflejo miotático.
- Corpúsculos articulares de Ruffini, situados en las inserciones capsuloligamentarias y en el periostio, proporcionan información sobre la posición articular, la dirección y velocidad del movimiento.
- Terminaciones articulares de Golgi, que se encuentran diseminadas a lo largo de los músculos, ligamentos, articulaciones y periostio.

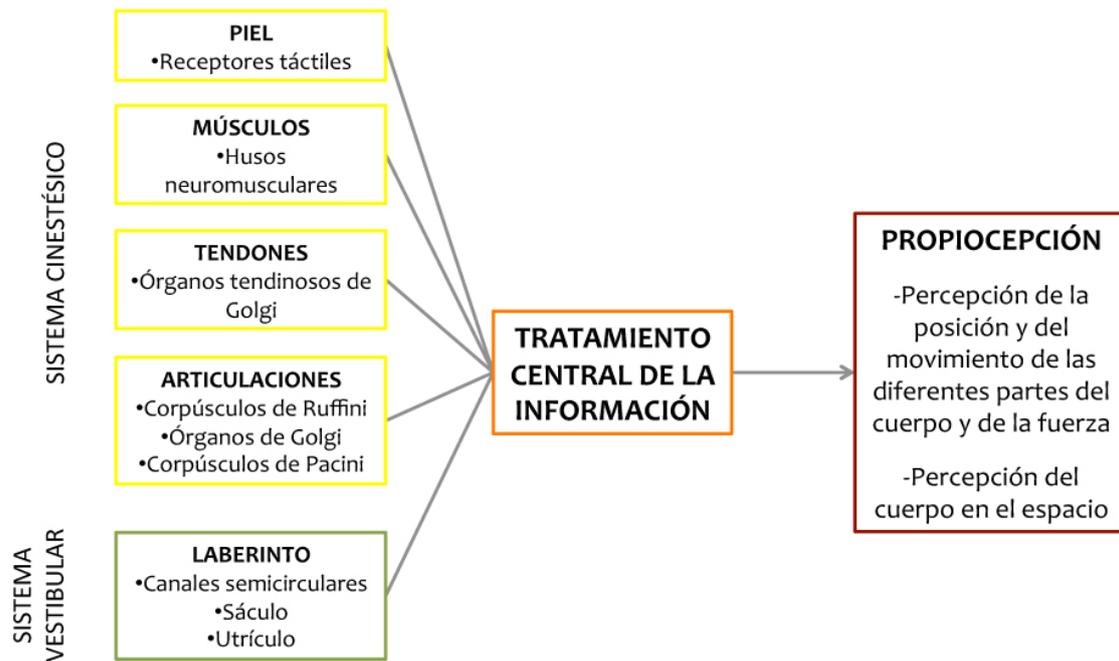


Figura 6. Componentes funcionales del Sistema Propioceptivo

#### 4.2 Papel de la Rehabilitación con videojuegos en las alteraciones del Sistema Propioceptivo

El movimiento humano en general implica procesos complejos en los niveles perceptivos, cognitivos y motores, siendo el control postural en personas sanas un proceso altamente automatizado que requiere poca atención.

Sin embargo, este automatismo se afecta con la alteración del sistema propioceptivo, necesitando nuevas pautas de control, para que con la participación de las partes del sistema sensitivomotor que permanecen intactas, el paciente compense la pérdida de la función.

Massion y Dufosse definen el equilibrio como la estabilización del cuerpo como un todo con respecto a las superficies de soporte, la postura es así, la posición de los segmentos del cuerpo entre si en un momento dado<sup>32</sup>.

La gestión del equilibrio requiere del procesamiento simultáneo y continuo de las aportaciones de múltiples sistemas, incluyendo la

información sensorial (visual, vestibular y propioceptiva), la integración cognitiva (atención y funciones ejecutivas fundamentalmente), la función del cerebelo y, obviamente, la retroalimentación del sistema sensitivo-motor<sup>33</sup>.

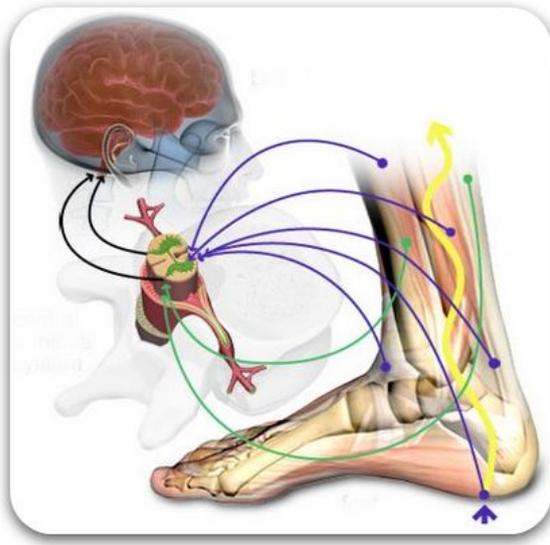


Figura 7. Retroalimentación del Sistema Sensitivo-motor

Además de ser un problema de alta prevalencia, las alteraciones de la propiocepción son una causa frecuente de caídas y un factor limitante de autonomía e independencia en las actividades de la vida diaria (AVDs).

La pérdida de una adecuada referencia del centro de gravedad y la base de sustentación, en este tipo de patologías, impide la creación

de estrategias de movimiento adecuadas. De ahí que la introducción de sistemas de realidad virtual (RV) en el proceso de rehabilitación se convierta en una nueva herramienta de tratamiento con múltiples objetivos funcionales<sup>34,35</sup>.

La RV está diseñada para simular situaciones reales, por lo que tiene un alto grado de «validez ecológica» (grado en que un experimento se asemeja a la vida real), incrementando la probabilidad de que las habilidades aprendidas sean transferidas a la vida real. Ofrece seguridad en entornos realistas que en la vida real pueden ser peligrosos para los pacientes y desarrolla la confianza y la autoeficacia en un ambiente seguro, preparando al paciente para abordar la tarea en el mundo real<sup>36</sup>.

Dentro de los sistemas de realidad virtual de bajo coste se encuentran Wii™ (NINTENDO)® / Kinect™(MICROSOFT)®.

En un estudio llevado a cabo por (Ross A. Clark), en 30 individuos sanos, se demostró la utilidad del WBB como instrumento de

registro de la proyección del centro de gravedad sobre el polígono de sustentación<sup>37</sup>.

Al respecto, Kizony (et al), estudiaron la factibilidad de aplicar la tecnología de realidad virtual para el entrenamiento del equilibrio en personas con paraplejia en un estudio con 13 sujetos; usando tres simuladores en 3D. Dos usados para el alcance de blancos móviles y un tercero para control de tronco con una tabla snowboard. Las puntuaciones de los sujetos se correlacionaron bien con su desempeño en las tareas de alcance, lo que sugiere que se pueden construir estrategias de equilibrio real a través de realidad virtual<sup>35</sup>.

Desde el punto de vista terapéutico, existe todavía una gran necesidad de implementar sistemas de rehabilitación virtual en el entorno clínico y que cuenten con la suficiente flexibilidad y especificidad de contenidos aplicables a patologías implicadas en la afectación del sistema propioceptivo.

4.3 Diana terapéutica: Patologías que cursan con una alteración del Sistema Propioceptivo.

4.3.1 Patología del Aparato Locomotor

Inestabilidad articular<sup>38,39,40,41</sup>

La inestabilidad articular, es una patología en la que el componente de movilidad de una articulación va más allá del control del paciente. Clásicamente se distinguen dos tipos de inestabilidad, mecánica y funcional. La inestabilidad mecánica es la que tiene lugar por un defecto en las estructuras ligamentosas, tendinosas o articulares y la articulación tiene un mayor rango de movimiento. Por el contrario, la inestabilidad funcional es la que se debe a un déficit neuromuscular y propioceptivo que ocasiona una sensación subjetiva de inestabilidad estando íntegras las estructuras articulares. En este caso, la articulación suele tener un rango normal de movimiento.

Es frecuente que una articulación funcionalmente inestable, no lo sea mecánicamente. La situación contraria apenas tiene lugar.

El empleo de la Wii Balance Board, en fases iniciales, y de Kinect, en fases más avanzadas de la terapia, junto con las modificaciones de entorno oportunas; permiten trabajar y mejorar de forma específica las alteraciones propioceptivas e incrementar el control neuromuscular.

Plastia de Ligamento Cruzado Anterior <sup>42,43,44,45,46</sup>

Los ligamentos cruzados de la rodilla son los encargados de regular la cinemática articular y los «órganos sensores» que informan de la musculatura periarticular influyendo sobre la posición de las superficies articulares, la dirección y la magnitud de las fuerzas y, también, de forma indirecta, sobre la distribución de las tensiones articulares. Sin embargo, la primera obligación del ligamento cruzado anterior (LCA) es impedir el desplazamiento anterior de la tibia con relación al fémur y, en menor medida, controlar en carga la laxitud en varo, en valgo y la rotación. Es una estructura viscoelástica, con mínimas variaciones de longitud en los movimientos articulares, con presencia de mecanorreceptores y vasos de pequeño diámetro, compuesto por dos o tres fascículos independientes desde el punto de vista anatómico y biomecánico, por lo que su reconstrucción debe mantener y respetar la longitud de sus fibras, además de facilitar su reparación biológica y de la propioceptividad.

La recuperación funcional postquirúrgica, mediante la utilización de dispositivos como la Wii Balance Board, a través del videojuego Wii Fit, facilita el trabajo de las alteraciones consecuentes a la pérdida del control neuromuscular de la articulación.

Síndrome de Dolor Regional Complejo <sup>47,48</sup>

El síndrome de dolor regional complejo (SDRC) es un proceso doloroso, clasificado en dos tipos, según no se haya detectado ninguna lesión nerviosa (tipo I) o dicha lesión nerviosa esté presente (tipo II). Habitualmente aparece tras un evento nocivo (traumatismo

o cirugía), aunque a veces aparece espontáneamente, y parece que factores genéticos podrían predisponer a padecer de SDRC. Diferentes conceptos etiopatogénicos se han propuesto para explicar la aparición de este síndrome, como una inflamación neurogénica, una disfunción simpática y cambios en la plasticidad del SNC. El diagnóstico es básicamente clínico, con la aparición de síntomas y signos asociados a las alteraciones autonómicas, motoras y neurosensoriales. El dolor es un síntoma común y precoz, como el edema distal, la sudoración, las alteraciones de la temperatura y de la coloración de la piel, la hiperalgesia, atrofia cutánea y muscular en fases crónicas. Es común la presencia de un importante deterioro del sistema propioceptivo desde las fases iniciales. El tratamiento debe ser multidisciplinar, incluyendo tratamientos no farmacológicos (fisioterapia, terapia ocupacional (Wiihabilitación / Kinecthabilitación), tratamientos farmacológicos y tratamientos invasivos (bloqueos simpáticos, neuroestimuladores medulares...).

#### 4.3.2 Patología Neurológica

##### Esclerosis Múltiple <sup>49,50,51</sup>

La esclerosis múltiple, es una enfermedad neurodegenerativa, que se caracteriza por dos fenómenos:

- Aparición de focos de desmielinización esparcidos en el cerebro y parcialmente también en la médula espinal causados por el ataque del sistema inmunitario contra la vaina de mielina que recubre los nervios.
- Las neuronas, y en especial sus axones se ven dañados por diversos mecanismos.

Como resultado, las neuronas del cerebro pierden parcial o totalmente su capacidad de transmisión, causando los síntomas típicos de adormecimiento, cosquilleo, espasmos, parálisis, fatiga y alteraciones en la vista.

En la variante remitente-recurrente también se ha detectado inflamación en el tejido nervioso y transección axonal, o corte de los axones de las neuronas, lo que hace que las secuelas sean

permanentes.

El principal objetivo del tratamiento rehabilitador, es promover y mantener la autonomía funcional máxima, durante el mayor tiempo posible. Insistiremos en el fortalecimiento de los grupos musculares más débiles y el en el trabajo propioceptivo, contribuyendo a un mejor control del equilibrio.

Uno de los juegos más empleados en su tratamiento es Wii Fit®, que en la selección de minijuegos que entrenan el equilibrio, nos ofrece un amplio abanico de posibilidades. Son juegos que requieren el uso de movimientos rápidos y repetitivos que contribuyen a mantener la condición física general, así como la fuerza y propiocepción del miembro superior e inferior.

Hemiplejia <sup>52,53,54,55,56,57</sup>

Hemiplejia es la parálisis de un lado del cuerpo, que aparece como resultado de la lesión de las vías de conducción de impulsos nerviosos del cerebro.

Según la parte del cerebro que resulte afectada, la lesión que provoca la hemiplejia puede anular el movimiento y la sensibilidad de parte del rostro, de la extremidad superior, inferior, o de ambos miembros.

Con frecuencia, además de la parálisis pueden asociarse alteraciones sensoriales y cognitivas.

Afecta a personas de cualquier edad, siendo más frecuente en hombres que en mujeres.

En ocasiones la lesión produce una disminución de la capacidad de movimiento sin llegar a la parálisis. En este caso se habla de una hemiparesia.

Causas más frecuentes de hemiplejía:

- Accidente Cerebrovascular (ACV) isquémico / hemorrágico.
- Traumatismos Cráneo Encefálico (TCE).
- Tumores cerebrales.
- Infecciones.
- Intoxicaciones...

El objetivo fundamental del tratamiento rehabilitador, es promover los valores normales en la elaboración y el control del movimiento, maximizando el control activo disponible y la fuerza en las extremidades afectas.

Esto incluye el trabajo de la estabilidad, propiocepción y la recuperación de la motricidad fina en las manos y dedos (destreza), en aquellos pacientes que se haya visto afectada.

El desarrollo de un adecuado entrenamiento del equilibrio, contribuirá a mejorar el control postural en sedestación y bipedestación. Nos permitirá, además, reeducar el patrón de marcha.

Precauciones:

Vigilar la aparición de compensaciones que permitan al paciente "defenderse" frente a las exigencias del juego pero que no deterioren el proceso de reeducación. Es fácil "engañar" al dispositivo y, como consecuencia, disminuir el beneficio del movimiento activo que se está promoviendo. Por este motivo, se hace imprescindible una supervisión intensiva y constante del paciente.

Además, es también muy importante, elegir juegos que sean accesibles y suficientemente flexibles para cada situación clínica.



# Capítulo 5

## Metodología

### 5.1 Objetivo

Evaluar la efectividad de los dispositivos Wii™ , a través de la interfaz Wii Balance Board, y Kinect™ de Xbox360, en la recuperación funcional de patologías que impliquen una afectación del Sistema Propioceptivo.

Analizar el valor diagnóstico de la WBB como herramienta de análisis y control evolutivo del sistema propioceptivo.

### 5.2 Tipo de estudio

Estudio transversal descriptivo de una serie de casos.

### 5.3 Selección de pacientes

5.3.1 Población blanco: Pacientes con lesiones neurológicas o del aparato locomotor que hayan desarrollado una alteración del Sistema Propioceptivo.

5.3.2 Población de estudio: Pacientes con lesiones neurológicas o del aparato locomotor que hayan desarrollado una alteración del Sistema Propioceptivo y , en ausencia de tratamientos rehabilitadores previos, ofrezcan una predisposición y aptitudes adecuadas para iniciar un proceso de recuperación funcional a través de RV.

#### 5.4 Criterios de inclusión

No todos estos pacientes eran candidatos a participar en este estudio. El uso de Wii™ / Kinect™ debe estar relacionado con objetivos funcionales concretos.

Estableciendo un primer contacto entre los pacientes y el dispositivo seleccionado, y bajo supervisión médica, se evaluaron una serie de parámetros imprescindibles para el posterior desarrollo del tratamiento:

1. Adecuado nivel cognitivo: "Existe un nivel cognitivo límite, no una edad límite"<sup>58,59</sup>. Importante:
  - Nivel de comprensión.
  - Percepción visual.
  - El *timing* o tiempo de reacción. Aunque este aspecto también se puede trabajar y mejorar.
2. Predisposición positiva y aceptación: Algunos pacientes no son receptivos a la tecnología avanzada y se deben respetar sus deseos.
3. Patologías con una alteración del sistema propioceptivo.

#### 5.5 Criterios de exclusión

Patología concomitante de base que pudiese dificultar el desarrollo de la terapia.

Proceso de rehabilitación en curso o recientemente realizado.

Que no se cumpliesen los criterios de inclusión anteriormente citados.

#### 5.6 Protocolo terapéutico

Establecido en tres fases, el sistema de trabajo ha sido elaborado de la siguiente forma:

### 5.6.1 Evaluación pretratamiento

Validados los criterios de inclusión, se realizó una evaluación funcional de los pacientes previa a la terapia y posterior a la misma. Esto nos permitió tener una referencia de su situación basal y objetivar la existencia de cambios en su evolución clínica.

Mediante una batería de Test Biomecánicos, incluidos en el dispositivo WBB, a través de Wii Fit Plus, se realizó un registro de diferentes aspectos relevantes en la valoración y reeducación del sistema propioceptivo.

Utilidad de los test empleados:

- *Registro de la proyección del centro de gravedad sobre polígono de sustentación (CG).*

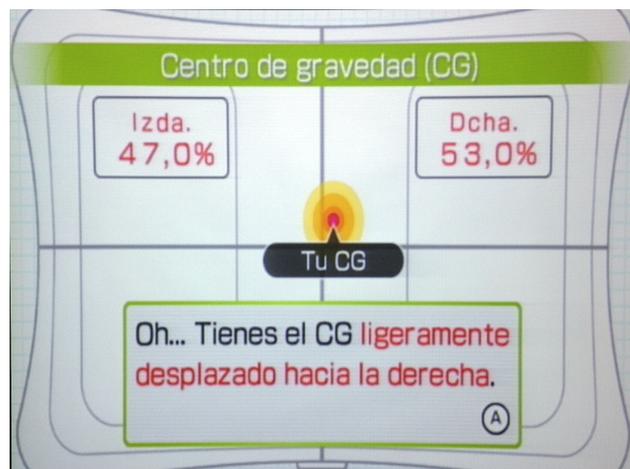


Figura 8. Registro de centro de gravedad

Evalúa el porcentaje de carga depositado sobre cada una de las extremidades inferiores. Examina, además, la ubicación exacta del centro de gravedad en un área rectangular, establecida sobre la plataforma, y dividida en cuatro cuadrantes. Todo ello, en tiempo real.

- *Test de la estatua*

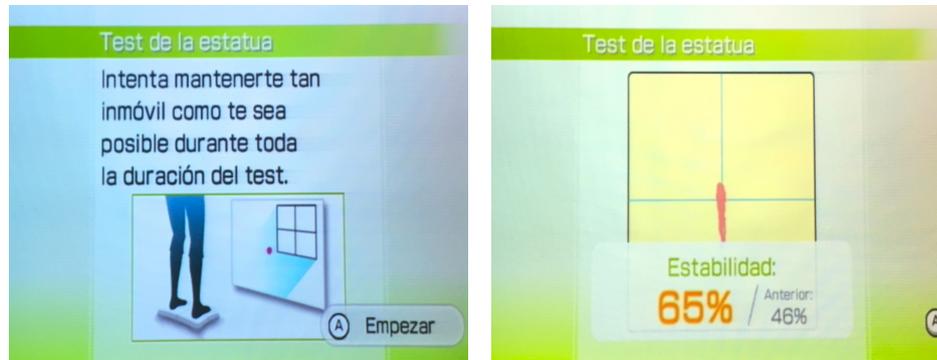


Figura 9. Test de la Estatua

A modo de plataforma dinamométrica fija, a través de la WBB, permite medir las oscilaciones posturales de los pacientes durante el test de Romberg, por medio del registro del movimiento del centro de presiones sobre la misma. El resultado final se expresa en porcentaje de estabilidad, con una referencia al resultado obtenido en la sesión anterior. Comparativa útil para el control evolutivo.

- *Test de equilibrio básico.*



Figura 10. Test de Equilibrio básico

Información sobre la capacidad que presenta el paciente para alternar y controlar la transferencia de cargas sobre sus extremidades inferiores. Permite evaluar la situación del sistema propioceptivo, del biofeedback cerebro-articulación.

El resultado se establece en relación al número de “Ronda” alcanzado (antes y después del tratamiento), siendo 5 el valor de mayor complejidad.

- *Test dinámico de marcha.*

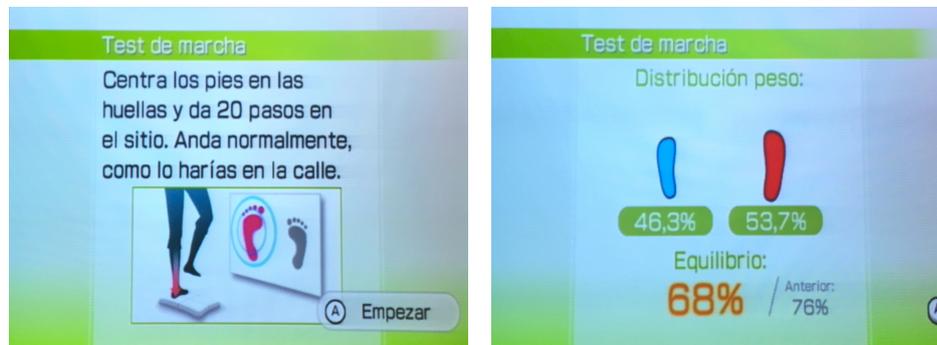


Figura 11. Test dinámico de marcha

Informa sobre el esquema de transferencia dinámica de cargas. Emula un trayecto de 20 pasos, expresando el resultado final en porcentaje de distribución de peso entre ambas extremidades. Añade un valor adicional atribuible al “equilibrio”.

- *Test en apoyo monopodal o de la pata coja.*

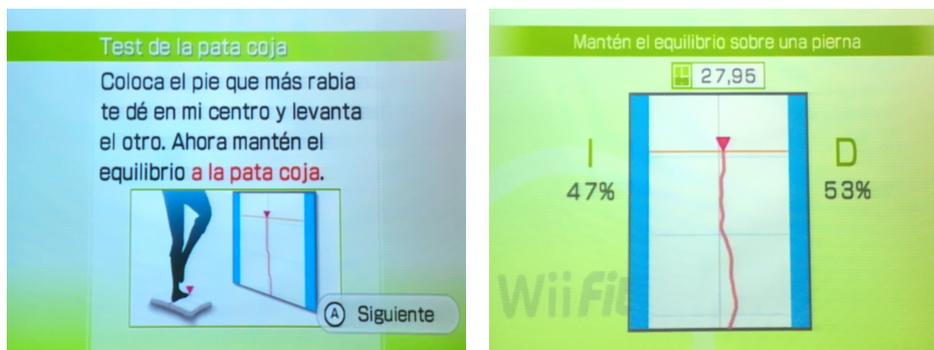


Figura 12. Test en apoyo monopodal

Información sobre la situación propioceptiva de la extremidad afectada, acerca del control sensitivomotor y la consecuente estabilidad del paciente. El valor final se expresa en porcentaje.

De este modo, Wii™ (mediante WBB), se convierte en herramienta diagnóstica y terapéutica. Facilitando, además, la selección de

aquellos minijuegos que se ajusten a las necesidades funcionales de los pacientes.

Nota: La configuración del nivel inicial de dificultad será siempre en "Principiante"; con el fin de no ejercer un efecto desmotivador.

#### 5.6.2 Fase de tratamiento / adiestramiento

Los pacientes realizaron 2 sesiones semanales durante cinco semanas. La duración media de cada sesión fue de 30 minutos, con supervisión continua.

Se estableció una pauta ascendente en el nivel de dificultad, incluyendo modificaciones del entorno terapéutico.

Precauciones previas a cada una de las sesiones:

- Se aseguró un ambiente sano y seguro, sin medidas de distracción.
- Se eliminaron todos los obstáculos que impedían los movimientos de los pacientes.
- En el caso de ser Wii™ el dispositivo elegido; se aseguró la correa del control remoto a la muñeca de los pacientes.

#### 5.6.3 Evaluación postratamiento

Se reprodujo la batería de test anteriormente citada, con el objetivo de obtener una aproximación a la situación funcional posterior al tratamiento de los pacientes.

En los casos en que la evolución fue satisfactoria, se invitó a continuar con la terapia a nivel domiciliario , procurando una supervisión periódica de la misma.

#### 5.7 Entorno de tratamiento

La terapia se desarrolló en una sala con las siguientes características:

- Amplitud

- Intimidad
- Ausencia de obstáculos
- Medios audiovisuales adecuados
- Aire acondicionado

## 5.8 Modificaciones de entorno

Una de las grandes ventajas que ofrece el mundo terapéutico de los videojuegos, es su gran versatilidad. Un minijuego puede convertirse en un elemento de tratamiento útil para diferentes patologías realizando sencillas modificaciones.

La imaginación del terapeuta juega un papel fundamental en este sentido.

A continuación se muestra cómo los dispositivos, empleados en el desarrollo de este estudio, asumieron distintos cambios en el entorno de juego, que permitió trabajar multitud de aspectos, en la recuperación funcional de los pacientes.

### ***Balón de Pilates***

1. Paciente en sedestación sobre el balón, que se sitúa sobre la plataforma. Realizar un registro previo del peso en esta posición.

Objetivos:

- Mejorar el control postural.
- Mejorar el tono de la musculatura abdominal, oblicua, transversos del abdomen y musculatura erectora de raquis.
- Mejorar la propiocepción de rodilla y tobillo, en cadena cinética semicerrada.

2. Paciente en sedestación sobre el balón, en apoyo monopodal sobre la plataforma. El pie se coloca en la línea media de la misma. Realizar un registro previo del peso en esta posición.

Objetivos:

- Mejorar la propiocepción de rodilla y tobillo, en cadena cinética semicerrada.

3. Balón de pilates sobre la plataforma. Paciente apoyado con las dos manos sobre el balón. Realizar un registro previo del peso en esta posición.

Objetivos:

- Tonificación muscular del manguito rotador.
- Mejorar la propiocepción de hombro.
- Tonificación de la musculatura abdominal.



Figura 13. Modificaciones de entorno con Balón de Pilates

## Din Air

Situar la plataforma sobre dos DIN AIR persiguiendo incrementar el nivel de inestabilidad de la superficie de trabajo.



Figura 14.WBB sobre Din air

Realizar un registro previo del peso en esta nueva situación.

Objetivos:

- Mejorar la propiocepción de las articulaciones de las extremidades inferiores.
- Mejorar la resistencia muscular de las extremidades inferiores.
- Mejorar el timing.

## Foam

Colocar una plancha de FOAM sobre la plataforma. El propósito es incrementar el grado de inestabilidad de la superficie de trabajo.

Alternativa al ejercicio previo.

Realizar un registro previo del peso en esta nueva situación.



Figura 15.FOAM sobre WBB

Objetivos:

- Mejorar la propiocepción de las articulaciones de las extremidades inferiores.
- Mejorar la resistencia muscular de las extremidades inferiores.
- Mejorar el timing.

## Andador

El empleo de un andador permite:



- Incluir en el tratamiento a pacientes con alteraciones del equilibrio.
- Trabajo en carga parcial de extremidades inferiores.
- Trabajo en propioceptivo en apoyo monopodal.

Figura 16. Asistencia con andador

## Muletas

El empleo de muletas permite:



- Incluir en el tratamiento a pacientes con alteraciones del equilibrio.
- Trabajo con carga parcial en extremidades inferiores.
- Trabajo en propioceptivo en apoyo monopodal.

Figura 17. Asistencia con muletas

## Colchoneta

En la terapia con Kinect, los cambios en la estabilidad de la superficie de apoyo nos permiten:



Figura 18. Modificación de entorno con colchoneta

- Mejorar la propiocepción de las articulaciones de las extremidades inferiores.
- Mejorar la resistencia muscular de las extremidades inferiores.
- Mejorar el *timing*.
- Mejorar el equilibrio. Fomentando la elaboración de medidas de compensación.



# Capítulo 6

## Resultados

### 6.1 Análisis descriptivo

Se incluyeron 20 pacientes (10 hombres y 10 mujeres (Tabla 1) (Figura 1)), con una edad media de 37,42±17,47 años (Tabla 2 y figura 13) y diferencias comprendidas entre los 12 y los 73 años (Tabla 3).

Las patologías tratadas fueron de diversa índole (Tabla 4)(Figura 14), con un nexo común; la alteración del Sistema Propioceptivo:

-3 pacientes con Hemiparesia.

-2 pacientes sometidos a Plastia del Ligamento Cruzado anterior.

-11 pacientes afectados de Inestabilidad articular limitada a alguna de las articulaciones de la extremidad inferior.

-2 pacientes que presentaban Síndrome de Dolor Regional Complejo Tipo I de rodilla.

-2 pacientes con Esclerosis Múltiple.

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos Mujer	10	50,0	50,0	50,0
Hombre	10	50,0	50,0	100,0
Total	20	100,0	100,0	

Tabla 1. Distribución por sexo

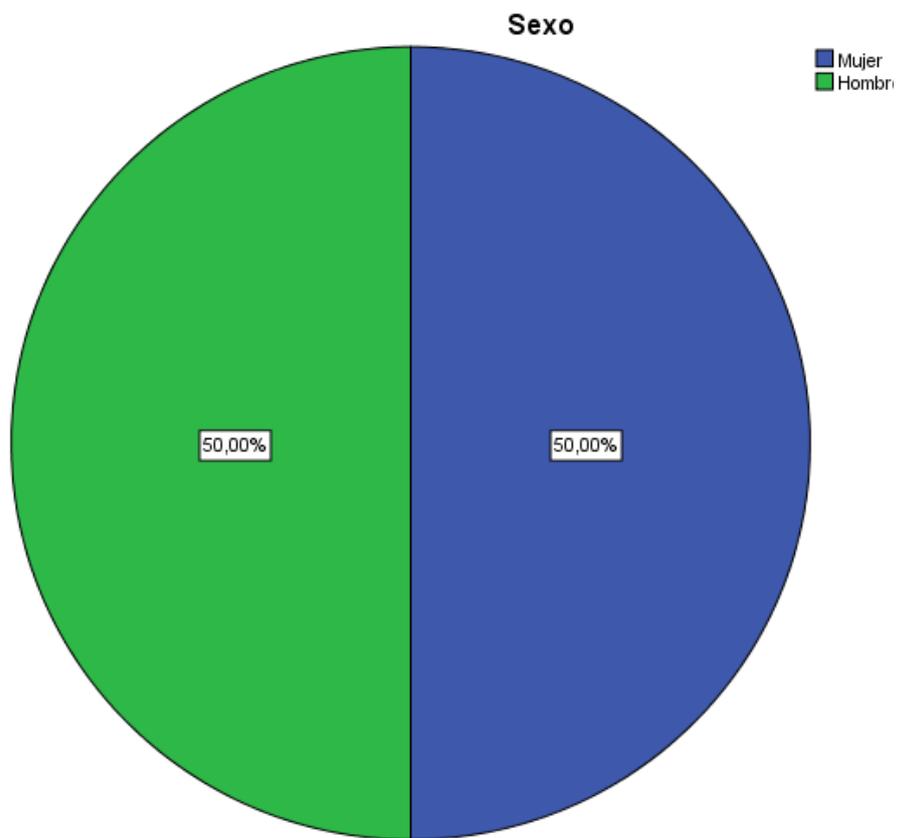


Figura 19. Distribución por sexo

N	Válidos	20
Media		37,42
Mediana		38,00
Moda		12 <sup>a</sup>
Desv. típ.		17,472
Varianza		305,257
Mínimo		12
Máximo		73
Percentil 25		25,00
	50	38,00
	75	47,00

Tabla 2. Distribución por edad

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

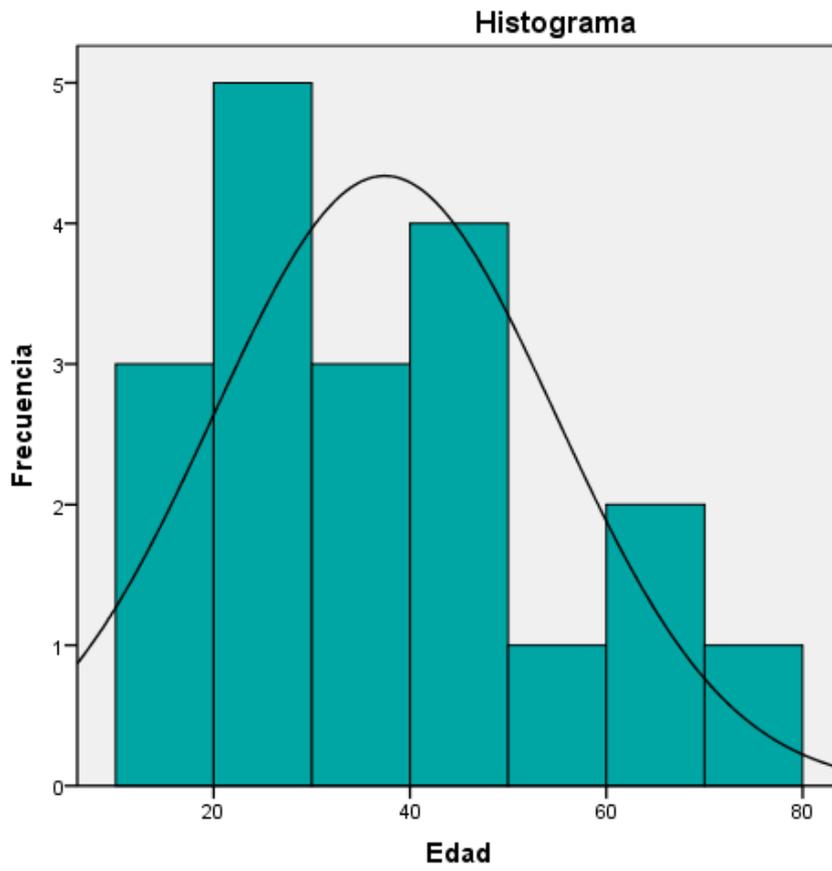


Figura 20. Distribución por edad

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	Hemiparesia	3	15,0	15,0	15,0
	Plastia LCA	2	10,0	10,0	25,0
	Inestabilidad articular (Extremidad inferior)	11	55,0	55,0	80,0
	SDRC Tipo I Rodilla	2	10,0	10,0	90,0
	Esclerosis Múltiple	2	10,0	10,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

Tabla 3. Patologías

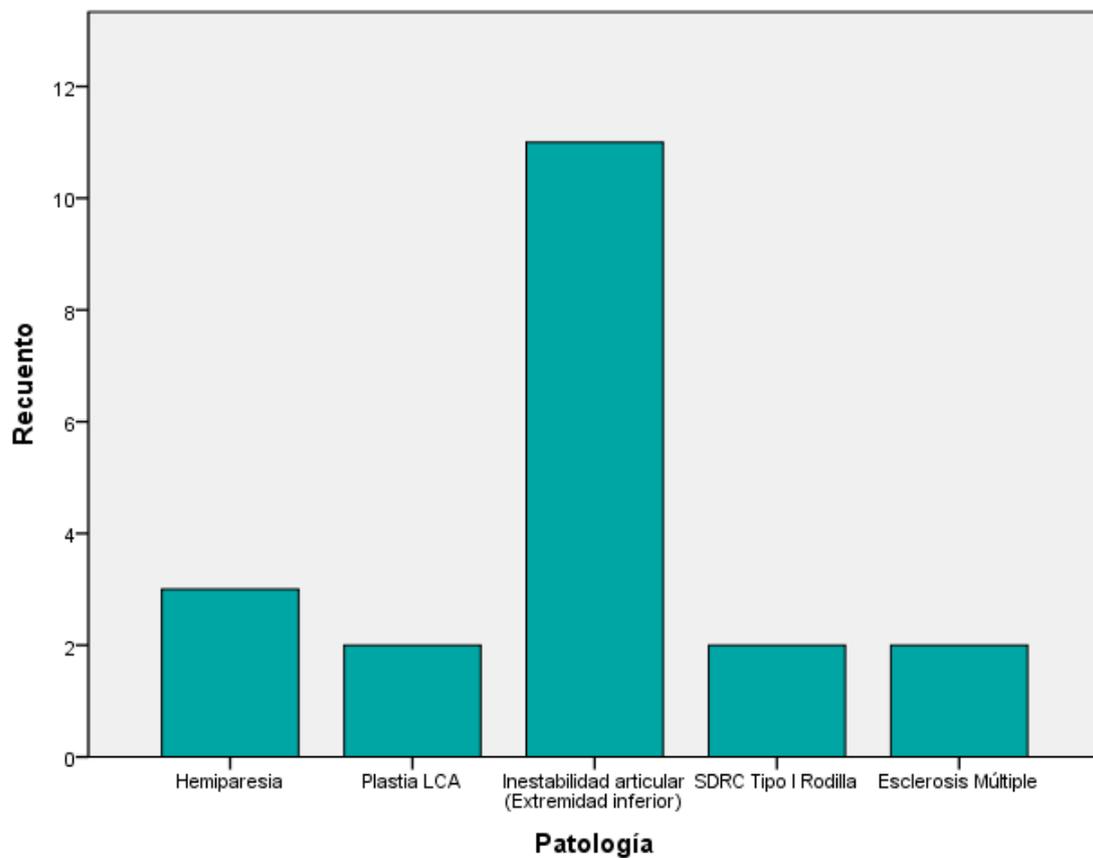


Figura 21. Recuento de pacientes según patología

## Estadísticos

		T.Equilibrio básico (n° de Ronda)	T.Equilibrio básico postto (n° de Ronda)
N°	Válidos	20	20
	Perdidos	0	0
	Media	2,85	4,30
	Mediana	3,00	4,00
	Moda	3	4
	Desv. típ.	,813	,657
	Varianza	,661	,432
	Rango	3	2
	Mínimo	2	3
	Máximo	5	5
Percentil	25	2,00	4,00
	50	3,00	4,00
	75	3,00	5,00

Tabla 4. Test de Equilibrio básico pre y postratamiento.

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	2	7	35,0	35,0	35,0
	3	10	50,0	50,0	85,0
	4	2	10,0	10,0	95,0
	5	1	5,0	5,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

Tabla 5. Test de Equilibrio básico pretratamiento (n° de ronda)

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	3	2	10,0	10,0	10,0
	4	10	50,0	50,0	60,0
	5	8	40,0	40,0	100,0
	Total	20	100,0	100,0	

Tabla 6. Test de Equilibrio básico postratamiento (n° de ronda)

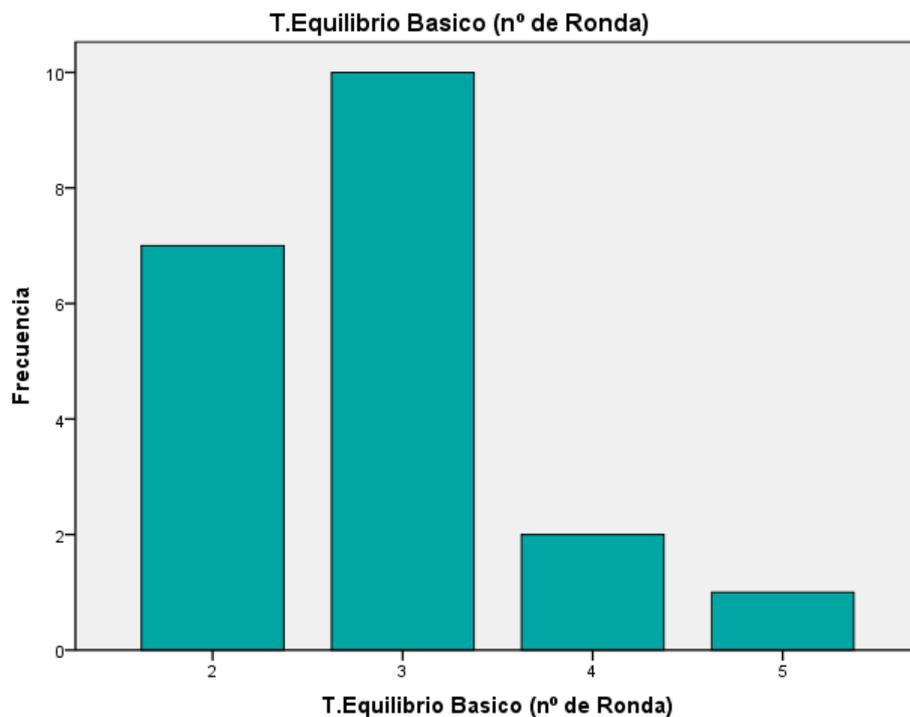


Figura 22. Distribución de resultados, según número de ronda, alcanzado en el test de Equilibrio básico pretratamiento.

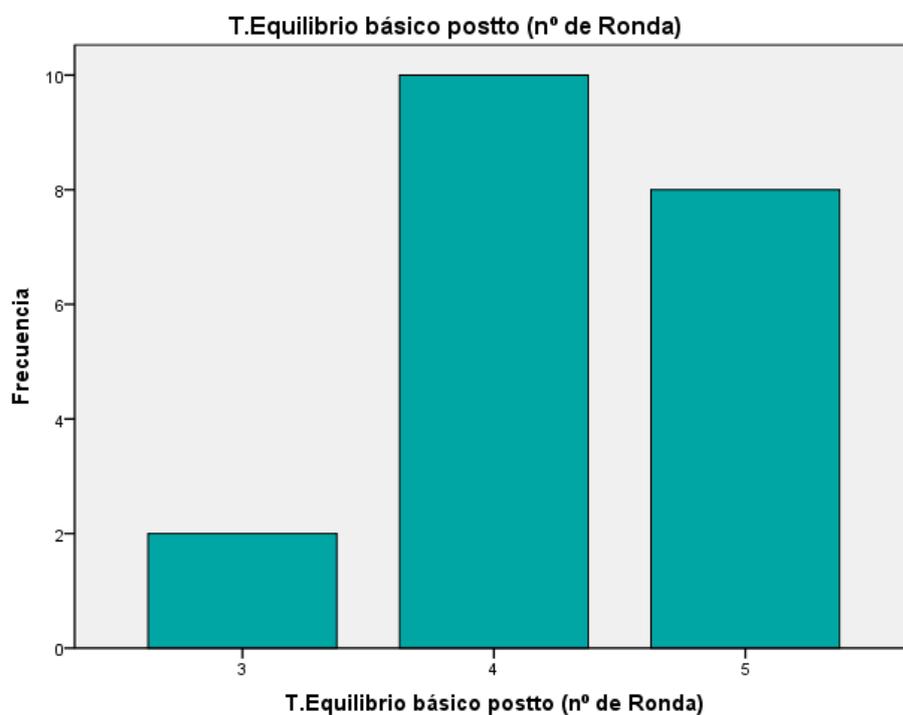


Figura 23. Distribución de resultados, según número de ronda, alcanzado en el test de Equilibrio básico postratamiento

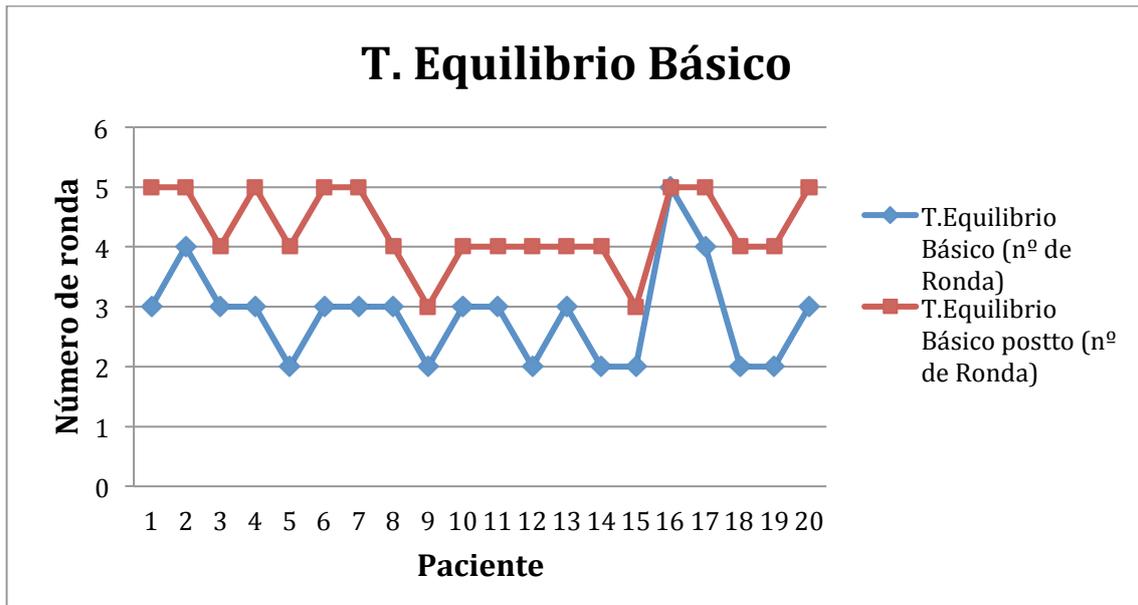


Figura 24. Gráfico evolutivo de cada paciente en test de Equilibrio básico.

Para el resto de variables se calcularán sus descriptivos más adelante cuando se compruebe la normalidad. Se han incluido algunos gráficos, que pueden ser interesantes para observar su tendencia. En concreto se han elegido diagramas de cajas, con los que se puede ver la mediana, el máximo, el mínimo... y además, permiten comparar como se modifica la variable antes y después del tratamiento.

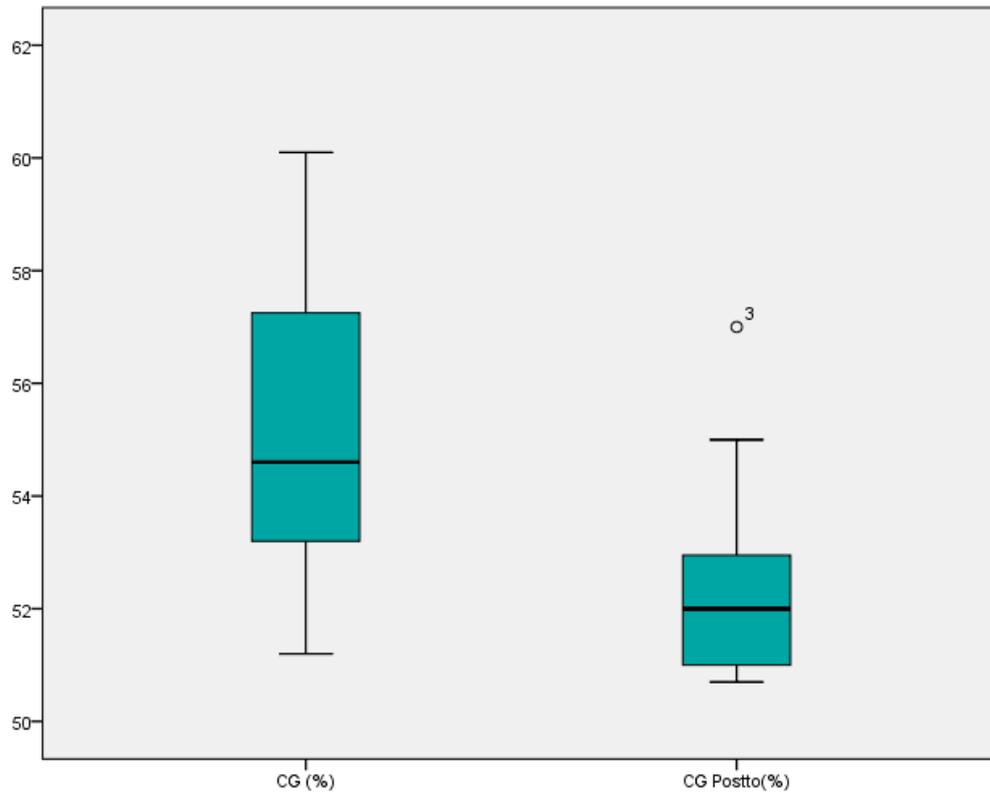


Figura 25. Tendencia en el registro de la proyección del centro de gravedad sobre polígono de sustentación (CG).

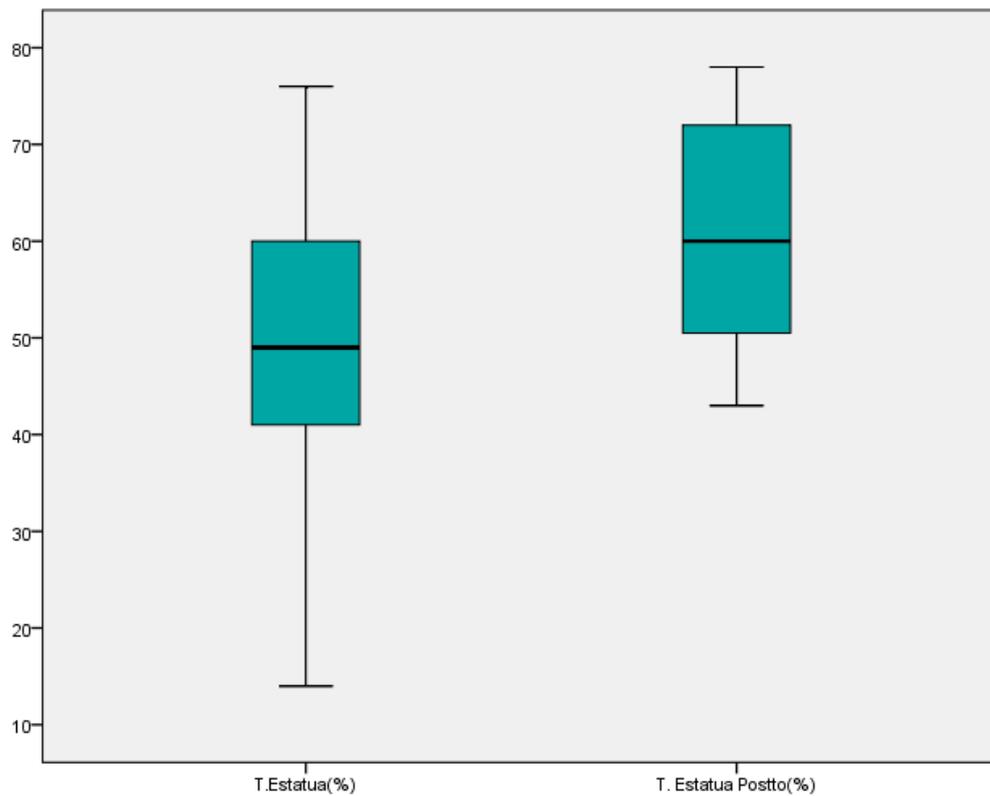


Figura 26. Tendencia en Test de la Estatua.

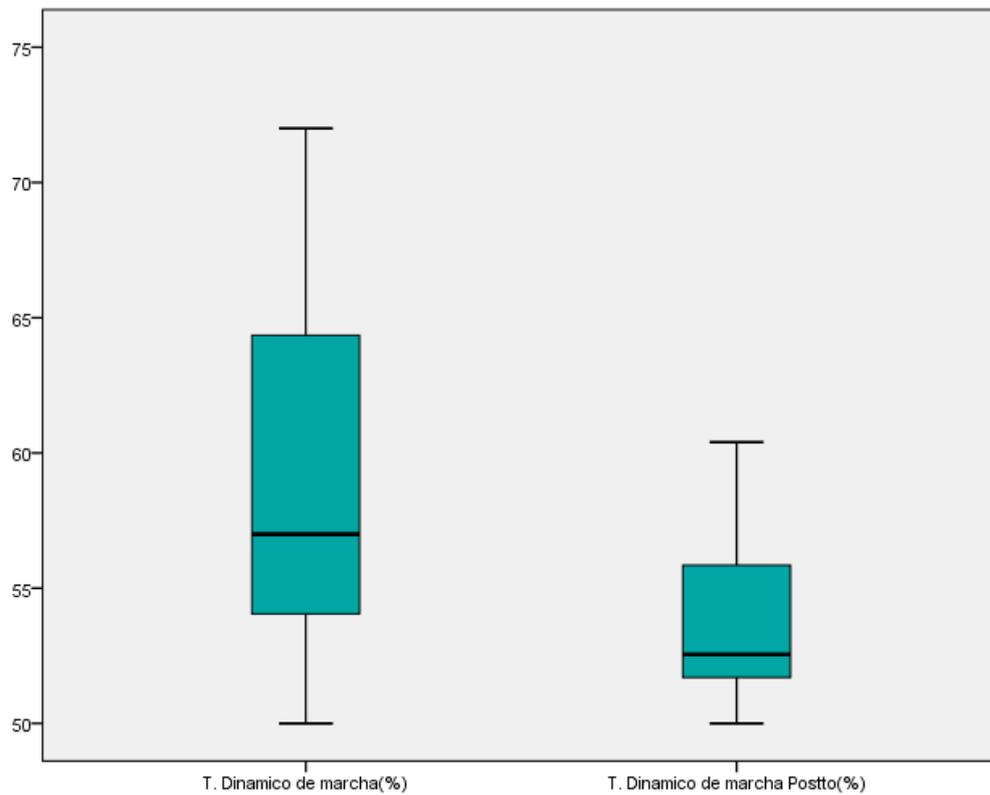


Figura 27. Tendencia en Test Dinámico de marcha.

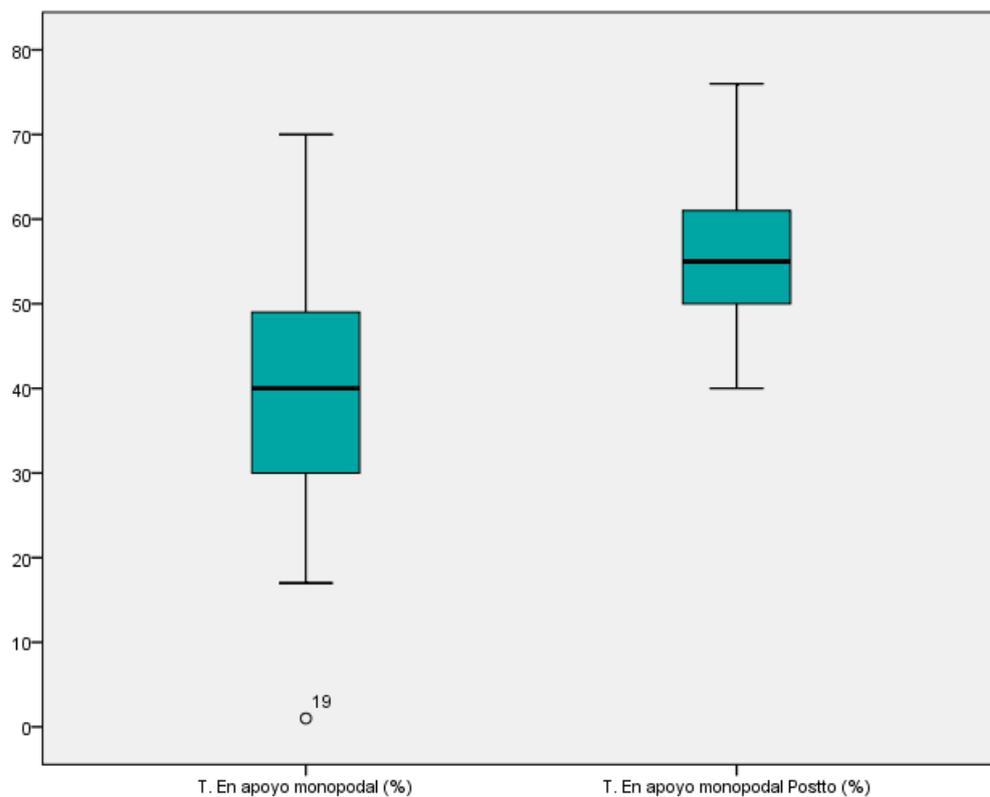


Figura 28. Tendencia en test en apoyo monopodal.

## 6.2 Análisis comparativo

Dado el interés en comparar variables cuantitativas (numéricas) en un mismo grupo de pacientes pero en dos momentos distintos (antes y después del tratamiento), se ha utilizado la **prueba t de Student para muestras relacionadas**, o para datos apareados. Eso en el caso de que se cumpla la condición de la normalidad, sino se recurrirá a la correspondiente prueba no paramétrica, que será la **prueba de Wilcoxon o prueba de los rangos con signo**. También utilizada en variables de desenlace ordinales, como se puede considerar por ejemplo la variable Test de Equilibrio Básico, que se mide en número de rondas (de una a cinco).

La hipótesis que queremos contrastar es:

Si existen diferencias significativas entre las medidas de cada una de las variables estudiadas antes de someterse al tratamiento de rehabilitación con videojuegos comerciales y las medidas de esas mismas variables después de someterse al tratamiento (Postto).

$H_0$ : No hay diferencia significativa en las medias de las variables antes y después del tratamiento.

$H_1$ : Hay una diferencia significativa en las medias de cada variable antes y después del tratamiento.

Las variables estudiadas son:

- ✓ Registro de la proyección del centro de gravedad sobre polígono de sustentación (CG)(%)
- ✓ Test de la Estatua(%)
- ✓ Test de Equilibrio Basico (n° de Ronda)
- ✓ Test Dinamico de marcha(%)
- ✓ Test en apoyo monopodal (%)

### 6.2.1 Comprobación de la Normalidad

Para poder usar la prueba de la t de Student, se ha comprobado que cada una de las variables sigue una distribución normal. Para ello se ha utilizado la prueba de Kolomogorov-Smirnov para muestras grandes ( $n > 30$ ) o la prueba de Shapiro-Wilk para muestras pequeñas ( $n < 30$ ).

Si el p.valor  $< \alpha = 0.05$  aceptamos la hipótesis alternativa (Los datos no provienen de una distribución normal).

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
CG (%)	20	100,0%	0	,0%	20	100,0%
CG Postto (%)	20	100,0%	0	,0%	20	100,0%

Tabla 7. Resumen del procesamiento de los casos para CG.

Tabla 8. Descriptivos para CG

		Estadístico	Error típ.	
CG (%)	Media	55,240	,6429	
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	53,894	
		Límite superior	56,586	
	Media recortada al 5%	55,194		
	Mediana	54,600		
	Varianza	8,267		
	Desv. típ.	2,8752		
	Mínimo	51,2		
	Máximo	60,1		
	Rango	8,9		
	Amplitud intercuartil	4,5		
	Asimetría	,740	,512	
	Curtosis	-,722	,992	
CG Postto(%)	Media	52,340	,3577	
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	51,591	
		Límite superior	53,089	
	Media recortada al 5%	52,172		
	Mediana	52,000		
	Varianza	2,558		
	Desv. típ.	1,5995		
	Mínimo	50,7		
	Máximo	57,0		
	Rango	6,3		
	Amplitud intercuartil	2,0		
	Asimetría	1,582	,512	
	Curtosis	2,645	,992	

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CG (%)	,233	20	,006	,871	20	,012
CG Postto(%)	,234	20	,005	,835	20	,003

Tabla 9. Pruebas de normalidad para CG

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Así que, CG antes del tratamiento y después, no es Normal. Lo podemos ver también observando los siguientes gráficos:

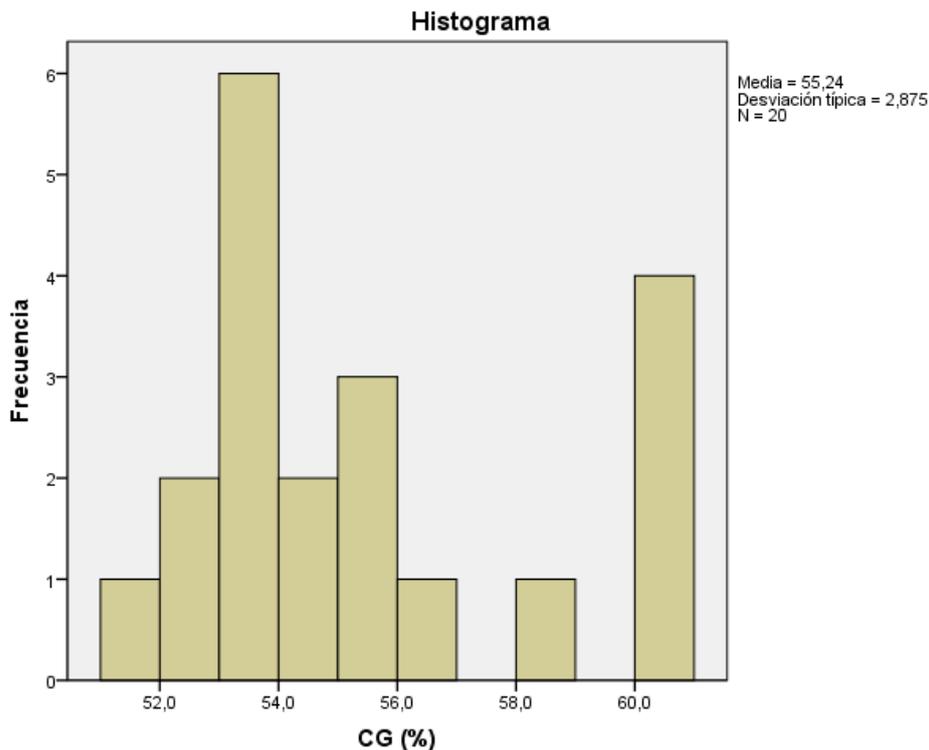


Figura 29. Distribución de resultados en el Registro de la proyección del centro de gravedad sobre polígono de sustentación pretratamiento (CG)(%).

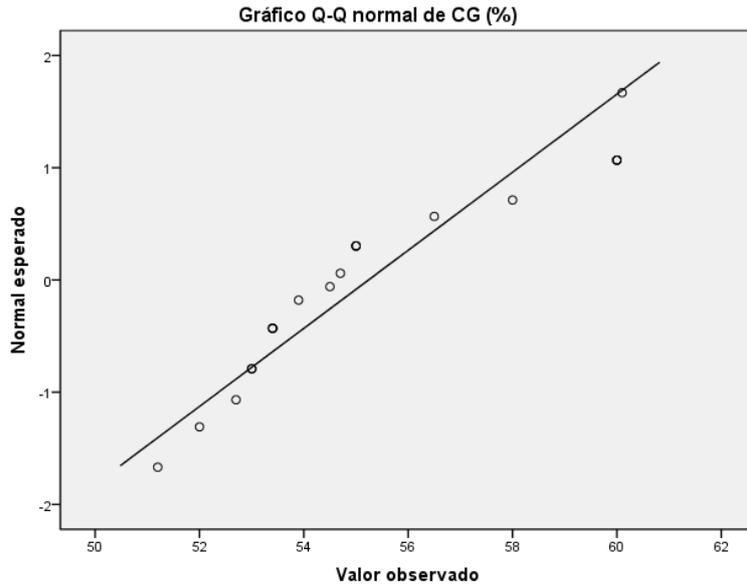


Figura 30. Distribución de resultados en el Registro de la proyección del centro de gravedad sobre polígono de sustentación pretratamiento (CG)(%).

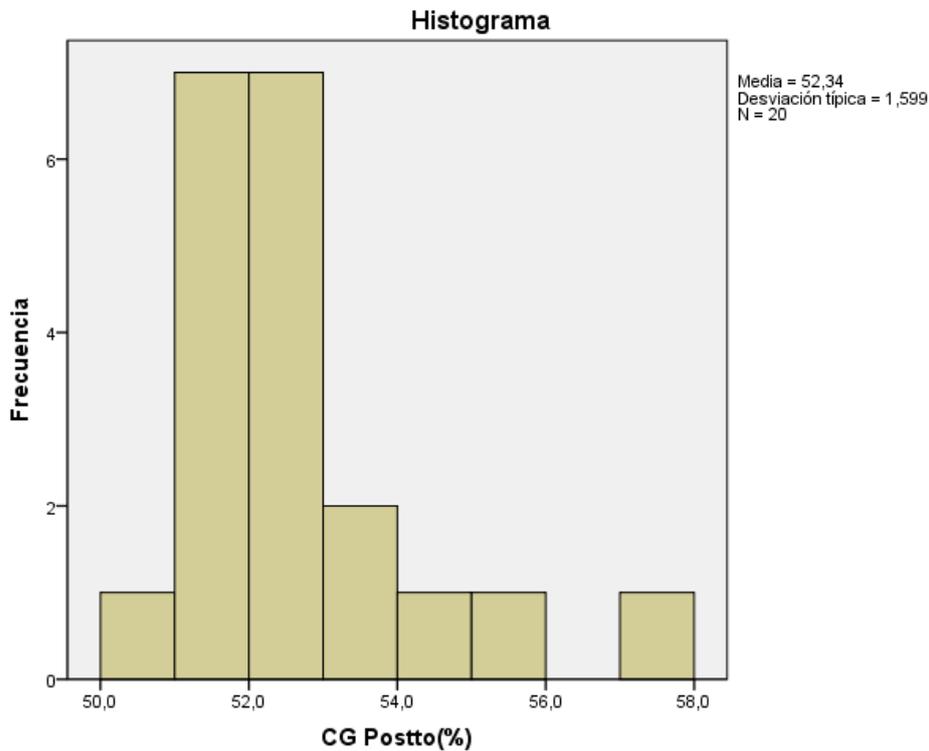


Figura 31. Distribución de resultados en el Registro de la proyección del centro de gravedad sobre polígono de sustentación postratamiento (CG Postto)(%).

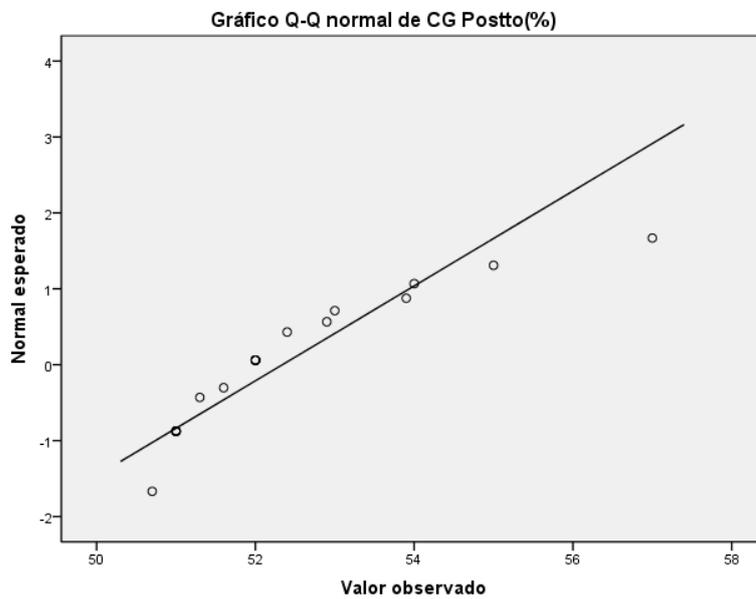


Figura 32. Distribución de resultados en el Registro de la proyección del centro de gravedad sobre polígono de sustentación postratamiento (CG Postto)(%).

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
T.Estatua (%)	20	100,0%	0	,0%	20	100,0%
T. Estatua Postto (%)	20	100,0%	0	,0%	20	100,0%

Tabla 10. Resumen del procesamiento de los casos para T. Estatua

Tabla 11. Descriptivos para T. Estatua

		Estadístico	Error típ.	
T.Estatua(%)	Media	50,25	3,610	
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	42,69	
		Límite superior	57,81	
	Media recortada al 5%	50,83		
	Mediana	49,00		
	Varianza	260,618		
	Desv. típ.	16,144		
	Mínimo	14		
	Máximo	76		
	Rango	62		
	Amplitud intercuartil	19		
	Asimetría	-,469	,512	
	Curtosis	,004	,992	
T. Estatua Postto(%)	Media	61,50	2,560	
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	56,14	
		Límite superior	66,86	
	Media recortada al 5%	61,61		
	Mediana	60,00		
	Varianza	131,105		
	Desv. típ.	11,450		
	Mínimo	43		
	Máximo	78		
	Rango	35		
	Amplitud intercuartil	22		
	Asimetría	-,042	,512	
	Curtosis	-1,437	,992	

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
T.Estatua (%)	,127	20	,200*	,969	20	,723
T. Estatua Postto (%)	,144	20	,200*	,929	20	,147

Tabla 12. Pruebas de normalidad para T. Estatua.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

En este caso la variable Test de la Estatua si sigue una distribución Normal antes y después de tratamiento.

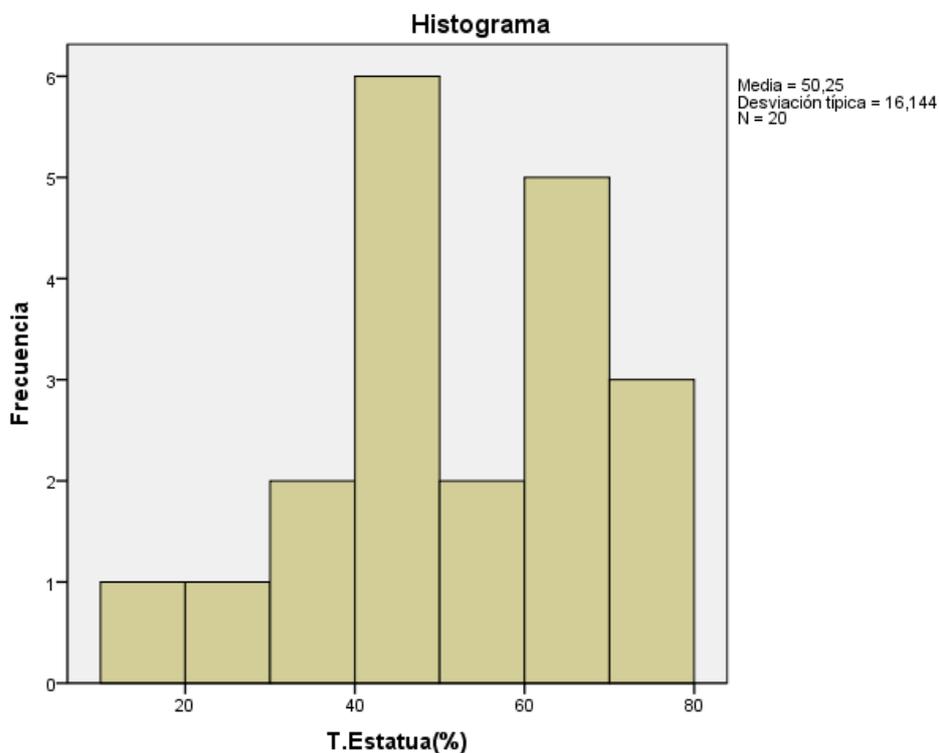


Figura 33. Distribución de los resultados en el Test de la Estatua pretratamiento (T. Estatua)(%).

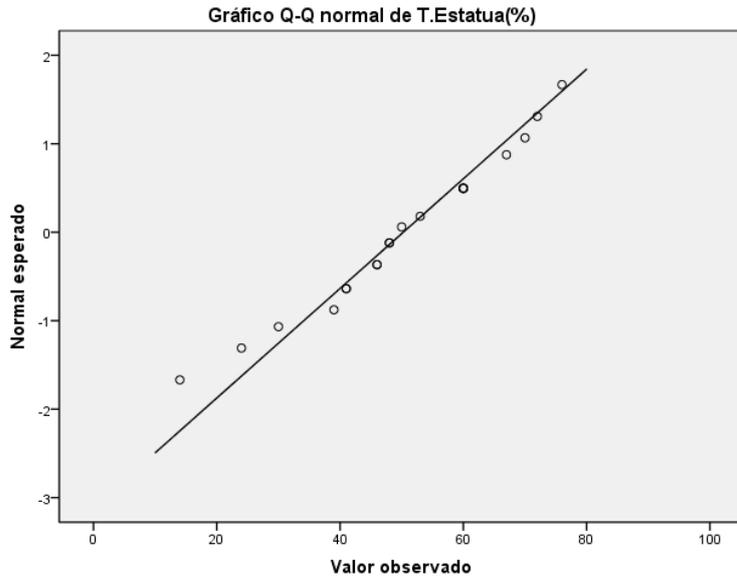


Figura 34. Distribución de los resultados en el Test de la Estatua pretratamiento (T. Estatua)(%).

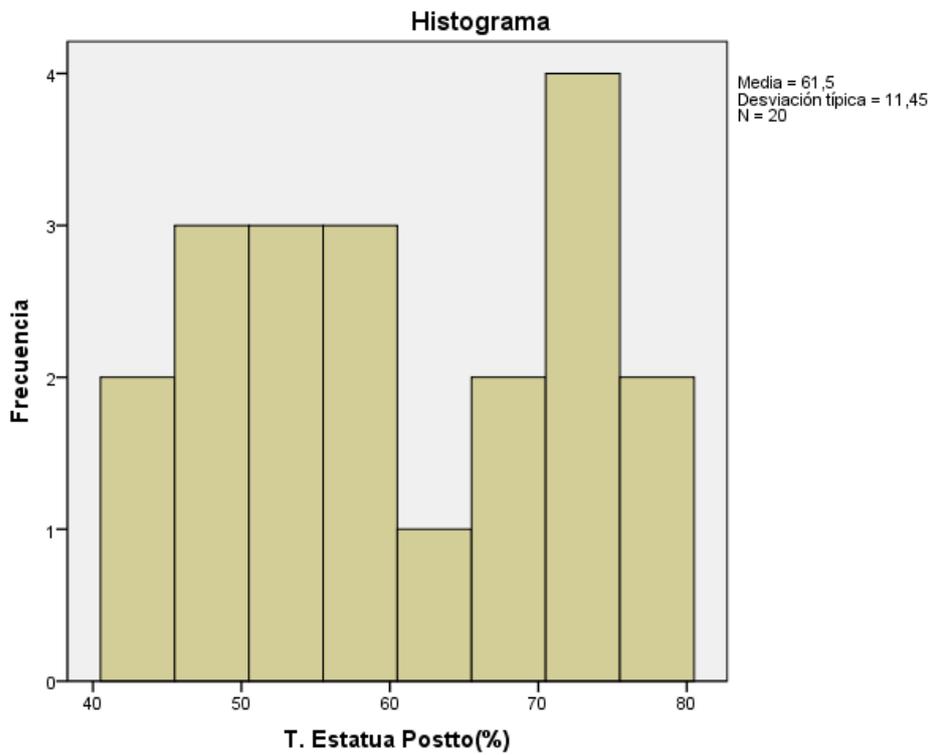


Figura 35. Distribución de los resultados en el Test de la Estatua postratamiento (T. Estatua Postto)(%).

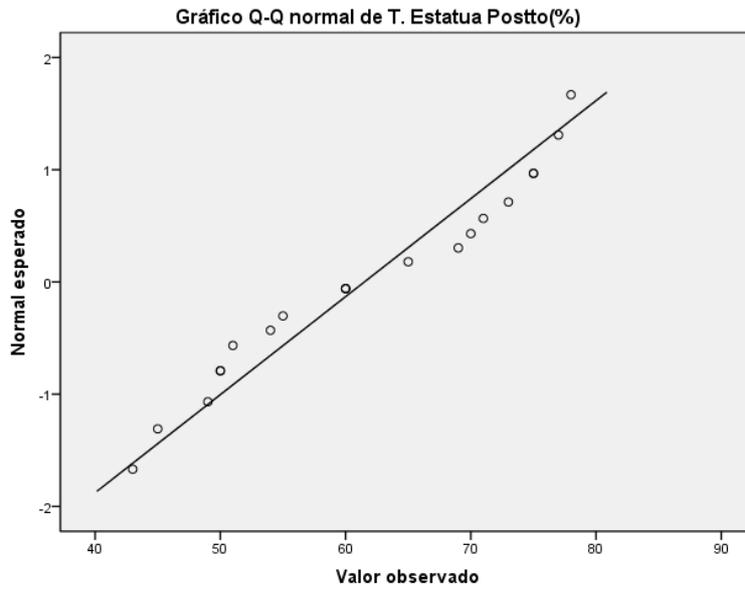


Figura 36. Distribución de los resultados en el Test de la Estatua postratamiento (T. Estatua Postto)(%).

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
T. Dinamico de marcha (%)	20	100,0%	0	,0%	20	100,0%
T. Dinamico de marcha Postto (%)	20	100,0%	0	,0%	20	100,0%

Tabla 13. Resumen del procesamiento de los casos para T.Dinámico de marcha.

Tabla 14. Descriptivos para T. Dinámico de marcha

		Estadístico	Error típ.	
T. Dinamico de marcha(%)	Media	58,570	1,4336	
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	55,569	
		Límite superior	61,571	
	Media recortada al 5%	58,300		
	Mediana	57,000		
	Varianza	41,103		
	Desv. típ.	6,4112		
	Mínimo	50,0		
	Máximo	72,0		
	Rango	22,0		
	Amplitud intercuartil	10,4		
	Asimetría	,652	,512	
	Curtosis	-,651	,992	
T. Dinamico de marcha Postto(%)	Media	54,080	,7421	
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	52,527	
		Límite superior	55,633	
	Media recortada al 5%	53,956		
	Mediana	52,550		
	Varianza	11,013		
	Desv. típ.	3,3186		
	Mínimo	50,0		
	Máximo	60,4		
	Rango	10,4		
	Amplitud intercuartil	4,7		
	Asimetría	,876	,512	
	Curtosis	-,537	,992	

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
T. Dinámico de marcha(%)	,147	20	,200*	,925	20	,123
T. Dinámico de marcha Postto(%)	,225	20	,009	,861	20	,008

Tabla 15. Pruebas de normalidad para T. Dinámico de marcha.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

En este caso, la variable Test Dinámico de marcha sigue una distribución normal, mientras que Test Dinámico de marcha postratamiento no. Lo deben cumplir los dos para usar el test paramétrico.

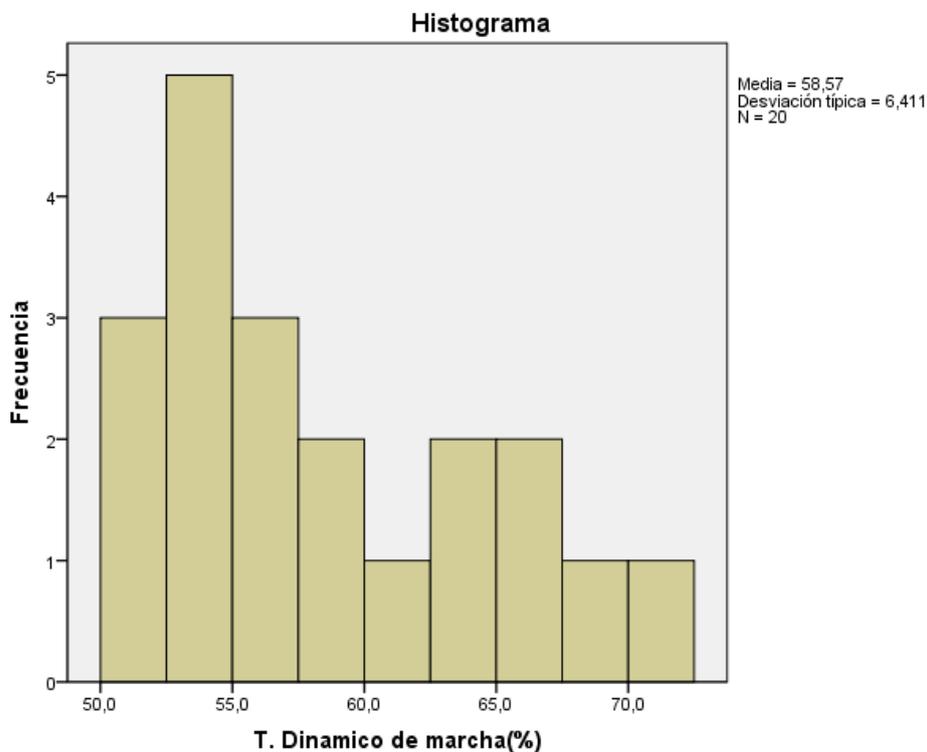


Figura 37. Distribución de los resultados para el Test Dinámico de marcha pretratamiento ( T. Dinámico de marcha)(%).

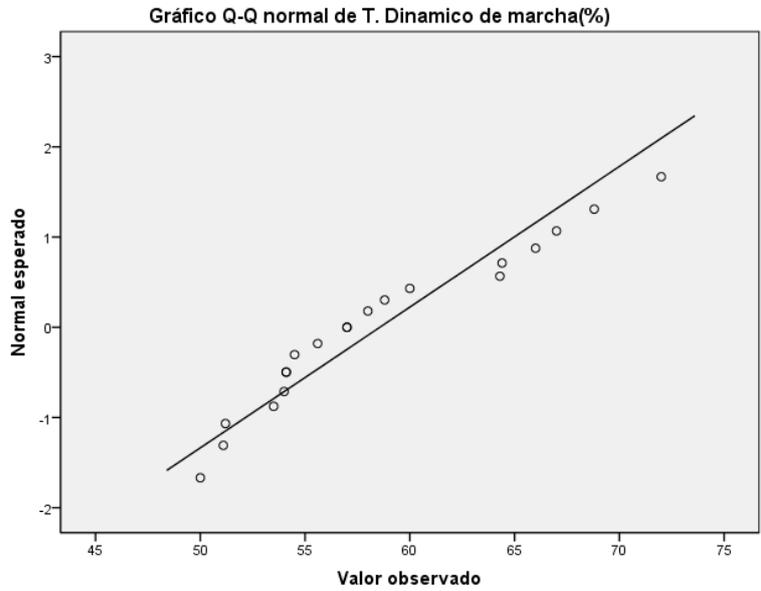


Figura 38. Distribución de los resultados para el Test Dinámico de marcha pretratamiento ( T. Dinámico de marcha)(%).

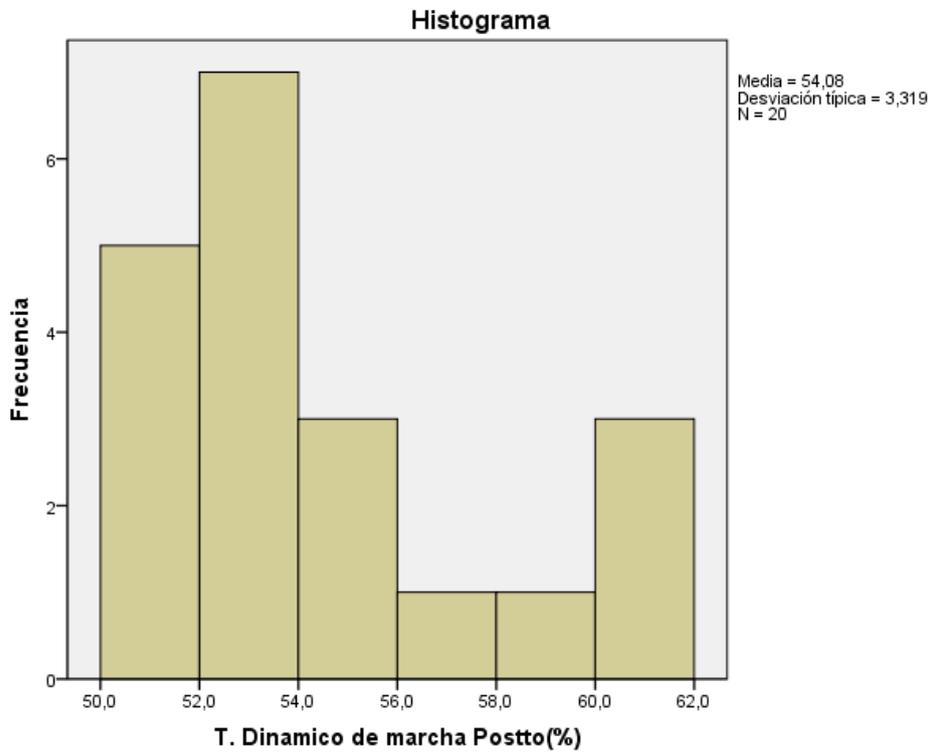


Figura 39. Distribución de los resultados para el Test Dinámico de marcha postratamiento ( T. Dinámico de marcha Postto)(%).

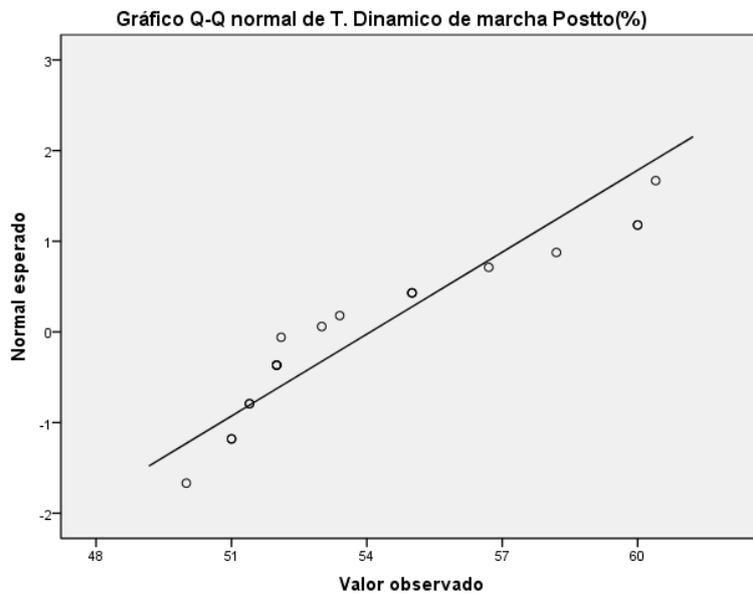


Figura 40. Distribución de los resultados para el Test Dinámico de marcha postratamiento ( T. Dinámico de marcha Postto)(%).

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
T. En apoyo monopodal (%)	20	100,0%	0	,0%	20	100,0%
T. En apoyo monopodal Postto (%)	20	100,0%	0	,0%	20	100,0%

Tabla 16. Resumen del procesamiento de los casos para T. en apoyo monopodal.

Tabla 17. Descriptivos para T. En apoyo monopodal.

			Estadístico	Error típ.
T. En apoyo monopodal (%)	Media		39,70	3,227
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	32,94	
		Límite superior	46,46	
	Media recortada al 5%		40,17	
	Mediana		40,00	
	Varianza		208,326	
	Desv. típ.		14,434	
	Mínimo		1	
	Máximo		70	
	Rango		69	
	Amplitud intercuartil		20	
	Asimetría		-,755	,512
	Curtosis		2,219	,992
	T. En apoyo monopodal Postto (%)	Media		55,85
Intervalo de confianza para la media al 95%		Límite inferior	51,48	
		Límite superior	60,22	
Media recortada al 5%			55,61	
Mediana			55,00	
Varianza			87,187	
Desv. típ.			9,337	
Mínimo			40	
Máximo			76	
Rango			36	
Amplitud intercuartil			12	
Asimetría			,283	,512
Curtosis			,111	,992

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
T. En apoyo monopodal (%)	,208	20	,023	,923	20	,112
T. En apoyo monopodal Postto (%)	,115	20	,200*	,966	20	,661

Tabla 18. Pruebas de normalidad para el Test en apoyo monopodal.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

Test en apoyo monopodal antes y después del tratamiento sigue una distribución normal.

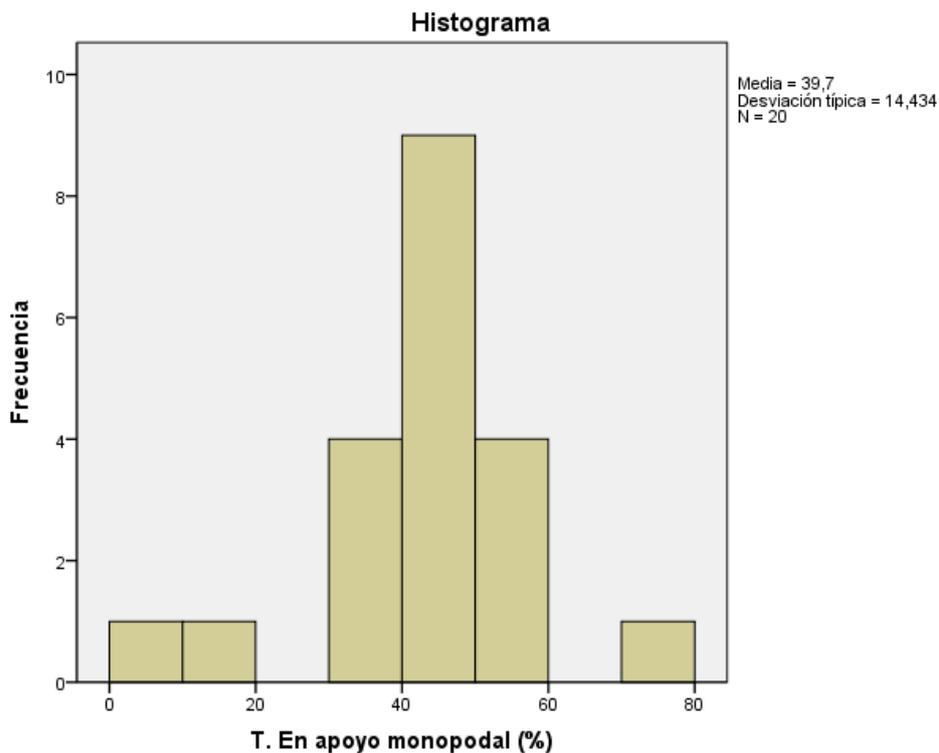


Figura 41. Distribución de los resultados para el Test en apoyo monopodal pretratamiento ( T. En apoyo monopodal )(%).

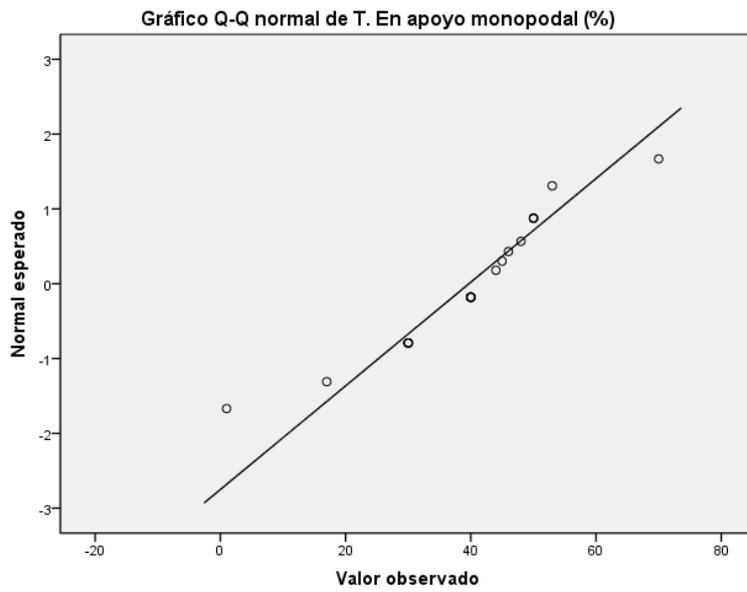


Figura 42. Distribución de los resultados para el Test en apoyo monopodal pretratamiento ( T. En apoyo monopodal )(%).

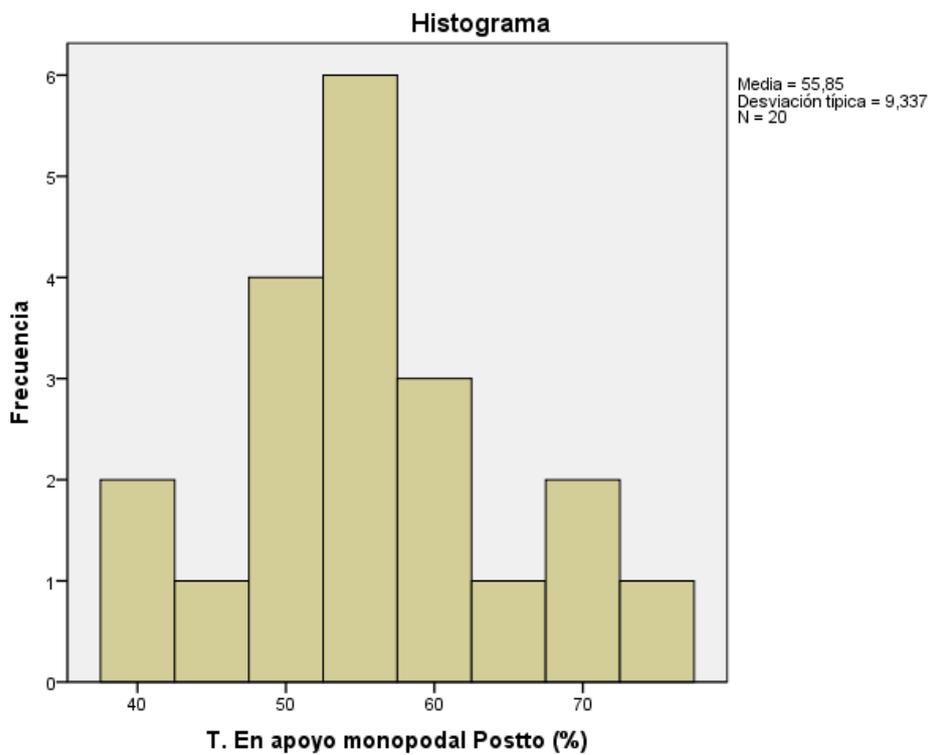


Figura 43. Distribución de los resultados para el Test en apoyo monopodal postratamiento ( T. En apoyo monopodal Postto)(%).

### 6.2.2 Pruebas de contraste de Hipótesis

A continuación se incluyen las pruebas de contraste de hipótesis para cada una de las variables que nos interesa comparar.

#### I. CG

**Resumen de prueba de hipótesis**

	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre CG (%) y CG Postto(%) es igual a 0.	Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo de muestras relacionadas	,000	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es .05.

En el caso de la variable Registro de la proyección del centro de gravedad sobre polígono de sustentación (CG), podemos decir que hay diferencias estadísticamente significativas antes y después del tratamiento. La mediana es menor después del tratamiento. Lo hace con la mediana y no con la media, porque se ha aplicado un test no paramétrico debido a que no se cumplía la condición de la normalidad.

Se evidencia, de este modo una reeducación en la alineación del centro de gravedad y su consecuente proyección sobre el polígono de sustentación del paciente. Lo cual se expresa en un incremento del nivel estabilidad.

## II. T. Estatua

### Prueba T

	Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1 T.Estatua(%)	50,25	20	16,144	3,610
T. Estatua Postto(%)	61,50	20	11,450	2,560

Tabla 19. Estadísticos de muestras relacionadas T. Estatua

	N	Correlación	Sig.
Par 1 T.Estatua(%) y T. Estatua Postto(%)	20	,809	,000

Tabla 20. Correlaciones de muestras relacionadas T. Estatua

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 T.Estatua(%) - T. Estatua Postto(%)	-11,250	9,624	2,152	-15,754	-6,746	-5,228	19	,000

Tabla 21. Prueba de muestras relacionadas T. Estatua

Como el nivel de significación es menor de 0.05, podemos rechazar la hipótesis nula y concluir que hay una diferencia significativa en las

medias del porcentaje del Test de la Estatua, antes y después del tratamiento. Por lo cual se concluye; que el tratamiento (uso de videojuegos comerciales) si tiene efectos significativos sobre los resultados obtenidos en el Test de la Estatua. De hecho, en promedio aumentó su nivel de estabilidad de un 50,25% a un 61,50%.

### III. T.Equilibrio Básico (n° de Ronda)

En el caso de esta variable, como se trata de variables medibles en por lo menos, una escala ordinal, la prueba no paramétrica más potente es la de Wilcoxon.

La hipótesis nula del contraste postula que las muestras proceden de poblaciones con la misma distribución de probabilidad; la hipótesis alternativa establece que hay diferencias respecto a la tendencia central de las poblaciones y puede ser direccional o no.

Es una prueba no paramétrica de comparación de dos muestras relacionadas, debe cumplir las siguientes características:

- ✓ Es libre de curva, no necesita una distribución específica.
- ✓ Nivel ordinal de la variable dependiente.
- ✓ Se utiliza para comparar dos mediciones de rangos (medianas) y determinar que la diferencia no se deba al azar (que la diferencia sea estadísticamente significativa).

	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
T.Equilibrio Basico (n° de Ronda)	20	2,85	,813	2	5
T.Equilibrio básico postto (n° de Ronda)	20	4,30	,657	3	5

Tabla 22. Estadísticos descriptivos T. Equilibrio básico

		N	Rango promedio	Suma de rangos
T.Equilibrio básico postto (n° de Ronda)	Rangos negativos	0 <sup>a</sup>	,00	,00
T.Equilibrio Basico (n° de Ronda)	Rangos positivos	19 <sup>b</sup>	10,00	190,00
	Empates	1 <sup>c</sup>		
	Total	20		

Tabla 23. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon T. Equilibrio básico

a. T.Equilibrio básico postto (n° de Ronda) < T.Equilibrio Basico (n° de Ronda)

b. T.Equilibrio básico postto (n° de Ronda) > T.Equilibrio Basico (n° de Ronda)

c. T.Equilibrio básico postto (n° de Ronda) = T.Equilibrio Basico (n° de Ronda)

	T.Equilibrio básico postto (n° de Ronda) - T.Equilibrio Basico (n° de Ronda)
Z	-3,938 <sup>a</sup>
Sig. asintót. (bilateral)	,000

Tabla 24. Estadísticos de contraste T. Equilibrio básico

- a. Basado en los rangos negativos.
- b. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon

Como  $p < 0.05$ , se puede rechazar la hipótesis nula, por lo tanto hay diferencias entre los resultados obtenidos en cuanto al Test de Equilibrio básico antes y después del tratamiento. Se puede concluir así, que después del tratamiento, los pacientes alcanzan un número de ronda mayor que antes de iniciarlo. La media pasa a ser de 2,85 (pretratamiento) a 4,30 (postratamiento).

#### IV. T. Dinamico de marcha(%)

##### Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre T. Dinamico de marcha(%) y T. Dinamico de marcha Postto(%) es igual a 0.	Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo de muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es .05.

En el caso de la variable Test Dinámico de marcha, se puede decir que hay diferencias estadísticamente significativas antes y después del tratamiento. La mediana es menor después del tratamiento,

pasamos de 57% a un 52,55%. Lo hace con la mediana y no con la media porque se ha aplicado un test no paramétrico debido a que no se cumplía la condición de la normalidad.

Es decir, se consigue una normalización en la distribución de carga dinámica entre ambas extremidades inferiores; aproximado la misma al 50% (simetría en la responsabilidad biomecánica).

### V. T. En apoyo monopodal (%)

#### Prueba T

	Media	N	Desviación típ.	Error típ. de la media
Par 1 T. En apoyo monopodal (%)	39,70	20	14,434	3,227
T. En apoyo monopodal Postto (%)	55,85	20	9,337	2,088

Tabla 25. Estadísticos de muestras relacionadas T. En apoyo monopodal

	N	Correlación	Sig.
Par 1 T. En apoyo monopodal (%) y T. En apoyo monopodal Postto (%)	20	,715	,000

Tabla 26. Correlaciones de muestras relacionadas T. En apoyo monopodal

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
T. En apoyo monopodal (%) - T. En apoyo monopodal Postto (%)	-16,150	10,137	2,267	-20,894	-11,406	-7,125	19	,000

Tabla 27. Prueba de muestras relacionadas T. En apoyo monopodal

Como el nivel de significación es menor de 0.05, podemos rechazar la hipótesis nula y concluir que hay una diferencia significativa en las medias del porcentaje del Test en apoyo monopodal de los pacientes antes y después del tratamiento. Por lo cual se concluye que el tratamiento (el uso de videojuegos) Si tiene efectos significativos sobre los resultados obtenidos en el Test en apoyo monopodal de los pacientes. De hecho los pacientes en promedio aumentaron su nivel de estabilidad de un 39,70% a un 55,85%.



# Capítulo 7

## Discusión

Son muchos los autores que han centrado sus esfuerzos en demostrar, a través de rigurosos estudios, la utilidad científico-terapéutica de las videoconsolas de sobremesa y los videojuegos comerciales. Se establece como nexo común, el concepto de Realidad Virtual (RV), definido por Milgram et al <sup>60</sup>, en 1994, en base a una clasificación formal, describiendo las interrelaciones existentes entre "Realidad Virtual" y "Realidad", así como las combinaciones de ambas que denominaron "Realidades Mixtas".

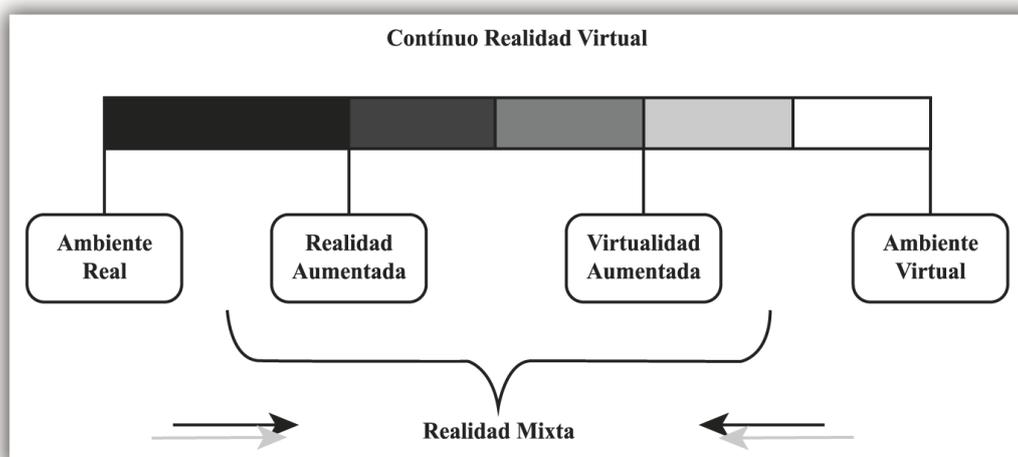


Figura 44. Clasificación de Milgram

De las definiciones de RV, y del planteamiento descrito por algunos investigadores, podemos enunciar que la RV se compone de las "3i" (Inmersión, Interacción e Imaginación).

- Inmersión: Capacidad por parte del usuario, de percibir físicamente el entorno virtual que le rodea, en base a una serie

de dispositivos específicos y a sus canales sensoriales. Para lograrlo, el sistema debe ser capaz de replicar los aspectos primordiales de la realidad, que sirvan para auto-convencer al usuario que constituyen una situación semejante.

- Interacción: Técnicas necesarias para que el usuario, una vez inmerso dentro del mundo virtual, y con los dispositivos adecuados, sea totalmente participativo, de forma que, en base a la interactividad dentro del Entorno virtual, el usuario pueda realizar acciones como tocar objetos, moverlos y desplazarse, generándose principios de acción-reacción dentro del mundo virtual.
- Imaginación: Capacidad para desarrollar aplicaciones enfocadas a solucionar problemas del mundo real dentro de campos como: Ingeniería, medicina, educación, arquitectura, ocio o hasta incluso en el campo del comercio electrónico.

Bajo estas premisas y en relación al empleo de la RV, entendiendo como tal el uso de videojuegos comerciales, en el ámbito de la recuperación funcional, me gustaría citar algunos de los autores y sus trabajos que han inspirado la línea de desarrollo de esta tesis. Siendo un fiel reflejo de los resultados obtenidos en la misma y avalando su "porque".

Lloréns et al <sup>61</sup>, estudiaron y validaron el uso de una serie de ejercicios a través de la utilización de la plataforma de bajo coste WBB en pacientes con daño cerebral adquirido. Los resultados obtenidos mostraron incrementos significativos en el equilibrio comparados con los procesos de rehabilitación tradicional.

Albiol et al <sup>62</sup>, diseñaron y analizaron una herramienta (V2R), de RV, que junto con el dispositivo de bajo coste WBB y un conjunto de espacios virtuales diseñados específicamente por especialistas clínicos, permitieron obtener resultados significativos en el análisis del control postural en pacientes con alteraciones vestibulares.

Bateni et al <sup>63</sup>, analizaron la efectividad del uso del dispositivo WBB en la reeducación del control postural, comparándolo con la rehabilitación tradicional, en ancianos. El procedimiento seguido

fue la realización de tres sesiones durante cuatro semanas, obteniendo mejoras significativas en los test clínicos "Balance Berg" y "Bubble test".

Ding et al <sup>64</sup>, estudiaron el comportamiento de la pierna parética en pacientes con daño cerebral adquirido, evaluando la transferencia de carga sobre las extremidades inferiores. Para ello almacenaron los movimientos realizados por cada una de las piernas en tiempo real. El protocolo seguido fue la realización de una serie de ejercicios que fomentaron el uso de la pierna parética. Se obtuvieron mejoras en la capacidad del paciente para desplazar de forma correcta, su centro de gravedad, generándose distribuciones de peso más simétricas.

Esculier et al <sup>65</sup>, evaluaron la efectividad del entrenamiento del equilibrio y las habilidades funcionales, en diez pacientes con Enfermedad de Parkinson, gracias al empleo de la WBB y comparándolo con un grupo de ocho sujetos sanos. Tras realizar seis sesiones, el resultados obtenido fue una mejora significativa de dichos pacientes en los test clínicos: "Up and Go", "Sit to stand", "unipodal stance", "10-meter walking test" y POMA, mientras que en los sujetos sanos se obtuvieron mejoras significativas en los test "Up and Go", "Sit to Stand" y POMA. Concluyeron que el uso de plataformas de bajo coste dentro de los procesos de rehabilitación motora en este tipo de pacientes; mejora el equilibrio tanto a nivel estático, como dinámico.

Zijlstra et al <sup>66</sup>, validaron el rendimiento motor de pacientes con Enfermedad de Parkinson y sujetos sin ningún condicionante neurológico o musculoesquelético, ante eventos como pueden ser sentarse-levantarse y levantarse-sentarse. Esta evaluación se llevó a cabo gracias a un sensor de movimiento híbrido, que incorporaba acelerómetros y giroscopios, colocado en la espalda del paciente, junto con un nuevo algoritmo capaz de detectar dichos eventos. Concluyeron que gracias al manejo de su sistema, se pudieron detectar y analizar las acciones de "sentarse-levantarse", indicando que las rotaciones de tronco realizadas por los sujetos hacia

adelante, pueden ser usadas para identificar los movimientos posteriores, con la silla empleada en el experimento.

Clark et al <sup>67</sup>, testó la validez de los puntos de referencia anatómicos que proporciona Kinect™ durante la evaluación de diferentes test clínicos que analizan el control postural: el test de equilibrio unipodal, y el test de alcance anteroposterior y medio-lateral en bipedestación. Concluyeron que con el uso de este dispositivo se pueden evaluar estrategias cinemáticas del control postural, siendo una herramienta útil en las evaluaciones clínicas.

Kim et al <sup>68</sup>, analizaron los efectos de un programa basado en RV, a la hora de ejercitar la fuerza muscular de la cadera y el control del equilibrio, en un grupo de dieciocho ancianos. No contó con ningún tipo de supervisión. Para medir el control muscular se usó un dinamómetro y para valorar el control postural se hizo uso del dispositivo Kinect™. Finalmente para valorar la fuerza de reacción en el suelo, empleada por los ancianos, se utilizó una plataforma dinamométrica. Los resultados obtenidos mostraron incrementos significativos en la fuerza muscular de los extensores y abductores al finalizar el experimento, junto con incrementos significativos en el periodo de seguimiento a nivel de abductores y en el test de retroceso / cruce de pies. Concluyeron así, que un programa terapéutico basado en RV, es útil para incrementar la funcionalidad física en ancianos.

Nilsagard et al <sup>69</sup>, examinaron la efectividad de un entrenamiento compuesto de una serie de ejercicios basados en videojuegos comerciales de WBB, para pacientes con Esclerosis Múltiple. El experimento fue realizado durante doce sesiones, establecidas en seis o siete semanas, en un grupo de ochenta y cuatro pacientes. Los resultados que se obtuvieron mostraron una mejora moderada en el incremento del equilibrio.

Huurnink et al <sup>70</sup>, compararon el uso de la Wii Balance Board con una plataforma dinamométrica. Para realizar el experimento emplearon catorce sujetos sanos que realizaron diez series de ejercicios, en apoyo monopodal, con los ojos abiertos y los ojos

cerrados. Concluyeron que WBB es un instrumento suficientemente preciso para el análisis biomecánico de las tareas desarrolladas en apoyo monopodal.

En el presente estudio, se ha pretendido demostrar la efectividad de los dispositivos Wii™, a través de la interfaz Wii Balance Board, y Kinect™ de Xbox360, en la recuperación funcional de patologías que impliquen una afectación del Sistema Propioceptivo. Se ha planteado, además, la posibilidad de utilizar la WBB como herramienta de análisis y control evolutivo de dicho sistema. Todo ello, mediante el empleo de videojuegos comerciales; en un intento por alejarnos de la sectorización terapéutica y abriendo las puertas a la posibilidad de que el paciente pueda continuar con el tratamiento en su domicilio. Esto, contribuye en términos asistenciales, económicos y de promoción de la salud, respectivamente; a reducir las listas de espera, favorecer un importante ahorro en recursos sanitarios y evitar, entre otras cosas, recaídas o pérdidas funcionales tempranas motivadas por la falta de accesibilidad a las terapias.

Para la puesta en marcha de este trabajo, ha sido necesaria una laboriosa revisión y selección de aquellos videojuegos comerciales que mejor se acomodaban a las necesidades funcionales de los pacientes. Integrando, modificaciones de entorno propias, ya explicadas previamente, en el desarrollo de los mismos.

A *priori*, una de las limitaciones que puede presentar, es su reducido tamaño muestral. Sin embargo, y a pesar del mismo, los resultados obtenidos son estadísticamente significativos para todos los test empleados en la valoración de los 20 pacientes, antes y después del tratamiento. Pudiendo concluir así, que la hipótesis planteada se cumple.

Por otro lado, la interpretación aislada de cada una de estas pruebas, nos permite extraer datos muy interesantes:

- En el Test de proyección del CG sobre polígono de sustentación se observa una normalización en la ubicación del mismo, posterior al tratamiento, en todos los pacientes. Se

consigue una reeducación en la transferencia de carga sobre las extremidades inferiores aproximada al 50%.

- En el Test de la Estatua, los valores porcentuales postratamiento referentes al nivel de estabilidad del paciente, se incrementaron en todos los casos.
- En el Test de Equilibrio básico, la destreza y velocidad en el manejo de transferencia de cargas sobre las extremidades inferiores, que facilitan el hecho de poder "pasar de Ronda", fue superior al inicial en todos los pacientes.
- En el Test Dinámico de marcha, hubo cambios sustanciales en el análisis porcentual de carga que el paciente depositaba, de forma totalmente asimétrica sobre sus extremidades inferiores, en movimiento. Se consiguió normalizar, es decir, aproximar al 50% en 18 de los 20 pacientes, llegando a existir 2 casos en los que dicho patrón se invirtió. Es decir, el paciente otorgó un mayor grado de responsabilidad biomecánica a la extremidad afecta al concluir la terapia.
- En el Test en apoyo monopodal o de la "pata coja", mejoró el feedback perceptivo-cognitivo-motor, incidiendo de forma específica en la extremidad afecta. Se observó un aumento significativo en los valores obtenidos, y referentes al nivel de estabilidad del paciente, previos y posteriores al tratamiento.

Se prueba, de este modo, que la batería de test elegida, e incorporada en el videojuego Wii Fit Plus™, da cobertura diagnóstica a todos los aspectos de interés en el estudio de las alteraciones del Sistema propioceptivo. Permitiendo cuantificar de forma objetiva, lo que hasta el momento solo se podía llevar a cabo con sistemas de difícil acceso por su elevado coste (posturógrafos, plataformas dinamométricas...).

Destacable, también, la diferencia de edad existente entre los pacientes participantes; lo cual pone de manifiesto lo anteriormente comentado y en lo que este trabajo pretende redundar; "no existe una edad límite, sino un nivel cognitivo límite" para ser tratado mediante el empleo de videojuegos.

Se suma a esto, el nivel de satisfacción manifestado tanto por parte de los pacientes como de los fisioterapeutas que han colaborado en este estudio. Aspecto que facilitó el incremento del interés y los esfuerzos depositados, por unos y por otros.

Vemos así, como la posibilidad de interactuar con las máquinas mediante los movimientos de nuestro cuerpo, combinada con el ingenio, el saber hacer y la supervisión de los profesionales, habilita nuevas formas de llevar a cabo, y complementar, las terapias de rehabilitación clásicas dirigidas a la recuperación del Sistema Propioceptivo; incorporando, además, interesantes aspectos adicionales a diferentes niveles.

En primer lugar, la Rehabilitación se acerca más a la esfera del ocio del paciente, con el consiguiente beneficio en términos de motivación y constancia, llegando a introducir el tratamiento en su domicilio. En segundo lugar, en estos tiempos donde hay que agudizar el ingenio para reducir costes, ofrece un soporte barato para "innovar", tanto desde el punto de vista diagnóstico como terapéutico, frente a los caros y complejos equipos (posturógrafos, plataformas dinamométricas...) empleados hasta el momento, en los hospitales más aventajados

Este aspecto económico no solo se refiere a su precio asequible en estándares populares, o a la existencia de una gran variedad de juegos ya disponibles que pueden ser potencialmente empleados para ayudar a la rehabilitación, bajo la atenta mirada de ojos expertos, sino que también se refiere a la naturaleza más abierta de la propia tecnología. Las consolas, bajo el paraguas del mundo del software, están pensadas para que otros puedan desarrollar juegos, o programas multimedia, desde un punto de vista más general, que aprovechen las capacidades del equipo, convirtiéndose así en plataformas para dar forma a nuevas ideas. En definitiva, son los beneficios asociados a la democratización de la tecnología.



# Capítulo 8

## Conclusiones

Desde su nacimiento en 1972, las videoconsolas de sobremesa y los videojuegos, han suscitado un creciente interés como herramientas terapéuticas y diagnósticas, superando la estigmatización sufrida durante muchos años.

Este estudio demuestra la efectividad de los dispositivos Wii™, a través de la interfaz Wii Balance Board, y Kinect™ de Xbox360, en la recuperación funcional de patologías que impliquen una afectación del Sistema Propioceptivo, y pone de relevancia el valor diagnóstico de la WBB como herramienta para análisis y control evolutivo de dicho sistema.

El protocolo terapéutico diseñado, facilita la homogeneización de los tratamientos utilizados hasta el momento y permite la extrapolación de los mismos al ámbito domiciliario, con sus consecuentes e indiscutibles beneficios.

En definitiva, son muchos los argumentos positivos que este trabajo pone de manifiesto para respaldar la implementación en el mundo sanitario de estas tecnologías:

- Sencillez: Dirigidos por el dispositivo que elijamos como "ideal", estos tratamientos se muestran intuitivos y de desarrollo asequible para cualquier edad.
- Coste: Económicos, muy económicos, más aún si los comparamos con los instrumentos que hasta ahora se empleaban en nuestro terreno con los mismos objetivos.
- Diversión: Se supera la monotonía de las técnicas de Rehabilitación clásicas. Se incorpora de forma manifiesta el

factor motivación, “arma” de la que nos valemos para generar adherencia.

De este modo y sin despreciar los métodos convencionales de tratamiento y mostrándose como el complemento perfecto, dispositivos como Wii de Nintendo y Kinect de Microsoft, deben rellenar esos vacíos que hasta ahora existían en los procesos de recuperación funcional del Sistema Propioceptivo, incrementando la calidad de los mismos.

El planteamiento para futuras líneas de trabajo, es el de dirigir esfuerzos hacia otras patologías aún por explorar; como aquellas cursan con dishabilidad manual o alteraciones de la mímica facial. Esto se podría poner en marcha a través de videoconsolas de 8ª generación como Kinect 2.0, de Xbox One™, que ofrece notables mejoras en el reconocimiento corporal, sobre todo en el referido a la motricidad fina.

# Capítulo 9

## Consideraciones éticas

Investigación realizada teniendo en cuenta la siguiente normativa internacional:

### 9.1 CÓDIGO DE NÚREMBERG

#### 9.1.1 Experimentos médicos permitidos <sup>71</sup>

- 1) El consentimiento voluntario del sujeto humano es absolutamente esencial.
- 2) El experimento debe realizarse con la finalidad de obtener resultados fructíferos para el bien de la sociedad que no sean asequibles mediante otros métodos o medios de estudio, y no debe ser de naturaleza aleatoria o innecesaria.
- 4) El experimento debe ser conducido de manera tal que evite todo sufrimiento o daño innecesario físico o mental.
- 8) El experimento debe ser conducido únicamente por personas científicamente calificadas. En todas las fases del experimento se requiere la máxima precaución y capacidad técnica de los que lo dirigen o toman parte en el mismo.
- 9) Durante el curso del experimento el sujeto humano debe tener la libertad de poder finalizarlo si llega a un estado físico o mental en el que la continuación del experimento le parece imposible.

### 9.2 EL INFORME BELMONT

9.2.1 Principios éticos y orientaciones para la protección de sujetos humanos en la experimentación<sup>72</sup>.

Tres principios básicos, entre los generalmente aceptados, son particularmente relevantes para la ética de la investigación con humanos; ellos son: respeto por las personas, beneficio y justicia.

- Respeto a las personas: protegiendo la autonomía de todas las personas y tratándolas con cortesía, respeto y teniendo en cuenta el consentimiento informado.
- Beneficencia: maximizar los beneficios para el proyecto de investigación mientras se minimizan los riesgos para los sujetos de la investigación.
- Justicia: usar procedimientos razonables, no explotadores y bien considerados para asegurarse que se administran correctamente (en términos de costo-beneficio).

### 9.3 DECLARACIÓN DE HELSINKI. ASOCIACIÓN MÉDICA MUNDIAL (2008) 6.3.1 (59a Asamblea General de la WMA, Seúl, Octubre de 2008)

La investigación médica que involucre una población o comunidad vulnerable o en desventaja, se justifica solamente si la investigación se hace en respuesta a necesidades de salud y a las prioridades de esta población o comunidad y si existe una probabilidad razonable de que esta población o comunidad se pueda beneficiar de los resultados de la investigación.

### 9.4 DECLARACIÓN DE LA ASOCIACIÓN MÉDICA MUNDIAL SOBRE LA ÉTICA MÉDICA Y LA TECNOLOGÍA AVANZADA

Adoptada por la 53<sup>a</sup> Asamblea General de la AMM, Washington, octubre 2002 y enmendada por la 63a Asamblea General de la AMM, Bangkok, Tailandia, octubre 2012.

Es fundamental mantener un equilibrio entre los beneficios y los riesgos que representan para las personas el desarrollo y la aplicación de la tecnología médica avanzada. Esto está confiado a la opinión del médico.

Por lo tanto:

La tecnología médica debe utilizarse para promover la salud, el médico debe considerar la seguridad del paciente en el desarrollo y la aplicación de la misma.

A fin de guiar a los médicos capaces de prestar una atención médica apropiada, se debe tratar de asegurar la entrega de una educación médica completa, enfocada en un uso y desarrollo seguros de la tecnología médica.



# Bibliografía

1. Griffiths M. Video games and health. *BMJ* 2005 Jul 16;331(7509).
2. Primack BA, Carroll MV, McNamara M, Klem ML, King B, Rich M, Chan CW, Nayak S. Role of video games in improving health-related outcomes: a systematic review. *Am J Prev Med.* 2012 Jun;42(6):630-8.
3. Thompson D. Designing serious video games for health behavior change: current status and future directions. *J Diabetes Sci Technol.* 2012 Jul 1;6(4):807-11.
4. McCallum S. Gamification and serious games for personalized health. *Stud Health Technol Inform.* 2012;177:85-96.
5. Chan W, Qin J, Chui Y, Heng P. A Serious Game for Learning Ultrasound-Guided Needle Placement Skills. *IEEE Trans Inf Technol Biomed.* 2012 Jun 12.
6. Petrin P, Baggio E, Spisni R, Rulli F. Use of virtual reality simulator in the training of postgraduated surgical residents. *Ann Ital Chir.* 2006 Nov-Dec;77(6):465-8.
7. Graafland M, Schraagen JM, Schijven MP. Systematic review of serious games for medical education and surgical skills training. *Br J Surg.* 2012 Oct;99(10):1322-30.
8. Giannotti D, Patrizi G, Di Rocco G, Vestri AR, Semproni CP, Fiengo L, Pontone S, Palazzini G, Redler A. Play to Become a Surgeon: Impact of Nintendo® Wii™ Training on Laparoscopic Skills. *PLoS One.* 2013;8(2):e57372.
9. Peng W, Crouse JC, Lin JH. Using Active Video Games for Physical Activity Promotion: A Systematic Review of the Current State of Research. *Health Educ Behav.* 2012 Jul 6.
10. Guy S, Ratzki-Leewing A, Gwadry-Sridhar F. Moving beyond the stigma: systematic review of video games and their potential to combat obesity. *Int J Hypertens.* 2011;2011:179124.
11. Lyons EJ, Tate DF, Komoski SE, Carr PM, Ward DS. Novel approaches to obesity prevention: effects of game enjoyment and game type on energy expenditure in active video games. *J Diabetes Sci Technol.* 2012 Jul 1;6(4):839-48.
12. Sparks DA, Coughlin LM, Chase DM. Did too much Wii™ cause your patient's injury? *J Fam Pract.* 2011 Jul;60(7):404-9.
13. Brasington R. Nintendinitis. *New England Journal of Medicine* 1990; 322
14. Bonis J. Acute Wiitis. *N Engl J Med.* 2007 Jun 7;356(23):2431-2.

## BIBLIOGRAFÍA

15. Ortega, Octavio. Primera batalla de la séptima generación de consolas. Gameover.es .14 de diciembre de 2006.
16. Nintendo® hopes Wii™ spells Wiinner. USA Today. 15 de agosto de 2006.
17. Sanchanta, Mariko. Nintendo® President, Satoru Iwata, media briefing speech at E3 2006. Nintendo® Corporation.
18. González, David. Detalles sobre la conectividad DS-Wii™ y fecha para Opera DS. Meristation. 7 de junio de 2006.
19. 2006 Winners. The Game Critics Awards.
20. Wii™ Sports. Nintendo®.com.
21. Where's the Wii™mote? Using Kalman Filtering To Extract Accelerometer Data. Gamasutra.com.
22. Support.Nintendo®.com. Nintendo®.com.
23. Nintendo® Customer Service: Copy Data to an SD Card. Nintendo®.com.
24. Excite Truck. Nintendo®.com.
25. Block, Ryan. Wii™ retail details: markup and endcaps.7 de octubre de 2006. engadget.
26. Amy-Mae Elliott. Wii™ Zapper to launch across Europe. . pocket-lint. 30 de octubre de 2007.
27. Stay fit with Wii™ Balance Board. Console Watcher .12 de octubre de 2007.
28. Stay Fit with Nintendo® Wii™ Balance Board. Console Watcher. 12 de julio de 2007.
29. Alcázar, Pilar. Wii Fit® + Wii™ Balance Board. Hachette Filipacchi S.L.19 de noviembre de 2008.
30. Microsoft® Fully Unveils Kinect for Xbox™ 360 Controller-Free Game Device. Einnews.com.13 de junio de 2010.
31. "Project Natal" 101. Microsoft® (01-06-2009).
32. Seelen HA, Potten YJ, Huson A, Spaans F, Reulen JP. Impaired balance control in paraplegic subjects. J Electromyogr Kinesiol. 7. England1997. p. 149-60.
33. Llorens R, Colomer-Font C, Alcaniz M, Noe-Sebastian E. BioTrak virtual reality system: effectiveness and satisfaction analysis for balance rehabilitation in patients with brain injury. Neurologia: 2011 Sociedad Espanola de Neurologia. Published by Elsevier Espana; 2012.

34. Penasco-Martin B, de los Reyes-Guzman A, Gil-Agudo A, Bernal-Sahun A, Perez-Aguilar B, de la Pena-Gonzalez AI. [Application of virtual reality in the motor aspects of neurorehabilitation]. *Rev Neurol*. 51. Spain 2010. p. 481-8.
35. Kizony R, Raz L, Katz N, Weingarden H, Weiss PL. Video-capture virtual reality system for patients with paraplegic spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev*. 2005;42(5):595-608.
36. Monge Pereira E, Molina Rueda F, Alguacil Diego IM, Cano De La Cuerda R, De Mauro A, Miangolarra Page JC. Use of virtual reality systems as proprioception method in cerebral palsy: clinical practice guideline. *Neurologia: A 2011 Sociedad Espanola de Neurologia*. Published by Elsevier Espana; 2012.
37. Clark RA, Bryant AL, Pua Y, McCrory P, Bennell K, Hunt M. Validity and reliability of the Nintendo Wii Balance Board for assessment of standing balance. *Gait Posture*. 31. England: 2009 Elsevier B.V; 2010. p. 307-10.
38. Attarian DE, McCrackin HJ, DeVito DP, McElhaney JH, Garrett WE. Biomechanical characteristics of human ankle ligaments. *Foot Ankle* 1985; 6:54-8.
39. Freeman MA, Wyke B. Articular reflexes at the ankle joint: an electromyographic study of normal and abnormal influences of ankle-joint mechanoreceptors upon reflex activity in the leg muscles. *Br J Surg* 1967; 54 :990-1001.
40. Ogilvie-Harris DJ, Reed SC, Hedman TP. Disruption of the ankle syndesmosis: biomechanical study of the ligamentous restraints. *Arthroscopy* 1994; 10:558-60.
41. Eyring EJ, Guthrie WD. A surgical approach to the problem of severe lateral instability at the ankle. *Clin Orthop* 1986; 206:185-91.
42. Bonfills N, Gómez-Barrena E, Raygoza JJ, Nuñez A. Loss of neuromuscular control related to motion in the acutely ACL- injured knee: an experimental study. *Eur J Appl Physiol* 2008; 104:567-77.
43. Bonfim TR, Grossi DB, Paccola CA, Barela JA. Additional sensory information reduces body sway of individuals with anterior cruciate ligament injury. *Neurosci Lett* 2008; 441:257-60.
44. Inoue M, McGurk E, Hollis JM, Woo SLY. Treatment of the medial collateral ligament injury. *Am J Sports Med* 1987; 15:15-21.
45. Alm A, Ekstrom H, Gillquist J. The anterior cruciate ligament. *Acta Orthop Scand* (suppl) 1974; 445:3-49.
46. Baltaci G, Harput G, Haksever B, Ulusoy B, Ozer H. Comparison between Nintendo® Wii Fit® and conventional rehabilitation on functional performance outcomes after hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: prospective,

randomized, controlled, double-blind clinical trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012 Apr 29.

47. Bailey A, Audette JF. Complex regional pain syndrome. In: Frontera WR, Silver JK, Rizzo TD, eds. *Essentials of Physical Medicine and Rehabilitation.*

48. Marinus J, Moseley GL, Birkelein F, et al. Clinical features and pathophysiology of complex regional pain syndrome. *Lancet Neurol.*

49. Prosperini L, Fortuna D, Gianni C, Leonardi L, Marchetti MR, Pozzilli C. Home-Based Balance Training Using the Wii™ Balance Board: A Randomized, Crossover Pilot Study in Multiple Sclerosis. *Neurorehabil Neural Repair.* 2013 Mar 11.

50. Brichetto G, Spallarossa P, de Carvalho ML, Battaglia MA. The effect of Nintendo®(R) Wii™(R) on balance in people with multiple sclerosis: a pilot randomized control study. *Mult Scler.* 2013 Jan 15.

51. Nilsagård YE, Forsberg AS, von Koch L. Balance exercise for persons with multiple sclerosis using Wii™ games: a randomised, controlled multi-centre study. *Mult Scler.* 2013 Feb;19(2):209-16. doi: 10.1177/1352458512450088.

52. Deutsch JE, Brettler A, Smith C, Welsh J, John R, Guarrera-Bowlby P, Kafri M. Nintendo® Wii™ sports and Wii Fit® game analysis, validation, and application to stroke rehabilitation. *Top Stroke Rehabil.* 2011 Nov-Dec;18(6):701-19. doi: 10.1310/tsr1806-701.

53. Celinder D, Peoples H. Stroke patients' experiences with Wii™ Sports® during inpatient rehabilitation. *Scand J Occup*

*Ther.* 2012 Sep;19(5):457-63. doi: 10.3109/11038128.2012.655307.

54. Hijmans JM, Hale LA, Satherley JA, McMillan NJ, King MJ. Bilateral upper-limb rehabilitation after stroke using a movement-based game controller. *J Rehabil Res Dev.* 2011;48(8):1005-13.

55. Laver KE, George S, Thomas S, Deutsch JE, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011 Sep 7;(9):CD008349. doi: 10.1002/14651858.CD008349.pub2. Review.

56. Saposnik G, Teasell R, Mamdani M, Hall J, McIlroy W, Cheung D, Thorpe KE, Cohen LG, Bayley M; Stroke Outcome Research Canada (SORCan) Working Group. Effectiveness of virtual reality using Wii™ gaming technology in stroke rehabilitation: a pilot randomized clinical trial and proof of principle. *Stroke.* 2010 Jul;41(7):1477-84. doi: 10.1161/STROKEAHA.110.584979

57. Saposnik G, Mamdani M, Bayley M, Thorpe KE, Hall J, Cohen LG, Teasell R; EVREST Steering Committee; EVREST Study Group for the Stroke Outcome Research Canada Working Group. Effectiveness of Virtual Reality Exercises in Stroke Rehabilitation (EVREST): rationale, design, and protocol of a pilot randomized clinical

trial assessing the Wii™ gaming system. *Int J Stroke*. 2010 Feb;5(1):47-51. doi: 10.1111/j.1747-4949.2009.00404.x.

58. Laver K, Ratcliffe J, George S, Burgess L, Crotty M. Is the Nintendo® Wii Fit® really acceptable to older people? A discrete choice experiment. *BMC Geriatr*. 2011 Oct 20;11:64. doi: 10.1186/1471-2318-11-64.

59. Higgins HC, Horton JK, Hodgkinson BC, Muggleton SB. Lessons learned: Staff perceptions of the Nintendo® Wii™ as a health promotion tool within an aged-care and disability service. *Health Promot J Austr*. 2010 Dec;21(3):189-95.

60. Milgram, P. y Kishino, F.A.: "Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays". *Trans. Information and Systems* (1994), vol. E77-D(12): pags. 1321-1329.

61. Llorens, R., Albiol, S., Gil-Gomez, J.A., Alcañiz, M., Colomer, C. y No\_e, E.: "Balance rehabilitation using custom-made Wii Balance Board exercises: clinical effectiveness and maintenance of gains in acquired brain injury population". 9th Intl Conf. on Disability, Virtual Reality and Assoc. Technologies (ICDVRAT). 2012.

62. Albiol, S., Gil-Gómez, J.A., Alcañiz, M., Llorens, R. y Colomer, C.: "Use of the Wii balance board system in Vestibular Rehabilitation". XIII Congreso Internacional de Interacción Persona Ordenador. 2012: pags. 147-150.

63. Bateni, H.: "Changes in balance in older adults based on use of physical therapy vs the Wii Fit gaming system: a preliminary study". *Physiotherapy* (2012), vol. 98(3): pags. 211-216.

64. Ding, Q., Stevenson, I.H., Wang, N., Li, W., Sun, Y., Wang, Q., Kording, K. y Wei, K.: "Motion games improve balance control in stroke survivors: A preliminary study based on the principle of constraint-induced movement therapy". *Displays* (2012), vol.

65. Esculier, J.F., Vaudrin, J., Beriault, P., Gagnon, K. y Tremblay, L.E.: "Home-based balance training programme using Wii Fit with balance board for Parkinson's disease: A pilot study". *J Rehabil Med* (2012), vol. 44: pags. 144-150.

66. Zijlstra, A., Mancini, M., Lindemann, U., Chiari, L. y Zijlstra, W.: "Sit-stand and stand-sit transitions in older adults and patients with Parkinson's disease: event detection based on motion sensors versus force plates". *J Neuroeng Rehabil* (2012), vol. 9(75).

67. Clark, R.A., Pua, Y.H., Fortin, K., Ritchie, C., Webster, K.E., Denehy, L. y Bryant, A.L.: "Validity of the Microsoft Kinect for assessment of postural control". *Gait and Posture* (2012), vol. 36(3):pags. 372-377.

68. Kim, J., Son, J., Ko, N. y Yoon, B.: "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* (2012), vol.

## BIBLIOGRAFÍA

69. Nilsagard, Y.E., Forsberg, A.S. y Koch, L. von: "Balance exercise for persons with multiple sclerosis using Wii games: a randomised, controlled multicentre study". *Mult Scler* (2013), vol. 19(2):pags. 209-16.
70. Huurnink, A., Fransz, D.P., Kingma, I. y Dien, J.H. van: "Comparison of a laboratory grade force platform with a Nintendo Wii Balance Board on measurement of postural control in single-leg stance balance tasks". *Journal of Biomechanics* (2013), vol.
71. Tribunal Internacional de Núremberg. CÓDIGO DE NÚREMBERG. 1947.
72. Departamento de Salud EyBdIEU. Principios éticos y pautas para la protección de los seres humanos en la investigación. 1979.

