



Universidad de Granada

Facultad de Ciencias del Deporte

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

EFFECTO DE UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO BASADO EN FUERZA Y TAREAS DUALES SOBRE LA MARCHA, COORDINACION Y EQUILIBRIO EN PERSONAS CON ESCLEROSIS MÚLTIPLE.

TESIS DOCTORAL

CARMEN GUTIÉRREZ CRUZ

GRANADA 2019

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Carmen Gutiérrez Cruz
ISBN: 978-84-1306-371-3
URI: <http://hdl.handle.net/10481/58111>



Universidad de Granada

Facultad de Ciencias del Deporte

DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN. INVESTIGACIÓN EN
EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA.

EFFECTO DE UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO BASADO EN FUERZA Y TAREAS DUALES SOBRE LA MARCHA, COORDINACION Y EQUILIBRIO EN PERSONAS CON ESCLEROSIS MÚLTIPLE.

TESIS DOCTORAL

CARMEN GUTIÉRREZ CRUZ

Tesis Doctoral dirigida por:

DR. FRANCISCO JAVIER ROJAS RUIZ.

DR. JUAN CARLOS DE LA CRUZ MÁRQUEZ

RESUMEN

Introducción: La esclerosis múltiple es una enfermedad desmielinizante, crónica, inflamatoria y autoinmune que afecta a todo el sistema nervioso central (SNC), constituyendo la principal causa de discapacidad neurológica no traumática entre adultos jóvenes. La actividad física forma parte del programa neurorehabilitador de esta patología. A través de esta tesis se han determinado los efectos de un programa de entrenamiento combinado (PEC), basado en ejercicios de fuerza, equilibrio y actividades cognitivas concurrentes a las tareas motoras coordinativas (tareas duales), sobre la fuerza muscular, el equilibrio, los parámetros de eficacia de la marcha, el costo de las tareas duales en la marcha y el rendimiento de la tarea sit-to-stand, además de su efecto sobre la fatiga percibida y la calidad de vida.

Diseño: Se ha utilizado un ensayo controlado aleatorizado con grupo de control (GC) equivalente a al grupo de intervención (GI). Han participado un total de 32 personas diagnosticadas con esclerosis múltiple (14 hombres y 18 mujeres) que cumplían unos criterios concretos de inclusión. Mediante técnicas de estratificación y aleatorización, se asignaron 17 participantes al GI y 14 al GC. El GI realizó tres sesiones semanales de entrenamiento PEC durante 24 semanas, mientras que el GC siguió con su actividad diaria habitual. Al GI se le realizaron tres sesiones de registro: Antes de comenzar el entrenamiento (*Pre*), después de 12 semanas (*Pos*) y después de 24 semanas de entrenamiento (*Repos*). Al GC sólo se le realizaron los registros *Pre* y *Repos*.

Método: Para el análisis de la marcha se han utilizado técnicas fotogramétricas 3D, asociadas a un sistema específico de atención selectiva para la realización de las tareas duales concurrentes a la marcha. Para completar el estudio de la marcha se ha utilizado un pasillo de análisis de la pisada GAITRite. Para el registro de la fuerza estática se utilizó una plataforma de fuerza Dinascan/IBV, situada bajo a una torre de fuerza anclada al suelo y cuya barra horizontal permitía fijarse a los soportes con altura regulable con respecto a la talla de los participantes. Para el análisis de la tarea sit-to-stand, se ha utilizado una segunda plataforma de fuerza, suplementada con una tarima de madera para incrementar la superficie horizontal, sobre la cual se adaptó un asiento sin respaldo con altura regulable. Una cámara de vídeo JVC GC-PX100_{BE}, situada perpendicular al plano sagital, fue sincronizada temporalmente a la

plataforma de fuerza para obtener los registros cinamáticos. Para el registro de los parámetros estabilométricos se ha utilizado una tercera plataforma de fuerza Dinascan/IBV implementada con el sistema de valoración del test de Romberg. La evaluación de las variables cualitativas relacionadas con la percepción de la fatiga y la calidad de vida, se ha utilizado utilizando los cuestionarios de Fatigue Severity Scale (FSS) y WHOQOL-BREF, respectivamente.

Resultados: Se ha constatado que la aplicación del entrenamiento PEC durante 24 semanas en personas con EM mejora un 11% el pico máximo de fuerza estática (PMF) y un 36% su correspondiente ratio de desarrollo (RDF), así como una cierta mejora del 13% del equilibrio en general. Especialmente se ha constatado una mejora significativa un 33% en el coeficiente de Romberg con reducción somatosensorial (RGC-RGA), lo que evidencia la importancia que tiene la visión en el control de la postura cuando existe restricción de las aferencias somatosensoriales en las personas con EM. También se han constatado mejoras significativas en el rendimiento de la tarea de sit-to-stand. Así, después de 24 semanas de entrenamiento, la velocidad vertical del CG en el despegue del asiento se ha incrementado un 93%, debido el incremento del 42% del pico máximo la fuerza neta vertical y a una mayor coordinación de los impulsos. Aunque al entrenamiento no ha tenido un efecto significativo sobre la velocidad de desplazamiento del CG durante el ciclo de marcha, se ha constatado un cierto incremento significativo del 4.4% durante la base de apoyo bipodal, lo que se ha asociado a la mejora del equilibrio dinámico, la fuerza estática y el control postural. Con respecto al costo debido a las tareas duales, el entrenamiento PEC ha permitido reducir el costo de la longitud de paso en un 48% y un 54% en la velocidad de la marcha. Con respecto a las variables cualitativas, después de 24 semanas de entrenamiento, la fatiga percibida sólo se ha reducido un 6% y sobre la calidad de vida se sólo ha constatado una mejora significativa del 21% en el dominio de salud psicológica, estrechamente relacionada con problemas asociados a la depresión y ansiedad en personas con EM. Por último ha existido una escasa relación entre el nivel de discapacidad y los cambios debidos al entrenamiento, lo que nos permite constatar que el diseño del entrenamiento ha sido adecuado al nivel de discapacidad.

ÍNDICE GENERAL

0. ANTECEDENTES.	15
1. INTRODUCCIÓN.	23
1.1 Contextualización general del estudio.	23
1.1.1. Etiología y epidemiología de la esclerosis múltiple.	26
1.1.2. Clasificación y síntomas de la esclerosis múltiple.	27
1.1.3. Evaluación funcional y efecto de la esclerosis múltiple en las actividades de la vida diaria.	32
1.1.4. Cambios en la marcha debidos a la esclerosis múltiple.	35
1.2 Esclerosis múltiple y actividad física.	37
1.2.1. Origen de su prescripción.	37
1.2.2. Efecto de la actividad física en las personas con EM.	39
1.2.3. Programas de entrenamiento orientados a las personas con esclerosis múltiple.	42
1.3. Déficit cognitivo en la esclerosis múltiple: El paradigma de las tareas duales.	47
1.3.1. Tareas duales: Concepto y clasificación	48
1.3.2. Causas del déficit motor debido a las tareas duales.	50
1.3.3. Los programas de intervención basados en tareas duales.	53
1.3.4. Efecto de las tareas duales en la marcha de las personas con esclerosis múltiple.	54
1.4. Los programas de entrenamiento combinado.	58
1.5. Objetivos generales y específicos.	60
1.6. Hipótesis	62
2. MÉTODO	65
2.1. Diseño del estudio.	65
2.2. Participantes.	68
2.3. Variable independiente: El programa de entrenamiento.	69

2.3.1. Distribución y organización general de las sesiones.	69
2.3.2. Estructura básica del programa de entrenamiento.	70
2.3.3. Adaptaciones del programa al nivel de discapacidad.	74
2.4. Equipos y técnicas de registro.	75
2.4.1. Evaluaciones previas.	76
2.4.2. Equipos y técnicas de registro para el análisis de la marcha.	77
2.4.3. Sistemas de registro del equilibrio.	80
2.4.4. Equipos y sistemas para el registro de la fuerza estática.	81
2.4.5. Sistemas de registro para el análisis de la tarea Sit-to-Stand.	82
2.5. Procedimientos y Variables Dependientes.	83
2.5.1. Análisis de la marcha y procedimientos.	83
2.5.1.1. <i>Análisis temporal del ciclo de marcha (TCM).</i>	83
2.5.1.2. <i>Procedimientos e instrucciones dadas a los participantes.</i>	86
2.5.1.3. <i>Análisis de datos.</i>	87
2.5.2. Procedimientos para el registro de la fuerza estática.	89
2.5.3. Procedimientos para el análisis del equilibrio.	90
2.5.4. Procedimientos para el análisis de la tarea Sit-to-Stand.	92
2.5.4.1. <i>Análisis temporal de la tarea Sit-to-Stand.</i>	92
2.5.4.2. <i>Procedimientos e instrucciones dadas a los participantes.</i>	93
2.5.4.3. <i>Análisis de datos.</i>	94
2.6. Análisis estadístico.	95
3. RESULTADOS	97
3.1. Diferencias entre grupos antes de la intervención.	97
3.1.1. Diferencias entre grupos para las variables relativas a la marcha.	98
3.1.2. Diferencias entre grupos para la fuerza estática.	100
3.1.3. Diferencias entre grupos para las variables estabilométricas.	102
3.1.4. Diferencias entre grupos para la tarea Sit-to-Stand.	103
3.1.5. Datos cualitativos entre grupos para la fatiga percibida y calidad de vida.	104
3.2. Estudio de evolución del grupo de control.	105
3.2.1. Desarrollo de las variables relacionadas con la marcha normal y el costo debido a la marcha normal.	106
3.2.2. Cambios en la fuerza estática.	109
3.2.3. Cambios producidos en las variables estabilométricas	110
3.2.4. Desarrollo de las variables relacionadas con la tarea Sit-to-Stand.	111
3.2.5. Percepción de la fatiga y calidad de vida en el grupo de control.	112

3.3. Cambios producidos en el grupo de intervención.	114
3.3.1. Resultados de las variables relacionadas con la eficacia de la marcha normal.	114
3.3.2. Resultados del costo debido a las tareas cognitivas concurrentes a la marcha.	119
3.3.3. Variables relacionadas con la fuerza estática.	121
3.3.4. Variables estabilométricas para la evaluación del equilibrio.	123
3.3.5. Factores de eficacia relacionados con la tarea Sit-to-Stand.	124
3.3.6. Variables cualitativas sobre la fatiga percibida y calidad de vida.	128
4. DISCUSIÓN	131
4.1. Efecto del programa de entrenamiento combinado (PEC) sobre la fuerza estática.	133
4.2. Efecto del PEC sobre las variables estabilométricas.	136
4.3. Efecto del PEC sobre los factores de eficacia de la marcha normal.	141
4.4. Efecto del PEC en el costo de las tareas cognitivas concurrentes a la marcha.	147
4.5. Efecto del PEC en los factores de eficacia de la tarea Sit-to-Stand.	158
4.6. Efecto del PEC sobre las variables cualitativas relacionadas con la fatiga percibida y calidad de vida	165
5.- CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO.	169
5.1. Conclusiones.	169
5.2. Limitaciones y perspectivas de futuro.	175
5.2.1. Limitaciones y propuestas asociadas a la muestra.	176
5.2.2. Limitaciones y propuestas asociadas a los procedimientos y sistemas de registro.	176
5.2.3. Perspectivas de investigación derivadas del conocimiento adquirido.	177
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	179
7. ANEXOS	205

ANEXO I: Programa detallado del entrenamiento combinado (PEC).	205
ANEXO II: Cuestionario de calidad de vida <i>WHOQOL- BREF</i> .	207
ANEXO III: Escala de Severidad de la fatiga (FSS).	213
ANEXO IV: Publicaciones derivadas de la tesis doctoral.	215

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Características significativas de los participantes con EM	69
Tabla 2.- Fundamentos metodológicos básicos del entrenamiento combinado	75
Tabla 3.- Descripción de los dominios relacionados con el test WHOQOL-BREF.	77
Tabla 4.- Estadística descriptiva e inferencial del grupo de Intervención y Control, sobre las variables más significativas del ciclo de marcha.	98
Tabla 5.- Estadística descriptiva e inferencial entre grupos para las variables registradas con el sistema GAITRide.	100
Tabla 6.- Estadística descriptiva e inferencial entre grupos para el pico máximo de fuerza estática (PMF) y su correspondiente ratio de desarrollo (RDF).	101
Tabla 7.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables estabilométricas para los dos grupos (G. Inter. y G. Control).	102
Tabla 8.- Estadística descriptiva e inferencial del grupo de Intervención y Control, sobre las variables más significativas de la tarea Sit-to-Stand.	103
Tabla 9.- Estadística descriptiva e inferencial de las puntuaciones de los cuatro dominios utilizados por el cuestionario Whoqol-Bref para el grupo de intervención y control.	105
Tabla 10.- Estadística descriptiva e inferencial de las dos evaluaciones realizadas al grupo de control (Pre y Re-post), relacionadas con las variables más significativas para el análisis del ciclo de marcha.	107
Tabla 11.- Estadística descriptiva e inferencial del grupo control de las variables registradas para trece pasos consecutivos en las dos evaluaciones (Pre y Re-post).	108
Tabla 12.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables relacionadas con la fuerza estática, para las dos evaluaciones realizadas al grupo de control (Pre y Re-post).	109
Tabla 13.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables estabilométricas para las dos evaluaciones realizada al grupo de control (Pre y Re-post).	111
Tabla 14.- Estadística descriptiva e inferencial del grupo control de las variables registradas para el análisis de la tarea Sit-to-Stan en las dos evaluaciones (Pre y Re-post).	112
Tabla 15.- Estadística descriptiva e inferencial de las puntuaciones de los cuatro dominios correspondientes a la calidad de vida para las dos evaluaciones realizadas al grupo de control.	113
Tabla 16.- Estadística descriptiva e inferencial de las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención, relacionadas con las variables más significativas del ciclo de marcha.	115

Tabla 17.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables espaciales de la marcha para las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención (Pre, Post y Re-post).	116
Tabla 18.- Estadística descriptiva e inferencial de las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención para las variables relacionadas con la velocidad del CG durante el ciclo de marcha.	118
Tabla 19.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables registradas con el pasillo de marcha GAITRite, para las evaluaciones realizadas (Pre, Post y Re-post).	119
Tabla 20.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables relacionadas con el costo debido a las tareas cognitivas concurrentes a la marcha, para las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención (Pre, Post y Re-post).	120
Tabla 21.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables seleccionadas para la evaluación de la fuerza estática para las tres evaluaciones realizadas al grupo de control (Pre, Post y Re-post).	122
Tabla 22.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables estabilométricas para las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención.	123
Tabla 23.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables relacionadas con la fuerza desarrollada durante la realización de la tarea Sit-to-stand para las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención.	124
Tabla 24.- Estadística descriptiva e inferencial para el grupo de intervención de las variables registradas para el análisis temporal de la tarea Sit-to-Stand.	126
Tabla 25.- Estadística descriptiva e inferencial para el grupo de intervención de las variables registradas para el análisis de la tarea STS.	127
Tabla 26.- Estadística descriptiva e inferencial de las puntuaciones registradas en el test Fatigue Severity Scale (FSS), relativas al esfuerzo percibido por el grupo de intervención en las tres evaluaciones realizadas (Pre, Post y Re-post)	128
Tabla 27.- Estadística descriptiva e inferencial de las puntuaciones de los cuatro dominios correspondientes a la calidad de vida para las evaluaciones realizadas al grupo de intervención (Pre, Post y Re-post).	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Ilustración de la diferencia entre mielina envolviendo el axón neuronal sano o dañado.	24
Figura 2.- Placas de la pérdida de mielina en resonancia magnética.	25
Figura 3.- Distribución mundial de esclerosis múltiple	27
Figura 4.- Tipos de esclerosis múltiple	29
Figura 5.- Escala de discapacidad funcional	33
Figura 6.- Ilustración del filtro atencional rígido	51
Figura 7.- Ilustración de las dos corrientes visuales	52
Figura 8.- Esquema general del diseño: Estrategia de distribución de los participantes en grupos, temporalidad, variable independiente (intervención) y variables dependientes (test).	67
Figura 9.- Ejemplo de un ejercicio orientado hacia la mejora de la fuerza dinámica general con autocargas utilizando TRX.	71
Figura 10.- Ejemplo de un ejercicio orientado hacia la mejora de la fuerza dinámica general resistida utilizando balón medicinal, bandas elásticas o mancuernas.	72
Figura 11.- Ejemplo de una actividad dual en carrera sobre tapiz rodante	73
Figura 12.- Ejemplo de una actividad dual sobre plataforma inestable.	74
Figura 13.- Pasillo electrónico (GAITRite system; Clifton, NJ, USA) utilizado en el estudio.	79
Figura 14.- Imagen del sistema de atención selectiva y disposición de los equipos con respecto al pasillo de marcha (GAITRite system; Clifton, NJ, USA).	80
Figura 15.- Sistemas de registro utilizados para el análisis del equilibrio.	81
Figura 16.- Esquema simplificado para la evaluación de la fuerza estática máxima	81
Figura 17.- Sistema de registro utilizado para el análisis de la tarea Sit-to-Stand.	82
Figura 18.- Eventos y periodos temporales del ciclo de marcha.	84
Figura 19.- Ilustración de las variables espaciales más significativas del ciclo de marcha.	86
Figura 20.- Esquema de los equipos de registro y su posición con respecto al sentido de marcha.	87
Figura 21.- Ejemplo del procedimiento de fuerza estática y representación gráfica del análisis del registro de fuerza vertical.	90
Figura 22.- Ejemplo del procedimiento test de Romberg	91
Figura 23.- Representación gráfica de los periodos temporales definidos para la tarea STS....	93
Figura 24.- Ejemplo del procedimiento de fuerza dinámica.	94
Figura 25.- Representación gráfica simplificada de los datos de tendencia central presentados en la tabla 4.	101

Figura 26.- Representación gráfica para las puntuaciones medias obtenidas en el test de fatiga percibida (FSS) por el grupo de intervención y el grupo de control.	104
Figura 27.- Representación gráfica simplificada de los datos de tendencia central presentados en la tabla 12.	110
Figura 28.- Representación gráfica de las puntuaciones medias obtenidas en el test de esfuerzo percibido (FSS) por el grupo de control en las dos evaluaciones (Pre y Post).	113
Figura 29.- Representación gráfica de las variables seleccionadas para la fuerza estática en las evaluaciones realizadas al grupo de intervención (Pre, Post y Re-post).	122
Figura 30.- Representación gráfica de las variables seleccionadas para la evaluación de la fuerza dinámica durante la tarea Sit-to.stand, en las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención (Pre, Post y Re-post).	125
Figura 31.- Representación gráfica de las puntuaciones medias obtenidas en el test de esfuerzo percibido (FSS) por el grupo de intervención en las tres evaluaciones realizadas (Pre, Post y Re-post).	128
Figura 32.- Representación gráfica de los registros medios de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post) para el pico máximo de fuerza estática vertical ($PMF_{(Z)}$) y su correspondiente ratio de desarrollo de fuerza ($RDF_{(Z)}$).	134
Figura 33.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad registrado mediante escala EDSS y el pico máximo de fuerza vertical ($PMF_{(Z)}$) normalizado con respecto al peso corporal.	135
Figura 34.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad EDSS y el incrementos del pico máximo de fuerza vertical ($\Delta PMF_{(Z)}$) normalizado con respecto al peso corporal.	136
Figura 35.- Representación gráfica de los valores medios del índice de Romberg con reducción somatosensorial (RGC-RGA) de las tres variables estabilométricas ($L_{(CP)TOTAL}$, $AP_{(CP)}$, $ML_{(CP)}$), para las evaluaciones realizadas (Pre, Post y Re-post) a dos grupos (G. Intervención y G. Control).	138
Figura 36.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad EDSS y los cambios producidos en las variables registradas para la situación RGC después de 24 semanas de entrenamiento.	140
Figura 37.- Representación gráfica de los registros medios de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post) para la longitud media de paso para los dos grupos (Intervención y control).	143
Figura 38.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad registrado mediante escala EDSS y el tiempo, la longitud y velocidad media del ciclo de marcha	145

Figura 39.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad EDSS y los cambios producidos en el tiempo, longitud y velocidad media del ciclo de marcha.	147
Figura 40.- Representación gráfica del costo debido a tareas duales (DTC%) para el Tiempo de ciclo de marcha, y las fases que lo determinan (t. Apoyo Bipodal y Monopodal) en la evaluación previa (Pre, para los dos grupos).	150
Figura 41.- Representación gráfica del costo debido a tareas duales (DTC%) para la Longitud de paso y Velocidad de CG, en la evaluación previa para los dos grupos (Pre).	151
Figura 42.- Representación gráfica de los registros medios de las tres evaluaciones (Pre, Post y Repost) para los costos del tiempo de ciclo, la longitud de paso y velocidad de ciclo ($DTC\%-t_{\text{CICLO DE MARCHA}}$, $DTC\%-LONGITUD PASO$ y $DTC\%-V_{CG \text{ CICLO}}$, respectivamente).	152
Figura 43.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad registrado mediante escala EDSS y los costos relacionados con el tiempo de ciclo, la longitud de paso y velocidad de ciclo ($DTC\%-t_{\text{CICLO DE MARCHA}}$, $DTC\%-LONGITUD PASO$ y $DTC\%-V_{CG \text{ CICLO}}$, respectivamente).	155
Figura 44.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad EDSS y los incrementos en los costos relacionados con el tiempo de ciclo, la longitud de paso y velocidad de ciclo ($\Delta DTC\%-t_{\text{CICLO DE MARCHA}}$, $\Delta DTC\%-LONGITUD PASO$ y $\Delta DTC\%-V_{CG \text{ CICLO}}$, respectivamente).	157
Figura 45.- Representación gráfica de los registros medios de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post) para el pico máximo de fuerza neta horizontal ($PMF_{N(Y)}$) para los dos grupos (Intervención y control)	159
Figura 46.- Representación gráfica de los registros medios de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post) para las dos fases temporales en que se ha dividido la tarea sit-to-stand ($t_{\text{Despegue asiento}}$ y $t_{\text{post despegue}}$), para los dos grupos (Intervención y control)	160
Figura 47.- Representación gráfica de los registros medios de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post) de la velocidad vertical del CG en el instante de despegue del asiento ($v_{CG(Z)} \text{ DESPEGUE ASIENTO}$), para los dos grupos (Intervención y control)	161
Figura 48.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad registrado mediante escala EDSS y el pico máximo de fuerza vertical conseguido durante la tarea sit-to-stand ($PMF_{(Z)}$) normalizado con respecto al peso corporal.	163
Figura 49.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad registrado mediante escala EDSS y los tiempos empleados en las dos fases de la tarea sit-to-stand: Tiempo de despegue (superior) y post despegue (inferior).	164
Figura 50.- Representación gráfica de la puntuación media de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post) para la percepción de la fatiga para los dos grupos (Intervención y control)	165

Figura 51.- Representación gráfica de la puntuación media de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post) para el dominio psicológico de calidad de vida para los dos grupos (Intervención y control)

167



0. ANTECEDENTES

0. ANTECEDENTES

El origen de esta tesis surge por motivos personales e interés por el ámbito general que relaciona la actividad física con la discapacidad, una motivación que, sin lugar a dudas, ha estado influenciada por un entorno familiar donde la discapacidad siempre ha estado presente a través de mi hermana, además de ser una de mis motivaciones y ámbito de especialización durante la carrera, realizando las practicas con personas con discapacidad intelectual con el objetivo claro de ser útil para las personas con discapacidad a través del impulso de la actividad física como medio de mejora de calidad de vida, un medio que empieza a estar en auge en la sociedad pero que aún le queda mucho por potenciar.

Aunque la experiencia constituye un factor motivacional relevante, el conocimiento científico supone la explicación causal de parte de esas experiencias y, en consecuencia, el complemento necesario para enfrentarse a los problemas. Manteniendo la discapacidad como referencia motivacional, ha sido esa compleja dualidad entre una orientación profesional basada en la experiencia y la formación científica a través de la investigación, la que ha motivado mis decisiones, lo que espero poner de manifiesto en esta tesis doctoral.

Ante esta dicotomía personal entre la formación profesional e investigadora, después de finalizar la licenciatura de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, realicé dos másteres: Uno de ellos en la Universidad Autónoma de Madrid, orientado hacia el ámbito práctico y profesional: *Máster en actividad físico- deportiva en personas con discapacidad e integración social* y un segundo máster orientado hacia la formación científica e investigadora, realizado en la U. Rey Juan Carlos: *Máster en Neurocontrol motor*.

Mi primera aproximación a la esclerosis múltiple (EM) la tengo durante las prácticas del primero de los másteres, el que hace referencia al ámbito profesionalizante. Dichas prácticas las realizo en la Asociación de Esclerosis Múltiple de Toledo actuando como apoyo a un proyecto de actuación dirigido por la profesora D^{ña}: Nuria Mendoza Láiz de la Universidad de Castilla-La Mancha, especializada en el ámbito de la discapacidad. El trabajo fin de Master (TFM) fue dirigido por el profesor D. Hernán Ariel Villagra Astudillo, de la Universidad Autónoma de Madrid, donde se describen programas de

actividad física adaptados al nivel de discapacidad de las personas con EM, desarrollado en la Asociación de Esclerosis Múltiple de Toledo. Este trabajo obtuvo la calificación de sobresaliente y fue seleccionado por la Editorial de la Universidad Autónoma de Madrid para su publicación en el libro: “*Colección de Trabajos Fin de Máster de la Universidad Autónoma de Madrid*” (programas: 2014-2015), dónde se publican los tres mejores trabajos de los másteres ofertados por dicha universidad. A continuación se presenta la referencia y el resumen de dicha publicación:

Gutiérrez- Cruz, C. (2015). “*Programa de actividad física orientado hacia la mejora de calidad de vida de las personas con esclerosis múltiple en la Asociación ADEMTO de Toledo*”. En: Másteres de la Universidad Autónoma de Madrid (pp.: 2014-2015). Madrid, UAM Ediciones.

- Está claro que vivimos en una sociedad elitista, condicionada por multitud de estereotipos en los que se considera signo de salud y “normalidad” ciertas medidas físicas o ciertos comportamientos en público. Cada vez más se habla de inclusión, diversidad y parece, a modo general, que las tendencias cambien un poco a favor de creer en las personas y no en “clones”, pero ¿hasta qué punto esto es verdad? ¿dónde está la realidad de personas que tienen que vivir con una enfermedad que cada vez les limita más su condición física?. No ha sido hasta mi experiencia en prácticas, cuando he podido convivir con personas con esclerosis múltiple, una enfermedad desmielinizante que afecta al sistema nervioso central, disminuyendo la transmisión neurológica debido a la pérdida progresiva de mielina, siendo la enfermedad más frecuente de discapacidad no traumática en adultos jóvenes y de mediana edad.

Mi experiencia no ha podido ser más completa, no sólo me ha hecho crecer académicamente sino que me ha hecho crecer como persona. Empiezas a entender qué son realmente problemas y la importancia de las personas que te rodean y te apoyan cada día incondicionalmente, como suele ser la familia o amigos, empiezas a apreciar lo que tienes y de qué forma lo sueles afrontar en la vida. Éstas maravillosas personas, me han enseñado lo que realmente significan palabras muchas veces de diccionario, como “fortaleza”, “humildad”, “agradecimiento”, “paciencia”, “comprensión”, “constancia” u “optimismo”...

Durante mis practicas entendí, a través de todo el análisis cualitativo que se desarrollará a lo largo del presente trabajo que, en ocasiones, los problemas no son únicamente físicos, sino de trato con personas, entorno, vida social, que a veces solemos dejarlo algo apartado, pensando que, si éstas personas, mejoran físicamente su vida será más satisfactoria, pero, la realidad está en que a veces, no es suficiente, y una “mirada indiscreta” por la calle puede empezar a aislar a estas personas de la vida social que llevaban y limitarlas psicológicamente, disminuyendo cada vez más la diversidad en su entorno, ya sea por limitaciones arquitectónicas como sociales, creando, en muchas ocasiones, inevitablemente, rutinas en su vida diaria.

Según las consideraciones expuestas, la finalidad, de este trabajo, estará orientada, ya no sólo a una mejora física, que sin duda siempre es mejorable, sino a un cambio de mentalidad, en el que exista un mayor intercambio de relaciones sociales con otras personas ajenas a la propia enfermedad o a la propia Asociación, donde he desarrollado mis prácticas. Se pretende por así decirlo, acercar corazones, sentimientos y relaciones a una sociedad cada vez más impersonal y estereotipada. No he encontrado otra forma de lograr resumir la elaboración del presente trabajo sin ser de otro modo, que con el corazón.

El segundo de los másteres, el que hace referencia al ámbito investigador, me permite continuar actuando con las personas con esclerosis múltiple, ahora planteando problemas científicos y tratando de dar explicación a ellos. Así, teniendo como tutor al profesor D.: Juan Carlos Miangolarra Page, presentamos un TFM donde se trataba de comprobar el efecto que podrían tener tareas cognitivas atencionales sobre los parámetros de eficacia de la marcha en personas con EM, un trabajo que fue calificado con sobresaliente y más tarde publicado en la prestigiosa revista *Gait & Posture*. A continuación se presenta la referencia y el resumen de dicha publicación:

Gutiérrez-Cruz, C., Miangolarra, J.C., & Rojas, F.J. (2016). Effect of dual-task-induced uncertainty on gait biomechanics in patients with multiple sclerosis with 2-6.5 EDSS grade. *Gait and Posture*, 49,30-35.

ABSTRACT

- The goal of this study was to assess the effect that uncertainty induced by dual task conditions has on reaction-response time parameters and gait patterns of patients with multiple sclerosis (MS) with a 2– 6.5 EDSS grade. The study involved eleven patients – nine women and two men – diagnosed with multiple sclerosis (age, 48 ± 10 years; height, 1.65 ± 0.1 m; weight, 72 ± 22 kg) with capacity to walk five meters without any aid or assistance. We employed an intra-group repeated measures design. Each participant was asked to walk with and without task-related uncertainty. Reaction-response and gait cycle times, as well as center of mass (CM) dynamics were measured using three force plates synchronized with a video camera through an electronic device that also controlled the system of uncertainty. The results obtained reveal that uncertainty induced by dual tasking is related to a reduction in the mean stride length and mean displacement and horizontal velocity of the CM in patients with MS. The values obtained for CM parameters indicate that uncertainty affects balance, as compared to nouncertainty situations. These results confirm the necessity of including controlled dual-task-induced uncertainty in physical training programs for MS patients.

El programa de doctorado lo realizo en la Universidad de Granada con la coordinación de los profesores D.: Javier Rojas Ruiz y D.: Juan Carlos de la Cruz Márquez y haciéndolo compatible con mi trabajo como psicomotricista en la Fundación Purísima Concepción con personas con discapacidad intelectual y salud mental.

El proyecto de investigación que se presenta para el desarrollo del programa de doctorado mantiene como objeto de estudio la Esclerosis Múltiple, lo que se aborda mediante un plan de actuación coherente con la investigación desarrollada durante el Máster de la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid. Éste trabajo se adapta y presenta como proyecto siendo aceptado y financiado a través de la convocatoria pública de I+D+I del Ministerio de Educación y Ciencia, lo que facilita mi participación en el proyecto a través de una contratación a tiempo parcial. A continuación se presenta el título y referencia del proyecto financiado:

- *Plan de ejercicio físico basado en tareas duales en personas con esclerosis múltiple: Una propuesta de evaluación integral, intervención individualizada y riesgos.* (DEP2016-75460-R).

Los resultados obtenidos en el TFM y publicados en la revista *Gait & Posture* constatan la existencia de un costo debido a la doble tarea sobre los parámetros de eficacia de la marcha en las personas con EM. Sin embargo, investigaciones precedentes también han podido constatar un costo similar en personas libres de patologías. En consecuencia, nuestro primer objetivo ha sido identificar la existencia de un posible costo específico de las personas con EM debido a las tareas duales y relacionarlo con el nivel de discapacidad. Para abordar este objetivo se han realizado dos investigaciones cuyos resultados han sido publicados o están en curso de publicación en las revistas: *European Journal of Human Movement* y *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. A continuación se presenta la referencia y el resumen de dichas publicaciones:

Gutiérrez-Cruz, C., Rojas, F.J., de la Cruz, J.C. y Gutiérrez-Dávila, M. (2018). Effects of concurrent discrimination tasks on gait in healthy subjects. *European Journal of Human Movement*, 40, 1-14

ABSTRACT

- The objective of this study was to determine the cost of performing a concurrent discrimination and decision-making task (dual-task cost, DTC) while walking to gait kinematics and dynamic stability. The study included 28 healthy young adults without any motor and/or cognitive disorder. An intra-group repeated measures design was applied. Participants were instructed to walk either under normal conditions or while performing an executive task. The executive tasks involved discriminating the color of the lights of two traffic lights and stopping as rapidly as possible when the traffic lights turned red simultaneously. A kinematic analysis of the gait cycle was performed by 3D photogrammetry. Gait cadence and step variability were measured using the GAITRite® treadmill. The results obtained confirm that the duration of single-support during the two steps of the gait cycle tends to decrease in dual task conditions. An especial impact was observed on step length, which explained the 2% reduction in the velocity of displacement of the

center of mass. Variability in step time and length increased with dual tasking. No differences were found among dynamic stability factors. We propose using a DTC differential for subjects with motor and/or cognitive disorders as compared to healthy individuals.

Gutiérrez-Cruz, C., Rojas, F.J., de la Cruz, J.C. y Gutiérrez-Dávila, M. (2018). Dual-task cost of discrimination tasks during gait in patients with multiple sclerosis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, (Aceptado el 1/07/2019).

ABSTRACT

- *Purpose:* The objective of this study was to assess dual-task cost to spatio-temporal parameters of gait in a group of patients with multiple sclerosis (MS) and a matched group. *Method:* The MS group was composed of 17 patients with a diagnosis of MS and an EDSS score < 6. A total of 17 healthy subjects were allocated to the Control Group by stratification. Controls were matched on the basis of age, sex, sociocultural habits and body structure. The cost of dual tasking was determined by within-group repeated-measures ANOVA. Subjects were instructed to ambulate under normal conditions and while performing a concurrent discrimination and decision-making task. Then, between-group ANOVA was used to compare differences between the mean cost for each group and determine dual-task cost differential. Testing was performed using 3-D photogrammetry and an electronic walkway. *Results:* Single-task results indicate that gait speed is lower in MS subjects. Decreased speed is due to a shorter step length and increased swing time. *Conclusions:* Based on dual-task cost differential, a mean decrease of 6.3% was observed in gait speed due to MS-induced impairment. Swing phase was longer in MS subjects. Increased gait cycle duration might be the result of compensatory mechanisms adopted to maintain stability while walking.

Los resultados de estas dos investigaciones indican la existencia de un cierto costo debido a las tareas duales que estaría inducido por la propia enfermedad, lo que nos reforzó la idea de incorporar al programa de intervención de las personas con EM ejercicios basados en tareas duales.

Un razonamiento similar nos planteamos con la fuerza. Aunque las investigaciones precedentes indican la existencia de un déficit de fuerza específico de la EM, nos cuestionamos la posibilidad de que este déficit también pueda darse en personas libres de patologías, lo que nos motivó a realizar una investigación que nos permitiera constatar el nivel de fuerza dinámica durante la tarea sit-to-stand en grupos equivalentes de personas con EM y libres de patologías. A continuación se presenta la referencia y el resumen de dicha publicación:

Gutiérrez-Cruz, C., de la Cruz, J.C., Rojas, F.J. y Gutiérrez-Dávila, M. (2019). Effects of deficit of strength in the sit-to-stand task in people with multiple sclerosis, *European Journal of Human Movement*, 42, 1-14

ABSTRACT

- *Objective:* To assess how the deficit of static strength associated with neurological and functional alterations caused by multiple sclerosis (MS) affects sit-to-stand (STS) performance. *Design:* A comparative analysis of STS performance was conducted in four groups. *Participants:* 20 persons with MS, with an EDSS score <6.5, were divided into two groups based on sex and static strength of leg extensor muscles. Twenty healthy controls were allocated to another two groups based on the same criteria. *Methods:* STS performance was assessed by measuring ground reaction forces and 2D photogrammetry. *Results:* Participants with MS exhibited similar static strength that control groups, only in those persons with higher Expanded Disability Status Scale the deficit was higher. However, MS groups show lower dynamic strength during muscle extension in the STS task. This effect could be related to other alterations associated with MS such as postural control and coordination impairment. The MS sample with deficit of static strength took longer to perform the STS task ($p<0.001$), being the deceleration period the one that most contributed to delay ($p<0.001$). *Conclusions:* Although the static force is similar between groups with MS vs Controls groups, performance of the STS task is altered by dynamic strength weakness and postural control and coordination factors that are related with the level of disability reported by MS through the EDSS scale.

Según la coherencia investigadora que se deriva de los antecedentes expuestos, parece razonable pensar que este programa de doctorado habría sido diseñado para finalizar con una Tesis Doctoral presentada por compendio de artículos. Lo cierto es que fue una de las opciones, cuyos argumentos más favorables estaban relacionados con la operatividad y el esfuerzo al reutilizar las publicaciones que necesariamente genera toda tesis. Sin embargo, se optó por un formato considerado como “clásico” debido a tres razones fundamentales:

- a) La complejidad metodológica y las distintas técnicas de registro utilizadas para abordar los problemas que se presentan en cada una de las publicaciones, crearía serias dificultades para abordar una exposición oral clara y precisa, especialmente cuando el tiempo es limitado.
- b) Como se desprende de lo expuesto en los párrafos precedentes, el diseño de este proyecto parte de una dualidad formativa donde he intentado combinar la práctica y conocimiento. Concretamente, se ha tratado de realizar una investigación con sentido de utilidad inmediata hacia las personas que padecen una enfermedad como es la esclerosis múltiple. Así, el objetivo general de esta tesis ha sido desarrollar un programa de intervención, aplicarlo y comprobar su efecto, lo que se desarrolla plenamente en este trabajo.
- c) La tesis doctoral es un medio para obtener conocimiento, pero también un programa que tiene como finalidad para obtener un título académico que nos capacita para el desarrollo de una investigación autónoma, lo que necesariamente debe ser evaluado por un tribunal. En este sentido, hemos considerado que la evaluación sobre las capacidades metodológicas y técnicas se exponen con mayor facilidad utilizando el formato “clásico”, donde es posible explicar los motivos que conducen al uso de una metodología determinada y desarrollar plenamente los procedimientos utilizados en las distintas técnicas de registro que se utilizan, un aspecto que no contempla el formato de compendio de artículos debido a que el artículo tiene objetivos diferentes.



1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Para describir los problemas y deducir las hipótesis asociadas, hemos considerado exponer una parte introductoria organizada en tres apartados básicos. Así, esta introducción comienza con una contextualización general de la esclerosis múltiple (EM) y sus efectos sobre las actividades cotidianas de las personas con esta enfermedad, concretando su efecto en la marcha como factor determinante en la calidad de vida de estas personas. A continuación, se describen los aspectos más significativos sobre la importancia de la actividad física, sus efectos favorables en las personas con EM y estrategias de actuación más relevantes. Finalmente, se expone el costo que producen las tareas cognitivas concurrentes sobre las actividades motoras de las personas con EM (paradigma de tareas duales), su utilización para la detección temprana de la enfermedad y adecuación como estrategia de intervención, desarrollándose específicamente su costo en la marcha como tarea motora estrechamente relacionada con la calidad.

1.1. Contextualización general del estudio.

La esclerosis múltiple (EM) es una enfermedad desmielinizante, crónica, autoinmune e inflamatoria que afecta a todo el sistema nervioso central (SNC), constituyendo la principal causa de discapacidad neurológica no traumática entre los adultos jóvenes además de la enfermedad más frecuente dentro de las afecciones de origen desmielinizante (Evers, 2008). Produce una sintomatología imprevisible que afecta a diferentes sistemas motores y cognitivos (debilidad, espasticidad, dificultad motora, dolor, pérdida de sensibilidad, etc), ocasionándose habitualmente por brotes definidos como la aparición de nuevos síntomas o reaparición de síntomas anteriores durante un periodo limitado lo que se podría resumir con una importante disminución en la calidad de vida.

Siguiendo a Bermejo, Blasco y García (2011), al considerarse dicha patología como una enfermedad desmielinizante del SNC, es importante entender que las enfermedades desmielinizantes son aquellas en las que existe un proceso patológico dirigido en contra de la mielina sana. La mielina, es una proteína sintetizada en el SNC por oligodendrocitos, formando una capa gruesa alrededor de los axones neuronales que permite la transmisión del impulso nervioso a distancias relativamente largas gracias a su efecto aislante. Las enfermedades desmielinizantes se caracterizan por afecciones que se generan en la mielina sana, donde se produce una inflamación e incluso destrucción de ella, provocando así

grandes problemas y ralentización del impulso nervioso. En la figura 1 se presenta un esquema que ilustra la diferencia entre la mielina de un axón sano y otro dañado.

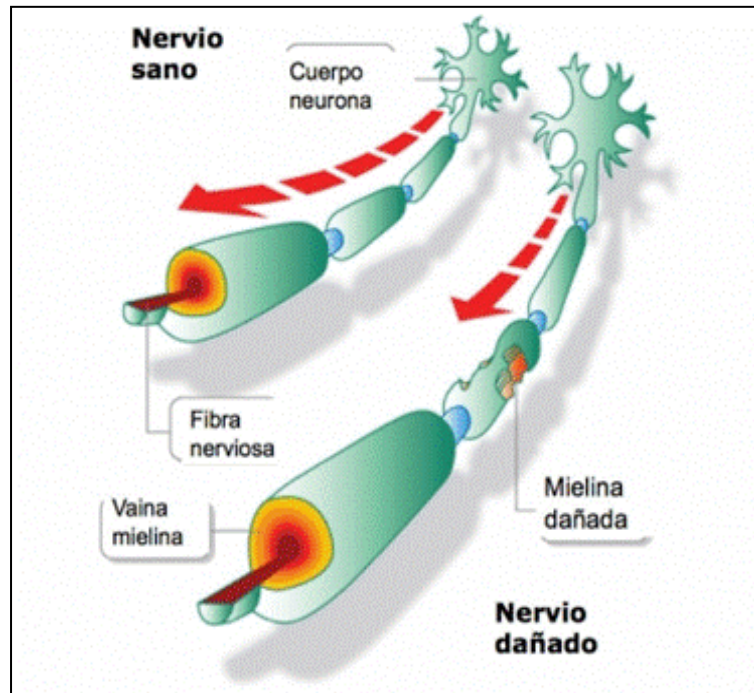


Figura 1.- Ilustración de la diferencia entre mielina envolviendo el axón neuronal sano o dañado.

La esclerosis múltiple se suele diagnosticar a través de la resonancia magnética donde se puede percibir en el cerebro “cicatrices” llamadas placas o lesiones (Torrades-Oliva, 2004). Al destruirse y dañarse la mielina o la fibra nerviosa, la capacidad de los nervios para conducir impulsos eléctricos se ve afectada, con lo que aparecen los distintos síntomas de la enfermedad que se verán más adelante.

En relación a la afectación funcional motora, se ha descrito una disminución de la fuerza muscular entre el 30-70% con respecto a controles sanos (Fimland, Helguerud, Gruber, Leivseth & Hoff, 2010), además de importantes trastornos de equilibrio y retardo en las respuestas motoras que disminuyen la capacidad de desplazamiento e incrementan el riesgo de caídas (Cameron, Thielman, Mazumder & Bourdette, 2013; Hoang, Schoene, Gandevia, Smith & Lord, 2016), unos problemas motores que se incrementan cuando se combinan con tareas cognitivas (Kalron, Dvir & Achiron, 2010). Para examinar la relación entre las afecciones motoras y cognitivas, se ha utilizado el paradigma de doble tarea,

donde es posible constatar las interferencias debidas a la afectación cognitiva sobre las tareas motoras cuando éstas se realizan de forma simultánea. En la figura 2 se presentan unas imágenes de resonancia magnética donde se hacen evidentes estos síntomas.

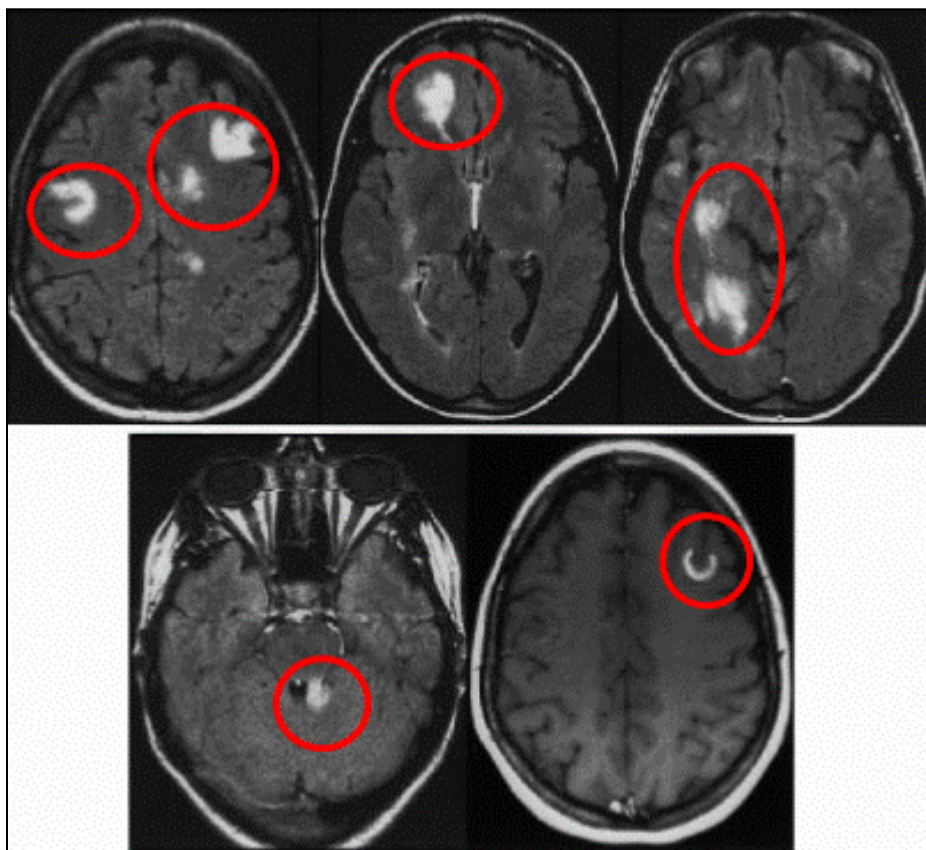


Figura 2.- Placas de la pérdida de mielina en resonancia magnética.

Aunque existen ciertas controversias sobre las formas de abordar estos problemas asociados a la EM, además del tratamiento farmacológico, se suele recurrir a las terapias rehabilitadoras y/o los programas de actividad física, lo que constituye el eje a través del cual gira este trabajo. En este sentido, los intentos de desarrollar terapias farmacológicas para el deterioro cognitivo no han tenido demasiado éxito en la EM y la evidencia de la efectividad de las estrategias de rehabilitación para mejorar los déficits cognitivos en la EM también es limitada (Benedict & Zivadinov, 2011; Briken et al., 2014). Se necesitan enfoques terapéuticos que se dirijan a los mecanismos neuroprotectores y puedan mejorar la cognición y la función motora asociada. De esta manera podría ayudar a controlar los numerosos síntomas incapacitantes a menudo asociados con la enfermedad, incluyendo

debilidad muscular, reducción del equilibrio, movilidad y tolerancia reducida al ejercicio y fatiga (Learmonth, Paul, Miller, Mattison & McFadyen, 2013).

1.1.1. Etiología y epidemiología de la esclerosis múltiple

Los datos actualizados para España, indican que 47.000 personas padecen esclerosis múltiple (EM) y cada año se diagnostican 1.800 nuevos casos. En Europa, La EM afecta a 700.000 personas, cifra que alcanza los dos millones y medio de personas en todo el mundo (Federación Española de Lucha contra la Esclerosis Multiple, 2019; FELEM).

Entendiendo la etiología como el estudio de las causas originarias de la enfermedad, la EM sigue siendo desconocida hasta la fecha. Aun así, existen varios aspectos que se consideran relevantes para el conocimiento de la etiología de la enfermedad, aunque ningún estudio es concluyente acerca de una única causa de la misma, la mayoría de las aportaciones coinciden en la interacción de factores ambientales y genéticos como los incidentes más relevantes de la misma (Gamazo- Navarro, 2009). Así, a partir del papel que juega el factor ambiental en la EM, es importante considerar los estudios epidemiológicos de dicha patología, donde se ha encontrado una gran incidencia y prevalencia temporal y espacial o zonal (Hernández, Romero e Izquierdo, 2011), coincidiendo con estudios epidemiológicos desarrollados por Kurtzke (1975) que han puesto de manifiesto la existencia de tres zonas o regiones mundiales de riesgo de tipo espacial. En esta distribución se han considerado tres niveles de riesgo en relación con la frecuencia en que aparece la enfermedad en cada región: *alto*, *medio* y *bajo*. Los resultados evidenciaron una mayor frecuencia en Norte América y el Norte de Europa, así como en Australia y Nueva Zelanda. En este estudio de la distribución mundial por frecuencias, España se encontraría en una zona de riesgo medio. En la figura 3 se presenta la distribución de las zonas más sensibles a que surja la enfermedad.

Según lo expuesto, junto a las aportaciones de la National Multiple Sclerosis Society (NMSS) (NMSS., 2014), los aspectos epidemiológicos más relevantes en la EM serían los siguientes:

- a) La enfermedad afecta a más del doble de mujeres que de hombres.
- b) La EM es más común entre las personas con descendencia europea aunque también se desarrolla en otras regiones, como América del Norte y Canadá.

- c) La enfermedad parece ser más frecuente en las regiones templadas del mundo que en las zonas tropicales, lo cual, lleva al ámbito de la investigación a cuestionar las causas de la EM en función del efecto de exposición a la luz solar y la vitamina D.

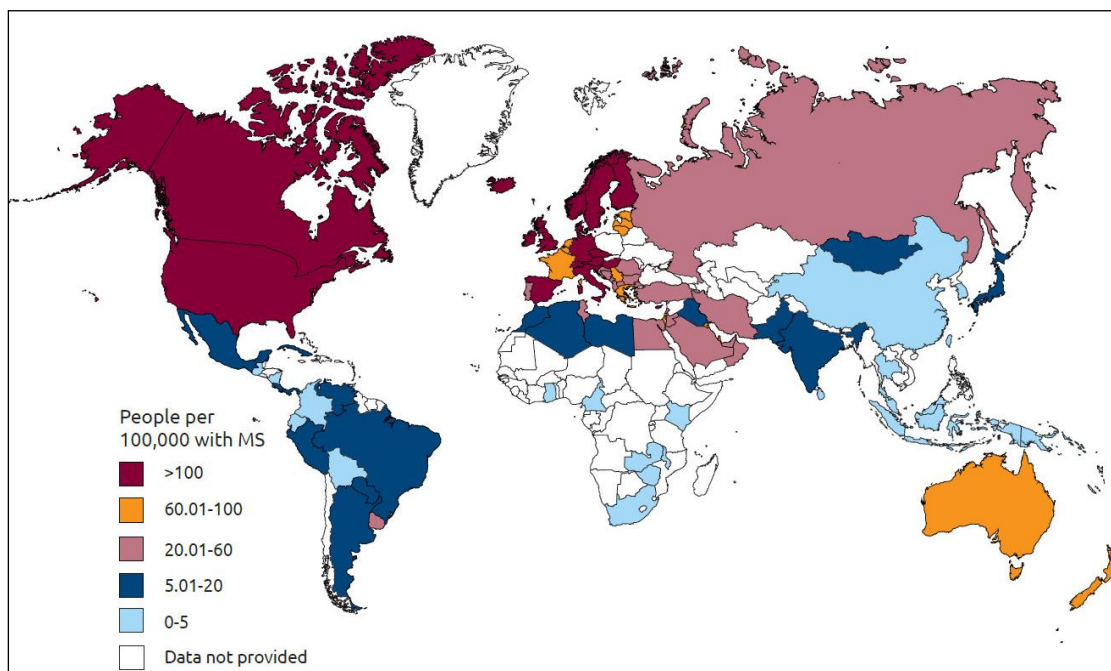


Figura 3.- Distribución mundial de esclerosis múltiple (Adaptado de Hernández, 2011)

1.1.2. Clasificación y síntomas de la esclerosis múltiple

A partir de cómo evoluciona la esclerosis múltiple a lo largo del tiempo, ésta suele clasificarse en cuatro tipos o formas de evolución (FELEM., 2019):

- ✓ **Forma *remitente-recurrente (EMRR)*:** Es el tipo más frecuente y afecta a más del 80% de las personas con EM. En las fases iniciales puede no haber síntomas, a veces incluso durante varios años. Sin embargo, las lesiones inflamatorias en el SNC ya se están produciendo, aunque no lleguen a dar lugar a síntomas. Los brotes son imprevisibles y pueden aparecer síntomas en cualquier momento.
- ✓ **Forma *progresiva secundaria (EMSP)*:** Cuando el grado de discapacidad persiste o empeora entre brotes. Puede aparecer después de una fase recurrente-remitente del proceso y se considera una forma avanzada de la EM. Entre un 30 y un 50% de los

pacientes que sufren inicialmente la forma recurrente-remitente de la EM, desarrollan la forma secundaria progresiva. Esto se da tras un período de tiempo que depende de la edad de inicio y que suele ocurrir entre los 35 y los 45 años.

- ✓ **Forma *progresiva primaria (EMPP)***: Es menos frecuente y sólo afecta al 10% de los pacientes con EM. Se caracteriza por la ausencia de brotes definidos, pero hay un comienzo lento y un empeoramiento constante de los síntomas sin un periodo intermedio de remisión.
- ✓ **Forma *progresiva recidivante (EMPR)***: Es una forma atípica, en la que hay progresión desde el comienzo, pero a diferencia de los pacientes con EMPP, éstos muestran brotes agudos claros, con o sin recuperación completa. Los períodos entre brotes se caracterizan por una progresión continua.

Existe otra forma sobre cuya existencia real hay gran controversia: la Esclerosis Múltiple Benigna, la cual se caracteriza, como su nombre indica, por tener tan solo una recaída inicial y, posiblemente, sólo un brote adicional y una recuperación completa de los síntomas entre estos episodios. Pueden transcurrir 20 años hasta que se produzca una segunda recaída por lo que el proceso únicamente progresa de forma limitada. La EM benigna sólo se puede identificar como tal en aquellos casos inicialmente clasificados como EM recurrente-remitente, cuando a los diez o quince años del comienzo de la enfermedad, la discapacidad es mínima. En la *figura 4* se representan de forma gráfica la intensidad de los síntomas, evolución y tipos de EM (FELEM, 2018).

Además de conocer la clasificación de la esclerosis múltiple, en esta parte introductoria se pretende sintetizar las diferentes características y alteraciones que se presentan en la EM y que serán divididas en tres grupos: *morfológicas, fisiológicas y psicológicas*.

Es importante tener en cuenta que, durante el curso de la enfermedad se ven afectados la mayor parte de los sistemas funcionales neurológicos, siendo las alteraciones motoras las principales limitaciones en los pacientes de EM, implicando una menor eficiencia de la activación de la unidad motora y el incremento de la fatiga central, por lo cual, la mayoría de las alteraciones estarán concentradas en características

neuromusculares pero sin dejar de tener importancia las características fisiológicas y psicológicas (Páramo & Izquierdo, 2007).

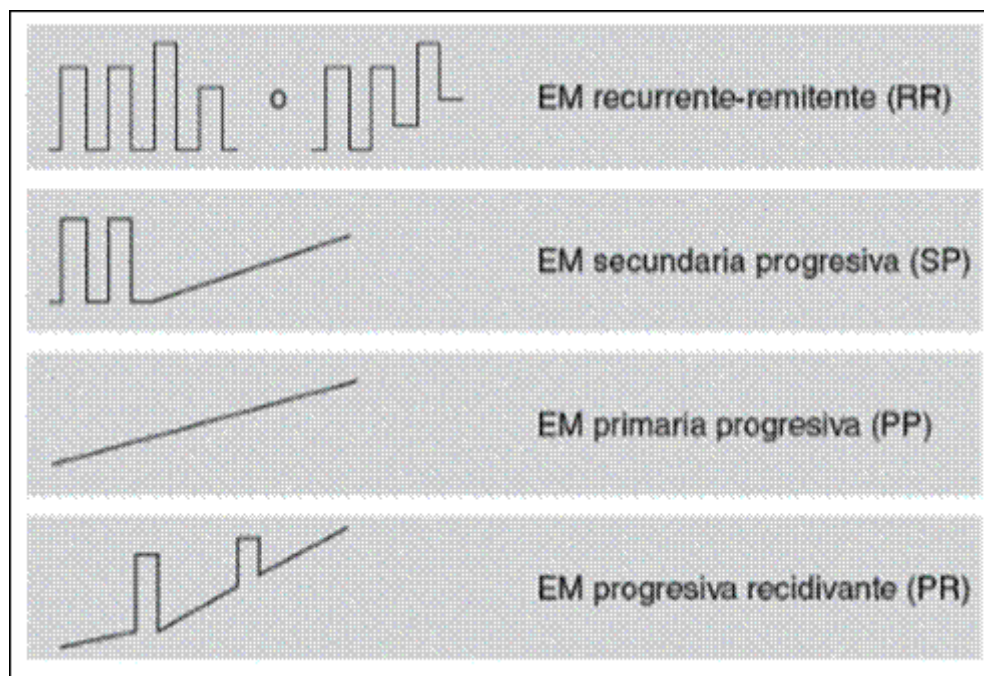


Figura 4.- Tipos de esclerosis múltiple (Adaptado de FELEM, 2018)

Atendiendo a los síntomas, se trata de una patología en la que no se podrían determinar características específicas que afecten por igual a todas las personas. Se podrían destacar ciertas peculiaridades de la enfermedad pero, no por ello es importante destacarlas todas, debido a que no tienen por qué aparecer en todas las personas con EM. Se trata de una enfermedad muy variable con respecto al tipo de problemas que surgen en cada persona.

A continuación, se describen las tres características fundamentales que condicionarán a las personas afectadas por EM, desde una perspectiva neuromuscular, fisiológica y conductual o cognitivo:

A) Alteraciones neuromusculares

En el caso de la EM, las alteraciones neuromotoras están causadas por un funcionamiento deficiente en el sistema nervioso central, sin embargo, los tipos de alteraciones morfológicas pueden llegar a ser muy variadas. La manifestación de las alteraciones neuromusculares es muy variable. Mientras que se ponen claramente de

manifiesto en algunos pacientes, en otros no aparecen alteraciones de ningún tipo. Entre las alteraciones neuromusculares más frecuentes podemos considerar las siguientes:

- Espasticidad
- Trastornos de coordinación y equilibrio
- Temblores
- Fatiga muscular
- Adormecimiento y cosquilleo en las extremidades

Posiblemente la espasticidad sea una de las alteraciones morfológicas más comunes en personas con EM. Se trata de uno de los trastornos motores de mayor predominancia en la EM. Se conoce que aparece en el 80% de los casos en el curso de la patología y generalmente, suele ser grave en estados avanzados, ocupando el primer puesto de factor limitador de movilidad (Bauer, 1985; Brenda, Sandroff & Motl, 2018). Para el tratamiento de la espasticidad, es importante actuar al inicio de la aparición de la misma, interviniendo mediante una movilidad general, sin olvidar de realizar ejercicios en los demás miembros no afectados por espasticidad, de hecho, siguiendo a Bauer (1985), el entrenamiento vigoroso de los músculos no afectados tiene un efecto beneficioso sobre la musculatura espástica. En la EM podría considerarse tres niveles de espasticidad: *leve*, *grave* y *extrema*. En ocasiones, los niveles extremos de discapacidad requieren el uso de ayudas ortopédicas, tales como tirantes en el pie flexionado-plantar, apoyos para andar (bastones o muletas), vendas elásticas o sistema mecánicos antiequinos.

Otra de las alteraciones neuromotoras que suelen aparecer en personas con EM serían las que afectan a la *coordinación* y el *equilibrio*. Estos trastornos de coordinación y/o equilibrio pueden ser repentinos o graves durante el curso de brotes o periodos de empeoramiento, pudiendo ser también transitorios (Fritz, Cheeck & Nichols-Larsen, 2015).

Siguiendo con las alteraciones neuromusculares, es importante considerar el *temblor* como uno de las alteraciones que puede afectar, en gran medida, a personas con EM en su vida cotidiana.

Otro de los síntomas destacado a tener en cuenta es la percepción de fatiga que suelen presentar las personas con EM. Se ha considerado incluirla como alteración neuromuscular debido a que no se trata de un problema de ritmo cardiaco sino de *fatiga*

muscular provocada por fallos en la recepción del estímulo. Según White y Dressendorfer (2004), la fatiga muscular suele afectar en mayor medida a las extremidades inferiores, provocando en numerosas ocasiones sensación de pérdida de fuerza y afectando al equilibrio y falta de coordinación.

Por último, uno de los factores que suele influir en la mayoría de las personas con EM, suele ser la sensación de adormecimiento o cosquilleo en las extremidades, debido a la pérdida de mielina que afecta a la transmisión del estímulo.

B) Alteraciones fisiológicas

Al tratarse de una patología que afecta al ámbito neurológico, prácticamente las mayores alteraciones que se presentan en las personas con este tipo de patología suelen ser neuromusculares, sin embargo, no se deben olvidar las alteraciones que suelen afectar al ámbito fisiológico funcional. En este sentido podríamos mencionar las siguientes disfunciones:

- Trastornos de la vejiga o micción
- Trastornos de función intestinal
- Problemas de visión

El 70% de las personas con EM suelen padecer *trastornos de micción* durante el curso de la enfermedad, los cuales se caracterizan por problemas de retención urinaria, vejiga hiperactiva neurogénica o necesidad de ir al baño constantemente e incontinencia urinaria, lo cual puede llegar a ser un problema grave para el desempeño de la vida diaria (Sakakibara, 2018).

Con respecto a los trastornos de *función intestinal*, suelen ocurrir aproximadamente en la mitad de las personas con EM, caracterizándose por incontinencia fecal. Por último y no por ello menos importante, existen problemas visuales provocando, frecuentemente, visión borrosa o doble (*neuritis óptica*), lo que causa dolor ocular y una pérdida rápida de la visión (Páramo & Izquierdo, 2007).

C) Alteraciones conductuales y cognitivas

Los problemas cognitivos comunes en personas con EM pueden incluir ciertas alteraciones del nivel de conciencia, cambios del estado mental y déficits en el aprendizaje,

memoria, atención y en el procesamiento de la información. Asociados a estos déficits, también surgen problemas de comportamiento que incluyen apatía, agresividad, baja tolerancia a la frustración, labilidad emocional e impulsividad. Las alteraciones conductuales, aunque en ocasiones no muestren signos neurológicos evidentes, en la práctica clínica se detectan alteraciones, conductuales y psicosociales asociadas a una visión negativa de la persona hacia sí mismo que impide que lleve a cabo sus actividades profesionales, familiares y sociales con normalidad. Se podría afirmar que los déficit cognitivos y emocionales son el principal obstáculo para la reinserción laboral, al mismo tiempo que tienen un mayor impacto sobre la calidad de vida de la persona con EM y de su familia (Cano de la Cuerda & Collado- Vazquez, 2013; Denninson & Moss- Morris, 2010)

Es importante entender que la esclerosis múltiple no es una patología que competa exclusivamente a la persona afectada, sino a todo el ambiente que rodea a la misma (familia, compañeros, amigos). La reacción y aceptación de la enfermedad por parte de las personas que se encuentran en el entorno de la persona afectada juega un papel decisivo para el estado psicológico y comportamental del mismo, debido a que en numerosas ocasiones suelen tener problemas de aceptación, inclusión social, depresión y falta de confianza.

1.1.3. Evaluación funcional y efecto de la esclerosis múltiple en las actividades de la vida diaria.

A través del desarrollo clínico histórico del paciente y la observación de su evolución, el neurólogo, entre otros especialistas, obtiene los datos para el diagnóstico clínico y la evolución de la enfermedad. Mediante el empleo de diferentes escalas, se establece la cuantificación del grado de discapacidad neurológica. Una de las escalas más empleadas es la Expanded Disability Status Scale (EDSS), creada por Kurtzke en 1955 y que valora diez grados de déficit neurológico, desde 0 (normal) a 10 (muerte debido a la esclerosis múltiple). Esta escala suele acompañar a informes clínicos que analizan, mediante imágenes de resonancia magnética, los cambios anatómicos que se producen como consecuencia del curso de la enfermedad (Petejan, 1999).

A partir de esta escala se establecen tres niveles generales de la enfermedad: a) *discapacidad leve*, que comprende desde el valor uno hasta tres y donde no existe una discapacidad aparente. La persona es totalmente autónoma, b) *discapacidad moderada*, comprendería el tramo entre el 3,5 al 5,5 donde existe una ligera limitación para los desplazamientos y c) *discapacidad severa*, comprendida entre el valor seis al nueve y donde se alcanzan grandes limitaciones de movimiento y necesidad de apoyo externo. En la figura 5 se describe de forma esquemática la tabla de Kurzke de forma gráfica.

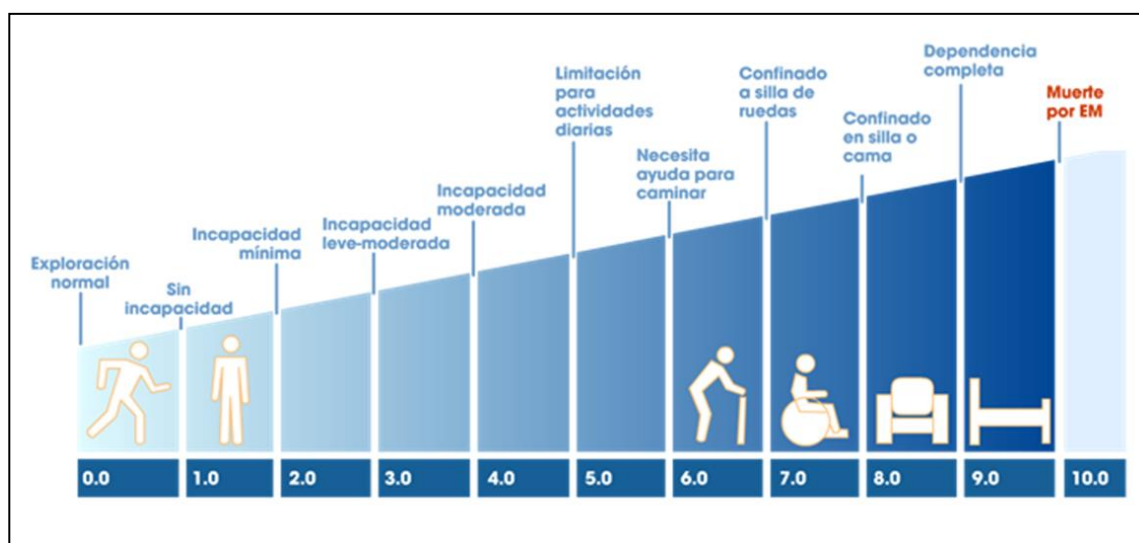


Figura 5.- Escala de discapacidad funcional (adaptado de Kurzke, 1955)

A parte de la escala EDSS, se han desarrollado muchas otras escalas con la intención de cuantificar aspectos como el grado de daño o deterioro de forma general que puedan englobar todos los aspectos que pueden llegar a afectar a la calidad de vida de las personas con EM, como la Multiple Sclerosis Impairment Scale (MSFC), desarrollada para evaluar el deterioro general, el dolor y la discapacidad neurológica o Calidad de vida (Functional Assessment of Multiple Sclerosis, General Health Questionnaire). Además, se han desarrollado numerosas escalas que miden aspectos específicos de la enfermedad, como la escala de Severidad de la Fatiga (FSS) que será utilizada para el desarrollo de este trabajo y que se explicará más adelante. También existen otras escalas para medir la espasticidad (Escala de espasticidad y espasmos dolorosos de Ashworth) o depresión, entre otros. (Haiton et al., 2012).

Todas estas escalas son utilizadas para poder determinar una discapacidad en las personas con EM, aunque en muchos casos suelen estar limitadas para evaluar realmente las limitaciones funcionales de las personas relacionadas con dicha patología. En este sentido, parece necesaria una revisión sobre dichas escalas y, en concreto la escala EDSS, para que puedan llegar a ser más fiables para determinar cambios funcionales sensibles en las personas con EM (Benito-León, Morales, Rivera-Navarro & Mittchel, 2003).

Como se ha visto con anterioridad, las personas con EM no tienen un perfil determinado sobre el desarrollo de la enfermedad, por lo que es complejo encontrar un único patrón. Sin embargo, existe una evidencia que llega a ser común, nos estamos refiriendo, concretamente, a la vida diaria de estas personas una vez detectada la enfermedad. Siguiendo a Stuifbergen y Roberts (1997) y Sandroff et al., (2012), las personas con EM, incluyendo las que tiene una afectación leve, disminuyen su actividad física en comparación con personas sin EM, afectando también a sus actividades de la vida diaria y, especialmente, en actividades instrumentales como la realización de tareas domésticas básicas, cocinar o el uso del teléfono. En este contexto también se incluyen actividades sociales vinculadas al ocio y la recreación, siendo estas últimas las primeras en desaparecer una vez que se detecta la enfermedad, lo que suele provocar un cierto aislamiento social.

Las personas con esclerosis múltiple tienden a disminuir actividades de la vida diaria, lo que se acompaña de una dependencia por parte de los familiares o amigos a lo largo del tiempo. En este contexto y considerando que se trata de una enfermedad crónica degenerativa, puede llegar a provocar problemas de depresión (Kesselring, 2017). En esta línea de investigación, las aportaciones de Petajan y White (1999) indican que el 65% de las personas con EM se ven afectadas por diferentes manifestaciones depresivas y estrés psicológico, lo que puede llegar a ser un agravante para la enfermedad en todo su contexto. Como resumen, podríamos entender que dicha disminución de las actividades de la vida diaria, seguido de los problemas físicos-funcionales de la propia enfermedad, junto con la inactividad y los problemas de depresión y/o estrés psicológico, repercuten de manera directa en la calidad de vida de las personas con esclerosis múltiple, entendido el concepto de calidad de vida como un vínculo entre el correcto estado físico, psicológico y social. (Schwartzmann, 2003).

1.1.4. Cambios en la marcha debidos a la EM

Se ha informado que la dificultad para caminar en personas con EM es del 41% y, de ellos, el 70% estuvo de acuerdo en que este era el aspecto más desafiante de la EM. Además, la mayoría de las personas con EM y dificultad para caminar, informaron que esta limitación funcional tuvo un impacto negativo en sus actividades diarias, vida social, salud emocional y estado socioeconómico (Larocca, 2011). El deterioro de la marcha se ha correlacionado con los puntajes de la escala EDSS, constatándose un incremento en el deterioro de la marcha a medida que se incrementa el valor de la escala EDSS y con la duración de la enfermedad, donde más de un tercio de las personas afectadas no son capaces de mantener su capacidad de caminar 20 años después del diagnóstico (Givon, Zeilig & Achiron, 2009). En este sentido, Bethoux (2013), en un estudio de revisión sobre los desórdenes de la marcha en las personas con EM, señala la importancia de identificar estos trastornos y tratarlos a lo largo de la enfermedad a partir de que aparezcan los primeros síntomas, utilizando para ello un enfoque multidisciplinar que debe ajustarse a lo largo del tiempo en función de los resultados de las evaluaciones periódicas.

Al tratarse de una enfermedad que presenta una variedad muy heterogénea de manifestaciones físicas, también puede llegar a presentar unos patrones de marcha muy diferentes, existiendo en la mayoría de las personas con EM, una alteración en la marcha aún en etapas tempranas de la enfermedad y sin aparente discapacidad, pudiendo llegar a constituir un indicador para la prescripción de la enfermedad. De hecho, el rendimiento al caminar está incluido en las medidas para controlar la progresión de la discapacidad física relacionada con la EM a lo largo del tiempo, como la Escala de Estado de Discapacidad Expandida (EDSS) y el Compuesto funcional de esclerosis múltiple (MSFC) (Bethoux, 2013). Efectivamente, los déficits neurológicos propios de la enfermedad como debilidad motora, espasticidad, ataxia y trastornos sensoriales, son comunes incluso en las primeras etapas de la enfermedad y pueden conducir a un deterioro significativo de la marcha (Shakespeare, Boggild & Young, 2003).

Givon et al., (2009) han comparado los parámetros de la marcha entre personas con EM que mantienen un nivel de discapacidad leve y moderado, y personas libres de patologías (controles), constatándose que las personas con EM demostraron alteraciones significativas en todos los parámetros de la marcha (velocidad, cadencia, longitud de paso)

en comparación con las personas libres de patologías, correlacionándose de forma negativa los parámetros de la marcha con la duración de la enfermedad, las puntuaciones obtenidas en la escala EDSS y la discapacidad neurológica asociada. Estos resultados ponen en evidencia que el deterioro de la marcha es un problema significativo en la esclerosis múltiple (EM), que conduce a una disminución actividad y limitaciones en la función.

Como se ha indicado, el grado de deterioro de la marcha se asocia con la gravedad de la deficiencia en varios sistemas neurológicos funcionales. Estos incluyen la pérdida de potencia muscular, el nivel de espasticidad, el grado de inestabilidad debido a problemas de coordinación y el grado de deterioro sensorial. La alteración en un solo sistema funcional o en combinación con otros contribuye al deterioro de la marcha de las personas con EM y da como resultado un patrón individual específico de marcha. El deterioro cognitivo provocado por la enfermedad, asociado al incremento de la discapacidad y el grado de concentración requerido de adaptar la marcha a las demandas del entorno supone para estas personas que en muchas ocasiones exista un alto número de caídas que termina provocando una marcha más cautelosa por el propio miedo a volver a caerse, aumentando así el tiempo de reacción ante estímulos externos que aparezcan (Gutiérrez- Cruz, Miangolarra & Rojas 2016).

Como resumen y siguiendo las aportaciones de Bethoux (2013) se suelen encontrar las siguientes diferencias de la marcha de personas con EM, en comparación con la marcha de personas libres de patologías:

- ✓ *Disminución de la velocidad en la marcha.* Aunque la disminución de la velocidad depende el nivel de discapacidad, se ha constatado una reducción media del 25.8% en personas con una discapacidad leve y moderada (EDSS entre 0 y 5.5), con respecto a personas libres de patologías (Givon et al., 2009).
- ✓ *Disminución de la longitud de paso.* Como en el caso de la velocidad, su disminución está relacionada con el nivel de discapacidad. Givon et al., (2009) indican una reducción del 37.2% cuando se comparan personas con EM (EDSS entre 0 y 5.5) y personas sin discapacidad.
- ✓ *Aumento del tiempo del periodo bipodal e incremento de oscilación,* debido a los problemas asociados con el equilibrio dinámico.

- ✓ *Mayor variabilidad temporal y espacial del paso.*
- ✓ *Disminución de la cadencia.* Se reduce un 18% cuando se comparan personas con EM y controles (Givon et al., 2009)
- ✓ *Aparición de un mayor coste energético.*

Todas estas alteraciones en la marcha de las personas con EM están relacionadas con alteraciones neuromusculares que anteriormente se describieron, entendiendo que a mayor discapacidad mayores serán las alteraciones de la marcha, una de las alteraciones más limitantes en la marcha suelen ser los problemas de espasticidad en miembros inferiores, trastornos de coordinación y equilibrio o fatiga, así como los problemas de visión entre otros, lo que provoca una marcha más cautelosa por la inseguridad que provocan dichas alteraciones.

1.2. Esclerosis múltiple y actividad física.

Después de la contextualización general de la EM, como ámbito aplicado en el que se desarrolla esta tesis, es obligado exponer la propuesta de actuación, describir su relación con el ámbito de estudio, exponer los antecedentes explicativos y, en consecuencia, deducir las posibles hipótesis. Así, en este apartado comenzaremos exponiendo la relación de la actividad física con la esclerosis múltiple, sus antecedentes, efectos y la fundamentación que se deriva en una propuesta de programa de actuación como variable independiente de esta tesis.

1.2.1. Origen de su prescripción

Hasta hace relativamente poco tiempo, el ejercicio físico como parte rehabilitadora para las personas con esclerosis múltiple ha sido infravalorado y objeto de discusión. De hecho, a menudo, se recomendaba evitar el ejercicio físico, así como otras actividades físicas que supongan una cierta fatiga innecesaria. Para entender dicha actitud, en 1890, cuando el oftalmólogo alemán Wilhem Uhthoff describió por primera vez la discapacidad visual y la paresia en la esclerosis múltiple (EM), estableció una relación del ejercicio físico con dicha discapacidad sin tener en cuenta otros aspectos relacionados, asumiendo que los síntomas descritos se debían al ejercicio físico por sí mismo.

Otro de los factores que evidenciaba en aquella época la negativa de realizar ejercicio físico, se relacionaba con el incremento de la temperatura corporal asociada al ejercicio físico, lo que podría ser contraproducente debido a los problemas de sensibilidad térmica asociados a la enfermedad, de hecho el 60-80% de las personas con EM experimentan un empeoramiento reversible de los síntomas neurológicos en situaciones de incremento de la temperatura corporal. Otro argumento para que las personas con EM evitasen el ejercicio físico, se centraba en la fatiga como uno de los síntomas más comunes y discapacitantes en EM. En este caso, se consideró que el ejercicio físico suponía un incremento energético que podía agravar la fatiga y reducir la capacidad para realizar las actividades de la vida diaria. (Esclerosis Múltiple España, 2018)

A día de hoy, se conoce que el incremento en la temperatura del cuerpo durante el ejercicio físico puede implicar el empeoramiento de algunos de los síntomas de la enfermedad, pero este problema remite tras el reposo y mejora con un entrenamiento continuado, por tanto no afecta al transcurso de la enfermedad. En este sentido, numerosos estudios confirman la necesidad de realizar ejercicio físico para mejorar la fatiga percibida en la vida diaria. Ciertamente, al inicio de comenzar con los entrenamientos las personas con EM se encuentra muy fatigadas y con una reducción importante de la fuerza, sin embargo, conforme sigue un entrenamiento diario, dicha fatiga tiende a reducirse produciéndose una mejora importante para la realización de las tareas de la vida diaria (Esclerosis Múltiple España, 2018; Molt & Pilutti, 2012; Petajan & White, 1999)

En la actualidad, los beneficios de la práctica de ejercicio físico están suficientemente consolidados, siendo una parte fundamental de la rehabilitación dentro del equipo multidisciplinar de las personas con EM. Efectivamente, las diferencias individuales entre las personas con EM, debidas a los diferentes grados de discapacidad y distintos niveles de áreas de afectación de cada persona ha provocado la necesidad de abordar una actividad física individualizada y, en consecuencia, ha surgido la figura del entrenador personal especializado en esta enfermedad.

1.2.2. Efectos de la actividad física en las personas con EM.

Actualmente existen numerosas investigaciones sobre la incidencia positiva del ejercicio físico (EF) en las personas con esclerosis múltiple, además de otras aportaciones donde se ha puesto de manifiesto que la práctica planificada del EF no aumenta el riesgo

de padecer brotes (Pilutti, Platta, Molt & Latimer-Cheung, 2014), además de producir efectos positivos en el ámbito físico, cognitivo y emocional, dependiendo del tipo de seguimiento y tratamiento, así como de los complementos al plan de ejercicio físico que se les pudieran aplicar (Dalgas, Stenager & Igemann- Hansen, 2007).

Uno de los aspectos de mayor interés, tanto para las personas con ausencia de patologías como para las personas con EM, es la calidad de vida, un término transversal que engloba elementos físicos, sociales y psicológicos, que se consideran relevantes en la vida de las personas (Miltenburger & Kobelt 2002; Pilutti et al., 2014; Wynia, Middel, Van Dijk, De Keyser & Reijneveld, 2008). En este contexto de la calidad de vida de las personas con EM, existen evidencias de los beneficios que aporta el ejercicio físico sobre los síntomas motores y cognitivos debidos a la enfermedad, incluyendo: debilidad muscular (Dalgas, et al., 2013; Hosseini et al, 2018), reducción del equilibrio y la coordinación (Fritz et al, 2015; Hoang et al, 2016), fatiga muscular (Dettmers, Sulzmann, Ruchay & Vieten., 2009; Kyguolienè et al., 2018), comorbilidades vasculares y metabólicas (Ewanchuk, Gharagozloo, Peelen, & Pilutti, 2018), disfunción cognitivo/motora (Kirkland, Wallack, Rancourt & Ploughman, 2015) y, recientemente, sobre la patofisiología de la enfermedad (Feter et al., 2018; Negaresha et al., 2018). Unos aspectos que se exponen a continuación utilizando como guía los siguientes apartados: A) *efectos del ejercicio en la capacidad funcional* y B) *efectos Psicológicos y sociales*.

A) *Efectos del ejercicio en la capacidad funcional:*

Como consecuencia de la sintomatología de la EM, los planes de actividad física deben ir encaminados a paliar los déficits funcionales que padecen estas personas. Entre las alteraciones neuromotoras funcionales más evidentes que se manifiestan estarían las que afectan a la *coordinación y el equilibrio*. Por ello, la mayoría de las investigaciones han tratado de paliar y averiguar las causas de estos notorios síntomas físicos, destacándose los beneficios que tiene el ejercicio físico planificado como apoyo al tratamiento farmacológico y rehabilitador sobre la mejora de las capacidades funcionales (Tarakci, Yeldan, Huseyinsinoglu, Zenginler & Eraksoy, 2013; White & Dressendorfer, 2004), así como otras capacidades coordinativas y, especialmente, relacionadas con la mejora de la marcha, como una de las capacidades más relevantes en la calidad de vida. (Erin, Snook & Molt, 2009).

Otro de los trastornos neuromusculares de mayor incidencia del que ya hablamos con anterioridad entre las personas con EM, la *espasticidad*. Se ha descrito que aparece en el 80% de los casos en el curso de la patología y, generalmente, suele aparecer a partir de los cinco años de enfermedad, ocupando el primer puesto de factor limitador de movimiento (Bethoux & Marrie, 2016; Vermersch, 2014). Para el tratamiento de la espasticidad, se recomienda actuar al inicio de la aparición de la misma, realizando movilidad general, sin olvidar la propuesta de ejercicios en los miembros no afectados. En el caso de algunos tipos de espasticidad, es frecuente encontrar a personas que utilizan ayudas ortopédicas, tales como tirantes en el pie flexionado- plantar, apoyos para andar (bastones o muletas), vendas elásticas o anti equinos que pueden limitar el ejercicio físico o una adaptación de la actividad a realizar.

La *percepción de la fatiga* generalizada es otro de los condicionantes funcionales destacados en las personas con EM. Es conocido que las personas con EM muestran una escasa capacidad aeróbica, incluso en etapas tempranas de la enfermedad, sin embargo, en personas con una afectación entre leve y moderada llegan a mejorar su capacidad física a través de actividad física aeróbica. (Pilutti, Greenlee, Motl, Nickrent, & Petruzzello 2013; White & Dressendorfer, 2004). Para ello, un entrenamiento debidamente planificado y orientado hacia esta cualidad física, constituye una buena estrategia para mejorar este factor, además de facilitar la *calidad del sueño* (Asano & Finlayson, 2014; Pilutti et al., 2013).

Asociado a la fatiga y la resistencia es importante nombrar la restricción de esfuerzos de larga duración para *evitar la termo-sensibilidad* (Asano & Finlayson, 2014; Pilutti et al., 2013). Estos trastornos pueden ser repentinos durante el curso de brotes o periodos de empeoramiento que pueden aparecer de forma transitoria o volver a establecerse como trastornos residuales. La mejor forma de paliar estos efectos sería mediante un entrenamiento sistemático que permita mejorar la resistencia necesaria para realizar las tareas cotidianas y aliviar la fatiga percibida. Dichos beneficios se deben, en gran parte, a la mejora en la *capacidad aeróbica y la fuerza muscular* que reducen en gran medida los efectos fatigantes y, en consecuencia, mejoran la calidad de vida de las personas con EM (Pilutti et al, 2013).

También es importante mencionar un aspecto que aún se está iniciando en la investigación sobre la relación entre la actividad física y la estructura neurológica, donde existen evidencias sobre los beneficios que tienen los tratamientos fisioterapéuticos y el acondicionamiento cardiorespiratorio sobre la mejora de *la función cerebrovascular y la cognición*, lo que sugiere que la actividad física podría ser de gran importancia para mantener las funciones cognitivas, actuando como un *efecto neuroprotector*. (Esclerosis Multiple España, 2018; Feter et al., 2018).

Otro de los aspectos a desarrollar es la importancia del ejercicio físico para la mejora del *suelo pélvico*, ayudando a controlar la retención de orina, que suele ser un condicionante en la calidad de vida de esta población. La actuación de programas orientados a la mejora de la fuerza estática sobre la musculatura estabilizadora del cinturón pélvico suele ser una buena solución a estos problemas.

Posiblemente uno de los desafíos más comunes y por ello, no menos importantes, son los relacionados con la *movilidad* en todas sus manifestaciones, siendo uno de los principales causantes de la inactividad y el deterioro de la calidad de vida de las personas con EM. En este sentido, existen evidencias de que cuanto mayor es la inactividad más rápido es el deterioro funcional, siendo la actividad física una ayuda para mejorar la *movilidad* y con ello contribuir a preservar las funciones motoras básicas (Pilutti, et al., 2014).

B) Efectos psicológicos y sociales del ejercicio

En cuanto a los aspectos sociales y psicológicos relacionados con la calidad de vida, es necesario recordar que más de la mitad de las personas afectadas sufren de alteraciones del estado de ánimo durante el transcurso de la EM. Estas alteraciones pueden ser debidas a la propia evolución de la enfermedad, tal como la aparición de brotes, cambios neuropatológicos en áreas del cerebro, cambios neuroendocrinos, reacción ante la pérdida de funcionalidad y efectos secundarios de la medicación. Numerosos estudios argumentan los beneficios del ejercicio físico sobre los aspectos psicológicos y sociales y su importancia para la mejora de la *autoestima, confianza y relaciones sociales* (Bräuninger, 2012).

Además, la actividad física, ayuda a la integración de las personas con EM contrarrestando la *exclusión social* que la propia enfermedad puede llegar a ocasionar debido a que dicha población suele sentirse fuera de lugar en diferentes ámbitos, evitando formar parte de la vida social. La AF ayuda a esa reinserción a través de la mejora de la autopercepción y autoestima de uno mismo. (Molt & Pilutti, 2012)

Por último y no por ello menos importante, el ejercicio físico se asocia con la *mejora cognitiva* de las personas con EM en diferentes grados de afectación, mejorando con ello las tareas atencionales y las actividades duales a partir de incrementar la actividad cerebral en el cerebelo (Leone, Patty & Feys, 2015; Stoquart- ElSankari, Bottin, Roussel-Pieronne, & Godefroy, 2010).

1.2.3. Programas de entrenamiento orientados a las personas con esclerosis múltiple.

Debido a la controversia que en su día se generó sobre la actividad física relacionada con la EM y las continuas recomendaciones dadas por los especialistas para que los pacientes eviten el ejercicio físico, ha sido difícil volver a consolidar dichos beneficios y que formen parte del estilo de vida de las personas con EM. Actualmente los programas de entrenamiento están consolidados, siendo parte del programa rehabilitador, además de ser una actividad fundamental en las etapas tempranas de la enfermedad, haciendo del ejercicio físico y el entrenamiento parte del estilo de vida saludable de las personas con EM (Confavreux & Vukusic, 2006; Learmonth, Paul, Miller, Mattinson & McFadyen, 2011).

Los antecedentes expuestos permiten sugerir que el ejercicio físico mejora la calidad de vida de las personas con EM, sin embargo no existen pautas comunes de actuación. Por el contrario, los contenidos de los programas orientados a la aplicación del ejercicio físico son diversos y heterogéneos (Geidl, Gobster, Streber & Pfeifer.,2018).

Los beneficios del ejercicio físico se han investigado a través de estrategias de intervención con programas de entrenamiento aeróbico y de resistencia (Dalgas et al., 2009; Dalgas et al., 2007; Feys et al., 2019; White & Dressendorfer, 2004), intervenciones específicas utilizando programas de fuerza (Fimland et al., 2010; Medina-Perez, de Souza-Teixeira, Fernandez-Gonzalo & de Paz-Fernandez, 2014; Nilsagard, Von Koch, Nilsson &

Forsberg 2014), además de programas de intervención para la mejora del equilibrio estático y dinámico asociado al entrenamiento de fuerza (Cattaneo, Jonsdottir, Zocchi & Regola 2007; Freeman et al., 2010). Son también numerosas investigaciones donde se han desarrollado programas de intervención combinando el entrenamiento de resistencia junto con la fuerza y el equilibrio (Pilutti et al., 2013; Tarakci et al., 2013), siendo posiblemente los más completos para dicha población, siempre combinado con el equipo multidisciplinar de fisioterapia, psicología y terapia ocupacional.

También encontramos, aunque en menor medida, la constatación de mejoras utilizando estrategias de actuación tan diversas como entrenamientos vibratorios (Castillo-Bueno, Ramos- Campo & Rubio- Arias., 2018), ejercicios en el medio acuático (Aidar et al., 2018; Corvillo et al., 2017), o realizando estrategias de intervención basadas en estiramientos mediante sesiones de Yoga, cuya realización de forma sistemática puede aliviar la sensación de hipertensión muscular y prevenir la espasticidad al inicio de la propia patología (Malet & Bertland, 1989; Oken et al., 2006). Sin embargo, la mayoría de los entrenamientos se orientan hacia la mejora de la actividad aeróbica intentando paliar los efectos de la enfermedad relacionados con la fatiga, así como el desarrollo de programas cuyo objetivo es la mejora de la función mecánica muscular (fuerza, potencia y resistencia), con el propósito de recuperar la fuerza y el control postural, como dos de los síntomas motores más frecuentes en las personas con EM.

Además de intervenciones basadas en la mejora física y orgánica de la persona, también se han realizado numerosas investigaciones relacionadas con la mejora de la atención, la percepción y las capacidades cognitivas a través de entrenamientos basados en tareas duales y su influencia en las actividades funcionales de la vida diaria (Omisade et al., 2012; Rao, 2004; Plummer & Eskes, 2015; Wajda & Sosnoff, 2015.), las cuales se describirán en mayor profundidad en el siguiente apartado.

Se contempla la necesidad de que las prescripciones de ejercicio físico para esta población sean individualizadas, de modo que respondan de la mejor forma posible a las necesidades concretas e individuales y los síntomas del afectado, teniendo en cuenta, entre otros factores: el tipo de EM, curso y fase de la enfermedad, el grado de discapacidad, la edad, las enfermedades y secuelas, entre otros factores.

Según los estudios aportados, los programas de entrenamiento relacionados con las tareas duales, capacidad aeróbica y fuerza, han sido las intervenciones más estudiadas y con mayor evidencia de beneficios, resaltando sobre todo las dos últimas (entrenamientos de fuerza y capacidad aeróbica). A pesar de que todas las investigaciones se orientan a la necesidad de entrenamientos que engloben todos los aspectos anteriores, a continuación se van a desarrollar dos tipos de entrenamiento que se han considerado de mayor relevancia: A) *Programas de actuación basados en el entrenamiento aeróbico* y B) *Programas de actuación basados en el entrenamiento de fuerza*.

A) *Programas de actuación basados en el entrenamiento aeróbico*

Se conoce que la capacidad cardio-respiratoria de las personas con EM se encuentra limitada en comparación con personas libres de patologías de la misma edad (Molt & Fernhall, 2012; Sandroff et al., 2012). Existen evidencias más que contrastadas donde se pone de manifiesto que la capacidad cardio-respiratoria se encuentra asociada al nivel de discapacidad (Heine et al., 2016; Pilutti et al., 2015), el rendimiento de la marcha (Givon, et al. (2009), la capacidad cognitiva (Sandroff, Pilutti, Benedict & Motl, 2015) y la neuroplasticidad (Prakash et al., 2007; Kesselring, 2018). En la actualidad, es posible encontrar numerosas investigaciones que consolidan la mejora de la capacidad cardio-respiratoria a través del entrenamiento aeróbico, lo que supone un plan de actuación paliativo de dicha limitación (Langeskov-Christensen, Heine, Kwakkel & Dalgas 2015; Latimer - Cheung et al., 2013; Platta, Ensari, Motl & Pilutti, 2016).

Petejan y White (1996) han argumentado los beneficios de un programa de intervención basado en el entrenamiento de la capacidad aeróbica máxima ($VO_2 max$) en el que se pone de manifiesto una mejora sobre la calidad de vida, el estado físico y la capacidad aeróbica (incremento del $VO_2 max$), además de mejoras en el estudio de otros aspectos físicos complementarios como: pliegues cutáneos, triglicéridos, fatiga y estado de ánimo, en el que se incluye la depresión y mal humor. Estudios más actualizados utilizando programas de entrenamientos de resistencia aeróbica en ciclismo, argumentan que los programas específicos de éste entrenamiento, mejoran el equilibrio, la percepción de la fatiga, la depresión y reducen el miedo a las caídas en personas con EM (Cakit et al., 2010). En este mismo sentido, Dettmers et al (2009) argumentan que, a través de los programas de entrenamiento de resistencia orgánica moderada, la distancia máxima

recorrida en personas con EM aumenta en un 66%, produciéndose también mejoras en la marcha y la fatiga percibida.

Straudi et al. (2014) han desarrollado un programa de entrenamiento basado en la marcha donde los participantes debían de caminar en un tapiz rodante durante 30 minutos a velocidades adaptadas a las necesidades de cada participante. Además para completar el programa se realizaban ejercicios funcionales de marcha con grandes zancadas, slalom o circuitos de obstáculos, entre otros. Los resultados de dicho programa obtuvieron beneficios relacionados con el rendimiento de la marcha. En concreto, dichos programas mejoraron la resistencia en la marcha, el equilibrio dinámico, la velocidad de desplazamiento, aumentó la longitud del paso y la disminución en el tiempo de doble apoyo (relacionado con el equilibrio y el riesgo a las caídas).

Siguiendo a Latimer–Cheung et al, (2013), para que pueda existir una buena adherencia al entrenamiento y mejoras significativas de la capacidad aeróbica, los entrenamientos deben de estar orientados hacia una frecuencia entre 2 a 3 días a la semana, con una duración entre 30 y 60 minutos en intensidades moderadas y con una frecuencia cardiaca máxima entre el 60-80% de intensidad.

B) Programas de actuación basados en los entrenamientos de fuerza

Desde el inicio de la enfermedad, las personas con EM muestran una mayor debilidad muscular en comparación con personas sanas, una debilidad muscular que suele incrementarse conforme avanza la enfermedad (Latimer–Cheung et al., 2013, Platta et al., 2016). Es conocido que la mejora de la capacidad muscular de esta población, es importante para mantener la movilidad general, el equilibrio, la fatiga y la realización de actividades de la vida diaria (Cruickshank, Reyes & Zima, 2015; Platta et al., 2016).

Hosseini et al., 2018 justifican que los programas de fuerza y en concreto el entrenamiento de yoga mejora considerablemente la fuerza en extremidades inferiores, y diferentes grados de equilibrio en esta población. Siguiendo con De Souza-Teixeira et al., (2009) argumentan que los programas de entrenamiento de fuerza-resistencia con intensidad moderada pueden llegar a mejorar la función muscular sin que exista riesgo a sufrir lesiones, además de ser una terapia prometedora para retrasar el deterioro funcional de las personas con EM. También resaltar los resultados aportados Pilutti et al., (2013),

utilizando el meta-análisis como técnica descriptiva, donde se reconoce que los entrenamientos de alta intensidad en fuerza mejoran de forma significativa la percepción de la fatiga de dicha población.

El origen del déficit de fuerza muscular no solo está asociado a las alteraciones funcionales propias de la enfermedad, muy posiblemente la inactividad física y la falta de un entrenamiento específico contribuyan también a ese déficit. En este sentido, se ha informado que programas moderados de entrenamiento incrementan la fuerza y el impulso neural en personas con EM (Fimland et al, 2010; Medina-Pérez et al., 2014). En realidad, se desconoce si este déficit de fuerza tanto dinámico como estático se produce debido a las alteraciones propias de la enfermedad, la inactividad física o a una combinación de ambas causas.

Dalgas et al. (2007), utilizando entrenamientos basados en actividad muscular estática y dinámica, reconocen los beneficios sobre la mejora músculo-esquelética y funcional de las personas con EM. Estudios orientados hacia entrenamientos de la fuerza máxima con altas cargas y pocas repeticiones, combinado con ejercicios estáticos, llegan a ser efectivos para el aumento del impulso eferente de las neuronas motoras relacionadas con la musculatura de extremidades inferiores (Fimland et al., 2010). Igualmente en estudios como Dalgas et al. (2013) argumentan la mejora de la conducción neural mediante actividad electromiográfica (EMG) en miembros inferiores a través de entrenamientos de fuerza basados en un mayor número de repeticiones.

Con respecto a la eficacia de la marcha relacionada con dichas intervenciones, la mejora de la fuerza muscular está asociada al incremento de la velocidad de desplazamiento, resistencia al caminar, además de mejoras cognitivas durante la marcha y sobre la capacidad cognitiva general del participante. (Sandroff et al., 2015).

Asociado a la fatiga, tras una comparativa entre diferentes tipos de entrenamiento, Pilutti et al. (2013), demostraron que el entrenamiento que mayor reducción de la fatiga producía en las personas con EM eran los ejercicios de fuerza, incluso más que entrenamientos de resistencia o combinación de fuerza- resistencia. Siguiendo de nuevo a Latimer – Cheung et al. (2013), con respecto a los protocolos más adecuados para el entrenamiento de fuerza-resistencia, parece existir una evidencia donde los mayores beneficios estarían orientados hacia un programa basado en una duración entre 8 a 20

semanas de entrenamiento, con 2 o 3 días de sesiones a la semana y una intensidad entre 70-80% de una máxima repetición (RM) o series (entre 1 o 2) con repeticiones de 8 a 10 y siempre supervisado por un profesional.

Cuando se habla de entrenamiento de fuerza, normalmente se asocia al entrenamiento tradicional de la misma (mancuernas, sobrecargas, máquinas de gimnasio, etc), sin embargo se ha podido constatar con suficiente evidencia que dicho entrenamiento también puede llegar a ser efectivo a través del uso de bandas elásticas (De Souza- Texeira et al., 2011), entrenamientos de resistencia en el agua (Corvillo et al., 2017), auto- cargas o entrenamiento funcional con supervisión profesional (Spooren, Timmermans & Seelen, 2012). Dichos entrenamientos suelen ser el tipo de actividad que se suele realizar en ésta población debido a que se suelen utilizar cargas ligeras y mayor numero de repeticiones además de en su mayoría estar supervisados por un profesional.

1.3. Déficit cognitivo en la esclerosis múltiple: El paradigma de las tareas duales.

Estando de acuerdo con la importancia que tienen los programas diseñados para abordar los síntomas motores, se considera que una actuación de entrenamiento integral también debería tener en cuenta el déficit cognitivo propio de la EM. Unos problemas cognitivos que afectan a varios sistemas neurológicos que suelen influir en la pérdida de fuerza muscular y el control postural de las personas con EM (Givon et al., 2009). Para abordar el efecto que tienen las funciones cognitivas sobre la actividad motora, suele utilizarse el paradigma de doble tarea, donde se evalúan los cambios que surgen en el patrón individual de la actividad motora cuando se realizan tareas cognitivas concurrentes que obligan a compartir recursos y procesos, lo que se ha considerado: “costos de doble tarea (DTC)” (Givon et al., 2009; Kirkland et al, 2015).

Para ello, en este apartado se expondrán los aspectos conceptuales de las tareas duales como uno de los factores intervinientes en el programa de intervención diseñado para esta tesis. A continuación, se describirán las teorías explicativas sobre el déficit motor que producen las tareas duales y, para finalizar, se expondrá una revisión específica de su efecto sobre la marcha en personas con EM.

1.3.1. Tareas duales: Concepto y clasificación.

La tarea dual (DT) se puede definir como la realización de dos o más actividades de forma simultánea, teniendo en cuenta que su concurrencia puede interferir sobre la realización de alguna de esas actividades (Wolkorte, Dorothea, Heersema & Zijdwind, 2015). Generalmente se utiliza la interacción entre componentes físicos y cognitivos que comparten recursos y procesos neuronales, con el propósito de evaluar las interferencias o el deterioro que se produce en el rendimiento de alguna de ellas durante su ejecución simultánea. Nos estamos refiriendo a las actividades tan cotidianas como caminar y atender a los estímulos del entorno, aspectos que suelen incidir en la calidad de vida diaria de las personas con EM.

El creciente uso de las tareas duales en el ámbito científico para evaluar las interferencias de los procesos cognitivos sobre el rendimiento de las tareas motoras, ha supuesto el desarrollo de un paradigma basado en las tareas duales o “paradigma de tareas duales”. Con este paradigma es posible estudiar como la demanda en una o ambas tareas concurrentes indican el alcance de su demanda cognitiva (Abernethy, 1988; Al-Yahya, et al., 2011). Por lo tanto, el uso de los paradigmas de doble tarea puede proporcionar importantes conocimientos sobre las interacciones cognitivas y el control de ciertas tareas motoras en personas con EM, especialmente cuando se ha descrito que, entre el 40-70% de las personas con EM, están afectadas por algún tipo de deterioro cognitivo (Mattioli, Stampatori, Zanotti, Parrinello, & Capra, 2010).

La cognición es un concepto general que comprende todos los procesos que nos permiten reconocer, aprender, recordar y prestar atención a la información cambiante en el ambiente. Así, el déficit motor no sería el único responsable de la ralentización de la respuesta, sugiriendo que el tiempo de procesamiento también se considera afectado por la dificultad de la tarea (De Sonnevile et al., 2002; Stoquart-ElSankari et al., 2010). Centrándonos en el déficit atencional, se ha puesto de manifiesto que afecta a la función ejecutiva y a las tareas duales. Las interferencias entre las tareas duales se evidencian en una mayor lentitud para llevar a cabo las tareas y en un deterioro en la precisión de las respuestas que se generan (Fritz, Cheek & Nichols-Larsen, 2015; Hamilton et al., 2009; Jacobs & Kasser, 2012; Leone et al., 2015).

Uno de los aspectos más controvertidos del paradigma de doble tarea es el tipo de tarea cognitiva utilizada como convergente a otra motora, ya que no todas utilizan los mismos recursos y, en consecuencia, sus efectos serán diferentes. Al-Yahya et al. (2011) han realizado un meta-análisis sobre los estudios experimentales que utilizan diferentes tareas cognitivas concurrentes con la marcha. Para esta revisión, los autores parten de una clasificación sobre las tareas cognitivas utilizadas en el paradigma de tareas duales. A continuación se expone dicha clasificación junto a la fundamentación utilizada para su uso:

a) *Tareas de tiempo de reacción*: Se refiere a las tareas que implican medir el tiempo transcurrido entre un estímulo sensorial y una respuesta, generalmente utilizado para medir la velocidad de procesamiento, entendiendo que un procesamiento ralentizado puede ser la base de un déficit de atención.

b) *Tareas de discriminación y toma de decisiones*: se refiere a tareas que requieren una atención selectiva hacia un estímulo específico o a características y respuestas acordes. Este tipo de tareas son utilizadas normalmente para examinar la atención y la inhibición de respuesta ante estímulos externos.

c) *Tareas de seguimiento mental*: Vinculadas a tareas que requieren tener información en la mente mientras se realiza una actividad física. Utilizado habitualmente para conocer la atención sostenida y velocidad de procesamiento de la información.

d) *Tareas de trabajo de la memoria*: Tareas que requieren tener información en la mente y poder estar disponible para el procesamiento. La diferenciación entre la memoria de trabajo de la tarea anterior, la encontramos en que las tareas que requieren tener información sólo se clasificaron en tareas de trabajo de memoria, mientras que aquellas que requieren información y manipulación pertenecen a la categoría de seguimiento mental.

e) *Tareas de fluidez verbal*: se refieren a tareas que requieren la producción de palabras espontáneamente y en condiciones de búsqueda pre- especificadas, que se han utilizado recientemente para examinar las funciones ejecutivas.

Todas las tareas concurrentes están asociadas a diferentes tipos de interferencias, entendiendo como interferencia el deterioro que se produce durante la ejecución de una tarea cuando ésta se intenta realizar simultáneamente a otra. Partiendo del tipo del

deterioro que se produce, las interferencias debidas a las tareas duales podrían clasificarse en:

a) *Interferencias de tipo perceptivo*. En este caso compiten los recursos para la realización de dos tareas visuales o una tarea visual y otra auditiva como, por ejemplo, estar pendiente de nombrar un número que aparece en una pantalla a la vez que el participante escucha diferentes estímulos auditivos.

b) *Interferencias de tipo motor*: Cuando se pretenden realizar dos tareas motoras a la vez, como puede ser estar sobre una pierna en una tarea de equilibrio y, a la vez, tener una bandeja e intentar que no se caigan los vasos que tiene encima.

c) *Interferencias motoras-perceptivas*: Cuando se realiza la combinación de una tarea motora y otra perceptiva como, por ejemplo, andar y hablar a la vez o leer y andar de forma simultánea.

1.3.2. Causas del déficit motor debido a las tareas duales.

El paradigma de doble tarea ha sido ampliamente utilizado para evaluar los efectos de interacción entre el patrón de movimiento y una segunda tarea, lo que se ha identificado como “*costo de doble tarea*” (DTC). La explicación sobre el costo producido por las tareas duales suele explicarse mediante tres teorías generales y complementarias:

a) *Teoría de la capacidad atencional*: Surge al considerar que las personas tienen una capacidad de atención limitada para desempeñar las actividades cognitivas, perceptivas y motrices relacionadas con el desarrollo de habilidades funcionales. Es decir, no podemos ser eficaces en la realización de dos tareas complejas al mismo tiempo y, cuando lo hacemos, disminuye el rendimiento, o dicho de otro modo, la realización de dos tareas simultáneamente sólo será posible cuando ambas impliquen una baja demanda de atención (Cano de la Cuerda & Collado-Vázquez, 2013).

b) *Teoría del filtro atencional o cuello de botella*. Muy relacionada con la anterior, se postula la existencia de un filtro que regula la entrada de los estímulos. Se da por hecho que la atención es una capacidad limitada de procesamiento de la información y que la ejecución del movimiento puede verse deteriorada si esta capacidad se aproxima al límite o excede por los requerimientos de la tarea. En resumen, sugiere que existe una fase

temporal en el procesamiento de la información donde sólo puede atenderse a una única tarea mientras que la otra se realiza de forma automatizada (Pashler, 1994; Yogeve-Seligmann, Hausdorff & Giladi, 2012). En la figura 6 se presenta un esquema de filtro atencional rígido y su analogía con el cuello de botella.

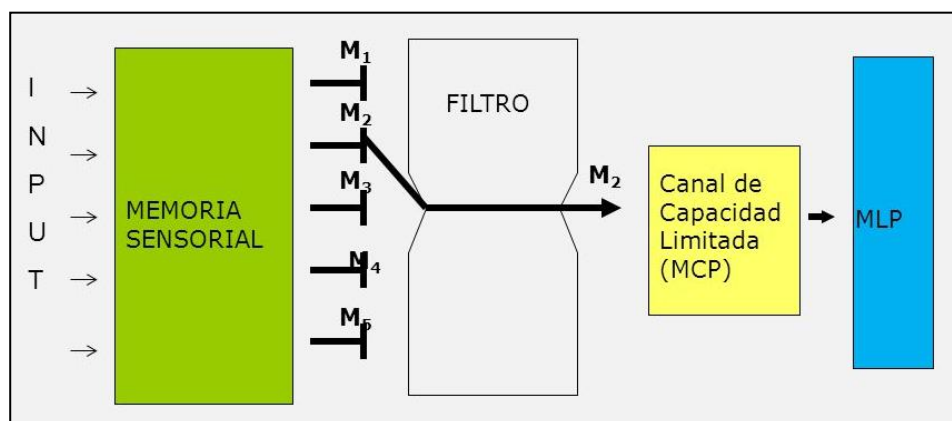


Figura 6.- Ilustración del filtro atencional rígido de Broadbent.

c) *Teoría sobre la conciencia de uno mismo*, según la cual se prioriza una actividad sobre la otra conscientemente. Para diferenciarla de la teoría de cuello de botella, en este caso se atiende a las dos tareas, pero se prioriza conscientemente la ejecución de una de ellas, pudiendo cambiar la prioridad durante el tiempo que dura dicha tarea (Wajda & Sosnoff, 2015).

En general, el DTC% registrado en las tareas motoras como la marcha se asocia a la incertidumbre provocada por las tareas duales que generan un incremento en el tiempo de la respuesta motora (Gutiérrez-Cruz, Miangolarra & Rojas, 2016). En el ámbito general se conoce que la incertidumbre provocada por las tareas duales incrementa el tiempo de la respuesta motora.

d) *Teorías de las dos corrientes visuales*. Surge desde la Neurociencia cognitiva, en especial, sobre la contribución de dos procesos visuales que tienen funciones diferentes según el tipo y objetivos de la tarea motora. Así, una corriente ventral (dirigida desde el cortex visual primario hacia cortex temporal inferior), asociada a la conciencia explícita, informa sobre las probabilidades para llevar a cabo la acción y, una segunda corriente

dorsal (dirigida desde el córtex visual primario al cortex parietal posterior), inmediata y relativamente rápida, recoge la información visual implícita en el control del movimiento (Goodale & Westwood, 2004; Milner & Goodale, 1995). Siguiendo a Van der Kamp, Rivas, Van Doorn y Savelsbergh (2008), la corriente ventral sería la más comprometida antes de iniciarse el movimiento, mientras que la dorsal dominaría sobre la ventral durante el movimiento.

Las fuentes de información que regulan el patrón de movimiento, requiere de una interacción sincronizada de los dos sistemas visuales, asumiendo cada uno de ellos funciones y usos diferentes. Ambos sistemas trabajan en distintos momentos de espacio y tiempo. Así, la información que utiliza la corriente dorsal es la inmediata, relativamente rápida y asociada a movimientos automatizados donde no se necesita ser consciente de cómo se mueve o qué tipo de información se utiliza. Por el contrario, la corriente ventral estaría asociada a la consciencia explícita, permitiendo identificar la acción más apropiada para alcanzar el objetivo.

En la figura 7 se presenta un esquema de las dos corrientes facilitado por Goodale y Westwood (2004). Según lo expuesto, la incertidumbre provocada por las tareas cognitivas concurrentes al movimiento exigiría un cierto dominio de la corriente visual ventral sobre la dorsal. Así, el dominio de la corriente ventral, asociada a la consciencia explícita, provocaría una cierta reducción de la velocidad de ejecución del movimiento.

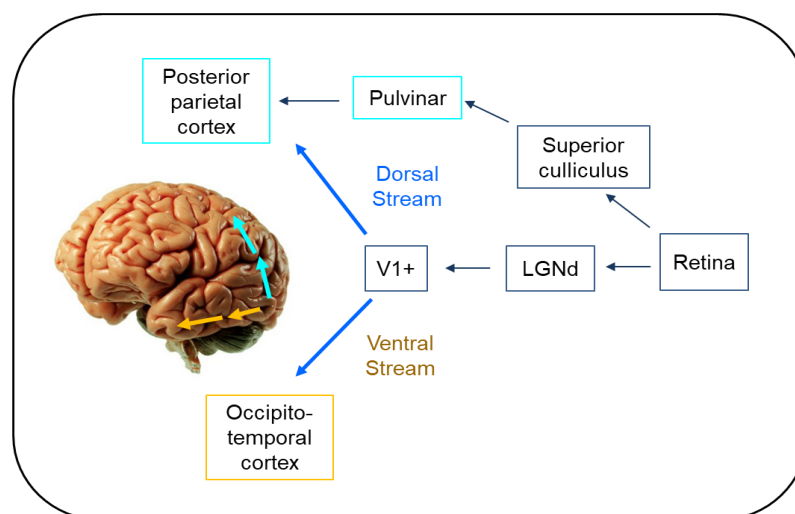


Figura 7.- Ilustración de las dos corrientes visuales (Adaptado de Goodale & Westwood, 2004)

e) *Teoría sobre la facilitación estratégica o de alto orden.* Desde la Neuropsicología cognitiva se reconoce que los planes motores y su secuenciación surgen de forma implícita, inconsciente y automatizada, mientras que las intenciones del movimiento son conscientes y pueden ser influenciadas por información anterior (Desmurget & Sirigu, 2009). Así, cuando se realiza un cambio de en la ejecución del movimiento debido a un estímulo externo inesperado, se utilizaría una facilitación estratégica o de alto orden que permite inhibir la primera acción y escoger la más apropiada (Gao, Wong Lin, Holmes, Simen & Cohen, 2009). Siguiendo a Duque, Lew, Mazzocchio, Oliver & Ivry (2010), este proceso de inhibición de respuestas se desarrolla mediante dos mecanismos estrechamente relacionados, uno disminuiría la activación de las posibles respuestas seleccionadas a nivel espinal (control de impulsos) y otro determinaría la respuesta entre las más relevantes (resolución de conflictos). Así, durante tareas duales se activarían todas las respuestas posibles, requiriéndose señales inhibitorias a nivel espinal a la espera de la información exterior que haga prevalecer una de ellas. Este segundo mecanismo inhibitorio ocurriría a niveles corticales superiores, produciendo una cierta demora en la respuesta (Ivanoff, Branning & Marois, 2009; Schluter, Rushworth, Passingham & Mills, 1998).

Son numerosas las investigaciones que tratan de establecer la relación del DTC% con los parámetros temporales y espaciales de las tareas motoras, constatándose que dicho costo provocado por tareas secundarias concurrentes de fluidez verbal, memoria de trabajo o seguimiento mental, provocan un ligero incremento de la variabilidad de todos los parámetros y una reducción de la velocidad en la ejecución de tareas, cadencia o longitud del paso, en el caso de la marcha de personas libres de patologías, llegando a constituir un indicador de rendimiento funcional y predictor de ciertas enfermedades neurodegenerativas cuando el costo es superior a la media entre personas sanas. (Al-Yahya et al., 2011; Hardy, Perera, Roumani, Chandler & Studenski, 2007; Palombaro, Craik, Mangione, & Tomlinson, 2006).

1.3.3. Los programas de intervención basado en tareas duales

La planificación de los ejercicios físicos asociados a las tareas duales constituyen un beneficio determinante para el rendimiento funcional y cognitivo de las personas con EM. Su importancia en la planificación de los programas de entrenamiento en personas con EM

se basa en que el deterioro cognitivo evoluciona de manera simultánea y paralela a las alteraciones funcionales, siendo la preservación de la atención fundamental para conjugar la rehabilitación cognitiva junto con la función ejecutiva, puesto que los problemas de memoria y resolución de problemas derivarían del daño atencional causado por la enfermedad (Omisade et al., 2012; Rao, 2004). Así, el entrenamiento mediante tareas duales puede contribuir a incrementar el nivel de independencia, la atención y concentración, así como incidir positivamente en otros aspectos relacionados con la calidad de vida, la actividad física y social (Cannin, Ada & Woodhouse, 2008; Coelho et al., 2013; Wajda & Sosnoff, 2015).

Siguiendo a Flavia, Stampatori, Zanotti, Parrinello y Capra (2010), el entrenamiento intensivo basado en la ejecución de tareas en relación a estímulos cognitivos y atencionales externos, tienen mejoras significativas en la atención, el procesamiento de la información, el tiempo de reacción y la mejora en la coordinación de los movimientos. Petajan y White (1999) añaden que este tipo de entrenamiento estaría relacionado directamente con la mejora en los niveles de depresión de las personas con EM que poseen bajos niveles de discapacidad. También se asocian beneficios sobre la memoria visual-espacial a largo y corto plazo, el control inhibitorio, el aprendizaje y la mejora de la autoestima.

Los estudios mencionados relacionados con el entrenamiento específico basado en las tareas duales se encuentran aún limitados, no existiendo protocolos de intervención específicos, por lo que sería conveniente la creación de esos protocolos de entrenamiento estructurados y dirigidos hacia las tareas duales. En este sentido, sería conveniente aportar información acerca de la frecuencia de ejecución, intensidad cognitiva o duración de las intervenciones.

1.3.4. Efecto de las tareas duales en la marcha de las personas con esclerosis múltiple.

Se conoce que, cuando se trata de patologías con afectación neurológica y en concreto la esclerosis múltiple (EM), los déficits atenciones debidos a las tareas duales (DTC%), están asociados de forma independiente a la inestabilidad postural, el deterioro en las actividades de la vida diaria y el riesgo de caídas, entre otros efectos (Sheridan & Hausdorff, 2007; Yogev-Seligmann et al., 2012). Se ha argumentado que la velocidad de procesamiento de la información se encuentra limitada en las personas con EM, pudiendo

provocar una mayor demora de procesamiento cuando se compara el tiempo de la respuesta de reacción de personas con EM con el registrado por personas libres de patologías (Abbey, Douglas & Sharon, 2011; Reicker, Tombaugh, Walker & Freedman, 2007).

La mayoría de los estudios coinciden en señalar que a mayor deterioro cognitivo, mayor será el tiempo de la respuesta de reacción en tareas complejas y duales (Abbey, et al., 2011; Reicker et al., 2007). Leone et al., (2015) han constatado esta relación al señalar que el 85% de las personas con EM se ven afectadas por un deterioro en la deambulación y hasta el 65% muestran signos de un mayor deterioro cognitivo con respecto a personas libres de patologías. Sin embargo, existen ciertas controversias debido a la variabilidad que existe en los tiempos de la respuesta de reacción cuando se comparan a personas con EM y libres de patologías.

Partiendo de esta relación entre el deterioro cognitivo y motor en personas con EM, son numerosas las investigaciones que utilizan el paradigma de doble tarea para determinar su efecto en el rendimiento de la marcha. Los resultados difieren según: a) el nivel de discapacidad de las personas con EM, b) el tipo las tareas cognitivas concurrentes a la marcha, c) las técnicas de registro utilizadas, d) la prioridad dada a cada tarea y e) la complejidad o sistemas funcionales que se ven afectados. Con respecto a esta controversia, Nogueira, dos Santos, Pollyane, Alvarenga y Thuler (2013) han puesto de manifiesto que no existen cambios significativos en la marcha de las personas con EM sin discapacidad aparente cuando se utiliza una tarea cognitiva concurrente basada en el conteo numérico. En sentido contrario, las aportaciones de Kalron et al, (2010), indican que las personas en fase temprana de EM, la doble tarea cognitiva afecta de forma significativa a la velocidad de la marcha, la asimetría en el ancho de paso y el tiempo de doble apoyo, lo que supone incrementar el riesgo de caídas y, en consecuencia, una importante disminución de la calidad de vida.

Atendiendo al tipo y complejidad de la tarea cognitiva concurrente con la marcha, Allali, Laidet, Assal, Armend y Lalive (2014) evaluaron el impacto de cuatro tareas cognitivas de conteo y fluidez verbal sobre la marcha personas con esclerosis múltiple recurrente-remitente con discapacidad leve, observando una disminución de la velocidad de la marcha y de la longitud de zancada, evidenciando la existencia de una fuerte relación

entre el rendimiento de la marcha y la cognición en personas con EM. Se constata que las cuatro tareas cognitivas estudiadas implican dominios estrechamente relacionados con la atención, la memoria de trabajo, la función ejecutiva y la memoria semántica. Sin embargo, los resultados son escasos y contradictorios cuando se utilizan tareas de discriminación ejecutiva asociadas a la toma de decisiones, es decir, las que requieren atención selectiva a un estímulo y responder cuando se cumplen las condiciones predeterminadas (Al-Yahya et al., 2011), lo que es habitual cuando la marcha se produce en entornos complejos e inestables.

La marcha que se produce en entornos inestables requiere de una continua adaptación del movimiento programado a las condiciones ambientales (por ejemplo, la atención necesaria para detenerse cuando se cierra un semáforo o cambiar de dirección cuando se cruzan otros peatones). Estos procesos de reprogramación se caracterizan por diferentes etapas de procesamiento cognitivo y motor, como la detección y discriminación rápida de los cambios ambientales, una fuerte inhibición de la marcha programada y su adaptación a la nueva situación ambiental (Nakamoto & Mori, 2012), siendo el control atencional inhibitorio el principal responsable del costo debido a la tarea dual (DTC) en el rendimiento del patrón de marcha. La explicación más recurrente se ha asociado a la competencia entre recursos limitados de las personas y al déficit de las estructuras del sistema nervioso central (Belghari, Chastan, Davenne & Decker, 2017; Nordin, Moen-Nilsen & Ludin-Olson, 2010).

En general, son numerosas las investigaciones que han constatado el costo en el rendimiento de la marcha debido a las tareas duales, siendo los principales parámetros afectados: la reducción de la velocidad de la marcha, tanto en distancias cortas cronometradas como espacio-temporales, la longitud de paso y asimetría en el ancho de paso y tiempo de doble apoyo (Gutiérrez-Cruz, Miangolarra & Rojas, 2016; Hamilton et al., 2009; Kramer, Dettmers & Gruber, 2014; Learmonth et al., 2011; Molt et al., 2014; Sosnoff, Gappmaier, Frame & Motl, 2011; Wajda, Molt & Sosnoff, 2013). Aunque parece lógico pensar que la disminución de la velocidad de la marcha puede verse afectada por el propio acortamiento de la longitud de paso como factores relacionados, la ralentización de la marcha durante tareas duales, en comparación con tareas simples, podría deberse a la implicación de las redes funcionales ejecutivas (área prefrontal y córtex cingular) en las

áreas de control de velocidad de la marcha, las cuales se relacionan con el rendimiento de las tareas duales (Nogueira et al, 2013).

Otros estudios han constatado una reducción significativa de la cadencia de paso debida al efecto de las tareas duales (Molt et al., 2014; Wajda et al., 2013), así como un aumento del tiempo en apoyo bipodal (Gutierrez-Cruz, Miangolarra & Rojas, 2016; Leone et al., 2015; Nogueira et al., 2013; Sosnoff et al., 2011). La disminución de la cadencia del paso, podría justificarse a partir del control que mantienen los diferentes mecanismos que involucran el tronco encefálico y la médula espinal, los cuales se encontrarían afectados (Cho et al., 2010). El aumento del tiempo en doble apoyo se justificaría como una estrategia para mantener el equilibrio durante la marcha. En este sentido, varios estudios lo han relacionado y la denominan “*marcha cautelosa*”, característica de las personas con esclerosis múltiple, con ciertos problemas de equilibrio e inseguridades debidas a la incertidumbre que supone el riesgo de caídas (Giladi, Herman, Reider, Gurevich & Hausdorff, 2005; Schniepp et al., 2014).

Aunque las investigaciones precedentes constatan el efecto de la doble tarea sobre el rendimiento de la marcha en las personas con EM, Kirkland, et al. (2015), han utilizado tres tareas cognitivas de conteo concurrentes a la marcha, con el propósito de detectar deficiencias en las personas con EM y controles libres de patologías, constatándose que, tanto el grupo con una discapacidad leve debida a la EM y el grupo de control, reducen la velocidad, la cadencia y la longitud del paso durante la marcha dual, sin que hayan existido diferencias significativas entre los grupos. Efectivamente, también se ha constatado un cierto costo debido a la tarea dual en la marcha de personas sanas con plenos recursos cognitivos y motores (Woollacott & Shumway-Cood, 2002). Nuestros estudios recientes con personas libres de patologías han confirmado este hecho al constatar que la realización de la tarea concurrente ejecutiva tiende a reducir el tiempo de la fase monopodal de los dos pasos del ciclo de marcha y, especialmente, sus respectivas longitudes, siendo la longitud de paso la principal causa de la reducción de la velocidad de desplazamiento del CG. La variabilidad del tiempo de paso y de sus respectivas longitudes se ha incrementado por efecto de la tarea concurrente propuesta (Gutiérrez-Cruz, Rojas, De la Cruz & Gutiérrez-Dávila, 2018).

En relación al costo debido a las tareas duales que se produce en el patrón de marcha de las personas sanas, son numerosas las investigaciones donde se constatan cambios significativos en la estructura temporal y espacial de las variables que determinan su rendimiento (Al-Yahya, et al., 2011; Kirkland et al., 2015), incluso en los patrones de movimiento altamente automatizados como son los desarrollados por deportistas de alta competición (Gutiérrez-Dávila, Zingsem, Gutiérrez-Cruz, Giles & Rojas, 2014). La explicación a este hecho podría abordarse a partir de la contribución de las dos corrientes visuales y a los procesos de facilitación estratégica.

Las teorías expuestas aportan una explicación del DTC% en el rendimiento de la marcha debido a una segunda tarea de discriminación y toma de decisiones, independientemente de las capacidades motoras individuales, aunque parece probado que las capacidades o recursos individuales pueden variar la magnitud del costo debido a la doble tarea. En esta línea, siguiendo nuestros estudios previos con participantes que poseen diferentes niveles de afectación neurológica sugieren que la incertidumbre debida a las tareas cognitivas de discriminación y toma de decisiones, reducen de la velocidad de la marcha y la longitud del paso (Gutiérrez-Cruz, Miangolarra & Rojas, 2016), aunque los resultados no son concluyentes debido a la variabilidad funcional de los participantes y la ausencia de datos referenciados para determinar el correspondiente diferencial de costo con respecto a personas sanas.

1.4. Los Programas de entrenamiento combinado.

Los antecedentes descritos evidencian la necesidad de aplicar programas de actividad física fundamentando sus beneficios para la calidad de vida de las personas con EM, lo que nos permite sugerir que los programas de entrenamiento deberían estar integrados en una actuación combinada de actividades duales, fuerza, equilibrio y resistencia donde la persona con esclerosis múltiple pueda beneficiarse de forma integral de todos los aspectos fundamentales del entrenamiento, donde puedan integrarse el entrenamiento cognitivo a través de las tareas duales, junto con el entrenamiento de las cualidades físicas básicas que mayor influencia podrían tener en la EM, lo que se ha discutido en los párrafos anteriores (resistencia aeróbica, la fuerza-resistencia y el equilibrio, tanto estático como dinámico).

Hoang et al (2016) o Straudi et al. (2014), resaltan la importancia de los entrenamientos combinados para la mejora integral de las personas con EM, considerando la relevancia de realizarlos en situaciones próximas a la vida real, donde participe el equilibrio o la implicación cognitiva durante ciertos momentos del día, como atender a diferentes estímulos del ambiente, levantarse de una silla o ser capaz de andar durante 10 minutos, sean el principal objetivo de un programa estructurado de ejercicio físico específico para personas con EM.

Igualmente, la mayoría de los entrenamientos combinados que se realizan, suelen tratar de manera independiente las alteraciones motoras y cognitivas (Fimland et al., 2010; Pilutti et al., 2015), las cuales son imprescindibles a la hora de realizar actividades grupales en los que se requiera una actividad, ya sea del hogar o de ocio, mientras se mantiene una conversación con otra persona o el simple hecho de caminar y atender a estímulos externos como un semáforo por la calle. A través de la literatura, se pretende establecer en esta tesis las relaciones entre ambos tipos de alteraciones, además de establecer un plan de intervención basado en tareas duales cotidianas de las personas con EM que precisan de atención dividida, evidenciando la importancia de realizar entrenamiento combinado incluyendo tareas duales, en los cuales se encuentran beneficios significativos relacionados con la reducción del número de caídas, mejoras en el equilibrio dinámico o la velocidad de procesamiento, entre otros. (Fritz et al., 2015; Nilsagard et al, 2014).

Actualmente podríamos afirmar que, en base a la literatura científica disponible, no es posible ofrecer recomendaciones específicas para un plan de ejercicio óptimo individualizado basado en tareas duales y entrenamiento físico asociado a las actividades cotidianas de las personas con EM. Sin embargo, el análisis de los resultados de la bibliografía científica muestra una serie de evidencias que permiten continuar en la línea del diseño de un plan de intervención donde se combinen actividades motoras y cognitivas como estrategia de actividad dual para una población con necesidades especiales, donde el déficit atencional provocado por la propia enfermedad pone en compromiso la integridad física durante la ejecución motora.

El programa de entrenamiento combinado que se presenta en esta tesis trata de unificar todos los beneficios de la actividad física en un único modelo de programa de intervención globalizado y de este modo mejorar aspectos relacionados con la fuerza

estática y dinámica, el equilibrio estático y durante el ciclo de marcha, además de aspectos cognitivos a través de las tareas duales como alternativa a los programas específicos para el desarrollo de las cualidades físicas básicas, como la fuerza o la resistencia, entre otras.

1.5 Objetivos generales y específicos.

Con los objetivos que expondremos en este apartado tratamos de resumir los logros que se pretenden alcanzar en esta tesis, los cuales surgen de las motivaciones personales, junto a una trayectoria académica e investigadora que nos han llevado a estudiar el tema planteado y que se concreta a partir del marco teórico y conceptual expuesto en los párrafos anteriores.

Además de la formación personal a través del conocimiento del método científico, la intención de esta tesis ha sido diseñar, aplicar y evaluar los efectos de un programa de intervención donde se combinan tareas motoras y cognitivas con el propósito de mejorar la calidad de vida de las personas con EM. Para alcanzar esos objetivos se han utilizado avanzadas técnicas de registro junto a una metodología de investigación basada en el ensayo controlado aleatorizado con grupo de intervención y grupo de control, lo que nos ha permitido obtener el marco de referencia adecuado para comprobar los efectos motores y cognitivos del programa de intervención.

Como es habitual, los objetivos se han organizado en *generales* y *específicos*. En los primeros se trata de exponer el propósito global y principal objetivo que se pretende alcanzar con esta tesis, es decir, los que nos han permitido orientar la investigación y, los específicos, parten de los generales para concretar sus aspectos acerca de cómo lograremos alcanzar los resultados pretendidos. Para esta concreción operativa los objetivos específicos se han organizado a partir de las tareas y registros de medida utilizados para evaluar los efectos del programa diseñado.

A) *Objetivo general.*

Además de las motivaciones personales, el objetivo principal de esta tesis surge de la justificación teórica expuesta en la parte introductoria, donde se constata la importancia que tienen los programas de actividad física en el mantenimiento de la calidad de vida en las personas con EM y, donde se sugiere la necesidad de desarrollar un plan de

entrenamiento combinado que incluya las tareas duales cotidianas que precisan de una atención dividida. Sin embargo, a partir de la literatura científica disponible, no es posible obtener la evidencia acerca de un plan de ejercicio óptimo e individualizado, basado en el entrenamiento físico y las tareas duales asociadas a las actividades cotidianas de las personas con EM. El objetivo general de esta tesis se puede enunciar como:

- ✓ **Evaluar los efectos de un programa de entrenamiento combinado, basado en ejercicios de fuerza dinámica y tareas cognitivas concurrentes a la realización de actividades coordinativas básicas (tareas duales), sobre la fatiga percibida y la calidad de vida, los factores cinemáticos del ciclo de marcha, el costo de tareas cognitivas concurrentes a la marcha, el equilibrio, el pico máximo de fuerza estática y la fuerza dinámica durante la tarea sit-to-stand, en personas con EM.**

B) Objetivos específicos.

- Realizar una valoración objetiva del efecto del programa combinado de intervención aplicado durante veinticuatro semanas, sobre los parámetros temporales y espaciales del patrón de marcha de las personas con EM, así como del equilibrio dinámico durante las respectivas fases y periodos temporales, utilizando para ello el desplazamiento espacial del centro de gravedad durante la marcha normal de la muestra de personas con EM
- Identificar el efecto del programa de intervención sobre el costo producido por una tarea dual de tipo discriminante y ejecutivo, sobre las distintas fases y periodos temporales del patrón de marcha de las personas con EM. Para alcanzar este objetivo se desarrollarán sistemas de generación de estímulos sincronizados temporalmente a las técnicas fotogramétricas tridimensionales.
- Identificar la existencia de un costo específico de la enfermedad, relacionando el costo debido a las tareas duales concurrentes a la marcha con el nivel de discapacidad de las personas con EM, evaluado a partir de la escala EDSS.
- Determinar el efecto del programa de intervención sobre el equilibrio estático de las personas con EM, utilizando para ello registros estabilométricos del

centro de presión procedentes de una plataforma de fuerza y aplicando la metodología propuesta en el test de Romberg.

- Evaluar el efecto del programa de entrenamiento combinado sobre el pico máximo de fuerza estática de reacción, la fuerza neta y el ratio de desarrollo de fuerza estática utilizando para ello el registro de la componente vertical de la fuerza de reacción procedente de una plataforma de fuerza.
- Comprobar el efecto del programa de intervención combinado aplicado durante veinticuatro semanas sobre los parámetros dinámicos, temporales y espaciales de la tarea *Sit-to-stand*, utilizando para ello una plataforma de fuerza sincronizada temporalmente a una cámara de video de alta velocidad.
- Determinar el efecto de un programa de entrenamiento combinado a partir de los cambios producidos durante el periodo de intervención sobre la fatiga percibida y la calidad de vida de las personas con EM, utilizando para la evaluación de la fatiga percibida el test de severidad de la fatiga, Fatigue Severity Scale (FSS), y para evaluar la calidad de vida el cuestionario WHOQOL-BREF.

1.6 Hipótesis derivadas.

La hipótesis representa el final de un largo proceso empírico y reflexivo sobre las posibles soluciones a los problemas científicos que se han expuesto en forma de objetivos. Un proceso que se ha descrito a partir de los antecedentes expuestos y se fundamenta a partir del análisis sobre las evidencias científicas expuestas en los párrafos que preceden en esta parte introductoria. Cabe destacar que esta tesis parte del diseño de un programa de entrenamiento como variable independiente y su efecto sobre diferentes aspectos que están relacionados con la calidad de vida de las personas con EM, como variables dependientes. Así, como consecuencia de las cuestiones propuestas en forma de objetivos específicos en el apartado anterior, se plantea corroborar o rechazar las siguientes hipótesis con respecto a un grupo control equivalente al de intervención.

- ✓ **H1.** El programa de intervención provocará cambios en la secuencia temporal del ciclo de marcha debido a la mejora del equilibrio dinámico y el

control postural, reduciéndose el tiempo en apoyo bipodal e incrementándose el periodo de apoyo monopodal. La consecuencia será una marcha más segura.

- ✓ **H2.** El entrenamiento dual incluido en el programa de intervención, junto a la mejora del equilibrio, reducirá el costo debido a una tarea dual cognitiva concurrente a la marcha. A partir de los antecedentes expuestos, la mayor reducción de este costo se producirá en la longitud de paso y velocidad de desplazamiento y se correlacionará con el nivel de discapacidad según escala EDSS.
- ✓ **H3.** La incorporación de ejercicios de fuerza utilizando plataformas inestables en el programa de intervención provocarán una mejora generalizada del equilibrio.
- ✓ **H4.** El diseño de un programa de intervención basado en ejercicios de fuerza muscular, aumentará la fuerza estática de reacción, así como su ratio de desarrollo, asociado a un mayor ritmo de producción de fuerza muscular.
- ✓ **H5.** La aplicación de un programa de intervención donde se combinan tareas motoras y cognitivas, se pondrá de manifiesto en la mejora de la tarea sit-to-stand, como consecuencia del incremento de la fuerza dinámica general, los factores coordinativos relacionados con el control postural y una mayor seguridad durante la ejecución del movimiento.

La confirmación de estas hipótesis pondría de manifiesto la necesidad de incorporar estos programas de entrenamiento combinado como estrategia de intervención general en el tratamiento de las personas con EM, actuando de forma coordinada con las terapias farmacológicas y rehabilitadoras. Además, su contrastación empírica supondría un avance significativo en el conocimiento hacia la búsqueda de estrategias de intervención orientadas hacia la mejora de la calidad de vida de las personas con EM.



2. MÉTODO

2. MÉTODO

Siguiendo con la estructura general de esta tesis, tras la redacción de los objetivos e hipótesis relacionadas, es de obligado cumplimiento el desarrollo de un apartado dedicado a la metodología de esta investigación, lo que se ha organizado siguiendo el esquema general del informe de investigación. Así, después de una aproximación al diseño de investigación, se describirán las características generales de los participantes, sus criterios de inclusión y las estrategias utilizadas para su asignación a los grupos. A continuación, se describirá la variable independiente del programa de entrenamiento combinado, sus criterios de intensidad y adaptación a los distintos niveles de discapacidad. Tras esta descripción se expondrán las variables dependientes y los equipos de registro, haciendo especial mención a los desarrollados específicamente para esta tesis. Debido a la complejidad y variedad de los procedimientos utilizados, el apartado procedimental se ha estructurado en función de los test utilizados para registrar las diferentes variables: a) Análisis de la marcha y el efecto que producen sobre ella las tareas duales, b) Registros de fuerza estática, c) Procedimientos para el estudio del equilibrio y d) Eficacia de la tarea Sit-to-Stand. Para finalizar se detallarán los procedimientos estadísticos.

2.1. Diseño del estudio.

Se trata de un ensayo controlado aleatorizado con grupo de intervención (GI) y grupo control (GC), aunque con ciertas variables relacionadas con la selección de los grupos que serán debidamente justificadas. En estos diseños, se presupone que el azar permite que los grupos experimentales sean homogéneos, pero en ciertas ocasiones, como la que nos ocupa, es posible que se obtengan grupos desiguales en algún aspecto relevante para la investigación. Así, se ha considerado el nivel de discapacidad, según escala EDSS, un factor relacionado que podría incrementar la varianza intragrupo con respecto a los registros de las variables dependientes. Para solucionar este posible efecto se han construido tres bloques según nivel de discapacidad (Bloque 1: $EDSS \leq 2$; Bloque 2: $EDSS > 2$ y ≤ 4 ; Bloque 3: $EDSS > 4$ y ≤ 6) asignándose aleatoriamente un número proporcional de cada bloque a los grupos experimentales. Un diseño que Pereda (1987) identifica como de bloques al azar (*randomized blocks design*).

El grupo de intervención realizó tres sesiones semanales del programa de

entrenamiento combinado (PEC) durante un periodo de 24 semanas, con una evaluación previa a la intervención (Pre), a las 12 semanas (Post) y después de las 24 semanas de intervención (Repost). El grupo de control siguió con su actividad diaria habitual, donde se incluían las terapias rehabilitadoras prescritas. A este grupo sólo se le realizó una evaluación previa (Pre) y otra a las 24 semanas (Repost).

Un aspecto que podría interferir en la metodología requerida por el diseño descrito hace referencia a ciertas peculiaridades éticas sobre la distribución aleatorizada de los participantes a cada grupo. Desde un planteamiento teórico deberíamos de haber hecho una única convocatoria entre una población disponible de personas con EM (a través de asociaciones, centros médicos, gabinetes psicológicos especializados ..., etc.) y extraer de ella la muestra para el estudio. A partir de esa muestra se utilizaría la estrategia de bloques para asignar aleatoriamente cada participante a uno de los dos grupos (intervención y control). Esta segunda parte del proceso es la que nos creaba ciertos problemas que podríamos identificar como “éticos”, ante la posibilidad de tener que negar la intervención, asignando al grupo de control, a personas que habían accedido a la convocatoria con la intención realizar una actividad que podría beneficiar a su calidad de vida, además de incorporarse a un entrenamiento sistematizado, adaptado a su patología, individualizado y dirigido por un profesional. Una situación que podría, cuanto menos, provocar frustración en los participantes asignados al grupo control.

La solución a este problema ha sido realizar dos convocatorias diferentes a partir de una población disponible de 56 personas. Para la primera se utilizó el azar para convocar al 50% de la población disponible y extraer de ella la muestra que se asignaría al grupo de intervención, donde se incluía en la convocatoria una información clara sobre lo que suponía participar en el programa de intervención. A partir de las personas que fueron asignadas al grupo de intervención, se organizaron los tres bloques según su grado de discapacidad y se determinó el porcentaje para cada uno de ellos. Cuando ya había comenzado el programa de intervención, se realizó una segunda convocatoria al resto de las personas disponibles donde se incluían unas instrucciones claras sobre lo que suponía participar en el grupo de control. En este caso, la información de la convocatoria indicaba con claridad que los participantes sólo realizarían dos tomas de datos y se aportaría un informe final individualizado sobre los resultados obtenidos.

La variable independiente (VI) fue un programa de intervención que consistía en un entrenamiento específico combinado (PEC), basado en ejercicios de fuerza dinámica y tareas duales, del cual se darán más detalles en próximos apartados. Con respecto al tiempo de aplicación del programa de intervención, la mayoría de las investigaciones precedentes lo han aplicado durante un periodo de 12 semanas. Sin embargo, en este estudio se ha incrementado a 24 semanas, al considerar que un mayor tiempo de intervención podría producir cambios más destacados en el rendimiento de las actividades cotidianas en personas con EM, un aspecto que también ha sido considerado por Finland et al. (2010) y Hosseini et al. (2018). Las variables dependientes (VD) han estado relacionadas con la eficacia de tareas cotidianas como la marcha, levantarse de una silla, así como la evaluación del equilibrio y la fuerza estática, lo que se expondrá con detalle en próximos apartados. En la figura 8, se presenta un esquema general del diseño utilizado.

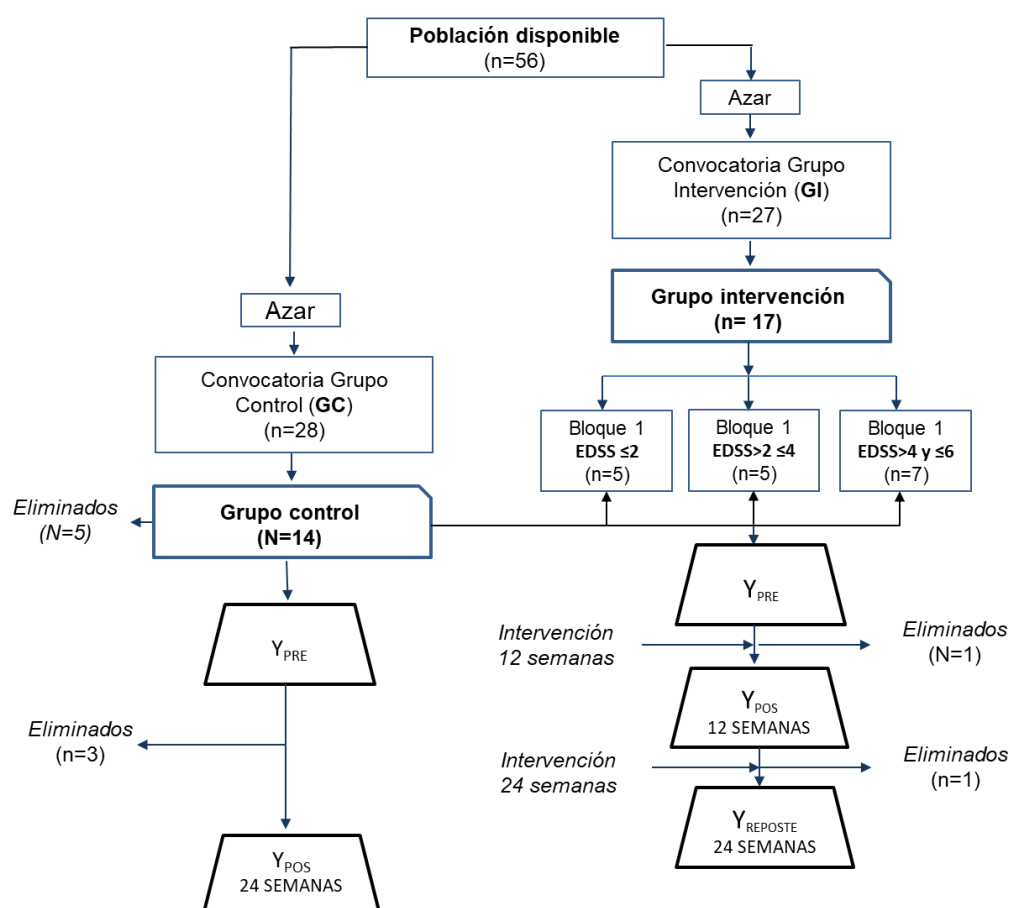


Figura 8.- Esquema general del diseño: Estrategia de distribución de los participantes en grupos, temporalidad, variable independiente (intervención) y variables dependientes (test)

2.2. Participantes.

Han participado 32 personas diagnosticadas con esclerosis múltiple entre una población disponible de 56 (14 hombres y 18 mujeres). Para su selección se han realizado dos convocatorias independientes, eligiendo al azar para cada convocatoria al 50% de las personas disponibles. Para su selección se han considerado los siguientes criterios de inclusión:

- ✓ Tener un diagnóstico confirmado de EM con una puntuación EDSS comprendida entre 0 y 6.
- ✓ Capacidad para caminar sin ayuda, muletas, bastones ni prótesis. Se admitieron complementos ortopédicos orientados al control de la espasticidad.
- ✓ No haber tenido historia de cirugía o fractura de miembros inferiores en el último año.
- ✓ No haber tenido brotes o afecciones graves de la enfermedad en los últimos seis meses.
- ✓ En caso de ser mujer, no estar embarazada.
- ✓ Comprender y firmar el consentimiento informado.

A todos los participantes se les ha aplicado el cuestionario de calidad de vida WHOQOL-BREF y un análisis de la composición corporal, utilizando para ello el sistema InBody-230. A partir de los datos generales y las evaluaciones previas, se aplicaron técnicas de muestreo estratificado utilizando como criterio el nivel de discapacidad como se indica en el apartado que se ha dedicado al diseño, finalmente se han asignado al grupo de intervención 17 participantes (8 hombres y 9 mujeres) y al grupo de control 14 participantes (seis hombres y nueve mujeres). Han sido excluidos los participantes que sufrieron brotes, afecciones graves o tratamientos quirúrgicos durante el periodo de tratamiento. Finalmente han concluido 15 participantes del grupo de intervención (7 hombres y 8 mujeres) y 11 del grupo de control (5 hombres y 6 mujeres). A todos ellos se les informó y solicitó su consentimiento para participar en este estudio siguiendo las directrices de la Comisión Ética de la Universidad. En la tabla 1 se presentan los datos relacionados con las características más significativas de los participantes, así como sus diferencias entre las medias.

Tabla 1.- Características significativas de los participantes con EM

Variable	Grupo Intervención (N=15)	Grupo Control (N=11)	Valor P
Edad (años)	40.7 ± 8.2 (55-26)	47.2 ± 9.8 (31-61)	n.s.
Talla (m)	1.70 ± 0.09 (1.84-1.55)	1.68 ± 0.07 (1.76-1.55)	n.s.
Masa (Kg)	72.4 ± 14.7 (107-50)	68 ± 15.1 (100-51)	n.s.
Masa muscular esquelética (Kg)	26.7 ± 6.4 (37.6-17.5)	26.0 ± 6.9 (40.9-18.8)	n.s.
Masa muscular esquelética (%)	37.3 ± 7.1 (48.2-34.1)	38.7 ± 7.5 (48.1-21.5)	n.s.
Masa grasa corporal (Kg)	21.0 ± 7.0 (33.8-9.2)	20.2 ± 7.2 (27.0-10.2)	n.s.
Masa grasa corporal (%)	29.1 ± 7.2 (35.9-13.9)	20.0 ± 6.8 (35.9-18.6)	n.s.
Índice de masa corporal (Kg/m ²)	24.7 ± 3.8 (34.5-20.4)	24.9 ± 4.8 (34.5-19.0)	n.s.
EDSS	3.6 ± 1.8 (6-1)	3.8 ± 1.2 (6-2)	n.s.

Mean ± SE (range); ns = p>0.05

2.3. Variable independiente: El programa de entrenamiento.

Como se ha indicado, el objetivo de este estudio ha sido evaluar los efectos de un programa de entrenamiento combinado (PEC), basado en ejercicios de fuerza dinámica y tareas cognitivas concurrentes a la realización de actividades coordinativas básicas (tareas duales). Así, el programa de entrenamiento constituye la variable independiente (VI) del estudio y, en consecuencia será necesario exponer una descripción detallada de ella, así como de sus controles de intensidad y adaptaciones a los niveles de discapacidad individual. Para su desarrollo, hemos creído conveniente comenzar con la descripción de la estructura básica del programa de entrenamiento, continuaremos con la distribución de las sesiones y finalizaremos con los aspectos más concretos que hacen referencia a las adaptaciones realizadas en función del nivel de discapacidad individual.

2.3.1. Distribución y organización general de las sesiones.

Cada participante realizó tres sesiones semanales con una duración de 60 minutos. Todas las sesiones estuvieron dirigidas por un entrenador instruido especialmente para este estudio. Si algún participante perdía alguna de las sesiones semanales se le habilitó una cuarta sesión alternativa. El entrenamiento se realizó durante 24 semanas en uno de los gimnasios del Instituto Mixto de Deporte y Salud de la Universidad de Granada (iMUDS), el cual fue adaptado específicamente para esta actividad. Es necesario indicar que se ha

tenido en cuenta el calendario académico aunque los días festivos prolongados como navidad se nos concedió que se pudiera entrenar para no interrumpir en demasía el entrenamiento.

Entendiendo la heterogeneidad de las personas que accedieron al grupo de intervención, las sesiones se organizaron en grupos según el nivel de discapacidad y disposición horaria. Así, se habilitaron seis sesiones semanales de mañana y tres de tarde, con la intención de distribuir los participantes a cada sesión en grupos de cuatro a seis, según escala EDSS y capacidad física previamente evaluada. Aunque ésta sería una situación ideal, es necesario indicar que, en algunos casos, este criterio de distribución no fue posible, debiéndose adaptar los grupos a las peculiaridades individuales de ciertos participantes.

2.3.2. Estructura básica del programa de entrenamiento.

Las sesiones comenzaban con un calentamiento progresivo general de 5 minutos donde se incluían desplazamientos y ejercicios de movilidad articular combinados con tareas de atención dividida, como por ejemplo la realización de pases con dos balones mientras que se realizaban diversas modalidades de desplazamientos.

La fase principal del programa de entrenamiento combinado (PEC) fue estructurada en cuatro bloques de 10 minutos con objetivos diferentes, lo cuales se presentan a continuación:

- a) *Fuerza dinámica general mediante autocargas.* Se Han incluido ejercicios de fuerza estática y dinámica utilizando como carga el propio cuerpo a través de ejercicios con autocargas y TRX, tanto en miembros superiores, inferiores y musculatura proximal. La progresión siempre se ha regulado incrementando el número de repeticiones para cada ejercicio y aumentando el nivel de dificultad del mismo, además el ejercicio podía ser adaptado a cada participante dependiendo del nivel inicial y capacidades. En la Figura 9 se puede observar un ejemplo de este bloque orientado a la mejora de la fuerza dinámica general con TRX.



Figura 9.- Ejemplo de un ejercicio orientado hacia la mejora de la fuerza dinámica general con autocargas utilizando TRX.

- b) *Fuerza dinámica general resistida.* Similar al anterior, aunque utilizando máquinas de musculación, bandas elásticas, balones medicinales o la participación de otro compañero. La progresión se realizó normalmente manteniendo la misma carga y variando el número de repeticiones aunque dependiendo de la progresión se le podía cambiar la carga. Los ejercicios se basaron en bloques con alto número de repeticiones y carga leve según investigaciones anteriores que lo justifican (Dalgas, Ingemann-Hansen, Stenager, 2009). En la Figura 10 se presenta un ejemplo de estos ejercicios donde se han utilizado balones medicinales y elásticos adaptados a las diferentes discapacidades.
- c) *Marcha y/o carrera dual.* Se utilizó una cinta rodante (Ergometrix -Valiant) con barras a los laterales y delante para los participantes que necesitaran dicho apoyo durante la marcha, implementada con un sistema electrónico programable de seis luces (dos semáforos) y un pulsador situado frente al participante. El participante debía caminar a paso ligero o correr (dependiendo de su afectación), estando atento a la secuencia de luces y

debiendo activar rápidamente el pulsador cuando se encendían de forma simultánea las luces rojas de los dos semáforos (una luz roja en cada semáforo). La secuencia y tiempo de encendido y apagado de las luces había sido programada atendiendo a las características individuales de los participantes. El sistema informaba del tiempo de la respuesta de reacción, considerado como el periodo temporal entre el encendido de las dos luces rojas y el instante en que el participante activaba el pulsador, informando de los tiempos después de cada sesión. La progresión de la intensidad del ejercicio se reguló incrementando la velocidad de la cinta rodante, manteniendo constante el tiempo de ejecución. Ésta marcha o carrera dual se combinaba con marcha o carrera sin actividad dual. En la Figura 11, se presenta un ejemplo de esta actividad, así como de los sistemas de control utilizados para la tarea dual cognitivas y las pantallas informativas sobre el tiempo de reacción



Figura 10.- Ejemplo de un ejercicio orientado hacia la mejora de la fuerza dinámica general resistida utilizando balón medicinal, bandas elásticas o mancuernas.

- d) *Tarea dual sobre plataformas inestables.* Se utilizó un sistema de luces y procedimiento similar al entrenamiento de marcha dual, aunque utilizando diferentes actividades coordinativas sobre plataformas inestables (sentados

en fitball o en bipedestación sobre bossu). La intensidad se reguló mediante el nivel de dificultad para mantener el equilibrio. Esta actividad se combinaba con actividades no cognitivas o de pases de balón entre dos personas para dinamizar los entrenamientos. En la figura 12, se presenta un ejemplo de esta actividad sobre plataformas inestables, así como los sistemas de control de utilizados para la actividad dual perceptiva.



Figura 11.- Ejemplo de una actividad dual en carrera sobre tapiz rodante.

Las sesiones de entrenamiento finalizaban con 5 minutos de ejercicios de estiramiento en suelo y actividades de relajación, ayudados por rodillos de gomaespuma. Todos los ejercicios se adaptaron al nivel de discapacidad y las características individuales de los participantes. Los aspectos más concretos del programa, así como los criterios que se han utilizado para llevar a cabo las adaptaciones, se presentan en el Anexo I.



Figura 12.- Ejemplo de una actividad dual sobre plataforma inestable.

2.3.3. Adaptaciones del programa al nivel de discapacidad.

Atendiendo al principio de individualización, se desarrollaron tres programas básicos diferenciados, aunque manteniendo la misma estructura ya descrita en apartados anteriores. Así, un entrenamiento A estaba dirigido hacia personas con escala EDSS entre 1 y 2 o nivel funcional inicial alto; un entrenamiento B fue adaptado para personas con escala entre 2,5 y 3,5 o nivel funcional inicial intermedio y un entrenamiento C se desarrolló para personas con escala EDSS entre 4 y 6 o nivel de funcionabilidad inicial bajo. Como se ha indicado, además de tener en cuenta la escala EDSS, para facilitar la asignación de cada persona al programa básico de entrenamiento, se realizó una primera evaluación general que pretendía determinar el nivel de capacidad física y coordinativa individual. A continuación, en la Tabla 2 se describen los fundamentos metodológicos básicos del entrenamiento general que se llevó a cabo durante las 24 semanas:

Tabla 2.- Fundamentos metodológicos básicos del entrenamiento combinado

Inicio de adaptación al entrenamiento
➤ Estimulo eficaz de carga (cargas menores al 30% no generan ningún efecto) ➤ Individualidad (Conocer características físicas y limitaciones de los participantes. Evaluación inicial) ➤ Incremento progresivo de la carga o repeticiones tanto cognitivas como físicas. ➤ Adecuar la sucesión de las tareas de entrenamiento.
Asegurar la adaptación
➤ Asegurar la continuidad y repetición de las tareas ➤ Periodización de las cargas cognitivas y físicas de entrenamiento ➤ Regeneración periódica de las cargas
Dirigir la adaptación de forma específica
➤ Adaptación del modelo de ejercicio a las limitaciones de cada participante. ➤ Adecuación a la edad y discapacidad

A partir de la fundamentación metodológica general del programa de entrenamiento expuesto en la tabla 2, éste se adaptó a los tres niveles de discapacidad, cuya estructura y desarrollo se presenta de forma detallada en el Anexo I.

2.4. Equipos y técnicas de registro.

En el presente apartado se describen las técnicas de registro y equipos utilizados para realizar las evaluaciones de las distintas variables dependientes (VD) con el objetivo de valorar la incidencia del programa de entrenamiento (VI). Al ser un entrenamiento combinado y tener como finalidad la evaluación de diferentes tipos de funcionalidad, comenzaremos describiendo las técnicas y procedimientos utilizados para las evaluaciones previas de los participantes (composición corporal, percepción de la fatiga y calidad de vida). En segundo lugar, se describirán las técnicas de análisis biomecánico de la marcha

donde se incluyen las técnicas fotogramétricas 3D, junto con el análisis cinemático de la marcha mediante GateRite. En tercer lugar se describirán los sistemas de registro utilizados, así como el análisis estabilométrico a través del test de Romberg. En cuarto lugar, se describirán las técnicas de análisis y registro de fuerza a través de plataformas dinamométricas. Finalmente, como quinto punto de este apartado, se detallarán las adaptaciones de la plataforma de fuerza utilizadas para obtener los registros que determinan la eficacia de la tarea Sit-to-Stad.

2.4.1. Evaluaciones previas.

Además de otras consideraciones generales, el propósito fundamental de estas evaluaciones previas fue constatar la homogeneidad de los dos grupos en cuanto a la percepción de fatiga, calidad de vida, antropometría y composición corporal. Los datos más significativos se presentan en la Tabla 1, presentada con anterioridad.

A todos los participantes se les proporcionó el cuestionario WHOQOL-BREF para evaluar la calidad de vida (Lucas-Carrasco, Sastre-Garriga, Galán, Den Oudsten & Power, 2014), compuesto de 26 ítems, 2 ítems generales sobre calidad de vida y satisfacción con el estado de salud, y 24 ítems agrupados en cuatro áreas: salud física (7 ítems), salud psicológica (6 ítems), relaciones sociales (3 ítems) y ambiente/entorno (8 ítems). Utiliza una escala de tipo Likert del 1 (muy mal) al 5 (muy bien).

El test WHOQOL-BREF, no admite una puntuación total de calidad de vida, considerando la calidad de vida como un concepto multidimensional, siendo cada dimensión (salud física, psicológica, relaciones sociales y ambiente) puntuada de forma independiente. La puntuación bruta de cada dominio se determina a partir de los ítems totales de cada dimensión, dicha puntuación bruta se vincula a una tabla de equivalencia específica de conversión de puntuación. Se ha utilizada la tabla específica de conversión administrada por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1996). En la tabla 2 se muestra cada una de las características evaluadas en cada dominio. En el anexo II se presenta un resumen del cuestionario utilizado.

Tabla 3.- Descripción de los dominios relacionados con el test WHOQOL-BREF.

DOMINIO 1	SALUD FÍSICA	➤ Dolor y malestar ➤ Dependencia de medicación o tratamiento ➤ Energía y fatiga ➤ Movilidad ➤ Sueño y descanso ➤ Actividad cotidiana y capacidad de trabajo
DOMINIO 2	SALUD PSICOLÓGICA	➤ Sentimientos positivos ➤ Espiritualidad ➤ Pensamiento/ aprendizaje/ memoria/ concentración ➤ Imagen corporal y apariencia ➤ Autoestima y sentimiento negativos
DOMINIO 3	RELACIONES SOCIALES	➤ Relaciones personales ➤ Actividad sexual ➤ Soporte social
DOMINIO 4	AMBIENTE/ ENTORNO	➤ Seguridad física y protección ➤ Entorno físico ➤ Recursos económicos ➤ Oportunidad para adquisición de información ➤ Hogar y transporte ➤ Cuidados de salud y sociales: disponibilidad/calidad

Además del cuestionario de calidad de vida, se realizó uno más para la evaluación de la percepción de fatiga utilizando el test de severidad de la fatiga, Fatigue Severity Scale (FSS), siendo una de las escalas más utilizadas sobre la fatiga percibida en personas con esclerosis múltiple (Rooney, Wood, Moffat & Paul, 2019). Consiste en nueve ítems cuyas puntuaciones oscilan de 0 a 7, utilizando el 5 como punto de corte. Dichos ítems se suman y se dividen entre 9. En el anexo III se presenta el modelo de cuestionario facilitado a los participantes.

Para el análisis de la composición corporal se ha utilizado el sistema InBody-230. Se trata de un sistema que utiliza la impedancia o resistencia que ofrece el cuerpo al uso de dos corrientes de frecuencias diferentes (20kHz y 100kHz). Además de la masa total, los parámetros más habituales que registra el sistema son: masa músculo esquelética, masa grasa, agua corporal total, masa libre de grasa, índice de grasa corporal, porcentaje de grasa corporal, metabolismo basal, etc.

2.4.2. Equipos y técnicas de registro para el análisis de la marcha.

Se han utilizado dos técnicas diferentes de registro según los objetivos y fases utilizadas para el cálculo de las variables de la marcha:

- a) *Pasillo electrónico*. Para obtener los registros medios de velocidad, longitud de paso y cadencia, así como sus respectivos coeficientes de variación en una muestra de trece pasos, se ha utilizado un pasillo específico para el análisis temporal y espacial de la marcha GAITRite system (CIR Systems Inc., Clifton, NJ, USA).
- b) *Sistema fotogramétrico 3D*. Para el análisis concreto de un ciclo de marcha se ha utilizado un sistema de video tridimensional, diseñado en el Laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Universidad de Granada y adaptado específicamente para este estudio (Cyborg V. 3.0).

Los dos sistemas de registro descritos son complementarios y pueden proporcionar los mismos factores de eficacia, como por ejemplo el tiempo y longitud de paso, aunque los procesos utilizados para su cálculo son diferentes. Mientras que el sistema GAITRite proporciona valores medios de trece pasos, la fotogrametría 3D registra el dato de un ciclo de marcha (dos pasos consecutivos). Sin embargo la validez concurrente, expresado por el Índice de Correlación Intraclass (ICC), entre el sistema GAITRite y la fotogrametría 3D, para el tiempo y longitud del paso, ha sido alta (ICC= 0.996 y ICC= 0.965 para el tiempo y longitud de paso respectivamente).

El pasillo electrónico (GAITRite system; Clifton, NJ, USA) consiste en un pasillo de 4.6 m de largo y 0.9 m de ancho que proporciona automáticamente medidas de los parámetros espacio - temporales de la marcha. El sistema de captación consiste en un tapete compuesto de sensores sensibles a la presión, los cuales están conectados por vía USB a un ordenador portátil equipado con un software que registra y procesa los datos obtenidos por los sensores, a partir de los cuales se pueden generar informes de ensayos de forma sencilla y personalizada. En la Figura 13 se presenta una imagen del pasillo de marcha utilizado en esta investigación, así como el sistema de captura de datos y posibilidades de registro.

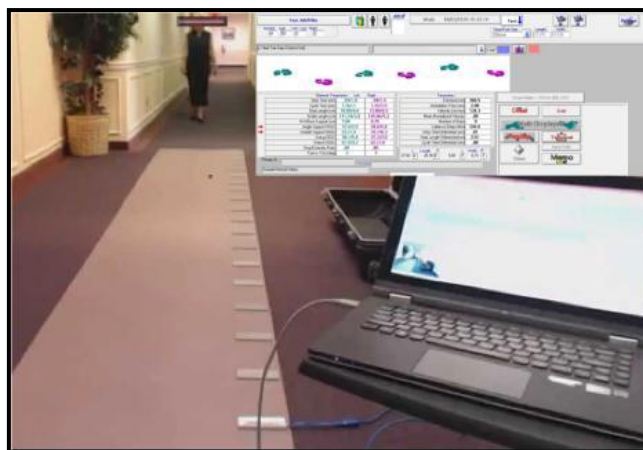


Figura 13.- Pasillo electrónico (GAITRite system; Clifton, NJ, USA) utilizado en el estudio.

El sistema fotogramétrico (Cyborg V. 3.0. Laboratorio de Biomecánica, Universidad de Granada, España) utiliza la filmación de un ciclo de marcha (dos pasos consecutivos) mediante dos cámaras de video de alta velocidad asociadas a un sistema de referencias (SR) para obtener las coordenadas espaciales de los puntos que determinan el modelo humano individualizado. Se trata de un sistema de registro modular que requiere un proceso metodológico secuencial para obtener los registros deseados, el cual se describirá con detalle en el apartado dedicado a análisis de datos.

Para este estudio se ha utilizado un sistema de referencia (SR) definido por 12 puntos equidistante (3.16 m largo, 1.58m ancho y 1.68 m alto), asociado al suelo del pasillo de marcha, donde el eje horizontal (Y) se correspondía con la dirección y el sentido de la marcha, el eje transversal (X) era perpendicular al anterior y el eje vertical (Z) era perpendicular a los otros dos. A uno de los lados del pasillo se situaron dos cámaras de video de alta velocidad JVC GC-PX100 BE, a 200 Hz, cada una de ellas a 20 m del centro geométrico del SR y a 30 m entre ellas. Para la sincronización temporal de las cámaras se ha utilizado una señal electrónica que activaba el encendido de un led situado en el campo activo de las dos cámaras. Después de realizar la filmación del SR, éste se retiraba del pasillo para filmar la marcha de los participantes, mientras que las cámaras mantenían su posición y parámetros de registro iniciales.

Para realizar la marcha de forma concurrente a otra actividad cognitiva (marcha dual), se ha desarrollado un sistema específico de atención selectiva con dos semáforos que

se situaron sobre un trípode al final del pasillo de marcha, con una distancia entre ellos de 2 m y cuyo centro geométrico estaba situado a una altura de 1.70 m. Cada semáforo estaba formado por tres luces de 25 led, de 0.10 m de diámetro y de colores: rojo, amarillo y verde (en este orden desde arriba hacia abajo). Los dos semáforos estaban asociados a un ordenador con tarjeta externa programable que permitía el control de la secuencia temporal del encendido y apagado de las seis luces de los dos semáforos durante la marcha.

En la figura 14 se presenta una imagen el sistema desarrollado para la atención selectiva junto con la distribución de los equipos de registro utilizados con respecto al *pasillo electrónico de marcha* (GAITRite system; Clifton, NJ, USA) utilizado.

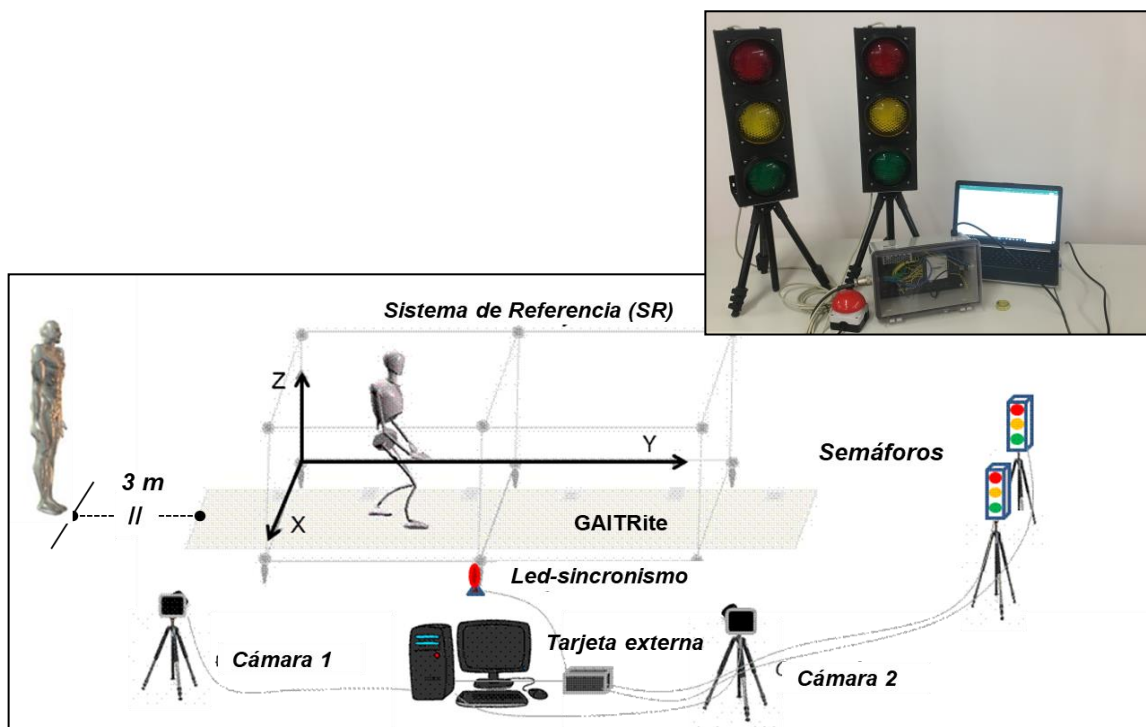


Figura 14.- Imagen del sistema de atención selectiva y disposición de los equipos con respecto al pasillo de marcha (GAITRite system; Clifton, NJ, USA).

2.4.3. Sistemas de registro del equilibrio.

Para el registro de los parámetros estabilométricos se ha utilizado una plataforma de fuerza con posibilidad de registro del centro de presión (CP), Dinascan/IBV (Instituto Biomecánica de Valencia, España), operando a 40 Hz, implementada con el sistema de valoración del equilibrio DedSVE/IBV, basado en el test de Romberg. Para las condiciones donde se requería superficie inestable se utilizó una almohadilla de

gomaespuma (Balance-pad Elite® gomaespuma HerexC70.40®, norma Iso 9001). En la figura 15 se ilustra el sistema de registro utilizado y materiales.

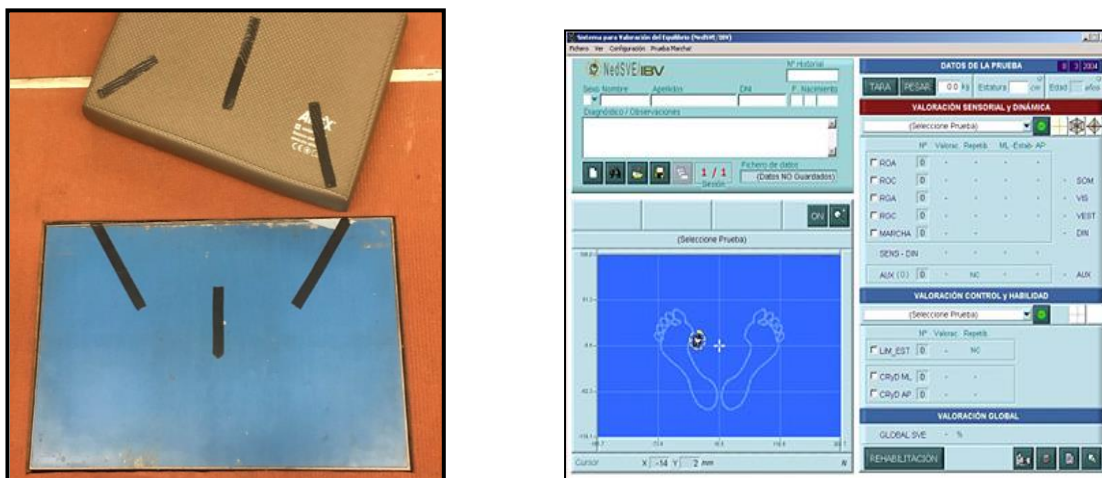


Figura 15.- Sistemas de registro utilizados para el análisis del equilibrio.

2.4.4. Equipos y sistemas para el registro de la fuerza estática.

Para el registro de la fuerza estática máxima se utilizó una plataforma de fuerza de 0.6 x 0.37 m, Dinascan/IBV, (Instituto de Biomecánica de Valencia, Valencia, España), operando a 200 Hz, situada bajo a una torre de fuerza anclada al suelo y cuya barra horizontal permitía fijarse a los soportes con altura regulable con respecto a la talla de cada participante. En la figura 16 se presenta un esquema simplificado de este sistema de registro de la fuerza de reacción vertical ejercida por el suelo durante el tiempo de tracción de los participantes.



Figura 16.- Esquema simplificado para la evaluación de la fuerza estática máxima

2.4.5. *Sistemas de registro para el análisis de la tarea Sit-to-Stand.*

Se trata de registrar los factores de eficacia y evaluar estrategias utilizadas para realizar una tarea cotidiana como levantarse de una silla. Se han utilizado dos técnicas de registro complementarias y sincronizadas temporalmente:

- a) *Plataforma de fuerza:* Se ha utilizado una plataforma de fuerza de 0.6 x 0.37 m, Dinascan/IBV, (Instituto de Biomecánica de Valencia, Valencia, España), operando a 200 Hz. Ésta fue suplementada con una plataforma de madera para incrementar la superficie horizontal (0.6 x 0.9 m), sobre la cual se adaptó un asiento sin respaldo con altura regulable, como se describe en Papa & Cappozzo (1999). Los registros de esta plataforma se ajustaron a cero después de realizar las adaptaciones descritas.
- b) *Sistema fotogramétrico 2D.* Para obtener los registros cinemáticos se han utilizado técnicas fotogramétricas (2D) a partir de la filmación de una cámara de video (JVC GC-PX100_{BE}) a 200 Hz y un sistema fotogramétrico modular desarrollado y adaptado en nuestro laboratorio para este estudio (Cyborg V. 3.0).

Para la sincronización temporal de los registros se utilizó un sistema electrónico que encendía un led en el campo activo de la cámara al iniciarse el registro de la plataforma. En la Figura 17 se presentan un esquema simplificado del sistema.

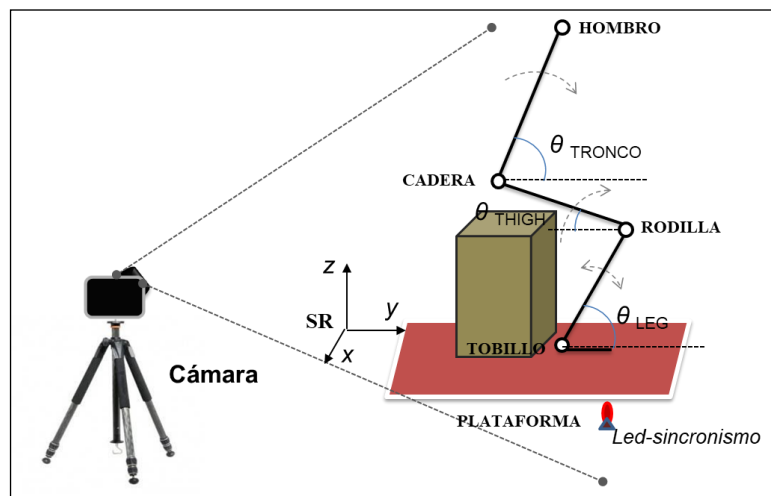


Figura 17.- Sistema de registro utilizado para el análisis de la tarea Sit-to-Stand.

2.5. Procedimientos y Variables dependientes.

Como se ha indicado en la parte introductoria, los diferentes protocolos utilizados en las distintas tareas que se han evaluado requieren organizar este apartado en función de los test y tareas utilizadas para obtener las diferentes variables dependientes: a) Procedimientos para el análisis de la marcha, b) Los utilizados para los registros de fuerza estática, c) Procedimientos para el estudio del equilibrio y d) Los utilizados para el análisis de la tarea Sit-to-Stand

2.5.1. *Análisis de la marcha y procedimientos.*

Para la exposición de este apartado se ha considerado comenzar con el análisis temporal del ciclo de marcha (TCM), a partir del cual se seleccionarán las variables o factores de eficacia más significativos. A continuación, se expondrán las instrucciones y procedimientos para la captación de los registros en las dos condiciones de marcha (normal y dual) y, finalmente, se expondrá el proceso de análisis de datos para la obtención de los factores de eficacia más significativos de la marcha humana.

2.5.1.1. *Análisis temporal del ciclo de marcha (TCM)*

Para el desarrollo de los objetivos pretendidos en esta tesis se ha utilizado un modelo simplificado basado en el análisis cinemático del ciclo de marcha, entendido como la secuencia de acontecimientos que tienen lugar entre dos repeticiones consecutivas de uno cualquiera de los sucesos de la marcha. Por conveniencia, se utiliza como el inicio del ciclo de marcha el instante del contacto con el suelo del pie derecho, que en ausencia de patologías suele producirse con el talón y termina con el siguiente contacto de ese mismo pie.

Se han descrito diferentes divisiones o fases del ciclo de marcha según los objetivos del estudio (Perry, 1992, Sutherland, 1984; Winter, 1991), sin embargo, para los objetivos de esta tesis, el ciclo de marcha se ha simplificado a partir de la repetición de dos eventos temporales: el contacto y el despegue del pie con el suelo.

Partiendo del primer contacto del pie derecho con el suelo (comienzo del ciclo de marcha) hasta el instante en que despegue el pie izquierdo del suelo se considera el *primer*

periodo de apoyo bipodal. A continuación surge el *periodo de oscilación del pie izquierdo* o *apoyo monopodal del pie derecho*, que finaliza con el contacto del pie izquierdo con el suelo. En ese instante comienza el *segundo periodo de apoyo bipodal*, que finaliza con el despegue del pie derecho. Seguidamente se inicia el *periodo de oscilación del pie derecho* o *apoyo monopodal del pie izquierdo*, periodo que finaliza con el segundo apoyo del pie derecho (final del ciclo de marcha).

A partir de la descripción temporal propuesta, es necesario considerar también el concepto de *paso izquierdo*, determinado por la suma del primer periodo bipodal más el periodo de oscilación del pie izquierdo. De igual modo, el *paso derecho* comprende el segundo periodo bipodal más el periodo de oscilación del pie derecho. En la figura 18 se presentan de forma gráfica los cuatro periodos temporales descritos para el ciclo de marcha.

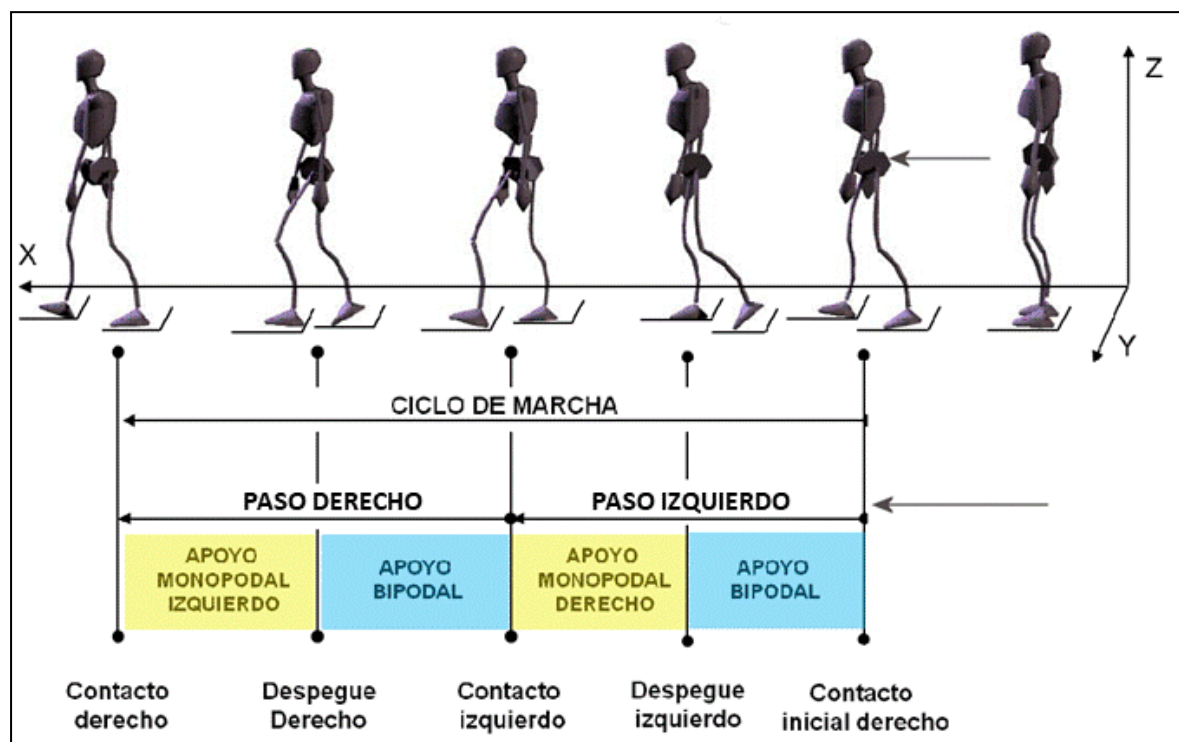


Figura 18.- Eventos y periodos temporales del ciclo de marcha (adaptado de Gutiérrez-Cruz y Col., 2016)

Además de los eventos temporales, la descripción cinemática del ciclo de marcha requiere definir otras variables espaciales, como:

- a) *Longitud del ciclo de marcha*, definida como la distancia horizontal entre el talón del pie derecho en dos apoyos consecutivos.
- b) *Longitud de paso*, determinada como la distancia horizontal entre los talones de ambos pies en dos apoyos consecutivos. Con esta definición, en cada ciclo de marcha existirán dos longitudes de paso: b_1) *Longitud de paso izquierdo*, definida como la distancia horizontal entre el talón en derecho en el contacto del primer apoyo y el talón del pie izquierdo en su instante de contacto y b_2) *Longitud de paso derecho*, definida como la distancia horizontal entre el talón del pie izquierdo en su contacto con el suelo y el talón del pie derecho en su segundo apoyo con el suelo.
- c) *Cadencia*, expresada como el número de pasos realizado por minuto.
- d) *Ancho de paso*, determinado por la distancia transversal entre los talones de dos apoyos consecutivos. Así, en el ciclo de paso existirán dos medidas de ancho de paso: c_1) *Ancho de paso izquierdo*, definido como la distancia transversal entre el talón derecho en el contacto del primer apoyo y el talón del pie izquierdo en su instante de contacto y c_2) *Ancho de paso derecho*, definido como la distancia transversal comprendida entre el talón del pie izquierdo en su contacto con el suelo y el talón del pie derecho en su segundo apoyo con el suelo.
- e) *Velocidad media de la marcha*, definida a partir del espacio recorrido por el centro de gravedad (CG) con respecto al tiempo durante un ciclo de marcha. A partir de esta concepción de velocidad media es posible definir la velocidad media de cada paso o periodos temporales del ciclo de marcha.
- f) *Amplitud de paso*, definido como la diferencia entre la longitud horizontal y el desplazamiento espacial del talón durante el periodo de oscilación. Así, se podrán registrar las amplitudes para los dos pasos.
- g) *Desplazamiento espacial del CG*, definido como el máximo desplazamiento vertical y transversal máximo del CG durante el ciclo de marcha.

En la figura 19 se presenta una representación gráfica simplificada de las variables espaciales descritas.

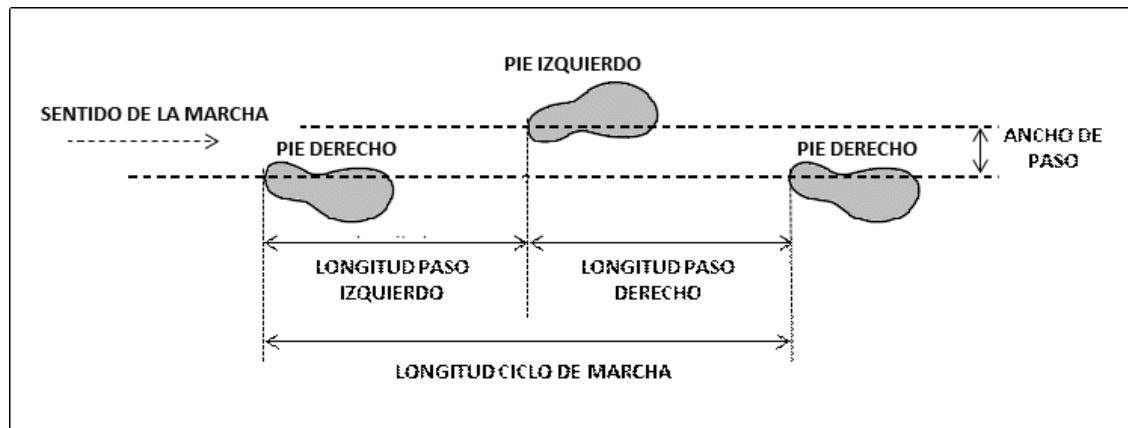


Figura 19.- Ilustración de las variables espaciales más significativas del ciclo de zancada.

2.5.1.2. Procedimientos e instrucciones dadas a los participantes

Todas las pruebas de marcha se completaron en una sesión de cuarenta minutos para cada participante. Tras un calentamiento de cinco minutos, similar al expuesto para el programa de entrenamiento, cada participante recibió las instrucciones de realizar una marcha en dos condiciones experimentales: a) *Marcha normal* y b) *Marcha dual*, donde se incluye una tarea perceptiva concurrente con posibilidad de parada ante la presencia de un estímulo determinado (Tareas concurrentes ejecutivas).

Para una *marcha normal*, el participante debía de partir desde tres metros antes de entrar en el pasillo electrónico de marcha GAITRite y realizar una marcha normal a su velocidad preferida. En la *marcha con tarea concurrente ejecutiva*, el participante recibió las instrucciones de iniciar la marcha desde el mismo lugar a su velocidad preferida al encenderse las luces verdes de los dos semáforos y debería detener su marcha en el menor tiempo posible al encenderse de forma simultánea las dos luces rojas. A lo largo de la marcha, las luces mantenían una secuencia de encendido/apagado previamente programado. Para habituarse con los sistemas, los participantes realizaron tres ensayos previos a los cinco donde se obtuvieron los registros. El orden de cada condición experimental se cambió en cada participante. Para el análisis del ciclo de marcha mediante fotogrametría 3D se seleccionó el ensayo cuyo tiempo (TCM) era el mediano entre los

cinco registrados válidos de cada situación.

Como se ha indicado, para cada situación experimental se registraron cinco ensayos válidos. En la condición de *marcha dual con tarea concurrente ejecutiva*, los cinco ensayos válidos se realizaron utilizando una combinación de luces que nunca coincidió con la condición de parada (dos luces rojas simultáneas). Sin embargo, para conseguir mantener la atención selectiva durante la marcha, se realizaron tres ensayos más donde se presentaba la combinación de luces para ejecutar la parada, aunque estos ensayos no fueron registrados. El orden de los ocho ensayos fue aleatorio.

En la Figura 20 se presenta la imagen de uno de los ensayos de marcha dual donde se han encendido las dos luces rojas y el participante debe pararse lo antes posible (función ejecutiva).



Figura 20.- Esquema de los equipos de registro y su posición con respecto al sentido de marcha.

2.5.1.3. Análisis de datos

Los registros correspondientes a la cadencia y la variabilidad de la marcha se han obtenido a partir del software usado por el sistema GAITRite. Para su análisis se seleccionaron trece pasos, a partir de los cuales se registró la cadencia (pasos/minuto) y la variabilidad en el tiempo y longitud del ciclo de marcha en las dos situaciones experimentales, utilizando para ello el coeficiente de variación expresado en porcentaje de la distancia (Cv%).

El resto de variables se han obtenido a partir de los datos procedentes de la fotogrametría 3D, utilizando para ello un sistema modular desarrollado en nuestro laboratorio (Cyborg V. 3.0) y adaptado para el estudio de la marcha. Para ello, se parte de las filmaciones del sistema de referencia (SR) y del ciclo de marcha más próximo al SR, a partir del apoyo del pie derecho. Previamente se había diseñado un modelo de cuerpo humano definido por 21 marcadores que determinan a catorce segmentos cuyas masas y localizaciones de sus respectivos centros de masa (*cm*) han sido propuestas por Zatsiorsky & Seluyanov (1985) y adaptadas por Leva (1996). Estos mismos datos fueron utilizados como parámetros inerciales para determinar el centro de gravedad (CG) de los participantes.

El proceso de cálculo de las coordenadas espaciales de los 21 marcadores que definen el modelo humano se realizó en las siguientes fases:

- a) *Selección del ensayo e imágenes correspondientes al ciclo de marcha.* A partir de las imágenes procedentes de la cámara 1, la cual mantenía una frecuencia de 200 imágenes por segundo (200Hz), se seleccionaron las imágenes correspondientes a las secuencias de los cinco ensayos. A continuación se utilizó un sistema de análisis de vídeos (Kinovea 0.8.15) para obtener el tiempo de ciclo de marcha (TCM) de los cinco ensayos, seleccionándose para el análisis posterior sólo el ensayo cuyo TCM era el mediado de los cinco. Seleccionado el ensayo de análisis, se utilizó el mismo procedimiento para realizar el análisis temporal de los eventos que determinan sus respectivas fases.
- b) *Digitalización de las coordenadas planas* de los doce puntos que determinan el SR y las posiciones de los 21 marcadores del cuerpo humano, a partir de las imágenes procedentes de las dos cámaras, previamente sincronizadas temporalmente a partir de la imagen correspondiente al primer contacto del talón derecho. Para reducir el esfuerzo de digitalización y no interferir en el movimiento, se optó por realizar una digitalización manual a 50 Hz sin usar marcadores asociados al cuerpo del participante. Una decisión que obligó a utilizar personal muy cualificado en tareas de digitalización manual.

- c) *Interpolación y suavizado.* Las coordenadas planas se interpolaron a 100 Hz utilizando las funciones Quintic splines con un nivel de suavizado de 0.0001 (Wood & Jennings, 1979).
- d) *Obtención de las coordenadas espaciales.* Se utilizó el método de transformación lineal directa (Abdel-Azir & Karara, 1971) para obtener las coordenadas espaciales de los 21 puntos, con respecto al SR, a intervalos consecutivos de 0.01s.
- e) *Obtención de las variables.* Las componentes de la velocidad del CG se determinaron a partir de la primera derivada de sus respectivas coordenadas espaciales con respecto al tiempo, utilizando para ello la función splines que quinto grado. Los desplazamientos de los distintos puntos del modelo y del CG se determinaron a partir de sus respectivas posiciones espaciales.

Finalmente, el costo debido a la tarea dual (DTC%) se ha determinado mediante el porcentaje del cambio entre los datos obtenidos con la marcha normal (MN) y la tarea dual (MD), con respecto a la marcha normal (Kirkland, et al., 2015), lo que se expone en la expresión E-1.

$$DTC\% = \frac{MN - MD}{MN} \cdot 100 \quad E-1$$

E-1.- Expresión que relaciona el coste de la tarea dual (DTC%) con los registros de la tarea normal (MN) y los obtenidos durante la tarea dual (MD)

2.5.2. Procedimientos para el registro de la fuerza estática

Después de un calentamiento activo, los participantes se situaban sobre la plataforma de fuerzas y frente a la barra horizontal de la torre de fuerza situada a una altura del 120% de las rodillas al suelo (epicóndilo lateral medio). Tras una ligera flexión manteniendo la espalda recta, los participantes debían agarrar la barra y mantenerse en esa posición con una cierta tensión vertical hasta la señal de inicio, a partir de la cual debían de tirar rápidamente hacia arriba de la barra cuya resistencia era insalvable. Se consideró como error cuando el participante realizaba un cierto contramovimiento instantes antes de comenzar la tracción hacia arriba. Después de varios ensayos iniciales para adaptarse a la prueba, se realizaron cinco ensayos válidos, registrándose la componente vertical de la fuerza de reacción y analizándose sólo el ensayo cuyo pico máximo de fuerza vertical era

el mediano de los cinco ensayos ($PMF_{E(Z)}$).

Seleccionado el ensayo, se determinó la ratio de desarrollo de fuerza de la componente vertical ($RDF_{E(Z)}$), considerada como la relación entre el 30% del pico máximo de fuerza neta vertical $PMF_{NE(Z)}$ y el tiempo que tarda en alcanzarse ésta a partir del inicio del movimiento, el cual se determinó utilizando dos fases secuenciales: a) Cálculo de la magnitud media de la fuerza de reacción vertical antes de iniciar el movimiento (magnitud de la línea base), utilizando para ello la media de los 200 registros previos al inicio aparente del movimiento y b) Determinación del inicio del movimiento, considerado como el instante en que la fuerza de reacción de componente vertical alcanzaba un valor mayor o igual al 1% de la magnitud registrada por la línea base.

En la figura 21 se presenta una imagen de esta prueba, así como una representación gráfica de la componente vertical de reacción con respecto al tiempo y notaciones del pico máximo de fuerza vertical ($PMF_{E(Z)}$) y el ratio de desarrollo de fuerza ($RDF_{E(Z)}$).

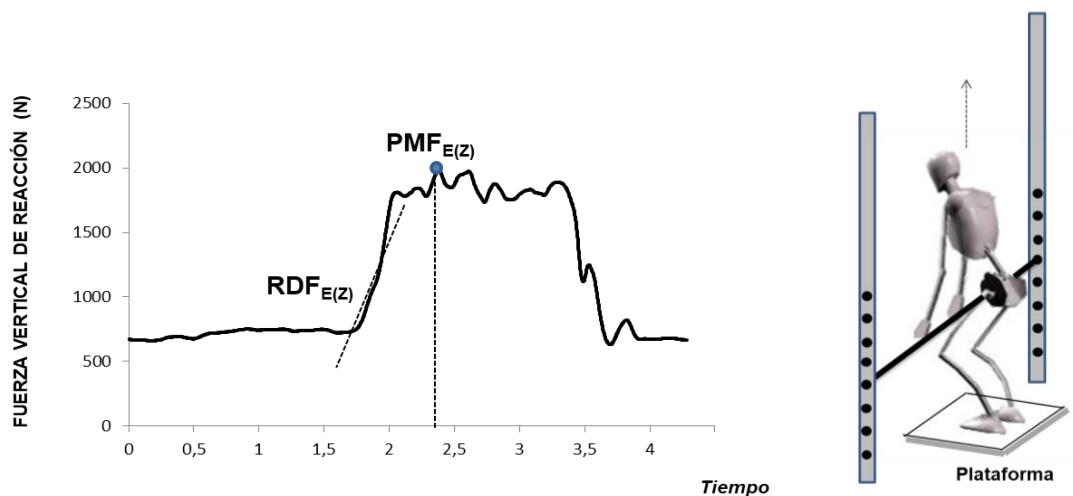


Figura 21.- Ejemplo del procedimiento de fuerza estática y representación gráfica del análisis del registro de fuerza vertical.

2.5.3. Procedimientos para el análisis del equilibrio

El procedimiento descrito se ha basado en el Test de Romberg (Denommé, Mandalfino & Cinelli, 2014). Cada participante se situaba sobre la plataforma de fuerzas descalzo, debiendo quedarse de pie sobre ella lo más quieto posible durante 20 segundos. Los brazos debían estar a lo largo del cuerpo y los pies separados con un ángulo comprendido entre 30

y 35° con los talones en contacto. Los participantes debían permanecer en esa posición en cuatro condiciones:

- a) *ROA*. El participante se situaba sobre la superficie rígida de la plataforma con los ojos abiertos.
- b) *ROC*. Igual que el anterior con los ojos cerrados
- c) *RGA*. El participante se situaba sobre la gomaespuma inestable con los ojos abiertos.
- d) *RGC*. Igual con los ojos cerrados.

Para cada situación se realizaron tres ensayos válidos, obteniéndose para su evaluación la media de los tres registros. El orden fue aleatorio entre participantes. Para cada condición se registró el desplazamiento medio anteroposterior y medio lateral del centro de presión ($AP_{(CP)}$ y $ML_{(CP)}$, respectivamente) y su longitud total ($L_{(CP)TOTAL}$).

En la Figura 22, se presenta la imagen de uno de los participantes utilizando la superficie de gomaespuma inestable, así como una pantalla de registro del test de Romberg.

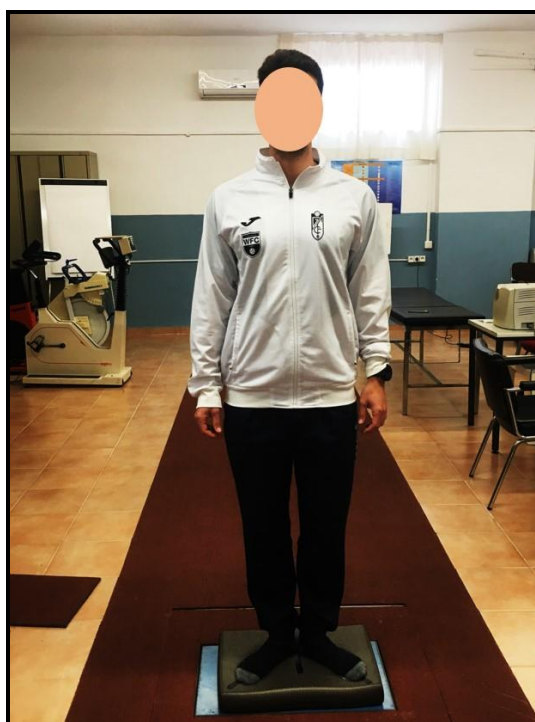


Figura 22: Ejemplo del procedimiento test de Romberg.

2.5.4. Procedimientos para el análisis de la tarea Sit-to-Stand (STS)

Al igual que con el tratamiento procedimental de la marcha, para la exposición de este apartado se ha considerado comenzar con el análisis temporal de la tarea STS, a partir del cual se seleccionarán los factores de eficacia más significativos. A continuación, se expondrán las instrucciones y procedimientos para la captación de los registros y, finalmente, se expondrá el proceso de análisis de datos para la obtención de los factores de eficacia.

2.5.4.1. Análisis temporal de la tarea Sit-to-Stand (STS)

Para el análisis temporal de la tarea STS se han definido tres eventos: a) *Inicio de la tarea* ($t_{(INI)}$), considerado como el instante en que la fuerza neta de componente horizontal o vertical alcanzaba un valor mayor o igual al 1% del peso del cuerpo (Gutiérrez-Dávila, Dapena & Campos, 2006), b) *Despegue de la silla* ($t_{(DESPEGUE\ SILLA)}$), definido como el instante en que los muslos dejan de tomar contacto con el borde anterior del asiento, lo que se ha determinado a partir de las imágenes de video y c) *El final de la tarea* ($t_{(FIN)}$), considerado como el instante en que se completa la extensión y la velocidad vertical del centro de masas (CM) $v_{(Z)CM}$ era igual o inferior a 0.05 ms^{-1} .

A partir de estos eventos se han definido dos fases temporales, según el participante esté o no en contacto con el asiento ($t_{(PRE-DESPEGUE)}$ y $t_{(POS-DESPEGUE)}$, respectivamente). Para un análisis detallado, la fase posterior al despegue ($t_{(POS-DESPEGUE)}$) éste se ha dividido en dos periodos temporales: a) *Propulsión*, que comprende un periodo comprendido entre $t_{(DESPEGUE)}$ y el instante en que la velocidad vertical del CM alcanza su máximo valor ($t_{(MV)}$) y b) *Frenado*, comprendida entre $t_{(MV)}$ y $t_{(FIN)}$. En la Figura 23 se representan los eventos y sus respectivos periodos temporales, junto a las componente vertical y horizontal de la fuerza, normalizada con respecto al peso corporal ($F_{(Z)}$ y $F_{(Y)}$, respectivamente) y las respectivas componentes de la velocidad del centro de masas ($v_{(Z)CM}$, $v_{(Y)CM}$), para uno de los participantes.

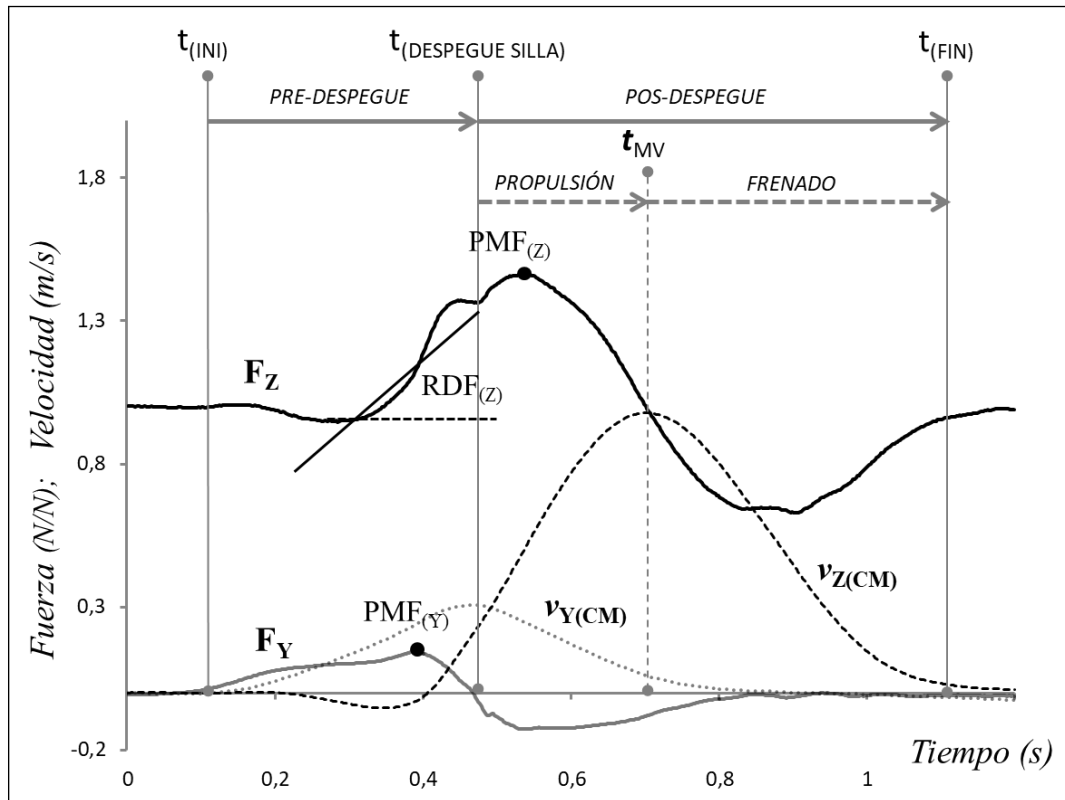


Figura 23.- Representación gráfica de los periodos temporales definidos para la tarea STS a partir de las componentes de la fuerza de reacción (F_z y F_y), sus correspondientes componentes de la velocidad del CM ($v_{z(CM)}$ y $v_{y(CM)}$), picos máximos de fuerza (PMF) y ratio de desarrollo de la fuerza (RDF), para uno de los participantes.

2.5.4.2. Procedimientos e instrucciones dadas a los participantes

Para la realización de la prueba sit-to-stand (STS) se les pidió a los participantes que se sentaran sobre el asiento regulado a una altura del 80% de la distancia de las rodillas al suelo (cabeza del peroné), con los brazos cruzados sobre el pecho, el tronco vertical y los pies paralelos sobre la superficie. A partir de una señal de inicio, los participantes debían levantarse lo más rápidamente posible, sin elevar los hombros ni mover los pies, hasta permanecer inmóviles una vez que se alcanzaba la posición vertical (Papa & Cappozzo, 1999). Después de varios intentos se les permitió realizar los ajustes necesarios en la posición de los pies hasta adoptar la más cómoda, registrándose finalmente un ángulo medio de las piernas (θ_{LEG}) de $67^\circ \pm 4^\circ$, sin que hayan existido diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. A continuación, se realizaron cinco registros válidos, registrándose las componentes tanto vertical (F_y) y horizontal (F_x) de la fuerza de reacción

y analizándose sólo el registro cuyo tiempo de ejecución de la tarea STS era el mediano.

Para simplificar el proceso de captación de la cinemática angular, la prueba STS se ha considerado como un movimiento simétrico que se desarrolla en el plano sagital, lo que nos ha permitido utilizar un modelo coordinado simplificado de tres segmentos (tronco, muslos y piernas), definidos por cuatro marcadores situados en el cuerpo de los participantes (tobillo, rodilla, cadera y hombro). La cámara de vídeo se situó perpendicular al plano sagital de movimiento donde se había asociado un sistema de referencias (SR). En la figura 24 se presenta el procedimiento llevado a cabo.



Figura 24.- Ejemplo del procedimiento de fuerza dinámica.

2.5.4.3. Análisis de datos

Los registros de las velocidades del CM, se determinaron a partir de las respectivas componentes de la fuerza de reacción procedente de la plataforma de fuerzas. Para ello, después de restar a la componente vertical (F_Y) el peso del participante, se calcularon la aceleración vertical y horizontal, a partir de las respectivas componentes de la fuerza y la masa del participante. Los sucesivos registros de las componentes vertical y horizontal de la velocidad ($V_{(Y)CM}$ y $V_{(X)CM}$, respectivamente) se determinaron mediante integración de las funciones de aceleración-tiempo, usando para ello el método trapezoidal con un

incremento temporal de 0.005 s. Como constantes de integración se ha utilizado el valor cero. A partir de las componentes horizontal y vertical de la fuerza de reacción, se determinó su respectivo pico máximo de fuerza ($PMF_{(X)}$ y $PMF_{(Y)}$, respectivamente) y la ratio de desarrollo de fuerza de la componente vertical ($RDF_{(Y)}$), considerada como la relación entre el 30% del $PMF_{(N)}$ y el tiempo que tarda en alcanzarse desde del mínimo valor de la fuerza antes de iniciar su incremento.

El proceso de cálculo de las coordenadas planas de los cuatro marcadores que definen el modelo humano simplificado se realizó a partir de una digitalización manual a 50 Hz y su posterior interpolación a 200 Hz, utilizando para ello las funciones Quintic splines con un nivel de suavizado de 0.0001 (Wood & Jennings, 1979). Finalmente se realizó una conversión con respecto al SR. Las posiciones angulares consecutivas de los tres segmentos se determinaron mediante el producto escalar de sus respectivos vectores de posición con respecto al eje horizontal. La velocidad angular de cada segmento se determinó a partir de la primera derivada de sus respectivas posiciones angulares con respecto al tiempo, utilizando para ello la función spines de quinto grado.

2.6. Análisis estadístico.

Se ha determinado la media y desviación típica a cada variable para cada grupo y situación experimental. Para determinar las diferencias entre las medias de cada evaluación (Pre-Post-Repost, para el grupo de intervención y Pre - Repost para el grupo control), se ha aplicado un análisis de varianza multifactorial de medidas repetidas (ANOVA). Un análisis múltiple de contrastes posterior determinó entre qué evaluaciones se encontraban las diferencias. Para describir la relación entre el nivel de discapacidad, evaluado mediante escala EDSS, y las variables estabilométricas, se han utilizado técnicas de regresión lineal múltiple. Para describir la relación entre los valores EDSS y el resto de las variables se ha utilizado la regresión lineal simple. El nivel de significación se ha establecido en $p < 0.05$.

La fiabilidad de las pruebas para la marcha y la tarea sit-to-stand se determinó aplicando un análisis de varianza de medidas repetidas a todos los ensayos en las dos condiciones experimentales (cinco ensayos válidos), tomando como variable dependiente el tiempo de ciclo de marcha y tarea sit-to-stand, respectivamente, sin que hayan existido diferencias significativas entre los ensayos en ambas tareas. Para la evaluación Pre del

grupo de intervención, el coeficiente de correlación intraclase ha sido de 0.912 ($p < 0.001$) para la marcha normal y de 0.897 ($p < 0.001$) para la tarea sit-to-stand. Estos mismos datos para el Grupo control han sido de 0.987 ($p < 0.001$) y 0.981 ($p < 0.001$), respectivamente. Se ha utilizado el paquete estadístico Statgraphic Plus 5.1 para Windows.



3. RESULTADOS

3. RESULTADOS.

Para la contrastación empírica de las hipótesis planteadas en esta tesis, es necesario constatar estadísticamente el efecto que ha tenido el programa de entrenamiento sobre las distintas variables expuestas en el apartado anterior. Al tratarse de un ensayo controlado aleatorizado con grupo de intervención y grupo control, es conveniente comenzar verificando numéricamente la evidencia de que los dos grupos seleccionados son equivalentes con respecto a las variables registradas, lo que se ha obtenido a partir de las diferencias entre las medias de sus respectivos registros en las evaluaciones realizadas antes de comenzar la intervención (Pre). Siguiendo con la lógica del diseño utilizado, a continuación, será necesario evidenciar que los cambios producidos en el grupo de intervención son como consecuencia del programa de entrenamiento y no a otros aspectos relacionados con actividad rehabilitadora cotidiana o terapias farmacológicas. Para ello, será necesario exponer los posibles cambios producidos en un grupo equivalente (grupo control) durante el mismo periodo que se aplica el entrenamiento al grupo de intervención, lo que se ha evidenciado a partir de las diferencias entre las medias de las dos evaluaciones realizadas al grupo de control (Pre y Re-post). Finalmente y como objetivo principal de esta tesis, se constatará el efecto que ha tenido el programa de entrenamiento en el grupo de intervención durante 12 y 24 semanas, utilizando para ello las diferencias entre las medias de las tres evaluaciones realizadas a este grupo (Pre, Post y Re-post).

Atendiendo a la secuencia expuesta para la presentación de los resultados, este capítulo se ha organizado en tres apartados: *a)* Diferencias entre grupos antes de la intervención (Pre), *b)* Cambios producidos en el grupo control durante 24 semanas (Pre y Repost) y *c)* Cambios producidos en el grupo de intervención después de 12 y 24 semanas de intervención (Pre, Post y Re-post).

3.1. Diferencias entre grupos antes de la intervención.

Para determinar la equivalencia entre los dos grupos antes de comenzar la intervención, con respecto a las distintas variables, la exposición de los datos se ha organizado en seis apartados, cada uno de ellos dedicado a los distintos grupos de variables registradas: *a)* Variables para el análisis de la marcha normal y costo debido a tareas

cognitivas concurrentes, b) Fuerza estática, c) Evaluación del equilibrio, d) Análisis de la tarea Sit-to-Stand, y e) Datos cualitativos relacionados con el esfuerzo percibido y la calidad de vida.

3.1.1. Diferencias entre grupos para las variables relativas a la marcha.

En este apartado se hará referencia a las variables registradas a través de dos sistemas de registro diferentes, en primer lugar se hará mención a los registros de variables temporales y costo debido a las tareas duales, utilizando para ello las técnicas fotogramétricas tridimensionales y, en segundo lugar, se expondrán las variables relativas al sistema de captación utilizado por el pasillo de marcha GATERite.

En la Tabla 4 se presentan los datos de tendencia central, para los dos grupos (G. Intervención y G. Control), de las variables temporales registradas mediante fotogrametría para la marcha normal, así como su correspondiente costo con respecto a la marcha realizada con tareas cognitivas concurrentes (DTC%).

Tabla 4.- Estadística descriptiva e inferencial del grupo de Intervención y Control, sobre las variables más significativas del ciclo de marcha.

Variables	G. Intervención	G. Control	F
t. ciclo marcha (ms)	1085 ± 116	997 ± 124	3.25
DTC% (%)	-4.8 ± 5.9	-2,8 ± 3,3	1.07
t. bipodal medio (ms)	169 ± 42	133 ± 46	4.23
DTC% (%)	-11.7 ± 11.5	-6.6 ± 5.5	1.66
t. monopodal medio (s)	373 ± 27	371 ± 31	0.04
DTC% (%)	-0.4 ± 3,7	-0.6 ± 3.5	0.03
Longitud paso medio (m)	0.68 ± 0.15	0.75 ± 0,16	1.39
DTC% (%)	5.9 ± 5.2	5.3 ± 2.7	0.1
V_{CG} ciclo (ms^{-1})	1.43 ± 0.38	1.67 ± 0.36	2.60
DTC% (%)	9.6 ± 8.6	7.7 ± 6.6	0.31
V_{CG} apoyo bipodal medio (ms^{-1})	1.49 ± 0.39	1.71 ± 0.34	2.10
DTC% (%)	10.5 ± 10.6	7.9 ± 6.7	0.44
V_{CG} apoyo monopodal medio (ms^{-1})	1.36 ± 0.37	1.63 ± 0.38	3.76
DTC% (%)	8.7 ± 7.7	7.4 ± 6.9	0.18

Media ± SD; *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Así, los datos expuestos ponen de manifiesto que el valor medio del tiempo de ciclo de marcha (*t. ciclo marcha*) ha sido ligeramente superior para el grupo de intervención, sin que las diferencias entre las medias hayan alcanzado el nivel de significación suficiente ($p < 0.05$) como para rechazar la equivalencia entre los dos grupos con respecto a esta variable. Algo similar ocurre con el tiempo bipodal medio, definido como la media de los tiempos de apoyo bipodal de los dos pasos que componen el ciclo de marcha (*t. bipodal medio*). Tampoco han existido diferencias significativas entre los dos grupos para el tiempo monopodal medio (*t. monopodal medio*), definido como la media de los tiempos de apoyo monopodal correspondientes a los dos pasos que componen el ciclo de marcha. Con respecto al costo debido a la tarea dual de las tres variables temporales expuestas (DTC%), no han existido diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos.

Con respecto a la longitud media de los dos pasos que determinan el ciclo de marcha (*Longitud paso medio*), éste ha sido ligeramente superior para el grupo de control, aunque sin alcanzar diferencias estadísticamente significativas como para rechazar la equivalencia entre los dos grupos con respecto a esta variable. El costo debido a la tarea dual para esta variable ha sido similar para los dos grupos.

Los valores de tendencia central relativos a la velocidad media del CG durante el ciclo de marcha ($V_{CG \text{ ciclo}}$) indican que ha sido superior para el grupo de control, aunque sin que hayan existido diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos, lo que también confirma la equivalencia entre grupos para esta variable. Resultados similares se presentan para las velocidades del CG medio de los dos apoyos bipodales y monopodales que comprenden el ciclo de marcha ($V_{CG \text{ apoyo bipodal medio}}$ y $V_{CG \text{ apoyo monopodal medio}}$). Con respecto al costo debido a la tarea dual de las tres variables expuestas (DTC%), no han existido diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos.

En general, los datos ponen de manifiesto que no han existido diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de intervención y de control, para las medias de las variables temporales y espaciales que determinan la eficacia de la marcha, lo que constata que los dos grupos son equivalentes con respecto a las variables expuestas, así como para sus respectivos costos con respecto a la marcha realizada con tareas concurrentes cognitivas.

Con respecto a las variables registradas con el sistema de captación GATERite, en la tabla 5, se presentan los datos de tendencia central y nivel de significación entre las medias de los dos grupos (G. Intervención y G. Control). La primera de estas variables que se presentan en la citada tabla corresponde a la cadencia media (*cadencia*), evaluada en pasos consecutivos por minuto. Los datos ponen de manifiesto que el grupo de control alcanza valores medios ligeramente superiores a los registrados por el grupo de intervención, sin embargo, la estadística inferencial entre las medias de los dos grupos no ha alcanzado valores que indiquen diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

Tabla 5.- Estadística descriptiva e inferencial entre grupos para las variables registradas con el sistema GAITRide.

Variables	G. Intervención	G. Control	F
Cadencia (<i>pasos/minuto</i>)	106.5 ± 7.0	114.0 ± 8.1	4.29
Cv% t. Ciclo izquierdo	3.8 ± 2.4	2.4 ± 0.9	3.73
Cv% t. Ciclo derecho	3.3 ± 2.0	2.0 ± 1.31	3.76
Cv% longitud paso izquierdo (<i>m</i>)	3.6 ± 1.5	3.1 ± 1.1	0.88
Cv% longitud paso derecho (<i>m</i>)	3.6 ± 2.0	3.1 ± 1.4	0.58

Mean ± SD *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Una valoración similar a la descrita para la cadencia, se podría hacer para los coeficientes de variabilidad obtenidos en los tiempos correspondientes a los dos ciclos de paso, el que se inicia con el apoyo del pie izquierdo y el que comienza con el pie derecho (*Cv% t. Ciclo izquierdo* y *Cv% t. Ciclo derecho*, respectivamente), siendo su valor medio, en los dos casos, inferior para el grupo de control, aunque sin alcanzar los valores de significación entre las medias como para afirmar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las medias. Finalmente, los coeficientes de variación para la longitud de los dos pasos (*Cv% longitud paso izquierdo* y *Cv% longitud paso izquierdo*) han sido similares en los dos grupos.

3.1.2. Diferencias entre grupos para la Fuerza estática.

En la tabla 6 se presentan los datos de tendencia central y nivel de significación entre las medias de los dos grupos (G. Intervención y G. Control) de las variables

registradas para la evaluación de la fuerza estática. Los datos indican que los valores medios del pico máximo de la fuerza de reacción vertical ($PMF_{RE(z)}$) son similares para los dos grupos, lo que se repite cuando estos valores se expresan como fuerza neta, es decir, sin considerar el peso del participante ($PMF_{NE(z)}$). La ratio de desarrollo de fuerza vertical ($RDF_{(z)}$) mantiene un comportamiento similar a los registros medios del pico máximo de fuerza, sin que hayan existido diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Para simplificar su exposición, en la figura 25 se presentan estos mismos datos de forma gráfica.

Tabla 6.- Estadística descriptiva e inferencial entre grupos para el pico máximo de fuerza estática (PMF) y su correspondiente ratio de desarrollo (RDF).

Variables	G. Intervención	G. Control	F
$PMF_{RE(z)}$ (N)	1486.7 $\pm$ 455.2	1524.5 $\pm$ 518.4	0.04
$PMF_{NE(z)}$ (N)	776.3 $\pm$ 345.7	784.4 $\pm$ 466.1	0
$RDF_{(z)}$ (N/s)	1956 $\pm$ 1092.8	2197.9 $\pm$ 1085.9	0.30

Media $\pm$ SD; *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$.

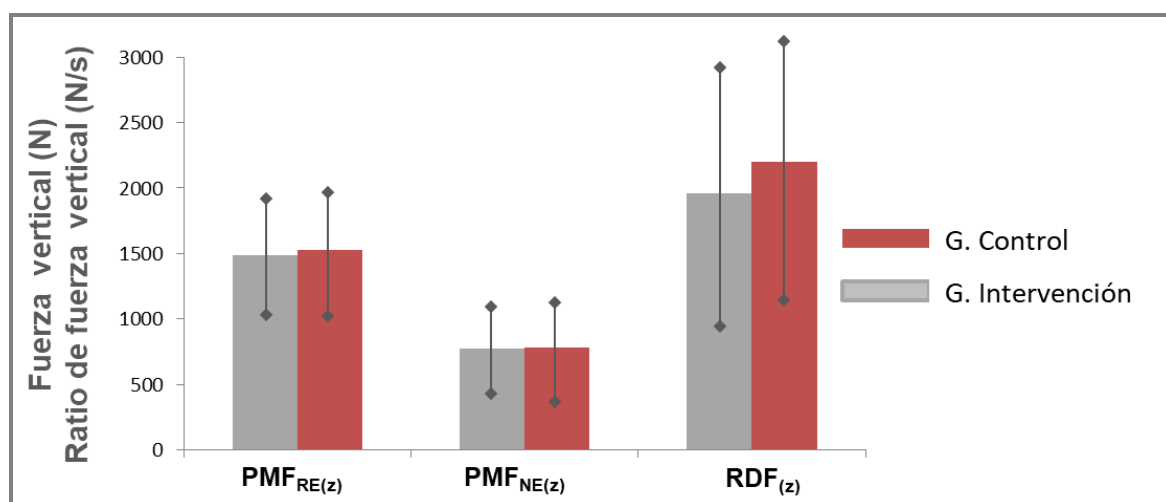


Figura 25.- Representación gráfica simplificada de los datos de tendencia central presentados en la tabla 4.

Los datos constatan que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las media de los dos grupos (G. Intervención y G. Control), lo que permite establecer que

éstos son equivalentes con respecto a las variables expuestas sobre la fuerza estática máxima y su respectiva ratio de desarrollo de fuerza.

3.1.3. Diferencias entre grupos para las variables estabilométricas.

En la Tabla 7 se presentan los registros estabilométricos de tendencia central para los dos grupos en las cuatro condiciones descritas por el test de Romberg: a) Sobre superficie rígida y ojos abiertos (ROA), b) Superficie rígida con los ojos cerrados (ROC), c) Sobre gomaespuma inestable y ojos abiertos (RGA) y e) Plataforma inestable con los ojos cerrados (RGC). Para cada condición se han seleccionado tres variables estabilométricas relacionadas con el desplazamiento del centro de presión (CP), como son: a) Desplazamiento medio anteroposterior del CP ($AP_{(CP)}$), b) Desplazamientos medio lateral del CP ($ML_{(CP)}$) y c) Longitud total recorrida por el CP sobre la base de sustentación durante los 20 s que duraba la prueba ($L_{(CP)TOTAL}$).

Tabla 7.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables estabilométricas para los dos grupos (G. Intervención y G. Control).

Variables		G. Intervención	G. Control	F
ROA (mm)	$AP_{(CP)}$	40 ± 32	53 ± 39	0.73
	$ML_{(CP)}$	29 ± 29	27 ± 12	0.04
	$L_{(CP)TOTAL}$	610 ± 387	676 ± 258	0.22
ROC (mm)	$AP_{(CP)}$	60 ± 38	84 ± 53	1.75
	$ML_{(CP)}$	53 ± 44	55 ± 54	0.01
	$L_{(CP)TOTAL}$	971 ± 560	936 ± 521	0.02
RGA (mm)	$AP_{(CP)}$	52 ± 29	59 ± 23	0.45
	$ML_{(CP)}$	40 ± 25	59 ± 57	1.45
	$L_{(CP)TOTAL}$	940 ± 557	832 ± 350	0.29
RGC (mm)	$AP_{(CP)}$	109 ± 38	87 ± 31	2.30
	$ML_{(CP)}$	97 ± 45	95 ± 39	0.01
	$L_{(CP)TOTAL}$	2352 ± 1178	1950 ± 804	0.87

Media ± SD; *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Los datos indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos (G. Intervención y G. Control), para las tres variables estabilométricas correspondientes a los registros de las cuatro condiciones (ROA, ROC, RGA y RGC). En consecuencia a los datos expuestos, es posible confirmar que los dos grupos son

equivalentes con respecto a las variables seleccionadas para la valoración general del equilibrio.

3.1.4. Diferencias entre grupos para la tarea Sit-to-Stand.

En la Tabla 8 se presentan los datos de tendencia central para los dos grupos de los picos máximos de las componentes vertical y horizontal de la fuerza de reacción registrada durante la tarea Sit-to-Stand ($PMF_{(Z)}$ y $PMF_{(Y)}$, respectivamente). La componente vertical de la fuerza de reacción también se ha expresado como fuerza neta, es decir, sin considerar el peso del cuerpo del participante ($PMF_{N(Z)}$). Los datos indican que no han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los dos grupos.

En esta misma tabla también se presentan dos variables temporales de la tarea Sit-to-Stand, como son los datos de tendencia central relativos al tiempo empleado en realizar la tarea (*t. levantar*) y el transcurrido desde el inicio de la tarea hasta el instante del despegue de asiento (*t. despegue asiento*). Los datos ponen de manifiesto que no han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los grupos para ninguna de las variables temporales expuestas.

Tabla 8.- Estadística descriptiva e inferencial del grupo de Intervención y Control, sobre las variables más significativas de la tarea Sit-to-Stand.

Variables	G. Intervención	G. Control	F
$PMF_{(Z)}$ (N)	936.5 ± 189.1	904 ± 259	0.13
$PMF_{N(Z)}$ (N)	222.8 ± 74.5	237.1 ± 135.3	0.11
$PMF_{(Y)}$ (N)	113.8 ± 44.6	103 ± 30.8	0.46
t. levantar (mms)	1146 ± 360	1047 ± 377	0.43
t. despegue asiento (mms)	445 ± 149	403 ± 130	0.51
$V_{CG(Z)} \text{ MAXIMA } (ms^{-1})$	0.79 ± 0.18	0.80 ± 0.22	0
$V_{CG(Z)} \text{ MININMA } (ms^{-1})$	-0.05 ± 0.06	-0.03 ± 0.03	2.70
$V_{CG(Z)} \text{ DESPEGUE ASIENTO } (ms^{-1})$	0.14 ± 0.10	0.14 ± 0.13	0
$V_{CG(Y)} \text{ DESPEGUE ASIENTO } (ms^{-1})$	0.37 ± 0.12	0.32 ± 0.16	0.72

Mean $\pm$ SD; *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Para este análisis de homogeneidad entre grupos se ha evaluado su equivalencia con respecto a ciertas variables relacionadas con la velocidad del CG durante la tarea Sit-to-Stand, sin que hayan existido diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos para ninguna de estas variables. Sólo cabe mencionar ciertas diferencias entre las medias relativas al valor mínimo de la velocidad vertical alcanzada por el CG durante la tarea Sit-to-Stand ($V_{CG} (Z)_{MINIMA}$), sin que el valor de significación haya alcanzado la significación necesaria para rechazar la equivalencia de los grupos con respecto a esta variable.

3.1.5. Datos cualitativos entre grupos para la fatiga percibida y la calidad de vida.

En la Figura 26 se presentan las puntuaciones medias obtenidas para la fatiga percibida por el grupo de intervención y el grupo de control, utilizando para su evaluación el test Fatigue Severity Scale (FSS) (Krupp, LaRocca, Muir-Nash & Steinberg, 1989) donde se establece una escala multidimensional de 9 ítems con 7 posibles valores, donde las puntuaciones inferiores a 4.5 indica que no existe percepción de fatiga; entre 4.5 y 6 indica percepción de fatiga y una puntuación entre 6 y 7, indica una percepción de fatiga severa.

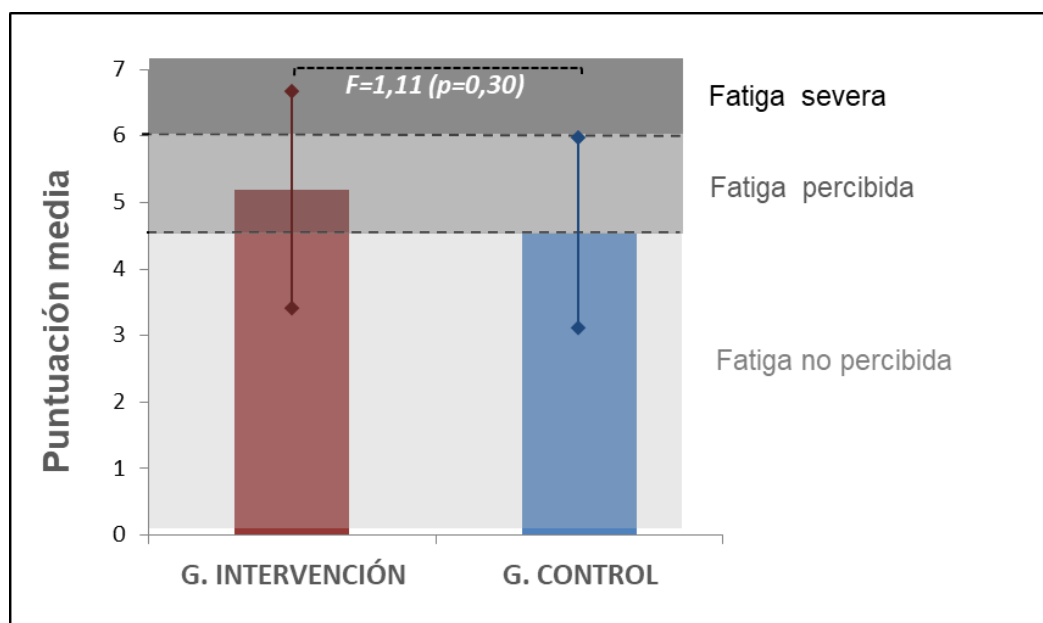


Figura 26.- Representación gráfica para las puntuaciones medias obtenidas en el test de fatiga percibida (FSS) por el grupo de intervención y el grupo de control.

Los datos expuestos indican que el grupo de intervención ha obtenido valores medios ligeramente superiores a los registrados por el grupo de control (5.19 ± 1.44 y 4.54 ± 1.64 , respectivamente). Sin embargo, la estadística inferencial indica que no han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los dos grupos.

En la tabla 9 se presentan los datos de tendencia central y estadística inferencial de las puntuaciones de los cuatro dominios utilizados por el cuestionario Whoqol-Bref (Salud física, Salud psicológica, Relaciones sociales y Contexto ambiental), para el grupo de intervención y de control. Las puntuaciones se han expresado en bruto y transformados en escala de 0-100. Es conveniente recordar que el cuestionario Whoqol-Bref trata de ofrecer un perfil de calidad de vida a partir de una evaluación independiente de los cuatro dominios mencionados, siendo mejor la calidad de vida de cada dominio cuanto mayor sea su puntuación. Los datos indican que no han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los dos grupos, constatándose la equivalencia entre grupos para los cuatro dominios que se presentan de la evaluación de la calidad de vida.

Tabla 9.- Estadística descriptiva e inferencial de las puntuaciones de los cuatro dominios utilizados por el cuestionario Whoqol-Bref para el grupo de intervención y control.

Dominios		G. Intervención	G. Control	F
Salud Física	(Brutos)	24.1 ± 3.6	23.7 ± 4.9	0.05
	(0-100)	61.0 ± 13.1	59.4 ± 18.0	0.07
Salud Psicológica	(Brutos)	22.5 ± 2.3	23.0 ± 2.6	0.23
	(0-100)	68.4 ± 9.4	70.7 ± 11.4	0.30
Relaciones Sociales	(Brutos)	11.3 ± 1.8	12.2 ± 2.0	1.22
	(0-100)	69.1 ± 16.4	76.9 ± 17.2	1.29
Contexto Ambiental	(Brutos)	26.9 ± 4.0	27.2 ± 6.1	0.02
	(0-100)	61.1 ± 12.1	62.1 ± 19.7	0.03

Mean $\pm$ SD

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

3.2. Estudio de evolución del grupo de control.

Como se ha expuesto en la presentación de este apartado, después de constatar la equivalencia entre los dos grupos (G. Intervención y G. Control) antes de iniciar la intervención, será necesario conocer los posibles cambios producidos en el grupo control

durante las 24 semanas que dura la intervención, lo que se puede evidenciar a partir de las diferencias entre las medias de las dos evaluaciones realizadas a este grupo (Pre y Post).

Para la exposición de los datos que deben evidenciar los posibles cambios producidos en el grupo de control, se ha considerado mantener el mismo orden que el utilizado para el estudio de equivalencia entre los grupos: a) Desarrollo de las variables relacionadas con la marcha normal y el costo debido a la marcha dual, b) Posibles cambios producidos en la fuerza estática, c) Cambios producidos en las variables estabilométricas, d) Desarrollo de las variables relacionadas con la tarea Sit-to-Stand, y e) Posibles cambios cualitativos en la percepción de la fatiga y la calidad de vida del grupo de control.

3.2.1. *Desarrollo de las variables relacionadas con la marcha normal y el costo debido a la marcha dual.*

En este apartado se vuelve a hacer referencia a las variables registradas a través de los dos sistemas de registro diferentes, registros de variables temporales a través de fotogrametría junto con el costo debido a las tareas duales y las variables relativas al sistema de captación utilizado por el pasillo de marcha GATERite.

En la tabla 10 se presentan los datos de tendencia central del grupo de control relativos a las variables temporales registradas para el análisis del ciclo de marcha normal, así como su correspondiente costo con respecto a la marcha realizada con tareas duales cognitivas (DTC%). El tiempo de ciclo de marcha (*t. ciclo marcha*) ha sido ligeramente inferior después de 24 semanas de la primera evaluación, sin que hayan existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias. La mayor reducción temporal se ha producido en la fase de apoyo monopodal medio (*t. monopodal medio*), aunque sin alcanzar valores de significación inferiores a $p < 0.05$. Los datos temporales expuestos indican que el grupo de control no ha experimentado cambios en la secuencia temporal después de 24 semanas. Con respecto al costo debido a la tarea dual de las correspondientes variables temporales (DTC%), no han existido diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos.

Tabla 10.- Estadística descriptiva e inferencial de las dos evaluaciones realizadas al grupo de control (Pre y Re-post), relacionadas con las variables más significativas para el análisis del ciclo de marcha.

Variables	Pre	Re-post	F
t. ciclo marcha (ms)	997 ± 124	945 ± 178	1.07
DTC% (%)	-2,8 ± 3,3	-4,1 ± 6.2	0.34
t. bipodal medio (ms)	133 ± 45	133 ± 47	0.40
DTC% (%)	-6.6 ± 5.5	-6.8 ± 6.3	0.50
t. monopodal medio (s)	371 ± 31	364 ± 34	4.22
DTC% (%)	-0.6 ± 3,7	-0.44 ± 2.4	0.10
Longitud paso medio (m)	0.75 ± 0,16	0.75 ± 0,15	0.04
DTC% (%)	5.3 ± 2.7	4.7 ± 3.4	0.83
V_{CG} ciclo (ms^{-1})	1.67 ± 0.36	1.72 ± 0.40	2.35
DTC% (%)	7.7 ± 6.6	6.8 ± 6.6	1.18
V_{CG} apoyo bipodal medio (ms^{-1})	1.71 ± 0.34	1.78 ± 0.39	4.73
DTC% (%)	7.9 ± 6.7	6.6 ± 5.7	1.68
V_{CG} apoyo monopodal medio (ms^{-1})	1.63 ± 0.38	1.64 ± 0.39	0.14
DTC% (%)	7.4 ± 6.9	7.0 ± 8.2	0.17

Media ± SD; *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

La longitud media de paso en el ciclo de marcha (*Longitud paso medio*) ha sido similar en las dos evaluaciones (Pre y Re-post). Con respecto a la velocidad media del centro de gravedad (CG) durante el ciclo de marcha (V_{CG} ciclo) y sus respectivas fases de apoyo bipodal y nomopodal (V_{CG} apoyo bipodal medio y V_{CG} apoyo monodal medio, respectivamente), han sido superiores después de 24 semanas (Re-post), con respecto a la primera evaluación (Pre), sin llegar a niveles de significación estadística entre las medias. Especialmente, es necesario mencionar el incremento de V_{CG} apoyo bipodal medio, alcanzando éste un registro medio cercano al límite del valor de significación definido para esta investigación ($F= 4.73$; $p<0.05$). El costo correspondiente a las variables descritas (DTC%) tiende a reducirse en la evaluación Re-post, con respecto a la evaluación inicial (Pre), sin embargo en ninguna de ellas se han alcanzado valores que hayan constatado diferencias significativas entre las medias.

En general, los datos ponen de manifiesto que el grupo de control no ha experimentado cambios estadísticamente significativos entre las medias de la primera

evaluación (Pre) y las registradas después de 24 semanas (Re-post). Una conclusión general que se repite para el correspondiente costo debido a las tareas cognitivas concurrentes a la marcha (DTC%).

En la Tabla 11, se presenta la estadística descriptiva e inferencial correspondiente a los datos obtenidos con el sistema GAITRite, para las dos evaluaciones realizadas al grupo de control (Pre y Re-post), unos datos que surgen de la selección y análisis de 13 pasos, a partir de los cuales se registró la cadencia (pasos/minuto) y la variabilidad temporal y espacial, utilizando para ello el coeficiente de variación expresado en porcentaje (Cv%). Con respecto a la cadencia, ésta tiende a incrementarse después de 24 semanas con respecto a la primera evaluación, aunque sin alcanzar niveles de significación entre las medias inferiores $p < 0.05$.

El coeficiente de variación (Cv%), indica la relación existente entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable. Así, valores relativamente altos de Cv% indicarían una cierta heterogeneidad de los datos de la variable a la que se hace referencia, por el contrario, unos valores relativamente bajos de Cv% pondrían de manifiesto una cierta homogeneidad de los datos. En general, cuando el Cv% es menor o igual al 20%, significa que el promedio presentado es representativo del conjunto de datos, es decir, el conjunto de datos es homogéneo. Por el contrario, cuando el Cv% supera al 20%, el promedio presentado no será representativo del conjunto de datos, es decir, los datos serán heterogéneos.

Tabla 11.- Estadística descriptiva e inferencial del grupo control de las variables registradas para trece pasos consecutivos en las dos evaluaciones (Pre y Re-post).

Variables	Pre	Re-post	F
Cadencia (pasos/minuto)	114.0 $\pm$ 8.6	116.9 $\pm$ 6.4	3.54
Cv% t. Ciclo izquierdo	2.4 $\pm$ 0.9	2.98 $\pm$ 2.6	0.42
Cv% t. Ciclo derecho	2.0 $\pm$ 1.31	1.69 $\pm$ 1.04	1.86
Cv% longitud paso izquierdo (m)	3.1 $\pm$ 1.1	3.6 $\pm$ 1.6	0.71
Cv% longitud paso derecho (m)	3.1 $\pm$ 1.4	3.3 $\pm$ 1.6	0.14

Mean $\pm$ SD; *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

A partir de los antecedentes expuestos, los datos presentados en la tabla 10 indican una alta homogeneidad de las cuatro variables registradas en las dos evaluaciones que se han realizado al grupo de control (Pre y Re-post). Por otra parte, la estadística inferencial indica que no han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de la variabilidad alcanzada por las cuatro variables, lo que nos permite constatar que la variabilidad temporal para los dos ciclos de marcha (*Cv% t. Ciclo izquierdo y derecho*) y, especialmente, la referida a la longitud de los dos pasos (*Cv% longitud paso izquierdo y derecho*), se han mantenido constantes después de 24 semanas de realizar la primera evaluación, (Pre y Re-post).

3.2.2. Cambios en la fuerza estática.

En la tabla 12, se presentan los datos de tendencia central y nivel de significación entre las medias para las dos evaluaciones realizadas al grupo de control (Pre y Re-post) relacionadas con la fuerza estática, constatándose que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las dos evaluaciones para ninguna de las variables registradas. Sin embargo, es necesario constatar que ha existido un cierto incremento en los valores medios registrados para el pico máximo de la fuerza de reacción vertical ($PMF_{RE(Z)}$), lo que se repite cuando estos valores se expresan como fuerza neta ($PMF_{NE(Z)}$), aunque sin alcanzar significación estadística. Las medias para el registro de la ratio de desarrollo de fuerza vertical ($RDF_{(Z)}$) se mantiene con valores similares en las dos evaluaciones.

Tabla 12.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables relacionadas con la fuerza estática, para las dos evaluaciones realizadas al grupo de control (Pre y Re-post).

Variables	Pre	Re-post	F
$PMF_{RE(Z)}$ (N)	1524.5 $\pm$ 518.4	1586.7 $\pm$ 532.1	2.5
$PMF_{NE(Z)}$ (N)	784.4 $\pm$ 466.1	846.6 $\pm$ 476.4	2.5
$RDF_{(Z)}$ (N/s)	2197.9 $\pm$ 1085.9	2239.7 $\pm$ 1045.5	0.28

Media $\pm$ SD; *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

En la Figura 27 se presentan estos mismos datos de forma gráfica, donde se observa un cierto incremento de todas las variables registradas para la evaluación de la fuerza

estática después de 24 semanas de la primera evaluación, aunque sin que hayan existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las dos evaluaciones, unos estadísticos que permiten considerar que las variables se mantienen estables después de 24 semanas de la primera evaluación.

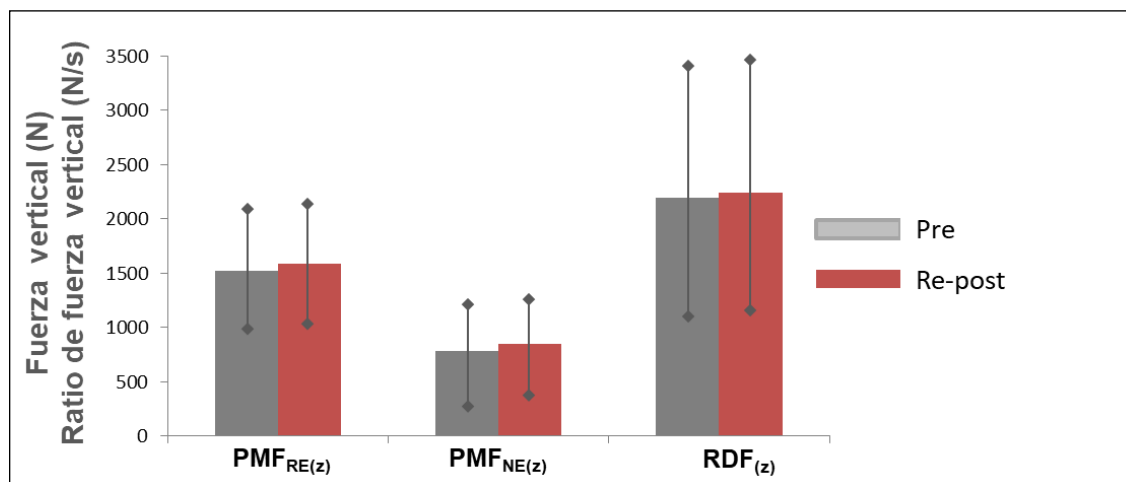


Figura 27.- Representación gráfica simplificada de los datos de tendencia central presentados en la tabla 12.

3.2.3. Cambios producidos en las variables estabilométricas

En la Tabla 13, se presentan los registros estabilométricos de tendencia central para las dos evaluaciones del equilibrio realizadas al grupo de control (Pre y Re-post), donde $AP_{(CP)}$ y $ML_{(CP)}$, corresponden al desplazamiento antero-posterior y medio-lateral del centro de presiones (CP) y $L_{(CP)TOTAL}$ corresponde a la longitud total recorrida por el CP sobre la base de sustentación. Como se esperaba, los valores medios correspondientes a $L_{(CP)TOTAL}$ se han incrementado a medida que aumentaba la dificultad de las condiciones propuestas: *ROA*, *ROC*, *RGA* y *RGC*, respectivamente, un hecho que ha ocurrido en las dos evaluaciones (Pre y Re-post).

Sin embargo, aunque los datos tienden a reducirse en la evaluación Re-post, con respecto a Pre, la estadística inferencial indica que no han existido cambios estadísticamente significativos entre las medias de las dos evaluaciones (Pre y Re-post) correspondientes a los tres registros estabilométricos y para a las cuatro condiciones propuestas en el test de Romberg, lo que permite constatar que las variables estabilométricas de todas las condiciones se mantienen estables después de 24 semanas de la primera evaluación.

Tabla 13.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables estabilométricas para las dos evaluaciones realizada al grupo de control (Pre y Re-post).

Variables		Pre	Re-post	F
ROA (mm)	AP _(CP)	53 ± 39	45 ± 28	0.73
	ML _(CP)	27 ± 12	26 ± 10	0.13
	L _{(CP)TOTAL}	676 ± 258	648 ± 208	0.61
ROC (mm)	AP _(CP)	84 ± 53	78 ± 52	1.45
	ML _(CP)	55 ± 54	53 ± 45	0.43
	L _{(CP)TOTAL}	936 ± 521	874 ± 493	1.23
RGA (mm)	AP _(CP)	59 ± 23	55 ± 21	1.76
	ML _(CP)	59 ± 57	64 ± 53	0.79
	L _{(CP)TOTAL}	832 ± 350	704 ± 150	1.65
RGC (mm)	AP _(CP)	87 ± 31	82 ± 20	0.81
	ML _(CP)	95 ± 39	93 ± 30	0.50
	L _{(CP)TOTAL}	1950 ± 804	1867 ± 882	0.70

Media ± SD; *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

3.2.4. Desarrollo de las variables relacionadas con la tarea Sit-to-Stand.

En la Tabla 14, se presentan los datos de tendencia central para las dos evaluaciones realizadas al grupo de control, relativas a los picos máximos de las componentes vertical y horizontal de la fuerza de reacción durante la tarea Sit-to-Stand ($PMF_{(Z)}$ y $PMF_{(Y)}$, vertical y horizontal, respectivamente), observándose un cierto incremento después de 24 semanas de la primera evaluación (Re-Post), sin que hayan existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las dos evaluaciones. Un comportamiento similar se ha obtenido en las variables temporales, donde se aprecia una cierta reducción media del tiempo requerido para despegar de la silla (*t. despegue asiento*), aunque sin alcanzar niveles de significación estadística entre las medias.

Las variables relativas a las componentes de la velocidad del CG siguen un comportamiento similar a los datos temporales descritos en el párrafo anterior, registrándose un cierto incremento de los valores medios de la componente vertical en el instante de despegue del asiento ($V_{CG (Z)} \text{ DESPEGUE ASIENTO}$) y una cierta reducción de la componente vertical, aunque sin llegar a valores de significación estadística entre las medias de sus correspondientes evaluaciones (Pre y Re-post).

Tabla 14.- Estadística descriptiva e inferencial del grupo control de las variables registradas para el análisis de la tarea Sit-to-Stan en las dos evaluaciones (Pre y Re-post).

Variables	Pre	Re-post	F
PMF _(Z) (N)	904 ± 259	911 ± 249	0.10
PMF _{N(Z)} (N)	237 ± 135	245 ± 123	0.10
PMF _(Y) (N)	103 ± 30.8	106 ± 45	0.06
t. levantar (mms)	1047 ± 377	1043 ± 330	0.03
t. despegue asiento (mms)	403 ± 130	388 ± 122	1.09
V _{CG (Z)} MAXIMA (ms ⁻¹)	0.80 ± 0.22	0.80 ± 0.27	0.00
V _{CG (Z)} MININMA (ms ⁻¹)	-0.03 ± 0.03	-0.01 ± 0.03	1.26
V _{CG (Z)} DESPEGUE ASIENTO (ms ⁻¹)	0.14 ± 0.13	0.16 ± 0.12	0.43
V _{CG (Y)} DESPEGUE ASIENTO (ms ⁻¹)	0.32 ± 0.16	0.30 ± 0.14	2.15

Mean ± SD; **** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Se puede concluir afirmando que el grupo de control no ha experimentado cambios estadísticamente significativos entre las medias de las variables relacionadas con la tarea Sit-to-Stand después de 24 semanas de la primera evaluación.

3.2.5. Percepción de la fatiga y la calidad de vida en el grupo de control.

En la Figura 28 se presentan las puntuaciones medias registradas en el test Fatigue Severity Scale (FSS), relativas a la fatiga percibida en las dos evaluaciones realizadas al grupo de control (Pre y Re-post). Los datos expuestos indican que no han existido cambios significativos entre las medias de las dos evaluaciones (4.5 ± 1.7 y 5.2 ± 1.4 , para Pre y Re-post, respectivamente). En las dos evaluaciones el grupo de control mantiene valores medios próximos al índice de la escala de percepción de fatiga, cuyo valor crítico estaría en una puntuación superior a 4.5, a partir del cual se considera que las personas perciben una cierta fatiga física.

En la tabla 15, se presentan los datos de tendencia central y estadística inferencial de las puntuaciones de los cuatro dominios utilizados por el cuestionario Whoqol-Bref (Salud física, Psicológico, Nivel de independencia y Entorno), para las dos evaluaciones realizadas al grupo de control. Los puntajes para cada uno de los dominios se han expresado en bruto y transformados en escala de 0-100, utilizando para ello las tablas

proporcionadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

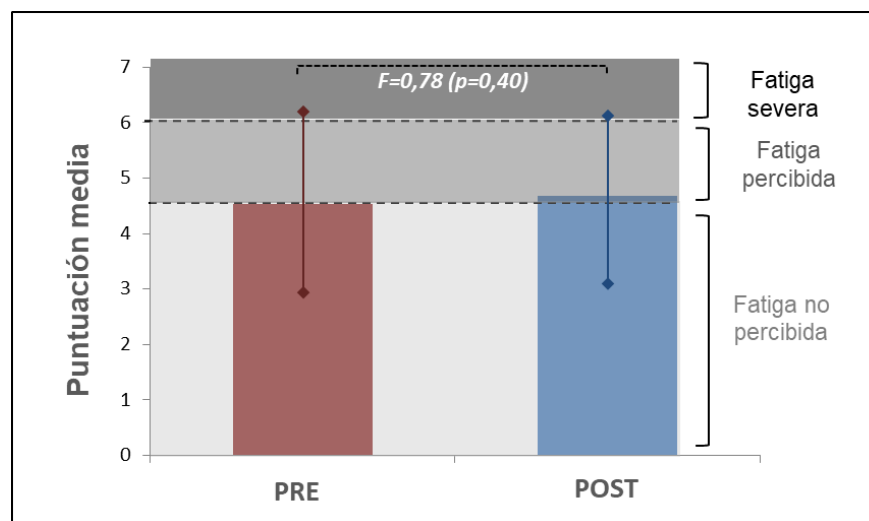


Figura 28.- Representación gráfica de las puntuaciones medias obtenidas en el test de fatiga percibida (FSS) por el grupo de control en las dos evaluaciones (Pre y Post).

Tabla 15.- Estadística descriptiva e inferencial de las puntuaciones de los cuatro dominios correspondientes a la calidad de vida para las dos evaluaciones realizadas al grupo de control.

Dominios		Pre	Post	F
Salud Física	(Brutos)	23.7 ± 4.9	23.1 ± 5.0	1.59
	(0-100)	59.4 ± 18.0	56.4 ± 18.8	2.65
Salud Psicológica	(Brutos)	23.0 ± 2.6	22.7 ± 2.8	0.37
	(0-100)	70.7 ± 11.4	68.0 ± 10.8	1.37
Relaciones sociales	(Brutos)	12.2 ± 2.0	12.0 ± 1.9	0.64
	(0-100)	76.9 ± 17.2	75.4 ± 17.1	0.37
Contexto ambiental	(Brutos)	27.2 ± 6.1	26.8 ± 6.2	0.71
	(0-100)	62.1 ± 19.7	59.7 ± 19.4	1.92

Mean ± SD *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Los datos indican que no han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las dos evaluaciones para ninguno de los cuatro dominios. Una estadística que indica como el grupo de control mantiene puntuaciones similares, después de 24 semanas de la primera evaluación, en relación a los cuatro dominios registrados para evaluar la calidad de vida.

3.3. Cambios producidos en el grupo de intervención.

Como se ha descrito en el apartado metodológico, a diferencia del grupo de control, donde se realizaron dos evaluaciones (Pre y Re-post), para el grupo de intervención se han realizado tres evaluaciones secuenciales: *a)* Previa a la intervención (Pre), *b)* Realizada a las 12 semanas de intervención (Post) y *c)* Después de las 24 semanas de intervención, periodo con el que finaliza la intervención realizada (Re-post). Los cambios producidos en las evaluaciones realizadas durante y después del periodo la intervención (Post y Re-post), con respecto a la evaluación previa (Pre), indicarán el posible efecto producido por la aplicación del programa de entrenamiento combinado (PEC). Una evidencia que constituye el objetivo principal de esta tesis.

Para la presentación de este apartado se ha considerarlo exponer los datos mediante siete apartados consecutivos atendiendo a los grupos de variables registradas y/o las tareas evaluadas: *a)* Variables o factores relacionados con la eficacia del patrón de marcha normal, *b)* Costo debido a tareas cognitivas concurrentes a la marcha (tareas duales), *c)* Variables relacionadas con la fuerza estática, *d)* Variables estabilométricas para el análisis del equilibrio, *e)* Factores de eficacia relacionados con la tarea Sit-to-Stand y *f)* Cambios en las puntuaciones registradas para las variables cualitativas relacionadas con la fatiga percibida y la calidad de vida.

3.3.1. Resultados de las variables relacionadas con la eficacia de la marcha normal.

En la tabla 16, se presentan los datos de tendencia central del grupo de intervención, correspondientes a las variables registradas para el análisis temporal del ciclo de marcha normal. Los datos ponen de manifiesto que los valores medios de *t. ciclo marcha* tienden a reducirse después de la intervención (Post y Re-post) con respecto a la evaluación inicial (Pre), aunque no han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las tres evaluaciones para esta variable. Cuando se analizan los dos pasos consecutivos que determinan este ciclo de marcha (*t. paso izquierdo* y *t. paso derecho*, respectivamente), se mantiene esta misma tendencia, sin que hayan existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las tres evaluaciones. La estadística expuesta pondría de manifiesto que la aplicación del entrenamiento combinado

(PEC), no habría tenido efecto sobre el tiempo utilizado para realizar el ciclo de marcha y el correspondiente a sus dos pasos consecutivos. Sin embargo, el análisis de contrastes entre las medias indica que los datos temporales para el paso derecho se reducen significativamente ($p < 0.05$) después de 12 semanas de intervención (post), con respecto a la evaluación previa (Pre).

Tabla 16.- Estadística descriptiva e inferencial de las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención, relacionadas con las variables más significativas del ciclo de marcha.

Variables	Pre	Post	Re-post	F
t. ciclo marcha (ms)	1085 ± 115	1063 ± 112	1059 ± 99	1.92
t. paso izquierdo (ms)	545 ± 62	533 ± 65	534 ± 63	1.03
t. paso derecho (ms)	540 ± 59	524 ± 51 ¹	538 ± 55	3.28
t. apoyo bipodal paso izquierdo (ms)	170 ± 47	163 ± 48	148 ± 27 ¹	2.76
t. apoyo monopodal paso izquierdo (ms)	375 ± 30	372 ± 25	384 ± 33 ²	2.54
t. apoyo bipodal paso derecho (ms)	168 ± 40	152 ± 36	154 ± 29	2.02
t. apoyo monopodal paso derecho (ms)	372 ± 31	377 ± 31 ¹	384 ± 27 ¹	3.89*

Mean ± SD *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

El análisis temporal de los periodos que determinan el paso izquierdo (*t. apoyo bipodal paso izquierdo* y *t. apoyo monopodal paso izquierdo*) indican que el tiempo medio de apoyo bipodal (*t. apoyo bipodal paso izquierdo*) tiende a reducirse después de la intervención, sin que hayan existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las tres evaluaciones. Sin embargo, la prueba de contrastes indica que han existido diferencias estadísticamente significativas después de 24 semanas de intervención (Re-post - $p < 0.05$). Por el contrario, el tiempo medio de apoyo monopodal tiende a incrementarse después de la intervención, aunque sólo se han obtenido diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) después de 24 semanas de intervención (Re-Post), con respecto a Post.

Esta misma tendencia hacia la reducción del periodo de apoyo bipodal y el incremento del periodo monopodal, se mantiene para el paso derecho, aunque incrementándose la significación entre las medias de las tres evaluaciones para *t. apoyo*

monopodal paso derecho ($p < 0.05$), siendo significativamente mayor después de 12 semanas (Post) y 24 semanas (Re-post) de la intervención, con respecto a la evaluación inicial (Pre).

En la tabla 17, se presentan los datos de tendencia central del grupo de intervención, correspondientes a las variables espaciales más significativas del ciclo de marcha normal, para las tres evaluaciones realizadas (Pre, Post y Re-post). La longitud del ciclo de marcha tiende a incrementarse después de la intervención, aunque sólo se han alcanzado diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) después 24 semanas de la intervención, lo que supone un incremento del 6.6% de la longitud del ciclo de marcha. Con respecto a la longitud de los dos pasos que determinan el ciclo de marcha, la tendencia es similar, aunque es necesario destacar que sólo se han obtenido diferencias significativas entre las medias ($p < 0.05$) para la longitud del paso izquierdo (*Longitud paso izquierdo*), incrementándose ésta después de 12 semanas (Post), unos datos medios que se mantienen después de 24 (Re-post) semanas de entrenamiento, con respecto a la evaluación previa.

Tabla 17.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables espaciales de la marcha para las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención (Pre, Post y Re-post).

Variables	Pre	Post	Re-post	F
Longitud ciclo marcha (m)	1.36 ± 0.3	1.40 ± 0.25	1.45 ± 0.24^1	2.98
Longitud paso izquierdo (m)	0.67 ± 0.15	0.70 ± 0.13^1	0.72 ± 0.12^1	3.49*
Longitud paso derecho (m)	0.69 ± 0.16	0.70 ± 0.12	0.72 ± 0.12	1.31
Ancho paso izquierdo (m)	0.13 ± 0.10	0.14 ± 0.11	0.12 ± 0.07	0.27
Ancho paso derecho (m)	0.13 ± 0.09	0.13 ± 0.09	0.10 ± 0.07	2.14
Amplitud paso izquierdo (m)	0.05 ± 0.01	0.06 ± 0.01^1	0.06 ± 0.01^1	5.04*
Amplitud paso derecho (ms)	0.06 ± 0.01	0.07 ± 0.01	0.07 ± 0.02^1	3.91*
Desplazamiento vertical CG (m)	0.05 ± 0.01	0.04 ± 0.01	0.04 ± 0.01	2.35
Desplazamiento transversal CG (m)	0.05 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.94

Mean $\pm$ SD *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

En esta misma tabla también se presentan los datos de tendencia central correspondientes al ancho de paso (*Ancho paso izquierdo* y *Ancho paso derecho*), así como los que determinan su amplitud (*Amplitud paso izquierdo* y *Amplitud paso derecho*). Con

respecto al ancho de paso, no han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las tres evaluaciones. Sin embargo, los datos indican que existe un cierto incremento significativo entre las medias de las amplitudes de los dos pasos después de las 12 semanas de intervención con respecto a la primera evaluación ($p < 0.05$), manteniéndose esta diferencia después de 24 semanas ($p < 0.05$).

Con respecto al máximo desplazamiento vertical y transversal del centro de gravedad (*Desplazamiento vertical CG* y *Desplazamiento transversal*, respectivamente), los datos ponen de manifiesto que el desplazamiento vertical tiende a reducirse después de 12 semanas de intervención y se mantiene estable después de 24 semanas, aunque sin que hayan existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las tres evaluaciones. Por el contrario, el desplazamiento transversal del CG se ha mantenido estable en las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post).

En la tabla 18, se presentan los valores de tendencia central y niveles de significación entre las medias, para las velocidades del CG en las fases y periodos descritos para el ciclo de marcha, así como para sus correspondientes periodos temporales. Los datos expuestos indican que la velocidad media del CG en el ciclo de marcha (V_{CG} ciclo marcha) tiende a incrementarse después de la intervención y se mantiene estable después de las 24 semanas, aunque no han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post). La prueba de contrastes a V_{CG} ciclo marcha indica que ésta es significativamente mayor ($p < 0.05$) después de 12 semanas de intervención (Post), con respecto a la evaluación inicial (Pre). Esta misma tendencia ocurre con la velocidad media del CG correspondiente a los dos pasos consecutivos que determinan el ciclo de marcha (V_{CG} paso izquierdo y V_{CG} paso derecho, respectivamente), aunque sin alcanzar diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las tres evaluaciones, ni para la prueba de contrastes entre las evaluaciones.

Considerando los periodos temporales en los que se ha dividido cada paso (V_{CG} apoyo bipodal y V_{CG} apoyo monopodal), sólo se han obtenido diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para las velocidades medias del CG en las fases de apoyo bipodal de los dos pasos (V_{CG} apoyo bipodal paso izquierdo y V_{CG} apoyo bipodal paso derecho), mientras que no han existido diferencias estadísticamente significativas para sus respectivas fases de apoyo monopodal. La prueba de contrastes aplicada a V_{CG} apoyo

bipodal para los dos pasos indica que, después de 12 semanas de entrenamiento, la velocidad del CG se ha incrementado un 4.7% y 6.7%, para el paso izquierdo y derecho respectivamente, con respecto a la media registrada en la evaluación inicial (Pre), manteniéndose este incremento medio después de 24 semanas, lo que se pone de manifiesto al no existir diferencias significativas entre las medias de la evaluaciones Post y Re-post.

Tabla 18.- Estadística descriptiva e inferencial de las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención para las variables relacionadas con la velocidad del CG durante el ciclo de marcha.

Variables	Pre	Post	Re-post	F
V _{CG} ciclo marcha (m)	1.43 ± 0.3	1.50 ± 0.25 ¹	1.49 ± 0.24	2.90
V _{CG} paso izquierdo (m)	1.44 ± 0.38	1.50 ± 0.34	1.50 ± 0.31	2.54
V _{CG} paso derecho (m)	1.41 ± 0.38	1.49 ± 0.34	1.47 ± 0.31	2.98
V _{CG} apoyo bipodal paso izquierdo (m)	1.50 ± 0.40	1.57 ± 0.37 ¹	1.57 ± 0.34 ¹	3.85*
V _{CG} apoyo monopodal paso izquierdo (m)	1.38 ± 0.37	1.44 ± 0.32	1.42 ± 0.28	1.19
V _{CG} apoyo bipodal paso derecho (m)	1.49 ± 0.40	1.59 ± 0.36 ¹	1.56 ± 0.35	3.67*
V _{CG} apoyo monopodal paso derecho (m)	1.34 ± 0.36	1.39 ± 0.33	1.38 ± 0.30	1.8

Mean ± SD *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

En la tabla 19, se presentan los datos de tendencia central correspondientes a las variables más significativas registradas con el sistema GAITRite, para las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención (Pre, Post y Re-post). Es necesario recordar que los datos expuestos corresponden a una selección de 13 pasos de los cinco ensayos realizados para cada evaluación. Los datos ponen de manifiesto que la cadencia (*cadencia*) se ha incrementado de forma significativa ($p < 0.01$) después de las 12 semanas de entrenamiento (Post), con respecto a la evaluación inicial (Pre), manteniéndose esta diferencia entre las medias después de las 24 semanas de entrenamiento (Re-post).

Han existido claras diferencias entre las medias de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post; $p < 0.01$), de los coeficientes de variabilidad obtenidos para los tiempos correspondientes a los ciclos comenzados con el pie izquierdo y derecho (*Cv% t. Ciclo izquierdo* y *Cv% t. Ciclo derecho*, respectivamente). La prueba de contrastes indica que la variabilidad temporal se ha reducido significativamente ($p < 0.01$) después de las 12

semanas de entrenamiento (Post), con respecto a la evaluación inicial (Pre), incrementándose aún más esta diferencia después de las 24 semanas de entrenamiento (Re-post). Sin embargo, los coeficientes de variación para la longitud de los dos pasos consecutivos (*Cv% longitud paso izquierdo* y *Cv% longitud paso izquierdo*) han alcanzado valores medios similares para las tres evaluaciones.

Tabla 19.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables registradas con el pasillo de marcha GAITRite, para las evaluaciones realizadas (Pre, Post y Re-post).

Variables	Pre	Post	Re-post	F
Cadencia (<i>pasos/minuto</i>)	106.5 ± 7	111.0 ± 8.8 ¹	111.7 ± 11 ¹	8.87**
Cv% t. Ciclo izquierdo	3.8 ± 2.4	3.2 ± 2.1 ¹	2.3 ± 1.9 ¹	8.36**
Cv% t. Ciclo derecho	3.3 ± 2.0	3.1 ± 2.5 ¹	2.05 ± 1.6 ¹	5.70**
Cv% longitud paso izquierdo (<i>m</i>)	3.6 ± 1.5	3.9 ± 2.5	3.7 ± 2.2	0.2
Cv% longitud paso derecho (<i>m</i>)	3.6 ± 2.0	3.6 ± 2.0	3.5 ± 1.8	0.06

Mean ± SD *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

3.3.2. Resultados del costo debido a tareas cognitivas concurrentes a la marcha.

En la tabla 20, se presentan los datos de tendencia central del grupo de intervención, correspondientes a las variables más significativas, relacionadas con el costo producido en la marcha normal, con respecto a la marcha realizada con tareas duales cognitivas (*DTC%*). Así, el costo medio para el tiempo del ciclo de marcha (*DTC% t. ciclo*) ha registrado un valor negativo para las tres evaluaciones realizadas (Pre, Post y Re-post), lo que indica que las medias de los tiempos correspondientes al ciclo de marcha realizado con tareas cognitivas concurrentes (marcha dual), han sido superiores a las correspondientes medias registradas para la marcha normal. Aunque las diferencias entre las medias se reducen después de 24 semanas de intervención (Re-post), con respecto a la evaluación previa (Pre), no se ha podido constatar que el programa de intervención haya tenido efecto sobre el costo temporal del ciclo de marcha (*DTC% t. ciclo*).

Cuando el costo temporal producido para el tiempo de ciclo de marcha (*DTC% t.*

ciclo) se evalúa a partir de los tiempos medios correspondientes a los dos periodos de apoyo bipodal y monopodal que determinan el ciclo de marcha ($DTC\% t. bipodal$ y $DTC\% t. monopodal$, respectivamente), tampoco han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención. Como conclusión, los datos expuestos constatan que el programa de entrenamiento no ha tenido efecto sobre el costo temporal que producen las tareas cognitivas concurrentes en la marcha.

Tabla 20.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables relacionadas con el costo debido a las tareas cognitivas concurrentes a la marcha, para las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención (Pre, Post y Re-post).

Variables	Pre	Post	Re-post	F
DTC% t. ciclo (%)	-4.8 ± 5.9	-4.53 ± 5.0	-1.72 ± 4.3	2.23
DTC% t. bipodal (%)	-11.7 ± 11.5	-12.7 ± 10.3	-12.1 ± 9.7	0.1
DTC% t. monopodal (%)	-0.4 ± 3.7	-0.3 ± 5.2	-0.4 ± 5.5	0.08
DTC% Longitud Paso (%)	5.9 ± 5.2	2.8 ± 3.4^1	3.1 ± 3.4^1	3.69*
DTC% V_{CG} ciclo (%)	9.6 ± 8.6	6.6 ± 5.6	4.4 ± 5.1^1	3.72*
DTC% V_{CG} apoyo bipodal (%)	10.5 ± 10.6	6.7 ± 5.9	5.0 ± 6.2^1	3.36*
DTC% V_{CG} apoyo monopodal (%)	8.7 ± 6.5	6.4 ± 5.8	3.8 ± 4.2^1	3.44*

Mean $\pm$ SD (range); *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Los datos sobre el costo que producen las tareas cognitivas en la marcha sobre la longitud media de los dos pasos que determinan el ciclo de marcha, mantiene valores positivos en las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención, lo que indica que la longitud de paso es menor cuando la marcha se realiza con tarea cognitiva concurrente (marcha dual), con respecto a la marcha normal. La estadística inferencial a esta variable pone de manifiesto que existen ciertas diferencias significativas entre las medias de las tres evaluaciones ($p < 0.05$), constatándose mediante la prueba de contrastes una reducción significativa después de 12 semanas de intervención (Post), con respecto a la evaluación inicial (Pre), unas diferencias que se mantienen después de 24 semanas de intervención (Re-post). En resumen, estas diferencias entre las medias constatan que el programa de entrenamiento ha reducido de forma significativa el efecto que tienen las tareas cognitivas sobre la longitud de paso.

Finalmente, en esta misma tabla, se presentan los datos del costo para la velocidad media del CG durante el ciclo de marcha ($DTC\% V_{CG} \text{ ciclo}$). Al igual que para la longitud de paso, los valores registrados son positivos en las tres evaluaciones, lo que indica que la velocidad del CG es menor cuando la marcha se realiza con tareas cognitivas concurrentes (marcha dual), con respecto a la marcha normal. La estadística inferencial pone de manifiesto que el efecto producido por las tareas cognitivas sobre la velocidad de la marcha tiende a reducirse de forma significativa después de 12 semanas de entrenamiento (Post), con respecto a la evaluación inicial (Pre) y que este efecto se incrementa de forma significativa después de 24 semanas (Re-post; $p < 0.05$).

Cuando este mismo costo de velocidad del CG se expresa para los tiempos medios de los dos periodos de apoyo bipodal y monopodal que determinan el ciclo de marcha ($DTC\% V_{CG} \text{ apoyo bipodal}$ y $DTC\% V_{CG} \text{ apoyo monopodal}$, respectivamente), se mantiene una tendencia similar a la descrita para $DTC\% V_{CG} \text{ ciclo}$. Como conclusión, es posible constatar que el programa de entrenamiento combinado (PEC) ha reducido el costo que producen las tareas cognitivas concurrentes a la marcha sobre la velocidad de la marcha.

3.3.3. Variables relacionadas con la fuerza estática.

En la Tabla 21, se presentan los datos de tendencia central correspondientes a las variables registradas para la evaluación de la fuerza estática en las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención. Con respecto al pico máximo de la fuerza estática vertical ($PMF_{(Z)}$), han existido claras diferencias entre las medias de las tres evaluaciones ($F=13.97$; $p < 0.001$). La prueba de contrastes indica que los registros medios de $PMF_{E(Z)}$ se incrementan significativamente en las dos evaluaciones realizadas después de la intervención (9.3% y 11% para Post y Repost, respectivamente), con respecto a la evaluación previa (Pre). Sin embargo, no han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las dos evaluaciones posteriores a la evaluación previa (Post y Re-post). La descripción expuesta para $PMF_{E(Z)}$, se mantiene cuando estos datos se expresan en fuerza neta ($PMF_{NE(Z)}$), obteniéndose valores idénticos en la estadística inferencial al ser el peso una constante que se mantiene en las tres evaluaciones.

Tabla 21.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables seleccionadas para la evaluación de la fuerza estática para las tres evaluaciones realizadas al grupo de control (Pre, Post y Re-post).

Variabes	Pre	Post	Re-post	F
$PMF_{E(z)}$ (N)	1486.3 $\pm$ 455.2	1627.0 $\pm$ 502.5 ¹	1649.0. $\pm$ 523.7 ¹	13.97***
$PMF_{NE(z)}$ (N)	766.2 $\pm$ 345.7	917.0 $\pm$ 389.7 ¹	939.0 $\pm$ 411.8 ¹	13.97***
$RDF_{(z)}$ (N/s)	1956.0 $\pm$ 1092.8	2490.4 $\pm$ 1505.3 ¹	2654.0 $\pm$ 1567.8 ¹	5.06*

Mean $\pm$ SD (range); *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

La ratio de desarrollo de fuerza vertical ($RDF_{(z)}$) mantiene un comportamiento similar al descrito para $PMF_{E(z)}$, aunque con un nivel de significación inferior entre las medias de las tres evaluaciones ($F=5.06$; $p<0.05$). La prueba de contrastes indica que la $RDF_{(z)}$ se ha incrementado de forma significativa después de 12 semanas (Post), con respecto a la evaluación inicial (Pre), un valor que mantiene esa misma tendencia después de 24 semanas de entrenamiento (Re-post), aunque sin alcanzar valores de significación estadística con respecto a la evaluación Post.

En la Figura 29, se presentan de forma gráfica los datos expuestos en la Tabla 21, donde es posible observar los cambios producidos en las variables seleccionadas para la evaluación de la fuerza estática ($PMF_{E(z)}$, $PMF_{NE(z)}$ y $RDF_{(z)}$), después de 12 y 24 semanas de entrenamiento (Post y Re-post, respectivamente), con respecto a la evaluación previa.

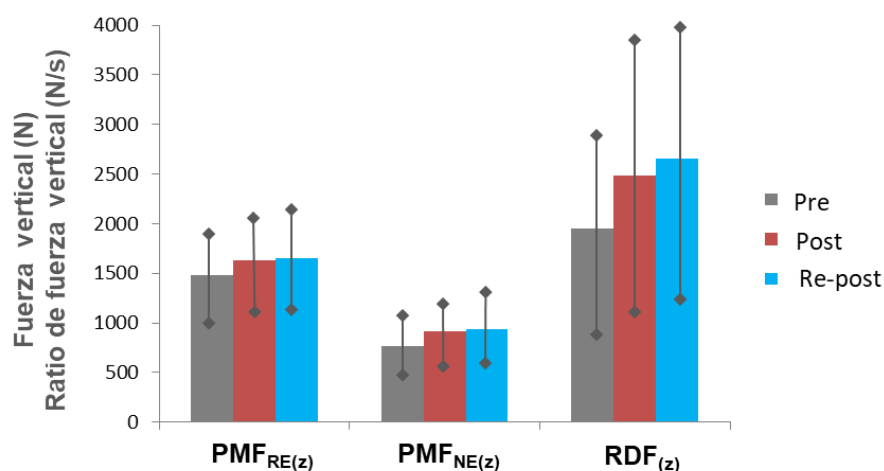


Figura 29.- Representación gráfica de las variables seleccionadas para la fuerza estática en las evaluaciones realizadas al grupo de intervención (Pre, Post y Re-post).

3.3.4. Variables estabilométricas para la evaluación del equilibrio.

En la tabla 22, se presentan los datos de tendencia central del grupo de intervención, correspondientes a las variables estabilométricas seleccionadas. En general, los datos indican que las medias registradas para todas las condiciones y variables, tienden a reducirse después de la intervención (Post y Re-post) con respecto a la evaluación previa (Pre), aunque no en todas las variables se han obtenido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de sus correspondientes evaluaciones.

Tabla 22.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables estabilométricas para las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención.

Variables		Pre	Post	Re-post	F
ROA (mm)	AP _(CP)	40 ± 33	35 ± 31 ¹	38.0 ± 26	4.64*
	ML _(CP)	29 ± 29	26 ± 26	25 ± 24	2.20
	L _(CP) TOTAL	610 ± 387	524 ± 311 ¹	557 ± 323	4.05*
ROC (mm)	AP _(CP)	60 ± 37	58 ± 37	53 ± 30	0.62
	ML _(CP)	53 ± 44	46 ± 41	43 ± 36 ¹	3.49*
	L _(CP) TOTAL	971 ± 560	853 ± 532	879 ± 543	1.5
RGA (mm)	AP _(CP)	52 ± 29	50 ± 25	49 ± 25	0.65
	ML _(CP)	40 ± 25	40 ± 23	39 ± 21	0.05
	L _(CP) TOTAL	940 ± 557	824 ± 549	811 ± 526	2.23
RGC (mm)	AP _(CP)	109 ± 38	87 ± 38 ¹	85 ± 32 ¹	17.31***
	ML _(CP)	97 ± 45	78 ± 39 ¹	77 ± 44 ¹	4.12*
	L _(CP) TOTAL	2352 ± 1178	1674 ± 703 ¹	1827 ± 954 ¹	9.1**

Mean ± SD (range); *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Las mayores diferencias de las variables estabilométricas se han registrado para la condición de mayor inestabilidad, es decir, cuando se utiliza la gomaespuma y los ojos se mantienen cerrados (RGC). Así, se han obtenido claras diferencias entre las medias de las tres evaluaciones para el desplazamiento medio antero- posterior del centro de presión (CP) ($RGC/AP_{(CP)}$; $p < 0.001$). La prueba de contrastes realizada en esta variable indica que se ha reducido el desplazamiento medio del CG después de 12 semanas de entrenamiento (Post), con respecto a la evaluación previa (Pre), manteniéndose esta diferencia después de 24 semanas. Un comportamiento similar se ha registrado para el desplazamiento medio lateral ($RGC/ML_{(CP)}$), aunque los valores de significación entre las medias de las tres evaluaciones se reducen a $p < 0.05$. Finalmente, para esta misma condición de equilibrio, también han existido claras diferencias entre las medias de las tres evaluaciones de la

longitud total del CP sobre la base de sustentación ($RGC/L_{(CP)TOTAL} - p < 0.01$). La prueba de contrastes indica que sus valores medios se reducen significativamente después de 12 semanas de entrenamiento, unos valores que tienden a mantenerse después de 24 semanas. No se han obtenido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las evaluaciones realizadas durante y al final de la intervención (Post y Re-post).

3.3.5. Factores de eficacia relacionados con la tarea Sit-to-Stand.

En la tabla 23, se presentan los datos de tendencia central de las componentes vertical y horizontal del pico máximo de fuerza de reacción registrada durante la tarea Sit-to-stand ($PMF_{(Z)}$ y $PMF_{(Y)}$, respectivamente). Los datos ponen de manifiesto que existen claras diferencias entre las medias de las tres evaluaciones para el pico máximo de la componente vertical de la fuerza de reacción ($PMF_{(Z)}$; $p < 0.01$). La prueba de contrastes a esta variable indica que los valores medios se han incrementado un 6% después de 12 semanas de intervención (Post), incrementándose esta diferencia hasta el 10% después de 24 semanas (Re-post), aunque no han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las evaluaciones Post y Re-post. La componente vertical del pico máximo de la fuerza de reacción también se ha expresado en valores netos, es decir, sin considerar el peso de los participantes ($PMF_{N(Z)}$). Un comportamiento similar se produce con el pico máximo de la fuerza de reacción de la componente horizontal ($PMF_{(Y)}$).

Tabla 23.- Estadística descriptiva e inferencial de las variables relacionadas con la fuerza desarrollada durante la realización de la tarea Sit-to-stand para las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención.

Variables	Pre	Post	Re-post	F
$PMF_{(Z)}$ (N)	936.5 ± 189.1	994.7 ± 226.5 ¹	1029.9 ± 226.7 ¹	8.03**
$PMF_{N(Z)}$ (N)	222.8 ± 79.4	280.9 ± 98.6 ¹	316.1 ± 87.4 ¹	8.03**
$PMF_{(Y)}$ (N)	113.8 ± 43.5	159.9 ± 54.6 ¹	143.2 ± 46.6 ¹	5.99**
$RDF_{(Z)}$ (N/s)	1422.7 ± 689.4	2004.1 ± 689.4 ¹	2023.2 ± 858.4 ¹	5.09*

Mean ± SE (range); *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

En esta misma tabla también se presentan los valores medios de la ratio de desarrollo de la fuerza vertical de reacción ($RDF_{(Z)}$). La estadística inferencial constata ciertas diferencias entre las medias de las tres evaluaciones ($p < 0.05$), incrementándose

después de 12 semanas de entrenamiento (Post), con respecto a la evaluación previa (Pre) y manteniéndose ese incremento después de 24 semanas (Re-post), sin que hayan existido diferencias estadísticamente significativas entre las evaluaciones Post y Re-post.

En la Figura 30, se presentan de forma gráfica los cambios producidos en las variables seleccionadas para la evaluación de la fuerza dinámica durante la tarea Sit to Stand ($PMF_{(z)}$, $PMF_{N(z)}$, PMF_Y y $RDF_{(z)}$), después de 12 y 24 semanas de entrenamiento (Post y Re-post, respectivamente), con respecto a la evaluación previa (Pre).

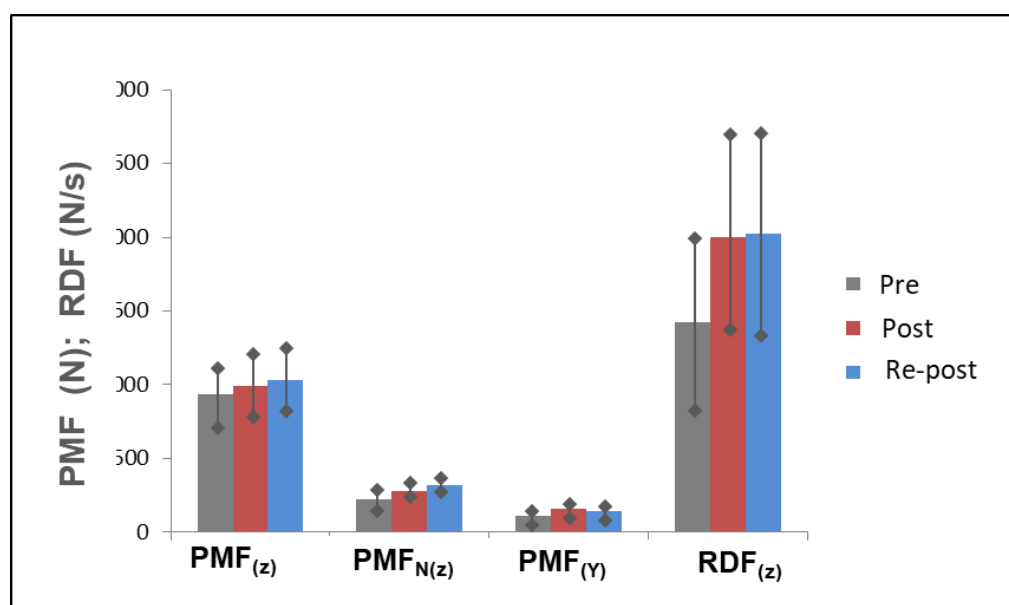


Figura 30.- Representación gráfica de las variables seleccionadas para la evaluación de la fuerza dinámica durante la tarea Sit-to-stand, en las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención (Pre, Post y Re-post).

En la tabla 24, se presentan los datos de tendencia central de las variables más significativas para el análisis temporal de la tarea Sit-to-stand. Los datos ponen de manifiesto que existen claras diferencias entre las medias de las tres evaluaciones para el tiempo empleado en la tarea Sit-to-Stand (*t. levantar*; $p < 0.01$). La prueba de contrastes para esta misma variable indica que el tiempo medio utilizado para levantarse se reduce significativamente después de la intervención (12.7% y 19.7%, para Post y Re-post, respectivamente), con respecto a la evaluación inicial (Pre), sin que hayan existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las evaluaciones Post y Re-post. Especialmente, los valores se reducen en la fase comprendida entre el inicio del

movimiento y el despegue del asiento (*t. despegue asiento*; $p < 0.001$), incrementándose también después de las 24 semanas de intervención (Repost) con respecto a la evaluación realizada después de 12 semanas (Post).

No han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las tres evaluaciones para el tiempo comprendido entre el instante del despegue del asiento y el final del movimiento (*t. Post despegue*). Sin embargo, la prueba de contrastes indica que este periodo temporal se reduce de forma significativa ($p < 0.05$) después de 24 semanas de entrenamiento (Re-post), con respecto a la evaluación inicial (Pre).

Tabla 24.- Estadística descriptiva e inferencial para el grupo de intervención de las variables registradas para el análisis temporal de la tarea Sit-to-Stand.

Variables	Pre	Post	Re-post	F
t. levantar (ms)	1146 ± 354	1000 ± 288 ¹	920 ± 207 ¹	6.17**
t. despegue asiento (ms)	445 ± 147	390 ± 99 ¹	332 ± 47 ^{1,2}	9.56***
t. post despegue (ms)	702 ± 232	611 ± 221	588 ± 181 ¹	3.16
t. máx velocidad vertical CG (ms)	752 ± 207	665 ± 167 ¹	602 ± 108 ¹	7.35**

Mean ± SE (range); *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

En esta misma tabla se presenta también el tiempo necesario para alcanzar la máxima velocidad vertical del CG desde el inicio del movimiento (*t. máx velocidad vertical CG*), constatándose un comportamiento similar al descrito para el resto de las variables temporales. Así, se han registrado claras diferencias entre las medias de las tres evaluaciones ($p < 0.01$) indicándose que en la prueba de contrastes entre ellas se ha reducido el *t. máx velocidad vertical CG* de forma significativa después de 12 semanas de intervención (Post), manteniéndose esta tendencia temporal después de 24 semanas (Re-post), aunque sin que hayan existido diferencias estadísticamente significativas entre los valores medios registrados en Re-post, con respecto a Post.

Para finalizar con el análisis de la tarea Sit-to-Stand, en la tabla 25, se presentan los valores de tendencia central más significativos para el análisis cinemático de este movimiento. Los datos indican que el entrenamiento propuesto no ha tenido efecto sobre la máxima velocidad vertical alcanzada por el CG ($v_{CG(Z)} \text{ MÁXIMA}$). Los valores medios para la

mínima velocidad vertical del CG ($v_{CG(Z)}^{MININMA}$) tiende a reducirse después de la intervención ($p < 0.05$), aunque sólo ha existido significación entre las medias después de 24 semanas de intervención (Repost), con respecto a la evaluación previa (Pre). La velocidad vertical del CG en el instante del despegue del asiento ($v_{CG(Z)}^{DESPEGUE\ ASIENTO}$) se ha incrementado después de la intervención (Post y Repos) con respecto a la evaluación inicial (Pre) ($p < 0.001$), sin embargo, no han existido diferencias entre las medias de la evaluación Post y Repost. No han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las tres evaluaciones para la velocidad horizontal del CG en el instante del despegue ($v_{CG(Y)}^{DESPEGUE\ ASIENTO}$).

Tabla 25.- Estadística descriptiva e inferencial para el grupo de intervención de las variables registradas para el análisis de la tarea STS.

Variables	Pre	Post	Re-post	F
$v_{CG(Z)}^{MAXIMA} (ms^{-1})$	0.79 ± 0.18	0.81 ± 0.14	0.83 ± 0.17	0.41
$v_{CG(Z)}^{MININMA} (ms^{-1})$	-0.05 ± 0.04	-0.04 ± 0.03	-0.03 ± 0.02^1	5.44*
$v_{CG(Z)}^{DESPEGUE\ ASIENTO} (ms^{-1})$	0.14 ± 0.10	0.22 ± 0.15^1	0.27 ± 0.13^1	9.82***
$v_{CG(Y)}^{DESPEGUE\ ASIENTO} (ms^{-1})$	0.37 ± 0.12	0.41 ± 0.01^1	0.38 ± 0.01	1.45
θ muslo despegue asiento ($^\circ$)	23 ± 5	24 ± 5	22 ± 5	1.91
θ tronco despegue asiento ($^\circ$)	58 ± 9	63 ± 9^1	63 ± 10^1	4.82*
ω Max muslo ($rad.s^{-1}$)	2.43 ± 0.70	2.79 ± 0.64^1	2.86 ± 0.65^1	4.72*
ω Max tronco ($rad.s^{-1}$)	1.58 ± 0.29	1.73 ± 0.33^1	1.80 ± 0.28^1	6.86**

Mean $\pm$ SE (range); *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

En esta misma tabla se presentan las posiciones angulares del muslo y el tronco, con respecto a la horizontal, en el instante del despegue del asiento (θ muslo despegue asiento y θ tronco despegue asiento, respectivamente). Los datos indican que no han existido diferencias estadísticamente significativas para la posición del tronco en el despegue, sin embargo, el ángulo del tronco en el instante del despegue tiende a incrementarse después de la intervención ($p < 0.05$). La prueba de contrastes indica un incremento significativo después de 12 semanas de intervención (Post), manteniéndose estos valores después de 24 semanas.

En esta misma tabla también se presentan la máxima velocidad angular alcanzada

por el muslo y del tronco durante la realización de la tarea STS (ω Max muslo y ω Max tronco, respectivamente). Los dos segmentos incrementan sus valores medios después de 12 semanas de intervención (Post), con respecto a la evaluación inicial (Pre) ($p < 0.05$ y $p < 0.01$, respectivamente), manteniéndose estas diferencias después de 24 semanas de intervención (Re-post). Sin embargo, no han existido diferencias estadísticamente significativas entre las medias registradas para las evaluaciones Post y Re-post.

3.3.6. Variables cualitativas sobre la fatiga percibida y calidad de vida.

En la tabla 26 y figura 31, se presentan las puntuaciones medias registradas en el test Fatigue Severity Scale (FSS), relativas la fatiga percibida por el grupo de intervención en las tres evaluaciones realizadas (Pre, Post y Re-post).

Tabla 26.- Estadística descriptiva e inferencial de las puntuaciones registradas en el test Fatigue Severity Scale (FSS), relativas al esfuerzo percibido por el grupo de intervención en las tres evaluaciones realizadas (Pre, Post y Re-post).

Variables	Pre	Post	Re-post	F
FSS	5.24 $\pm$ 1.47	5.21 $\pm$ 1.49	4.94 $\pm$ 1.32 ^{1,2}	5.97*

Mean $\pm$ SE (range); *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

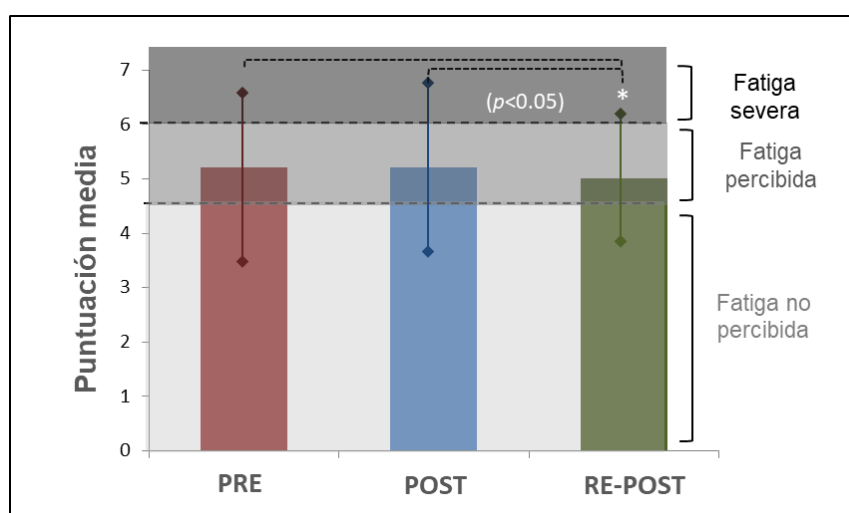


Figura 31.- Representación gráfica de las puntuaciones medias obtenidas en el test de esfuerzo percibido (FSS) por el grupo de intervención en las tres evaluaciones realizadas (Pre, Post y Re-post).

La estadística inferencial indica que existen ciertas diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las tres evaluaciones ($F= 5.97$; $p<0.01$). La prueba de contrastes aplicada a esta variable indica que sólo han existido diferencias estadísticamente significativas a nivel de $p<0.05$ para la evaluación Re-post con respecto a las otras dos evaluaciones (Pre y Post), mientras que no han existido diferencias entre las medias de las puntuaciones Pre y Post. En consecuencia, los datos indican que la fatiga percibida se reduce de forma significativa después de 24 semanas de intervención.

En la tabla 27, se presentan los datos de tendencia central y estadística inferencial de las puntuaciones de los cuatro dominios utilizados por el cuestionario Whoqol-Bref (Salud física, Psicológico, Nivel de independencia y Entorno) para las tres evaluaciones realizadas al grupo de intervención. Los puntajes se han expresado en bruto y transformados porcentualmente, considerando que las puntuaciones así expresadas indican que la calidad de vida de las personas con EM, referida a de cada dominio, mejora cuanto mayor sea su puntuación.

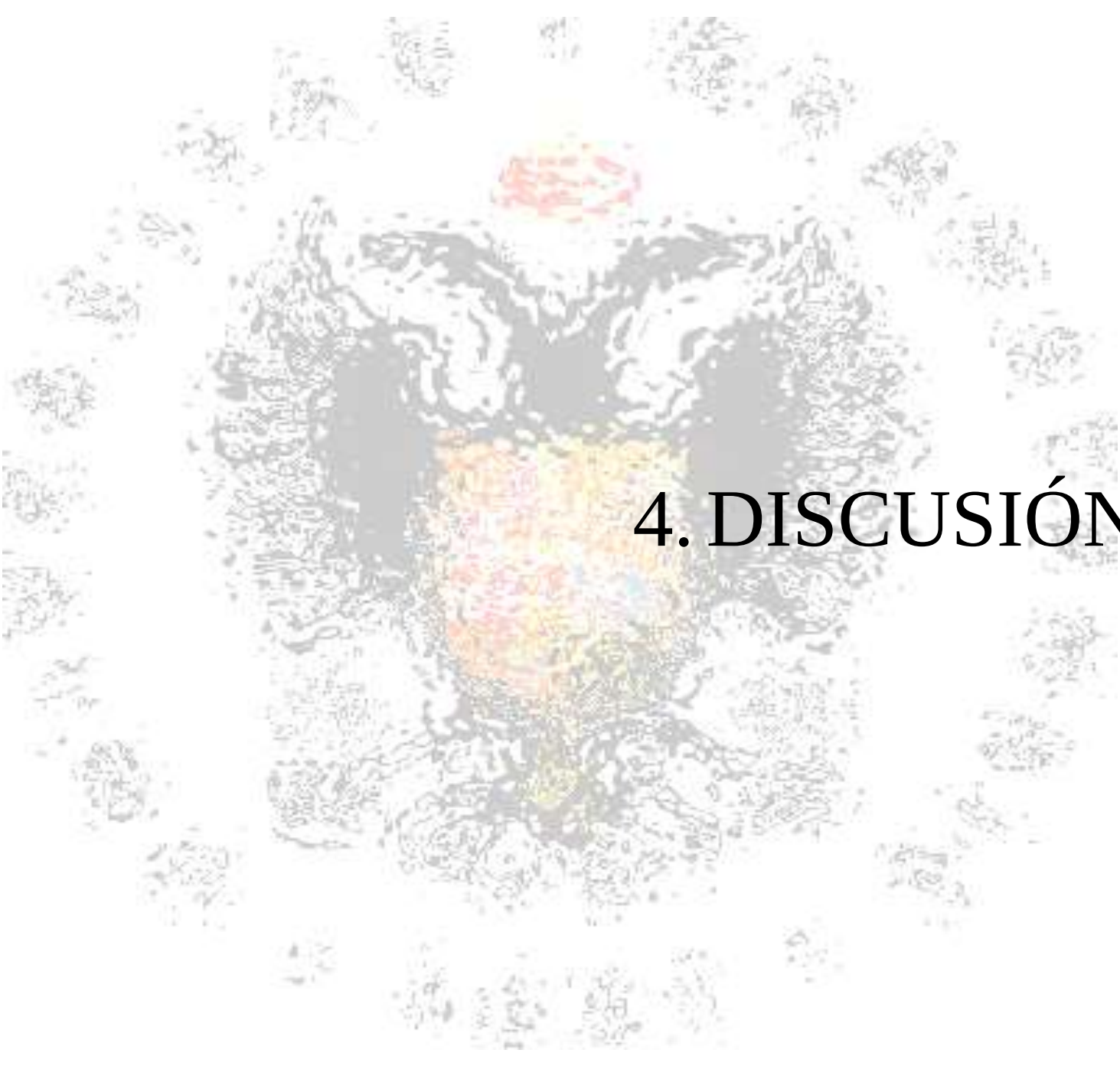
Tabla 27.- Estadística descriptiva e inferencial de las puntuaciones de los cuatro dominios correspondientes a la calidad de vida para las evaluaciones realizadas al grupo de intervención (Pre, Post y Re-post).

Dominios		Pre	Post	Re-post	F
Salud Física	(Brutos)	24.1 ± 3.6	24.1 ± 3.5	24.7 ± 3.8	0.46
	(0-100)	61.0 ± 13.1	60.5 ± 11.7	63.6 ± 14.0	0.69
Salud Psicológica	(Brutos)	22.5 ± 2.3	25.0 ± 2.7 ¹	25.5 ± 2.5 ¹	9.77***
	(0-100)	68.4 ± 9.4	81.2 ± 12.0 ¹	82.9 ± 11.2 ¹	11.91***
Relaciones sociales	(Brutos)	11.3 ± 1.8	11.0 ± 2.3	11.1 ± 2.6	0.20
	(0-100)	69.1 ± 16.4	67.1 ± 20.5	68.4 ± 23.1	0.09
Contexto ambiental	(Brutos)	26.9 ± 4.0	26.7 ± 5.4	27.1 ± 3.6	0.03
	(0-100)	61.1 ± 12.1	60.6 ± 17.0	61.4 ± 12.0	0.02

Mean ± SD *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

Los datos indican que sólo han existido claras diferencias entre las medias de las tres evaluaciones realizadas para el dominio de salud psicológica ($p<0.01$), mientras que no han existido diferencias estadísticamente significativas para el resto de los dominios. La

prueba de contrastes para el dominio de salud psicológica indica que ésta se incrementa después de 12 semanas de intervención (Post) con respecto la primera evaluación (Pre), manteniéndose dicha diferencia después de 24 semanas (Re-post), sin que hayan existido diferencia entre las evaluaciones Post y Re-post.



4. DISCUSIÓN

4. DISCUSIÓN.

En este apartado se tratará de utilizar teorías suficientemente contrastadas para dar explicación de los resultados expuestos y compararlos con el conocimiento científico previo relacionado con las hipótesis iniciales. A partir de esta comparación entre el conocimiento pasado y las evidencias presentes de los resultados expuestos, se intentarán detectar las posibles diferencias, dar una explicación sobre las fuentes de discrepancia y obtener nuevas evidencias científicas. En este sentido, las hipótesis representan un proceso reflexivo sobre las evidencias científicas previas, mientras que los resultados de investigación, suponen una realidad empírica que permiten confirmar o rechazar dicha hipótesis.

En una investigación compleja, como la que se presenta en esta tesis, el objetivo general ha derivado en cinco hipótesis relacionadas con los posibles efectos que ha tenido la aplicación de un programa de entrenamiento combinado (PEC), sobre diferentes grupos de variables relacionadas con la salud y calidad de vida de las personas con esclerosis múltiple (EM): *a)* Los factores cinemáticos del ciclo de marcha, *b)* El costo de tareas cognitivas concurrentes a la marcha, *c)* El equilibrio, *d)* La fuerza estática y *e)* Los factores de eficacia de la tarea sit-to-stand. Además de discutir las posibles discrepancias surgidas durante la contrastación empírica de esta cinco hipótesis, se pretenden constatar los posibles cambios de percepción subjetiva relacionados con la fatiga y la calidad de vida de las personas con EM. Siguiendo las hipótesis descritas en la introducción y los objetivos generales de esta tesis se presentan las cinco hipótesis específicas más dos preguntas genéricas que surgen del posible efecto del PEC sobre la percepción subjetiva del esfuerzo y la calidad de vida.

- ✓ **H1.** El programa de intervención provocará cambios en la secuencia temporal del ciclo de marcha debido a la mejora del equilibrio dinámico y el control postural, reduciéndose el tiempo en apoyo bipodal e incrementándose el periodo de apoyo monopodal. La consecuencia será una marcha más segura.
- ✓ **H2.** El entrenamiento dual incluido en el programa de intervención, junto a la mejora del equilibrio, reducirá el costo debido a una tarea dual cognitiva

concurrente a la marcha. A partir de los antecedentes expuestos, la mayor reducción de este costo se producirá en la longitud de paso y velocidad de desplazamiento y se correlacionará con el nivel de discapacidad según escala EDSS.

- ✓ **H3.** La incorporación de ejercicios de fuerza, utilizando plataformas inestables en el programa de intervención, provocarán una mejora generalizada del equilibrio.
- ✓ **H4.** El diseño de un programa de intervención basado en ejercicios de fuerza muscular, aumentará la fuerza estática de reacción, así como su ratio de desarrollo, asociado a un mayor ritmo de producción de fuerza muscular.
- ✓ **H5.** La aplicación de un programa de intervención, donde se combinan tareas motoras y cognitivas, se pondrá de manifiesto en la mejora de la tarea sit-to-stand, como consecuencia del incremento de la fuerza dinámica general, los factores coordinativos relacionados con el control postural y una mayor seguridad durante la ejecución del movimiento.
- ✓ **P1.** Se trata de constatar si la actividad física debida a la realización del programa de entrenamiento PEC ha permitido reducir la percepción de la fatiga.
- ✓ **P2.** Se pretende comprobar si la realización de un programa de entrenamiento sistematizado, durante 24 semanas, permite mejorar la sensación de calidad de vida en personas con EM.

Como se ha indicado en el apartado metodológico, para contrastar empíricamente las hipótesis expuestas, se ha utilizado un ensayo controlado aleatorizado con grupo de intervención (GI) y grupo control (GC). En estos diseños se requiere una constatación previa sobre la homogeneidad de los grupos, así como su equivalencia con respecto a las variables registradas. Unas evidencias que se han constatado a partir del análisis de varianza entre grupos, expuesto en el apartado dedicado a la exposición de los resultados. Por otra parte, es necesario evidenciar que los posibles cambios producidos en el grupo de intervención han sido debidos al programa de entrenamiento propuesto y no a los efectos de otras terapias rehabilitadoras y/o a la prescripción farmacológica. Para ello es necesario

comparar los posibles cambios producidos por el grupo de intervención con los producidos por el grupo de control, un aspecto que será considerado a lo largo de esta discusión.

Para la exposición de este apartado, dedicado a la discusión de los posibles logros alcanzados, se ha considerado abordar por separado cada una de las hipótesis expuestas, las cuales están asociadas a grupos de variables dependientes. Esta estrategia de dividir la discusión en partes, tiene el riesgo de limitar el análisis global del problema planteado, además de condicionar las posibles relaciones entre los diferentes grupos de variables. Para tratar de solucionar estos problemas, se ha considerado establecer un orden de respuestas a partir de los grupos de variables más básicas, como son los relacionados con la fuerza estática y el equilibrio, cuyas respuestas podrían ser utilizadas en el análisis explicativo de otras tareas más complejas como la marcha o la tarea sit-to-stand, las cuales se abordarán a continuación junto al análisis de las variables cualitativas. Finalmente, el análisis global se desarrollará en un apartado específico dedicado a las conclusiones generales y perspectivas de futuro.

4.1. Efecto del PEC sobre la fuerza estática.

En la figura 32, se presenta la evolución comparada en el grupo de intervención y el de control para el pico máximo de fuerza estática vertical ($PMF_{(z)}$) y su correspondiente ratio de desarrollo ($RDF_{(z)}$), constatándose que existe un mayor incremento en el grupo de intervención, con respecto al grupo de control, para las dos variables. Unos resultados coincidentes con otras investigaciones previas donde se ha informado como programas moderados de entrenamiento incrementan la fuerza en personas con EM (Cruickshank et al., 2015; Medina-Pérez et al., 2014) y como los programas de entrenamiento de fuerza máxima con pocas repeticiones mejora el impulso neural central en estos mismos grupos de personas (Fimland et al., 2010)

En las dos gráficas presentadas en la Figura 32, se puede observar como el grupo de control parte de unos valores medios superiores a los registrados por el grupo de intervención, aunque la estadística inferencial entre grupos indica que no existen diferencias significativas entre ellos ($F= 0.04$, $p>0.5$; ver tabla 6). En este sentido comparado, también se observa un cierto incremento medio del $PMF_{(z)}$ en el grupo de control, después de 24 semanas con respecto a la primera evaluación, aunque sin llegar a

ser significativo ($F=2.5$, $p>0.5$; ver tabla 12). Este incremento podría considerarse como una mejora debida a los tratamientos rehabilitadores, donde el incremento de la fuerza suele ser uno de sus objetivos (Raisi, Faramarzi, Banitalebi & Samieyan, 2018), además de ser cada vez más evidente la necesidad de prescribir la actividad física específica y el deporte como terapia a las personas con EM, como sugieren Geidl et al. (2018) en una revisión sistemática sobre las guías clínicas para la EM o las propuestas de Motl et al. (2018) para aumentar la actividad física en personas con EM a través de Internet.

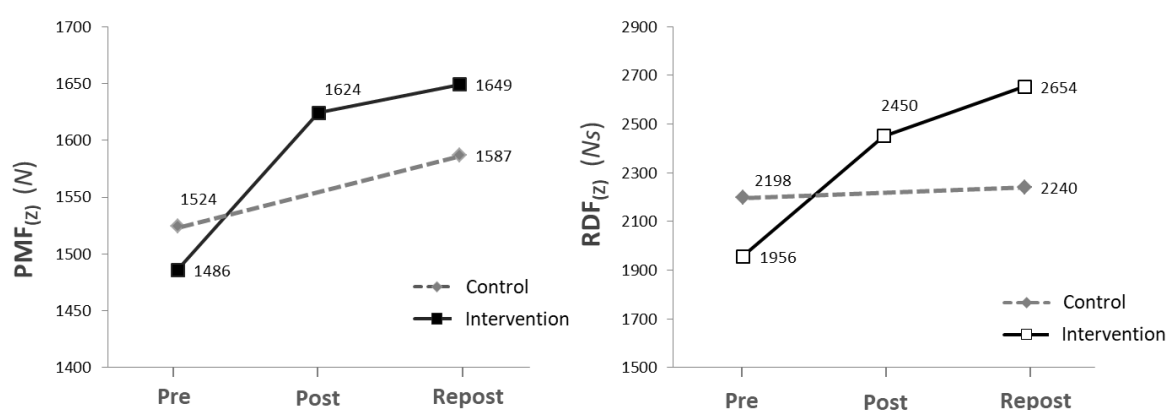


Figura 32.- Representación gráfica de los registros medios de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post) para el pico máximo de fuerza estática vertical ($PMF_{(z)}$) y su correspondiente ratio de desarrollo de fuerza ($RDF_{(z)}$).

Como resumen, los resultados generales sugieren que la aplicación del PEC durante 12 semanas mejora el pico máximo de fuerza muscular ($PMF_{(z)}$) y la ratio de desarrollo de fuerza estática ($RDF_{(z)}$) en personas con EM, con respecto al grupo control y que este efecto persiste después de 24 semanas de entrenamiento. Unos resultados que no deberían sorprendernos, ya que los participantes del grupo de intervención han estado sometidos durante 24 semanas a un entrenamiento controlado de esas mismas cualidades. Estos resultados son coincidentes con otros muchos estudios controlados aleatorizados donde se han utilizado programas de intervención similares (Çakt, et al., 2010; Dalgas et al., 2013; Fimland et al., 2010; Hosseini et al., 2018; Learmonth et al., 2011).

Investigaciones previas han documentado un déficit de fuerza propio de la EM como consecuencia de las alteraciones estructurales y neurológicas en las distintas

manifestaciones de la enfermedad (Kjølhede et al., 2015; Lambert, Archer, & Evans, 2001; Wens, et al., 2014; White & Dressendorfer, 2004). Este déficit de fuerza, específico de las personas con EM, suele comprometer el equilibrio y control postural, así como reducir el rendimiento de actividades cotidianas como caminar o subir escaleras (Broekmans, et al., 2012; Jørgensen, Dalgas, Wens & Hvid. 2017; Yahia, Ghroubi, Mhiri & Elleuch, 2011). Sin embargo, los resultados expuestos sugieren que el déficit de fuerza muscular no solo estaría asociado a las alteraciones funcionales propias de la enfermedad, muy posiblemente la inactividad física y la falta de un entrenamiento específico podrían contribuir también a ese déficit.

En realidad, se desconoce si este posible déficit de fuerza, específico de las personas con EM, se produce debido a las alteraciones propias de la enfermedad, la inactividad física o a una combinación de ambas causas. Una duda razonable que no es posible rechazar con los datos que se derivan de esta tesis, donde la escasa correlación existente entre el grado de discapacidad neurológica, registrado mediante la escala EDSS y el pico máximo de fuerza estática (PMF_E) en la evaluación previa (Pre) ($R = -0.43$; $p = 0.11$ —ver figura 33), sólo permite sugerir la existencia de un cierto déficit de fuerza debido al incremento del nivel de discapacidad propio de la EM, pero no en todos los casos.

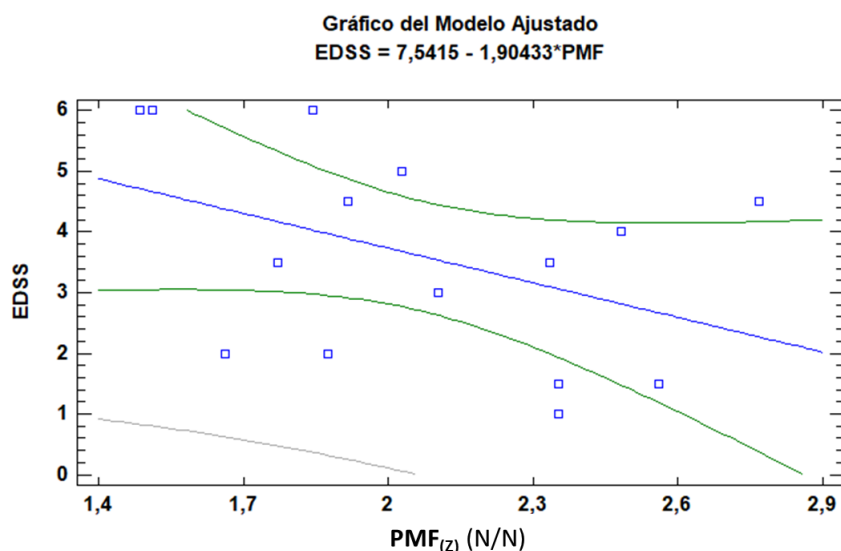


Figura 33.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad registrado mediante escala EDSS y el pico máximo de fuerza vertical ($PMF_{(z)}$) normalizado con respecto al peso corporal.

Tampoco se puede afirmar que el nivel de discapacidad EDSS haya podido influir en el incremento de la fuerza estática debido al entrenamiento. La escasa relación entre el nivel de discapacidad EDSS y el incremento del pico máximo fuerza estática, alcanzado después de 24 semanas de entrenamiento ($\Delta PMF_{(Z)}$), así lo indica ($R=-0.01$; $p= 0.96$ –ver figura 34.)

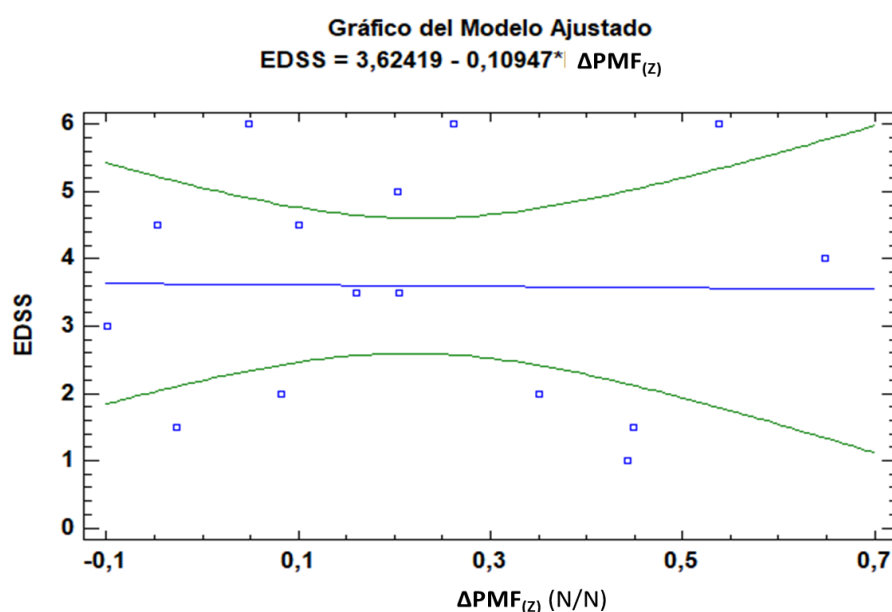


Figura 34.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad EDSS y el incrementos del pico máximo de fuerza vertical ($\Delta PMF_{(Z)}$) normalizado con respecto al peso corporal.

Los resultados expuestos son coincidentes con las aportaciones de Bowser et al., (2015), al poner de manifiesto que no todas las personas con EM muestran debilidad muscular, reforzando así las imprevisibles manifestaciones de las patologías propias de esta enfermedad (Noseworthy et al., 2000).

4.2. Efecto del PEC sobre las variables estabilométricas.

Aunque el entrenamiento PEC no ha producido mejoras a nivel significativo entre las medias de todas las situaciones y variables estabilométricas registradas, los datos indican que ha existido una mejoría generalizada del equilibrio. Una afirmación que es coincidente con las aportaciones de Çakt et al., (2010) y Sabapathy et al. (2011), cuando indican que los programas de ejercicio físico controlados pueden mejorar el equilibrio en las personas con EM. Por otra parte, se trata de una conclusión que se sustenta

empíricamente a partir de una cierta reducción de todas las variables estabilométricas después de 12 y 24 semanas del entrenamiento PEC. Esta tendencia que también ha ocurrido en el grupo de control después de 24 semanas de la primera evaluación, aunque sin alcanzar diferencias significativas entre las medias (ver tabla 13).

La tendencia general descrita para el grupo de control nos obligan a ser cautos con las conclusiones finales ya que no es posible afirmar que las mejoras generalizadas del equilibrio en las personas con EM puedan deberse exclusivamente al entrenamiento PEC, posiblemente la incorporación las terapias rehabilitadoras, farmacológicas o los hábitos deportivos que se recomiendan en las guías terapéutica, hayan tenido un cierto efecto sobre esta mejoría.

Analizando detenidamente los resultados de esta investigación, es conveniente destacar la mejoría que se ha producido en el coeficiente de Romberg con reducción somatosensorial (RGC-RGA). Se trata de un parámetro que determina en qué medida se utiliza la visión en el control de la postura cuando existe restricción de las aferencias somatosensoriales. Unos resultados que son coincidentes con las aportaciones de Cameron y Lord (2010) y Ramdharry, Marsden, Day y Thompson (2006), cuando indican que la influencia de la visión en el control postural es mayor en las personas con EM que en personas libres de patologías.

En la Figura 35 se presentan los valores medios del índice de Romberg RGC-RGA en las evaluaciones realizadas a los dos grupos para las tres variables estabilométricas registradas ($L_{(CP)TOTAL}$, $AP_{(CP)}$, $ML_{(CP)}$). Los datos expuestos indican que la evaluación previa del grupo de intervención (Pre) posee valores medios algo superiores a los registrados por el grupo de control, lo que podría indicar una mayor participación de la visión en el equilibrio del grupo de intervención con respecto al grupo de control. Sin embargo, es necesario recordar que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre grupos, lo que nos permitió confirmar que los dos grupos eran equivalentes con respecto a todas las variables estabilométricas (ver tabla 7).

Otro de los aspectos que se destacan de las gráficas expuestas en la figura 35 es la reducción del índice de Romberg RGC-RGA, después de 12 y 24 semanas de intervención, con respecto al grupo de control, lo que sugiere que el entrenamiento PEC podría haber provocado un cierto efecto sobre este índice Romberg con reducción somatosensorial, lo

que se constata estadísticamente con los datos expuestos sobre las variables estabilométricas en situación de plataforma inestable y ojos cerrados (RGC) (ver tabla 22). En esta tabla se pone de manifiesto que las medias de sus tres variables se reducen significativamente después de 12 semanas de entrenamiento, manteniéndose dichos valores después de 24 semanas. Sin embargo, el grupo de control mantiene valores similares después de 24 semanas con respecto a la primera evaluación (ver tabla 13).

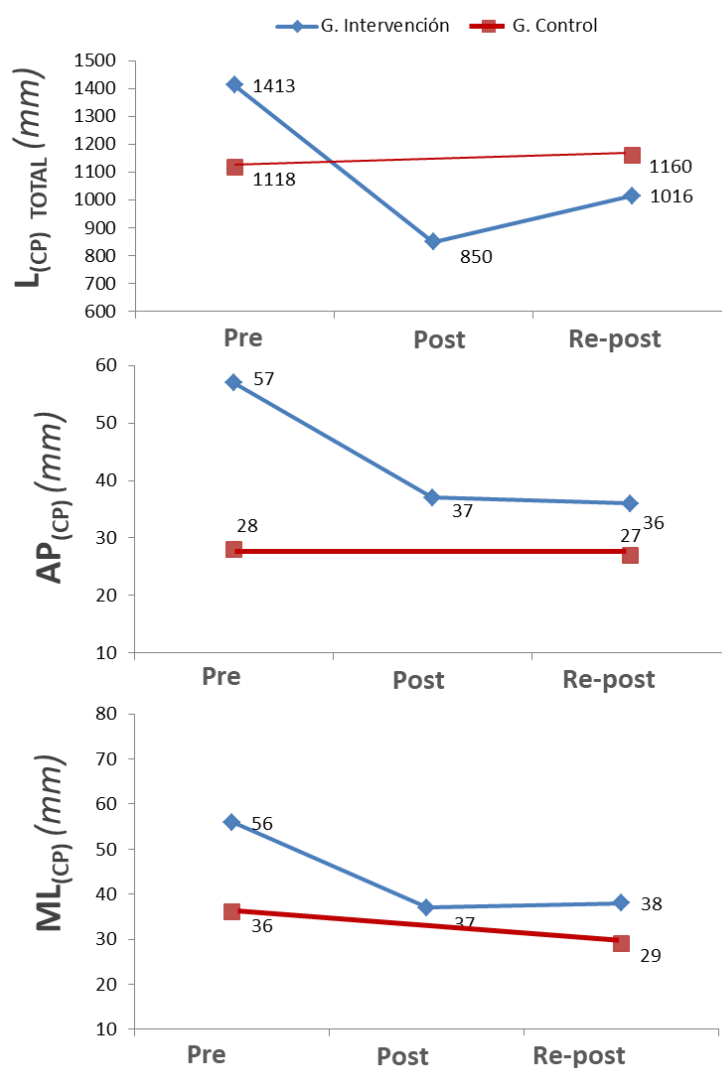


Figura 35.- Representación gráfica de los valores medios del índice de Romberg con reducción somatosensorial (RGC-RGA) de las tres variables estabilométricas ($L_{(CP)} \text{ TOTAL}$, $AP_{(CP)}$, $ML_{(CP)}$), para las evaluaciones realizadas (Pre, Post y Re-post) a dos grupos (G. Intervención y G. Control).

La estadística correlacional múltiple entre el nivel de discapacidad neurológica

(EDSS) y las tres variables registradas en las cuatro situaciones propuestas en el test de Romberg (ROA, ROC, RGA y RGC), indica que existe una relación estadísticamente significativa entre EDSS y las tres variables con un nivel de confianza superior al 95%. Concretamente, la estadística indica que el nivel de discapacidad EDSS explicaría el 83% de la variabilidad de las tres variables estabilométricas registradas en la situación ROA ($p < 0.001$); el 76% de la variabilidad en la situación ROC ($p < 0.005$) y el 75% de la variabilidad de las variables registradas en las situaciones RGA y RGC ($p < 0.005$).

Como se ha indicado, el nivel de discapacidad EDSS se relaciona de forma clara con el incremento de las variables estabilométricas, sin embargo, éste no ha tenido relación con las mejoras alcanzadas por las variables estabilométricas después de 24 semanas de entrenamiento. En la Figura 36 se presenta la regresión lineal entre los valores EDSS y los cambios producidos en las tres variables registradas, para la situación RGC, después de 24 semanas de la evaluación inicial. Se constata una escasa relación entre el nivel de discapacidad EDSS y los cambios debidos a entrenamiento de las tres variables registradas sobre plataforma inestable y ojos cerrados ($R = -0.06$, $p = 0.82$ para $\Delta AP_{(CP)}$; $R = 0.03$, $p = 0.90$ para $\Delta ML_{(CP)}$ y $R = 0.10$, $p = 0.73$ para $\Delta L_{(CP)TOTAL}$).

Esta mejoría general del equilibrio en el grupo de intervención podría estar asociada a la incorporación, en el programa de entrenamiento PEC, de un bloque de ejercicios con plataformas inestables, orientado al control del equilibrio en situaciones de extrema dificultad donde se limitan las aferencias vestibulares y somatosensoriales. Estas exigencias de entrenamiento junto al incremento descrito para la ratio de desarrollo de fuerza (RDF), asociado a un mayor ritmo de producción de fuerza muscular, podría haber contribuido al control postural ante situaciones inestables, donde se han eliminado las aferencias somatosensoriales. En este sentido, diferentes estudios han constatado que las personas con EM poseen tres condicionantes relacionados con el control del equilibrio que están asociados a un déficit de la fuerza muscular y/o el retardo del impulso neural: a) Capacidad reducida para mantener su posición, b) movimientos lentos y limitados para el control del desplazamiento del CG y c) Retraso de las respuestas musculares a las perturbaciones posturales (Broekmans, et al., 2012; Cameron & Lord, 2010; Jørgensen et al., 2017; Karst, Venema, Roehrs & Tyler, 2005; Yahia et al., 2011). Esta posible relación entre el equilibrio y la RDF, sería coincidente con las aportaciones de Dalgas et al. (2013)

y Fimland et al. (2010), donde se observa un incremento del impulso neural en personas con EM después del entrenamiento de fuerza. Además, estudios recientes como los aportados por Amiri, Sahebozamani y Sedigui (2019), constatan la importancia que tiene el entrenamiento de fuerza en la musculatura profunda de la zona abdominal, acompañado ejercicios de inestabilidad sobre la repercusión positiva en la coordinación neuromuscular y la estabilidad de las personas con esclerosis múltiple.

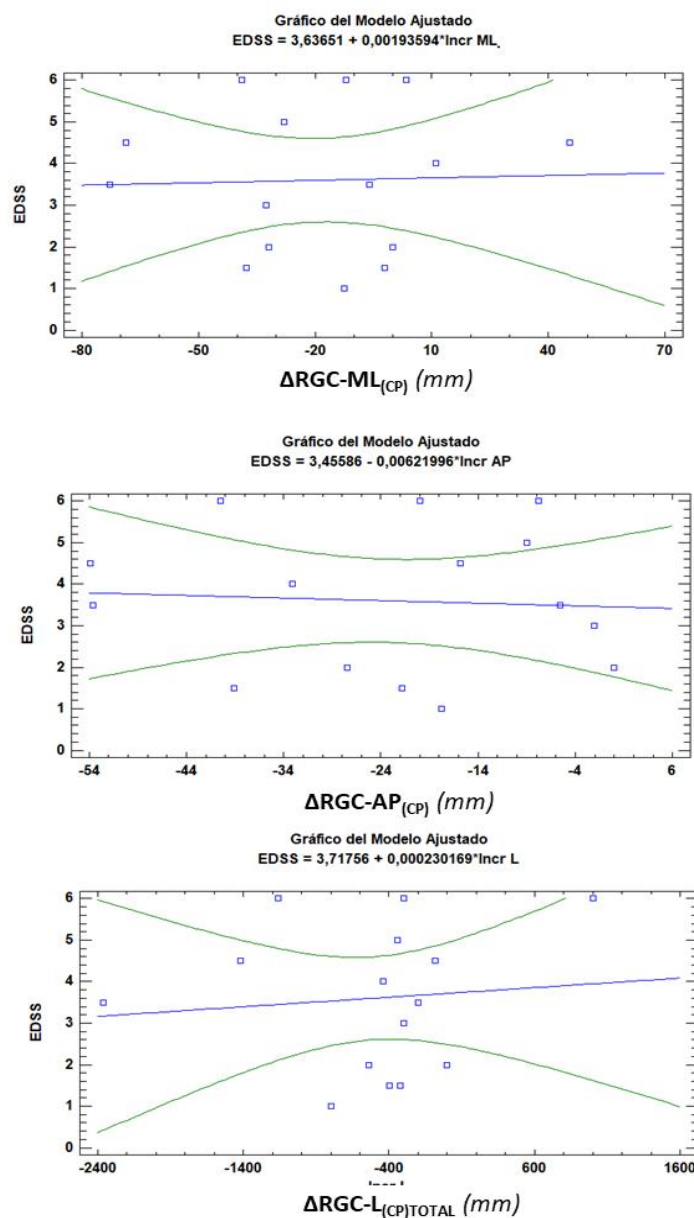


Figura 36.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad EDSS y los cambios producidos en las variables registradas para la situación RGC después de 24 semanas de entrenamiento.

Como resumen, es conveniente indicar que las variables estabilométricas registradas en la situación RGC han sido las que han alcanzado mayores diferencias entre sus medias (ver tabla 22), mejorando significativamente sus valores después de 12 semanas de entrenamiento. Sin embargo, la estadística de regresión expuesta no permite relacionar dicha mejora con el nivel de discapacidad de las personas con EM. Así, el efecto del programa de entrenamiento PEC se produciría con cualquier nivel de discapacidad.

4.3. Efecto del PEC sobre los factores de eficacia de la marcha normal.

En este apartado se trata de constatar los efectos que ha tenido el entrenamiento PEC sobre los factores de eficacia descritos para la marcha. A partir de nuestras investigaciones previas (Gutiérrez-Cruz, Miangolarra y Rojas, 2016), la amplia revisión sistemática realizada por Comber, Galvin y Coote (2017) y las aportaciones de Cameron & Lord (2010); Givon et al., (2009) y Kalron et al., (2010), se han podido comparar ciertos factores que determinan la eficacia de la marcha en personas con EM, con respecto a personas libres de patologías. Así, se ha constatado un efecto importante sobre las siguientes variables: a) *Disminución de la longitud del paso*, b) *Aumento de la duración del apoyo bipodal* y c) *Reducción de la velocidad de desplazamiento*. Sobre otras variables, el efecto de la EM ha sido moderado, como: a) *El aumento del ancho de paso* y b) *La cadencia*. Estos cambios se han podido registrar incluso cuando el nivel de discapacidad EDSS es relativamente bajo. A partir de estos efectos, el entrenamiento combinado PEC, propuesto en esta tesis, será eficaz si consigue invertir las tendencias descritas.

Siguiendo los datos expuestos en esta tesis, se constata que ha existido una cierta reducción del tiempo empleado en realizar el ciclo de marcha después de 12 y 24 semanas de entrenamiento (Post y Re-post), con respecto a la evaluación previa (Pre). Un comportamiento que se mantiene para el tiempo requerido para realizar el paso izquierdo y se incrementa, hasta alcanzar diferencias estadísticamente significativas, entre las medias del tiempo requerido para el paso derecho, después de 12 semanas de entrenamiento ($p < 0.05$). Esta tendencia hacia la reducción del tiempo de paso se confirma al constatare un incremento significativo de la cadencia ($p < 0.01$), después de 12 semanas de entrenamiento. La importancia de esta constatación se debe al uso de técnicas y métodos diferentes para registrar una misma variable: El tiempo de paso, usando fotogrametría 3D y

la cadencia, usando el sistema GAITRite, obteniéndose una alta validez concurrente entre las dos técnicas de registro (ICC= 0.996).

Analizando los periodos temporales que determinan cada paso, se observan ciertas diferencias entre las medias antes y después de la intervención, reduciéndose las medias del tiempo bipodal e incrementándose las correspondientes a la fase monopodal ($p<0.05$). La reducción del tiempo de apoyo bipodal podría estar relacionada con una mejora del equilibrio dinámico y el control postural, como sugieren Kalron et al. (2010) y Davies et al. (2016) y se constata con los datos expuestos sobre los valores medios registrados en el test de Romberg. El incremento del tiempo de la fase de apoyo monopodal después del entrenamiento estaría motivado por el aumento significativo de la longitud media y amplitud de paso ($p<0.05$; ver tabla 20), un comportamiento que también podría estar relacionado con las mejoras generalizadas del equilibrio, ya indicadas en los párrafos anteriores.

Estudios recientes sobre la neuroplasticidad de los movimientos en el patrón de marcha, relacionan la mejora de los parámetros temporales al entrenamiento sistemático de patrones de movimiento que proporcionarían señales repetitivas externas, las cuales generarían nuevos patrones neuronales, proporcionando un ritmo de marcha concreto, aunque sin influir de forma significativa en parámetros como la cadencia (Robinson, Dennett & Snowdon, 2019; Kesselring, 2017), algo que es coincidente con los resultados expuestos. La consecuencia de todo ello es una marcha más estable y segura, lo que se constata con una reducción significativa del coeficiente de variación del tiempo de paso derecho e izquierdo después de la intervención ($p<0.01$; ver tabla 19).

Como se ha indicado, el incremento del tiempo monopodal podría estar condicionado por un aumento de la longitud de paso, provocado por la aplicación del programa de entrenamiento PEC, aunque para constatar que este incremento en la longitud de paso haya sido debido al entrenamiento, es necesario compararlo con lo ocurrido en el grupo control antes (Pre) y después de 24 semanas (Re-post). Así, en la figura 37 se presentan la evolución comparada de la longitud media de los dos pasos consecutivos que determinan el ciclo de marcha (*longitud paso medio*), para el grupo de intervención y el grupo control. En ella se observa como el grupo de control tiene una mayor longitud media de paso en la evaluación previa (Pre), con respecto a la registrada por el grupo de

intervención, sin embargo no existen diferencias entre grupos para esta evaluación previa (ver tabla 4), lo que indica que los grupos son equivalentes con respecto a esta variable antes de comenzar con el periodo de intervención. A partir de los datos representados en esta misma figura, se observa como el grupo de control mantiene los mismos valores medios de longitud de paso después de 24 semanas (Re-post), mientras que el grupo de intervención incrementa su longitud un 6%.

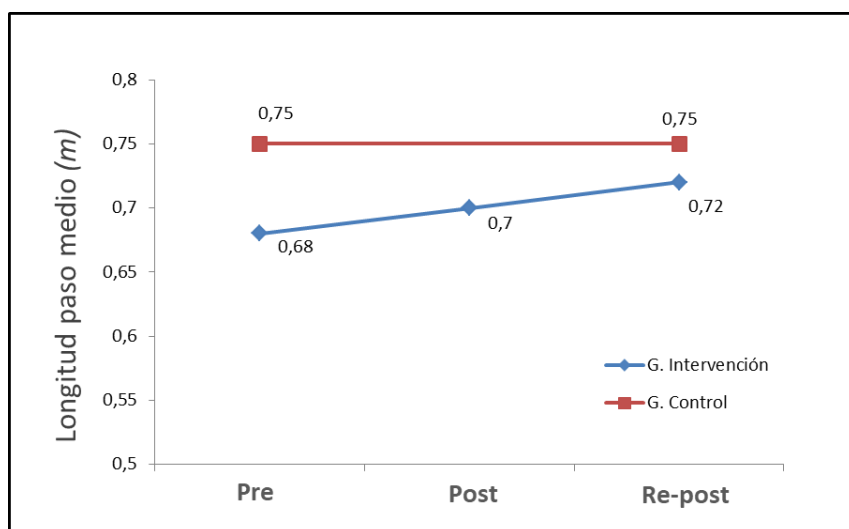


Figura 37.- Representación gráfica de los registros medios de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post) para la longitud media de paso para los dos grupos (Intervención y control)

El aumento de la longitud de paso en el grupo de intervención, con respecto al grupo de control, podría estar asociado a la mejora del equilibrio y la fuerza estática, debida a la aplicación del entrenamiento. Posiblemente, el mantenimiento de los valores medios de la longitud de paso en el grupo de control, haya estado asociado a la actividad habitual de las personas que participaban en el grupo de control, donde la mayoría de ellas incorporaban en su terapia rehabilitadora el ejercicio físico, como sugieren Molt, Goldman y Benedict (2010) y Sandrof, Sosnoff y Motl (2013), al poner de manifiesto que el ejercicio físico podría mejorar o mantener los parámetros cinemáticos de la marcha.

Como se ha expuesto, después de 24 semanas de entrenamiento, el grupo de intervención ha reducido el tiempo de paso y ha incrementado su longitud. La consecuencia de estos dos efectos es el incremento de la velocidad del CG, lo que se

constata en la tabla 18, donde V_{CG} *ciclo marcha* tiende a incrementarse de forma significativa después de 12 semanas de entrenamiento ($p < 0.05$), un hecho que también se produce en el grupo de control, aunque sin alcanzar niveles de significación estadística (ver tabla 10). Analizando la velocidad media del CG de los dos grupos, durante los periodos temporales del ciclo de paso, los datos indican que V_{CG} *apoyo bipodal medio*, se incrementa después de 24 semanas un 5.4% en el grupo de intervención ($p < 0.05$) y un 4.1% para el grupo control ($p = ns$). Sin embargo, V_{CG} *apoyo monopodal medio*, no experimenta cambios significativos en ninguno de los dos grupos. Según los datos expuestos, es necesario ser cautos al afirmar que las mejoras descritas de la velocidad del CG en las personas con EM puedan deberse exclusivamente a la aplicación del entrenamiento PEC. En este sentido, se podría sugerir que la incorporación las terapias rehabilitadoras y/o farmacológicas, hayan causado también un cierto efecto.

El comportamiento descrito para la velocidad del CG y el expuesto en el apartado anterior para el equilibrio, indican que ambos experimentan ciertas mejoras y que el comportamiento de estas dos variables podría estar relacionado. Una asociación que también han descrito Cameron & Lord (2010) al sugerir la existencia de una cierta relación causal entre el incremento de la velocidad del CG y la mejora generalizada de las variables estabilométricas. Charron, McKay & Tremlett (2018), en una revisión sistemática (metaanálisis) sobre el efecto del ejercicio en las personas con EM, han constatado que los entrenamientos de resistencia mejoran la capacidad de la marcha, mientras que otros dinámicos y orientados a ejercicios de atención, mejoraron el equilibrio y la coordinación. Unos resultados que apoyan las mejoras obtenidas en este estudio al considerarse el programa de entrenamiento PEC como una intervención donde se combinan actividades dinámicas, cognitivas y de resistencia, como consecuencia de su aplicación sistemática. Según lo expuesto, parece constatado que la actividad física regular mejora la fuerza, el equilibrio y la capacidad de la marcha en las personas con EM.

Como se esperaba, el nivel de discapacidad posee una correlación alta con las variables temporales y espaciales del ciclo de marcha. En la figura 38 se presentan las correlaciones entre el nivel de discapacidad, registrada mediante la escala EDSS y el tiempo, longitud y velocidad media del ciclo de marcha. Así, los datos muestran que, cuando se incrementa el nivel de discapacidad EDSS, aumenta de forma significativa el

tiempo de ciclo de marcha ($R=0.63$; $p= 0.01$), la longitud de ciclo de marcha disminuye ($R= -0.73$; $p= 0.005$) y, en consecuencia, la velocidad media también disminuye de forma muy significativa ($R= -0.77$; $p= 0.001$).

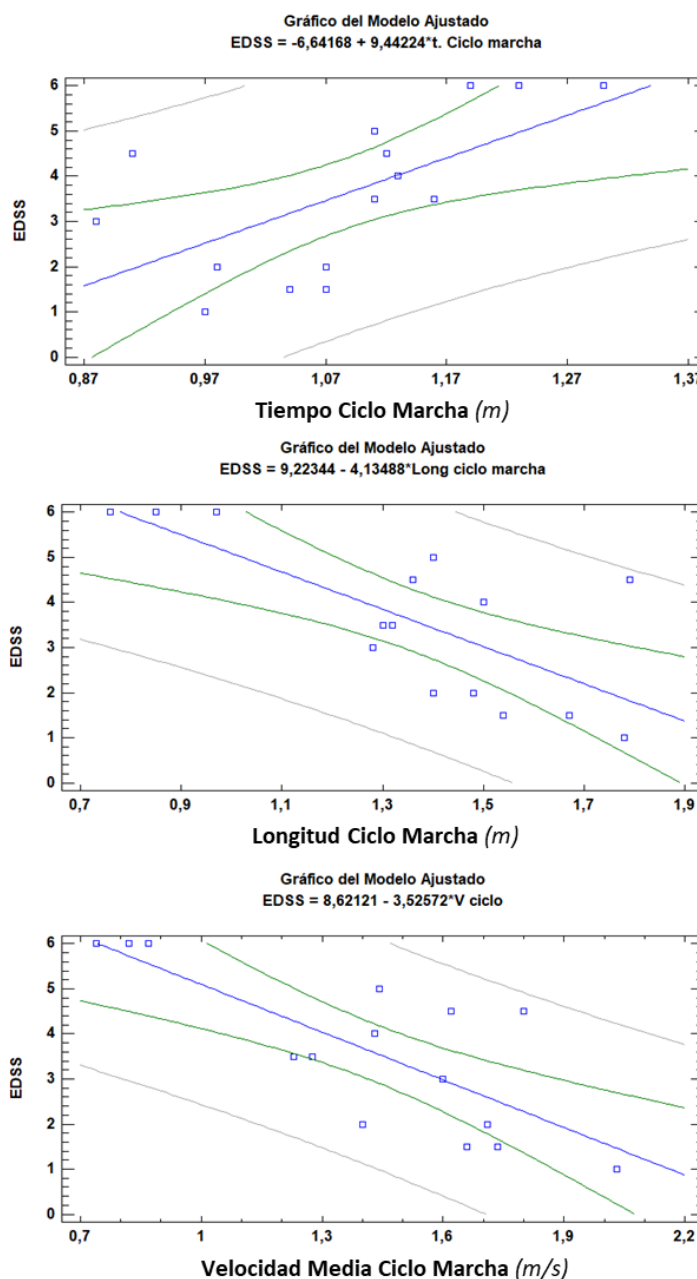


Figura 38.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad registrado mediante escala EDSS y el tiempo, la longitud y velocidad media del ciclo de marcha.

Los cambios descritos en el patrón de marcha, asociados al nivel de discapacidad,

confirman una evidencia ya constatada en muy diversas investigaciones (Cameron & Lord, 2010; Comber et al., 2017; Givon et al., 2009; Kalron, et al., 2010), llegando a ser tan evidentes que suelen constituir un indicador en la progresión de la discapacidad física relacionada con la EM (Allalí et al., 2014; Bethoux, 2013; Kalron, et al., 2010). En este sentido, Comber et al., (2017) hacen referencia a un patrón de “*marcha prudente*” en personas con EM que con alto nivel de discapacidad, como un intento de reducir la inestabilidad postural y aumentar el control general del movimiento.

Como se ha comentado, el nivel de discapacidad EDSS se relaciona de forma clara con las variables temporales y espaciales del ciclo de marcha, sin embargo, el nivel de discapacidad no ha tenido relación con las mejoras alcanzadas por éstas mismas variables después de 12 y 24 semanas de entrenamiento, lo que se constata en la Figura 39 donde se presentan las regresiones lineales entre los valores EDSS y los cambios producidos en el tiempo, longitud y velocidad del ciclo de marcha, constatándose la escasa relación entre los valores EDSS y los respectivos cambios debidos al entrenamiento ($R=-0.43$, $p= 0.11$ para Δt . ciclo de marcha; $R=0.44$, $p= 0.10$ para Δ Longitud ciclo de marcha y $R=0.24$, $p= 0.39$ para Δv . media ciclo de marcha).

Los datos indican que la discapacidad, evaluada mediante escala EDSS, no está relacionada con las mejoras conseguidas mediante la aplicación del programa de entrenamiento PEC, sin embargo, es necesario considerar que la escala EDSS puede no ser el indicador más adecuada para evaluar la discapacidad física de las personas con EM. En este sentido, Dalgas y Stenager (2012), a partir de una revisión sistemática sobre la progresión de la EM, han constatado resultados diferentes según la escala utilizada para su evaluación. Así, la mayoría de los estudios que han aplicado la escala EDSS, no han encontrado cambios después de cualquiera de los entrenamientos de resistencia o combinados, mientras que algunos estudios han mostrado efectos positivos al aplicar escalas clínicas como la Escala funcional compuesta de esclerosis múltiple (MSFC) o la Escala de discapacidad neurológica de Guy (GNDS). Posiblemente debido a que estas dos escalas midan dimensiones más relacionadas con el potencial modificador que surge con la aplicación de los programas de entrenamiento físico.

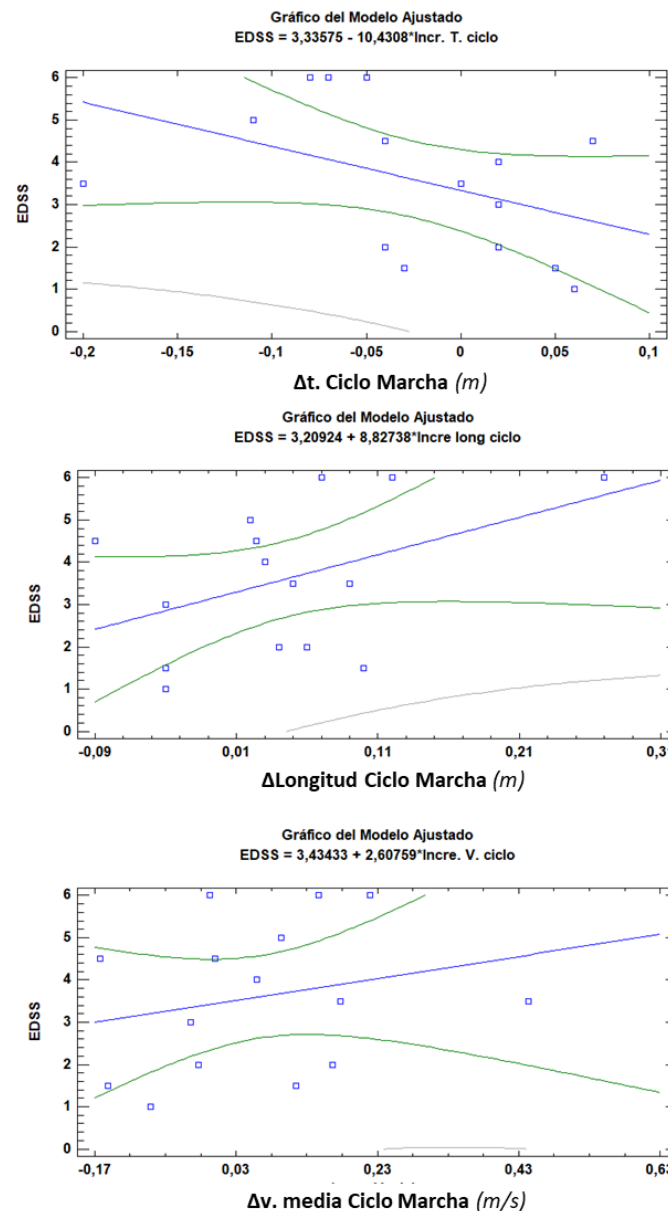


Figura 39.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad EDSS y los cambios producidos en el tiempo, longitud y velocidad media del ciclo de marcha.

4.4. Efecto del PEC en el costo debido a tareas cognitivas concurrentes a la marcha.

Es una evidencia que la realización de tareas concurrentes con la marcha (tareas duales) supone compartir recursos y procesos, cuyo efecto suele verse reflejado en el rendimiento del patrón de marcha, lo que depende básicamente de las capacidades

individuales disponibles y las características de las tareas propuestas (Abbud, Li & DeMont, 2009; Kelly, Janke & Shumway-Cook, 2010; Nordin et al., 2010). En general, los datos expuestos en esta investigación han constatado que las tareas duales provocan cambios significativos en el patrón de la marcha de personas con EM que tienen déficit de ciertos sistemas neurológicos, lo que es coincidente con la aportaciones de Givon et al. (2009) y Kirkland et al. (2015).

Los cambios descritos indican la existencia de un costo general, cuya explicación debe tener en cuenta el tipo de la tarea secundaria propuesta. Así, las tareas secundarias de discriminación ejecutiva y toma de decisiones, como las propuestas en este estudio, suponen procesos cognitivos y motores de reprogramación, que se caracterizan por una fuerte inhibición de la marcha programada y su adaptación a la nueva situación ambiental (Nakamoto & Mori, 2012). Dicho costo general es coherente con las teorías explicativas sobre las dos corrientes visuales (Goodale & Westwood, 2004; Milner & Goodale, 1995), donde la incertidumbre provocada por las tareas concurrentes inhibitorias exigiría un cierto dominio de la corriente visual ventral sobre la dorsal. De este modo, el dominio de la corriente ventral, asociada a la consciencia explícita, provocaría una cierta reducción de la velocidad de ejecución del movimiento.

Por otra parte, la Neurociencia cognitiva informa que, para realizar un cambio de dirección o parada inesperada durante la marcha, se utilizaría una facilitación estratégica o de alto orden que permite inhibir la primera acción y escoger la respuesta más apropiada en cada caso, como parar o continuar con la marcha (Gao et al., 2009). Este mecanismo inhibitorio ocurriría a niveles corticales superiores, produciendo una cierta demora en la respuesta (Ivanov et al., 2009; Schluter et al., 1998).

Como se ha indicado, el paradigma de la doble tarea ha sido ampliamente utilizado para evaluar los efectos de interacción entre el patrón de marcha y una segunda tarea, lo que se ha identificado como “*costo de doble tarea*” (DTC%), el cual se determina mediante la expresión E-1, expuesta en el apartado dedicado al método, pero que consideramos conveniente repetir su expresión para comprender su significado en esta discusión. Así, *MN* corresponde al valor de la variable registrada por la persona durante la realización de una marcha normal y *MD*, es el valor una la misma variable registrada en la misma persona durante una marcha realizada con tarea cognitiva concurrente (marcha

dual). Según la expresión expuesta, cuando los valores registrados con la marcha dual (MD) son superiores a los obtenidos con la marcha normal (MN), el resultado será negativo, mientras que $DTC\%$ será positivo cuando los valores registrados durante la marcha dual (MD) sean inferiores a los obtenidos durante la marcha normal (MN).

$$DTC\% = \frac{MN - MD}{MN} \cdot 100 \quad E-1$$

E-1.- Expresión que relaciona el coste de la tarea dual ($DTC\%$) con los registros de la tarea normal (MN) y los obtenidos durante la tarea dual (MD)

A partir de la interpretación expuesta, los datos para la evaluación inicial realizada a los dos grupos (Pre), constatan que las tareas duales tienden a incrementar el tiempo de ciclo de marcha dual ($t. \text{Ciclo Marcha}$), con respecto a la marcha normal ($DTC\% = -4.8\%$ y -2.6% , para el grupo de intervención y control, respectivamente). Analizando el costo producido en los dos periodos que comprende el ciclo de marcha, los datos expuestos en la tabla 4, indican que el efecto de la doble tarea se localiza especialmente en los periodos de apoyo bipodal ($DTC\% = -11.7\%$ y -6.6% , para el grupo de intervención y control, respectivamente). Por el contrario su efecto ha sido escaso durante los periodos de apoyo monopodal ($DTC\% = -0.4\%$ y -0.6% , para el grupo de intervención y control, respectivamente). En la figura 40, se ilustran los costos temporales medios registrados en la evaluación previa de los dos grupos.

El mayor costo registrado en los dos periodos bipodales es coherente con las aportaciones de Davies et al. (2016); Martin, Phillips, Kilpatrick, Butzkueven, Tubridy, McDonald y Galea (2006) y Kalron, et al., (2010), al sugerir que los problemas de control postural, asociados a la EM, provocan un incremento de los periodos de apoyo bipodal como estrategia para mantener el equilibrio y control postural durante la marcha. En este sentido, es posible sugerir que, debido al déficit de varios sistemas neurológicos funcionales y sensoriales propios de la EM, para mantener dicha estabilidad, las personas con EM necesitarían incrementar el tiempo de los periodos bipodales, donde es más fácil aplicar las estrategias compensatorias para mantener la estabilidad con respecto a los periodos monopodales, donde se reduce la posibilidad de aplicar fuerzas y momentos de fuerza orientados hacia la estabilización corporal. En este sentido, Comber et al. (2017) hacen referencia a un patrón de “*marcha prudente*” en personas con EM, como un intento

de reducir la inestabilidad postural y aumentar el control general del movimiento.

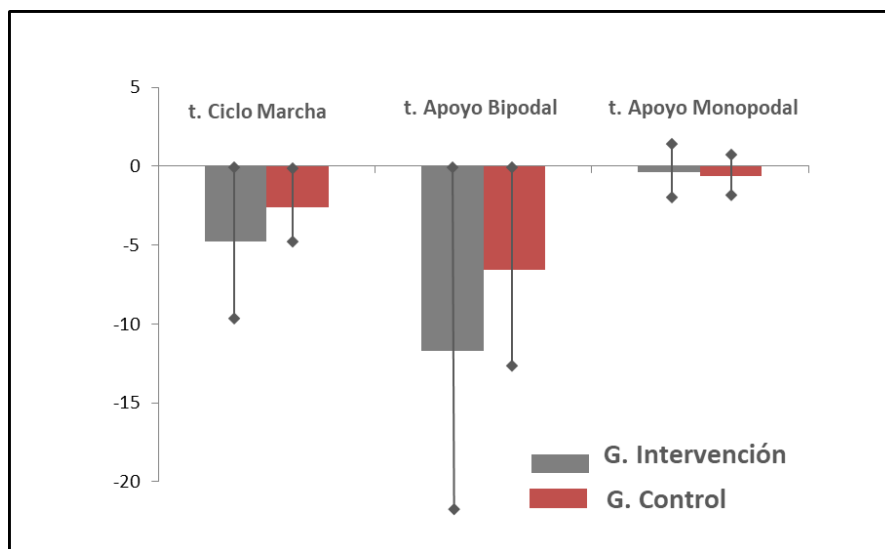


Figura 40. Representación gráfica del costo debido a tareas duales (DTC%) para el Tiempo de ciclo de marcha, y las fases que lo determinan (t. Apoyo Bipodal y Monopodal) en la evaluación previa (Pre, para los dos grupos).

También se ha constatado que la longitud de paso tiende a reducirse debido al efecto de la tarea dual, con respecto a la marcha normal (DTC% = 5.9% y 5.3%, para el grupo de intervención y control, respectivamente) (ver tabla 4 y figura 41). La consecuencia del incremento temporal indicado para el apoyo bipodal y la reducción de la longitud media de paso, por efecto de la doble tarea, ha supuesto una importante reducción de la velocidad de desplazamiento del CG debido a la doble tarea (DTC% = 9.6% para el grupo de intervención y del 7.7% el grupo control) (ver tabla 4 y figura 41). Los datos del DTC% para las variables temporales y espaciales sugieren que el costo de la velocidad media de desplazamiento del CG se produce debido al incremento de los periodos temporales de apoyo bipodal y, en cierto modo, a la reducción de la longitud de paso. Unos datos que son coherentes con las aportaciones de Davies et al. (2016); Martin et al. (2006) y Kalron, et al., (2010), al sugerir que los problemas de control postural asociados a la EM provocan un incremento de los periodos de apoyo bipodal como estrategia para mantener el equilibrio y el control postural durante la marcha.

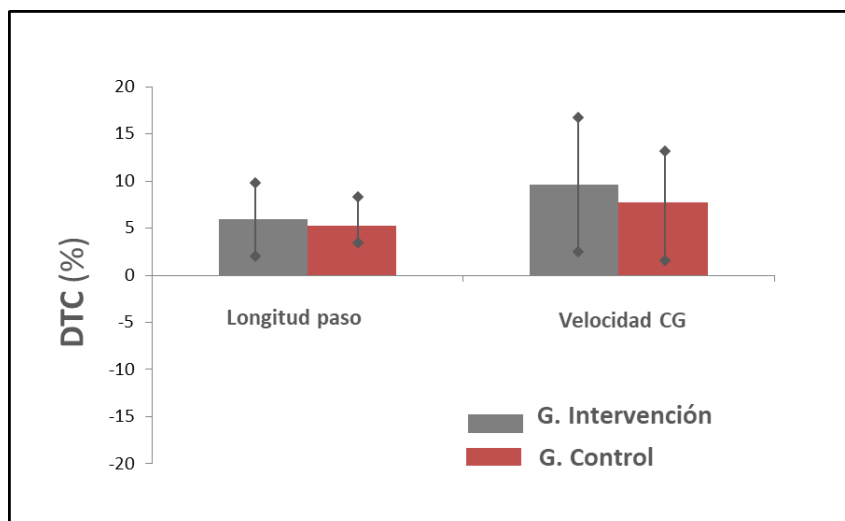


Figura 41.- Representación gráfica del costo debido a tareas duales (DTC%) para la Longitud de paso y Velocidad de CG, en la evaluación previa para los dos grupos (Pre).

Es necesario indicar que, aunque la media del valor del costo (DTC%) ha sido menor en el grupo de control, no han existido diferencias estadísticamente significativas entre sus respectivas medias, lo que nos ha permitido considerar que los dos grupos (G. Intervención y G. Control) eran equivalentes en su evaluación inicial (Pre), con respecto a las tres variables de costo indicadas (*Ciclo de marcha*, *Longitud de paso* y *Velocidad del CG*) (ver tabla 4).

Las aportaciones expuestas constatan la existencia de un costo debido a las tareas duales en las personas con EM, algo que, como se ha indicado, constituye una evidencia ampliamente constatada. Sin embargo, en esta investigación, además de tratar de confirmar esta evidencia, el principal objetivo ha sido constatar si la aplicación un programa de entrenamiento combinado (PEC), donde se incorporan estrategias de entrenamiento para doble tarea, podría reducir el efecto de ésta en la marcha de las personas con EM (DTC%). En este sentido, los datos expuestos indican que se ha podido constatar, que el entrenamiento PEC reduce el costo debido a las tareas cognitivas concurrentes a la marcha. Una cuestión que se tratará de discutir a continuación. Para facilitar esta discusión, en la figura 42, se presenta de forma gráfica los valores medios de los costos registrados en las evaluaciones realizada a los dos grupos (G. intervención y G. control) relativas al tiempo de ciclo de marcha, la longitud de paso y la velocidad media del CG (DTC%- t CICLO DE MARCHA, DTC%-LONGITUD PASO y DTC%- V_{CG} CICLO, respectivamente).

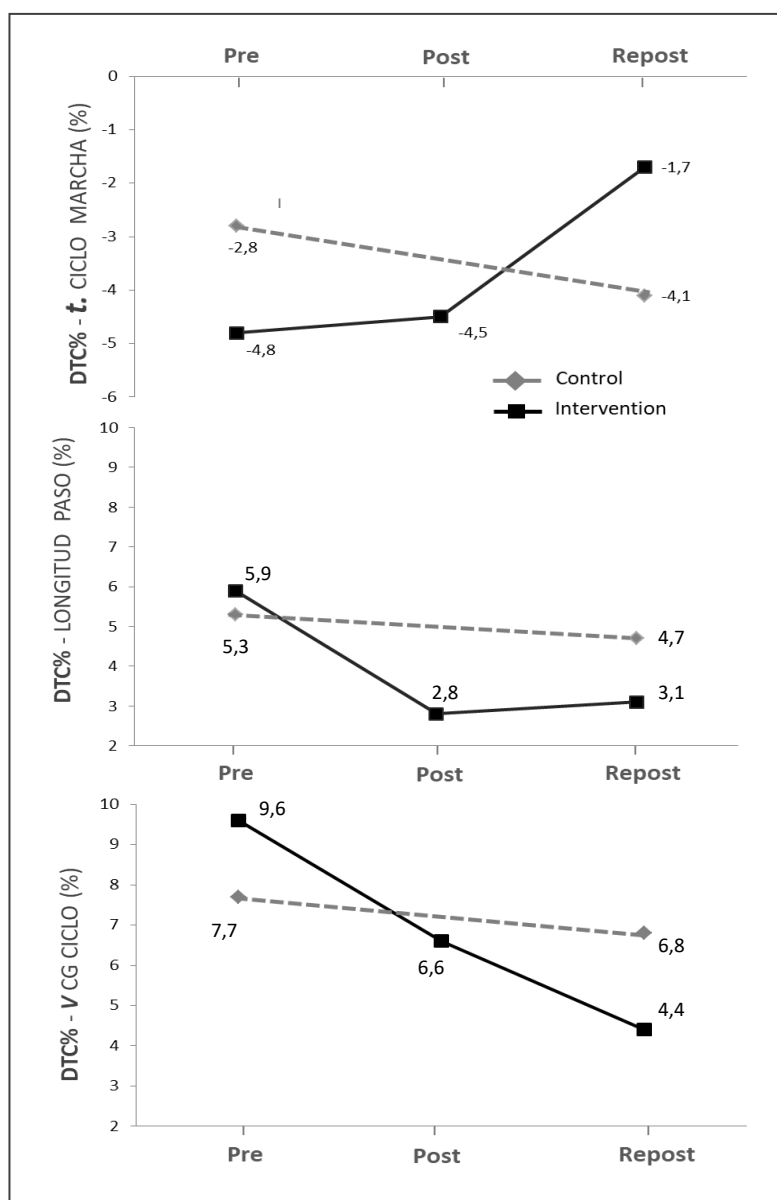


Figura 42.- Representación gráfica de los registros medios de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post) para los costos del tiempo de ciclo, la longitud de paso y velocidad de ciclo (DTC%-t. CICLO DE MARCHA, DTC%-LONGITUD PASO y DTC%-V_{CG} CICLO, respectivamente).

Los datos indican que, después del entrenamiento PEC, el efecto de la doble tarea sobre el tiempo de ciclo de marcha (DTC%-t. CICLO MARCHA), se reduce en el grupo de intervención, pasando de valores medios de -4.8% en la evaluación previa (Pre) a -1.7% después de 24 semanas de intervención (Re-post). Por el contrario su efecto tiende a incrementarse para el grupo de control, pasando de valores medios de -2.8% en Pre, a -4.1% en Re-post (ver figura 42, superior). Aunque las tendencias descritas existen, no se

han podido constatar diferencias estadísticamente significativas entre las medias, para ninguno de los dos grupos (ver tablas 10 y 20). –se recuerda que los valores negativos del costo (DTC%), indican que el tiempo de ciclo de marcha se incrementa cuando ésta se realiza con actividad dual, con respecto a la marcha normal. En resumen, no se ha podido constatar que el entrenamiento PEC haya podido reducir el efecto de la tarea dual sobre el tiempo de ciclo de marcha, al menos cuando se utilizan tareas concurrentes ejecutivas que implican inhibición de la marcha.

En la figura 42, *centro*, se representa la tendencia de los registros medios del costo que representa el efecto que tiene la doble tarea sobre la longitud media de paso (DTC%-LONGITUD PASO) en los dos grupos (G. Intervención y G. Control). Se observa que el costo producido por la doble tarea sobre esta variable tiende a reducirse en el grupo de intervención, pasando de valores medios de 5.9%, registrados en la evaluación previa (Pre), a 3.1, después de 24 semanas de intervención (Re-post). En este caso, los datos indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre las evaluaciones realizadas después de 12 y 24 semanas de intervención, con respecto a la evaluación inicial ($p<0.05$). Sin embargo, el grupo de control mantiene valores similares cercanos al 5%. Según los datos expuestos, se podría concluir que el entrenamiento PEC ha reducido de forma significativa el efecto de la tarea sobre la longitud de paso. Es decir, debido al efecto del entrenamiento PEC, la longitud de paso se reduce en menor grado cuando se realizan la marcha dual, con respecto a la marcha normal.

Un comportamiento similar se ha registrado para el costo relativo a la velocidad media del CG en el ciclo de marcha (DTC%-V. CG CICLO) (ver figura 42, *inferior*), constatándose una reducción significativa del efecto que tiene la doble tarea sobre la velocidad del CG ($p<0.05$), lo que también se ha constatado en sus respectivos periodos de apoyo bipodal y monopodal. Probablemente estas reducciones del DTC% estén asociadas a las mejoras registradas de los parámetros de fuerza estática y equilibrio, confirmándose así las aportaciones de Yahia et al. (2011), Broekmans et al. (2012) y Jørgensen et al. (2017), al sugerir que el déficit de fuerza específico de las personas con EM, podría reducir el rendimiento de actividades cotidianas como la marcha, subir escaleras o la tarea sit-to-stand.

Siguiendo a Kesselring (2017), también se conoce que las estrategias orientadas

hacia la neurorrehabilitación cognitiva, incrementan la actividad en zonas concretas del cerebelo en personas con EM y deterioro cognitivo, aunque dichos estudios están orientados exclusivamente hacia la actividad cognitiva sin repercusión sobre la motora. En este sentido, Assuncao-Felippe, Rippel- Salgado, De Souza, Mahmoud, y Christofolletti, (2019) y Da Fonseca et al., (2016), hacen referencia a que los problemas de movilidad y la marcha pueden estar afectados debido al deterioro de las vías gravitacionales-perceptivas de esta población, las cuales a través de entrenamiento, junto con el trabajo de fuerza y la aplicación de tareas duales motoras-cognitivas, en niveles de discapacidad de leve a moderada, pueden llegar a mejorar la cognición y la toma de decisiones en ésta población. En nuestro caso, las actividades duales propuestas tenían una repercusión no sólo motora-cognitiva si no motórica-motórica, por lo tanto, consideramos que faltan estudios para determinar el efecto por separado del entrenamiento dual, incluido en el programa de entrenamiento (PEC), sobre la plasticidad neural y los procesos cognitivos y motores que afectan a la inhibición y reprogramación motora, necesaria para adaptarse a una nueva situación requerida en la marcha dual. Posiblemente, una vía para determinar dichos efectos, podría estar relacionada con las aportaciones de Fritz, Kloos, Kegelmeyer, Kaurc, y Nichols-Larsen, (2019), cuando sugieren la importancia de realizar técnicas de neuroimagen para conocer la repercusión cognitiva de los entrenamientos a nivel cerebral de las personas con EM y así poder tener una prueba contundente sobre la posible mejora cognitiva.

Se ha podido constatar que el nivel de discapacidad, evaluada mediante escala EDSS, posee una cierta correlación con el costo producido por la doble tarea sobre el tiempo de ciclo de marcha ($DTC\%-t_{\text{CICLO DE MARCHA}}$), lo que se presenta en la figura 43, *superior*. Así, cuando aumenta el nivel de discapacidad EDSS, aumenta de forma significativa el porcentaje de costo debido a la tarea dual ($R=-0.56; p<0.05$). –Entendemos necesario volver a recordar que los valores negativos de $DTC\%-t_{\text{CICLO DE MARCHA}}$, indican que este tiempo se incrementa por efecto de la actividad dual, con respecto a la marcha normal-. Algo similar ocurre cuando se correlaciona el nivel de discapacidad EDSS y el costo en $DTC\%-V_{CG \text{ CICLO}}$ ($R=-0.53; p<0.05$) (ver figura 42, *inferior*). Estos resultados son coincidentes con estudios de Sosnoff et al. (2011b) donde evidencian la relación entre el $DTC\%$ y el nivel de discapacidad en escala EDSS, en pacientes con niveles de

discapacidad entre leve, moderado y severo.

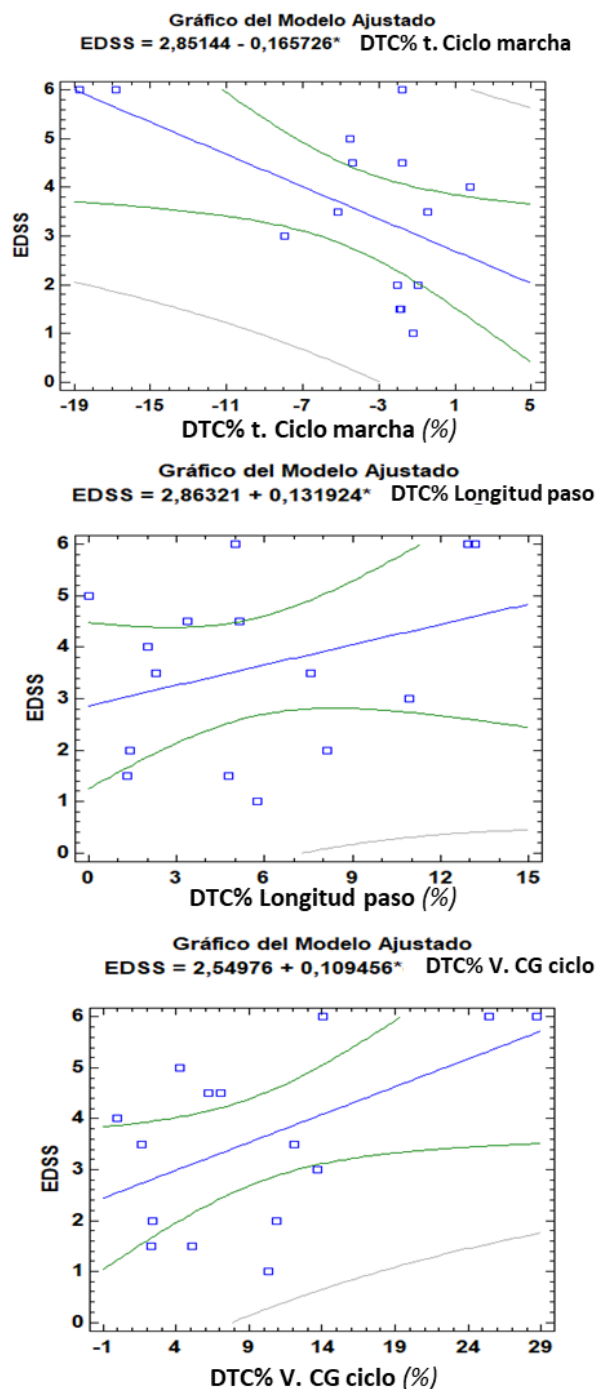


Figura 43.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad registrado mediante escala EDSS y los costos relacionados con el tiempo de ciclo, la longitud de paso y velocidad de ciclo (DTC%-t. CICLO DE MARCHA, DTC%-LONGITUD PASO y DTC%-V_{CG} CICLO, respectivamente).

Sin embargo, aunque la longitud de paso (DTC%-LONGITUD PASO) tiende a

incrementarse con el nivel de discapacidad EDSS, su nivel de correlación no ha alcanzado significación estadística ($R=0.32$; $p=0.25$; ver figura 43, *centro*). Unos datos que son coherentes con la escasa repercusión que tiene el costo de la doble tarea sobre el tiempo de apoyo monopodal (ver tabla 20 y figura 41), una variable que tiende a mantenerse estable con la doble tarea y está relacionada con la longitud de paso. Así, considerando una misma velocidad y amplitud de movimiento de la pierna libre, un incremento temporal del apoyo monopodal indicaría una mayor longitud de paso. Es posible considerar que durante esta fase existe menor posibilidad de aplicar fuerzas que permitan los ajustes necesarios para mantener el equilibrio. De este modo, las personas con un mayor nivel de discapacidad, mantendrían estable este periodo monopodal y, en consecuencia, también su longitud de paso.

Por otra parte, los niveles de correlación expuestos sugieren que, además del nivel de discapacidad EDSS, el costo debido a las tareas duales podría estar relacionado con el déficit de algunas de las estructuras vertebrales, subcorticales o corticales que controlan el movimiento, como sugieren Al-Yahya et al.(2011); Nording et al. (2010); Rankin, Woollacott, Shumway-Cook y Brown, (2000) y Woollacott y Shumway-Cood (2002), las cuales podrían no estar asociadas con el nivel de discapacidad según escala EDSS. Como se ha indicado en párrafos anteriores, existen dudas razonables sobre los criterios utilizado en la escala EDSS para evaluar la discapacidad en personas con EM. En este sentido, Izquierdo y Ruiz-Peña (2003), señalan que se trata de una escala ordinal sobre daños físicos (impairment) y no tanto de discapacidad en el sentido de diferente (disability), aunque es cierto que se ve muy influida por las medidas de invalidez asociadas a la marcha y al control de esfínteres. El hecho de que se trate de una escala ordinal crea problemas cuando se comparan estadísticamente los cambios que se producen, ya que estos no equivalen si se producen en intervalos distintos a la misma.

El nivel de discapacidad EDSS no ha tenido relación con las mejoras alcanzadas por éstas mismas variables después de 12 y 24 semanas de entrenamiento, lo que se constata en la Figura 44, donde se presentan las regresiones lineales entre los valores EDSS y los cambios producidos en el costo que han tenido las tareas duales sobre el tiempo de ciclo, la longitud de paso y velocidad de ciclo ($\Delta DTC\%-t_{\text{CICLO DE MARCHA}}$, $\Delta DTC\%-LONGITUD PASO$ y $\Delta DTC\%-V_{CG \text{ CICLO}}$, respectivamente). Los datos sugieren que el

nivel de discapacidad EDSS ha tenido escasa influencia sobre las reducciones del costo debidas al entrenamiento PEC. Sin embargo, es necesario considerar lo ya comentado sobre la validez de la escala nominal EDSS al correlacionarla con unas variables continuas. En este sentido, sería conveniente ampliar estos estudios utilizando otras escalas clínicas ajustadas y relacionadas con tareas cognitivas y motoras.

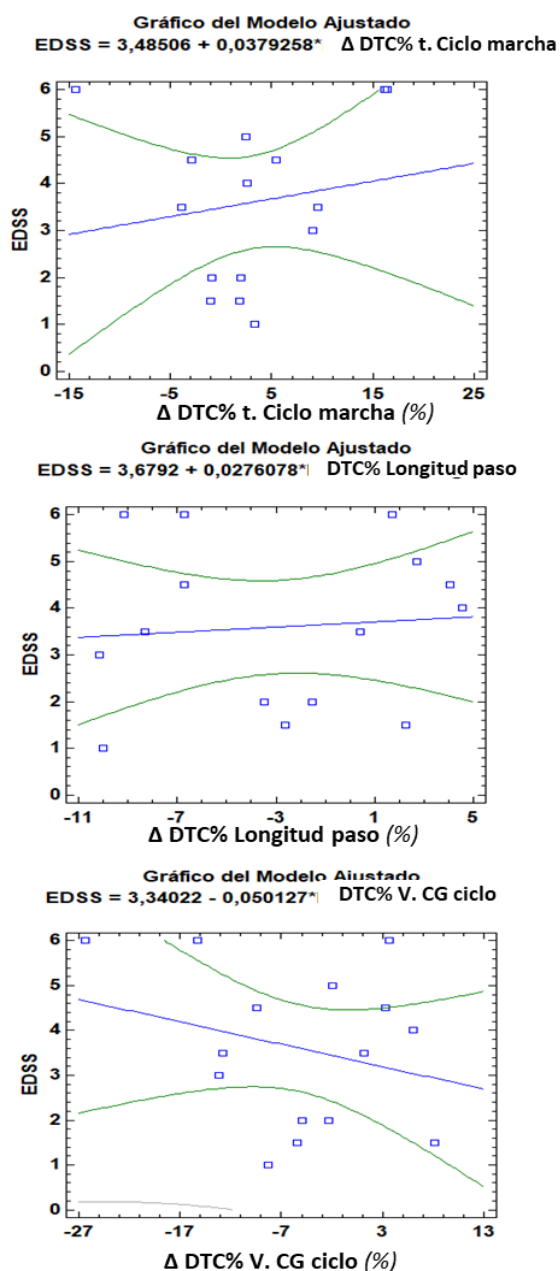


Figura 44.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad EDSS y los incrementos en los costos relacionados con el tiempo de ciclo, la longitud de paso y velocidad de ciclo ($\Delta DTC\%-t.$ CICLO DE MARCHA, $\Delta DTC\%-LONGITUD PASO$ y $\Delta DTC\%-V_{CG}$ CICLO, respectivamente).

4.5. Efecto del PEC en los factores de eficacia de la tarea sit-to-stand.

La tarea sit-to-stand (STS) ha sido ampliamente utilizada para detectar el déficit de fuerza, equilibrio y coordinación, comparando su ejecución entre poblaciones que poseen ciertas limitaciones funcionales y/o motoras con respecto a otros grupos libres de ellas (Fujimoto & Chou, 2011; Sibella et al., 2003; Stevermer & Gillette, 2016), llegando a considerar que una disminución de la capacidad para realizar esta tarea, podría ser un buen indicador del deterioro de la actividad funcional y motora de las personas con EM, obesas y de avanzada edad.

Posiblemente sea esta tarea, donde más se han manifestado las mejoras debidas al entrenamiento PEC. Los resultados sugieren que el principal factor de mejora estaría asociado al incremento de la fuerza dinámica general y, en menor grado, a los factores coordinativos relacionados con el control postural, lo que se discutirá a continuación.

En la figura 45, *superior*, se presentan los cambios producidos en los valores medios del pico máximo de fuerza neta vertical ($PMF_{N(Z)}$) en las evaluaciones realizadas a los dos grupos (G. Intervención y G. Control), observándose como el grupo de control mantiene los mismos valores medios de después de 24 semanas (Re-post), con respecto a la evaluación inicial (Pre), mientras que el grupo de intervención incrementa su fuerza neta vertical un 42% en la evaluación Repost, con respecto a la evaluación previa (Pre). Algo similar ocurre con el pico máximo de fuerza horizontal ($PMF_{(Y)}$), con un incremento del 25% después de 24 semanas de entrenamiento (Re-post), con respecto a la evaluación inicial (Pre) (ver figura 45, *inferior*). Sin embargo, el grupo de control mantiene sus valores medios iniciales (Pre) después de 24 semanas (Re-post). En general, se trata de un incremento de fuerza dinámica de la musculatura extensora, similar al que se ha registrado para la fuerza estática, lo que parece razonable cuando se trata de movimientos controlados y relativamente lentos.

Según lo expuesto, es posible afirmar la fuerza dinámica desarrollada durante la tarea sit-to-stand, se ha incrementado de forma significativa como consecuencia del entrenamiento PEC, lo que habría provocado una mayor aceleración media del CG durante los periodos temporales donde se requiere aplicar más fuerza, como es el tiempo comprendido entre el inicio del movimiento hasta el despegue del asiento y, en consecuencia, un incremento de la velocidad vertical del CG en el instante de despegue. En

este sentido, Bowser, et al., (2015), sugieren que el déficit de fuerza muscular en personas con EM constituye un factor relevante en el rendimiento y las estrategias utilizadas para realizar el movimiento STS.

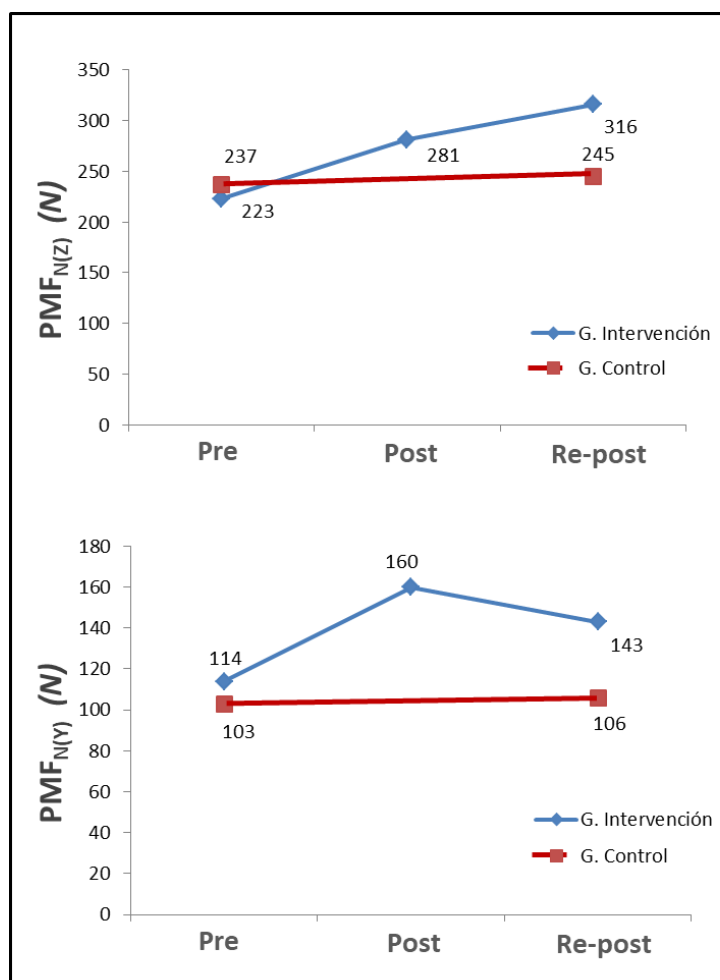


Figura 45.- Representación gráfica de los registros medios de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post) para el pico máximo de fuerza neta horizontal ($PMF_{N(z)}$) para los dos grupos (Intervención y control).

Como se ha indicado, es posible sugerir que el importante incremento de la fuerza muscular extensora, desarrollado en el grupo de intervención después de 24 semanas de entrenamiento, ha reducido el tiempo empleado en realizar la tarea sit-to-stand ($p < 0.01$, ver tabla 24). Sin embargo, es necesario indicar sólo han existido claras diferencias significativas en la fase comprendida entre el inicio del movimiento y el despegue del asiento (*t. despegue asiento*; $p < 0.001$), mientras que sólo han existido ciertas diferencias

estadísticamente significativas en tiempo comprendido entre el instante del despegue del asiento y el final del movimiento (*t. Post despegue*; $p < 0.05$). En la figura 46 se presenta la evolución que han tenido los tiempo medios de estas dos fases a lo largo de las evaluaciones realizadas para el grupo de intervención y control.

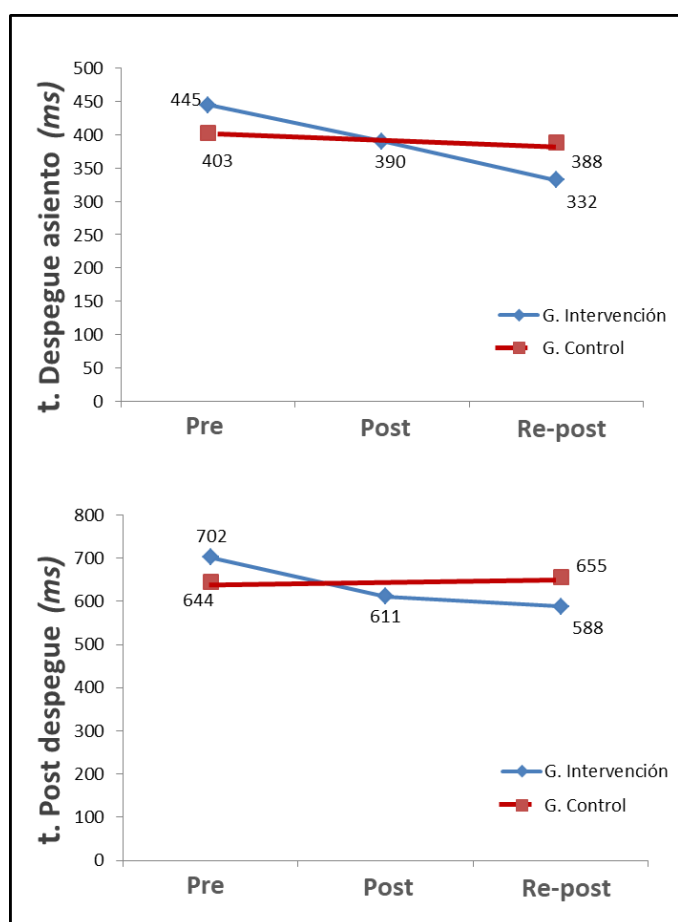


Figura 46.- Representación gráfica de los registros medios de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post) para las dos fases temporales en que se ha dividido la tara sit-to-stand (*t. Despegue asiento* y *t. post despegue*), para los dos grupos (Intervención y control)

Los datos también indican que la máxima velocidad vertical del CG se consigue durante la fase post-despegue y que el tiempo empleado en alcanzar la máxima velocidad, se reduce significativamente después de 24 semanas de entrenamiento ($p < 0.01$). Así, es posible afirmar que la escasa significación registrada para el tiempo post despegue, estaría asociado al periodo de frenado de esta fase. Un periodo temporal donde se requiere alto

control postural en bipedestación hasta alcanzar la posición vertical después de un impulso inicial, lo que sugiere que, además de la fuerza, existen otros factores asociados a la EM, como el déficit de la actividad neural, los problemas de control postural y el miedo a las caídas, que también podrían estar asociados a la ejecución de tareas complejas (Feltner, Bishop y Perez, 2004; Bowser et al., 2015). Aunque son escasos los estudios donde se ha utilizado la tarea STS en personas con EM, Fujimoto & Chou (2011), comparando a jóvenes con ancianos, también sugirieron que uno de los factores que diferencian a estos grupos durante la realización de la tarea STS, sería la dificultad de los ancianos para mantener el control postural al final del movimiento, lo que es coherente con los resultados expuestos en esta tesis.

Como se ha indicado, el incremento de la fuerza extensora ha provocado una mayor aceleración al CG antes del despegue del asiento, lo que se constata con los datos aportados para la velocidad alcanzada por el CG en el instante del despegue ($v_{CG} (Z)$ DESPEGUE ASIENTO), don el grupo de intervención incrementa su velocidad un 93% después del periodo de entrenamiento (Re-post), con respecto a la evaluación inicial (Post), mientras que el grupo de control mantiene valores similares. Esta evolución se presenta de forma gráfica en la figura 47.

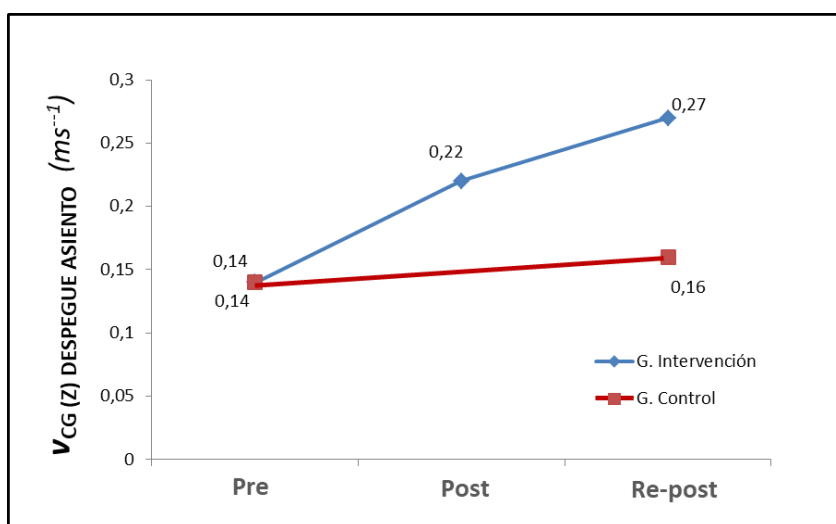


Figura 47.- Representación gráfica de los registros medios de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post) de la velocidad vertical del CG en el instante de despegue del asiento ($v_{CG} (Z)$ DESPEGUE ASIENTO), para los dos grupos (Intervención y control)

A partir de las aportaciones de Bowser et al., (2015), el déficit de fuerza muscular

provocaría cambios en las estrategias coordinativas utilizadas para relizar la tarea sit-to-stand. Así, una flexión del tronco durante la fase de pre-despegue, favorecería el desplazamiento del CG hacia la base de sustentación bipodal y disminuiría el momento extensor de la rodilla (Doorenbosch y col., 1994), pero también provocaría una mayor flexión del tronco y, en consecuencia, la velocidad vertical del CG sería más reducida en el instante del despegue del asiento. Con estas condiciones de partida, la posterior extensión del tronco durante el periodo de propulsión de la fase pos-despegue, produciría un incremento de la fuerza de reacción que sería transmitida al suelo a través de los miembros inferiores (Gutiérrez-Dávila, 2015; p-223). Esta fuerza compresiva incrementaría en exceso el momento extensor de las rodillas, favoreciendo así la ejecución de un modelo secuencial del movimiento con una primera extensión de rodillas y posterior extensión del tronco, en lugar de realizar un movimiento simultáneo de extensión, aprovechando el impulso desarrollado durante la fase pre-despegue, como sugieren Bowser et al., (2015). La consecuencia de este modelo es una velocidad vertical del CG más reducida durante la fase pos-despegue. De este modo, es posible considerar que el incremento de la fuerza provocaría un cambio hacia un modelo de coordinación más simultáneo.

A partir de la teoría expuesta sobre los dos modelos utilizados para realizar la tarea sit-to-stand (secuencial y simultáneo), los datos indican que, durante los primeros instantes de la tarea sit-to-stand, la velocidad vertical del CG ha alcanzado valores negativos en todas las evaluaciones realizadas ($v_{CG(Z)}_{MININMA}$; ver tabla 25), lo que indica que los participantes han realizado una cierta flexión del tronco antes del despegue, para facilitar la posterior extensión de rodillas y caderas, lo que sugiere la utilización de un modelo secuencial. Sin embargo esos valores negativos de $v_{CG(Z)}_{MININMA}$ tienden a reducirse con el entrenamiento PEC ($p < 0.05$), lo que se constata al comprobarse que la flexión del tronco también tiende a reducirse después del entrenamiento ($\theta_{tronco despegue asiento}$; $p < 0.05$; ver tabla 25), posiblemente favorecido por un mayor impulso inicial gracias al incremento de la fuerza extensora de los miembros inferiores. La consecuencia sería un cambio coordinación articular hacia un modelo más simultáneo del movimiento sit-to-stand, como sugieren Fujimoto & Chou, (2011) y Bowser et al., (2015).

Pero este modelo simultáneo de realización de la tarea sit-to-stand, posiblemente tenga ciertas limitaciones asociadas a las personas con EM que tienen un mayor grado de

discapacidad. Así, los problemas de equilibrio y el riesgo a caer, propios de estas personas, podrían limitar el uso de este modelo, debido a las dificultades que requiere el control de este impulso inicial durante la fase de pos-despegue del asiento. Según lo expuesto, es posible afirmar que el incremento de la fuerza dinámica, debido al entrenamiento PEC, ha hecho posible que las personas con EM tengan una mayor facilidad para realizar la tarea sit-to-stand, aunque aquellos que poseen un mayor nivel de discapacidad, evaluado mediante escala EDSS, podrían tener problemas para controlar el impulso inicial durante los instantes finales de la fase pos-despegue.

La estadística correlacional indica que existe una escasa relación entre el grado de discapacidad neurológica, registrado mediante la escala EDSS y el pico máximo de fuerza dinámica vertical (PMF_E), registrado durante la evaluación previa de la tarea sit-to-stand (Pre) ($R = -0.48$; $p = 0.07$ —ver figura 48), similar a los datos obtenidos para la fuerza estática (figura 33), lo que confirma la idea de que podría existir un cierto déficit de fuerza dinámica debido al incremento del nivel de discapacidad propio de la EM. Estos datos podrían ser coincidentes con las aportaciones de Bowser et al., (2015), donde se constata la existencia una correlación moderada entre la fuerza estática, evaluada mediante una repetición máxima en prensa de piernas (1RM) y la cinemática del tronco, las velocidades de los extensores de la rodilla y la potencia desarrollada durante la tarea sit-to-stand ($p \leq 0.05$).

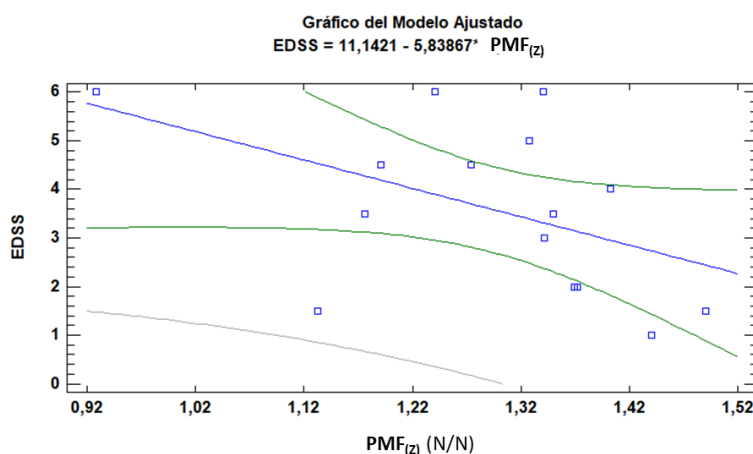


Figura 48.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad registrado mediante escala EDSS y el pico máximo de fuerza vertical conseguido durante la tarea sit-to-stand ($PMF_{(Z)}$) normalizado con respecto al peso corporal.

Sin embargo, se ha constatado una fuerte correlación entre el grado de discapacidad neurológica, registrado mediante la escala EDSS, y las fases temporales para realizar la tarea sit-to-stand. En la figura 49, se presentan las dichas correlaciones, observándose que, conforme aumenta el nivel de discapacidad EDSS, se incrementa el tiempo empleado para despegar de la silla (*t. despegue asiento*) ($R= 0.73$; $p= 0.01$ —ver figura 49, superior), lo que se repite para el tiempo en bipedestación entre el despegue y el final del movimiento (*t. post despegue*) ($R= 0.67$; $p= 0.01$ —ver figura 48, inferior). Los datos expuestos sugieren que, además de la fuerza como factor limitador de la eficacia de la tarea sit-to-stand, es necesario considerar otros factores asociados a la EM, como el control postural, coordinación y el riesgo a las caídas. Estas aportaciones indican que las personas con EM deben ser evaluadas mediante test específicos, como es la tarea Sit.to-Stand, donde interaccionan la coordinación, el control postural y la fuerza dinámica, dando una visión completa del desarrollo de la enfermedad.

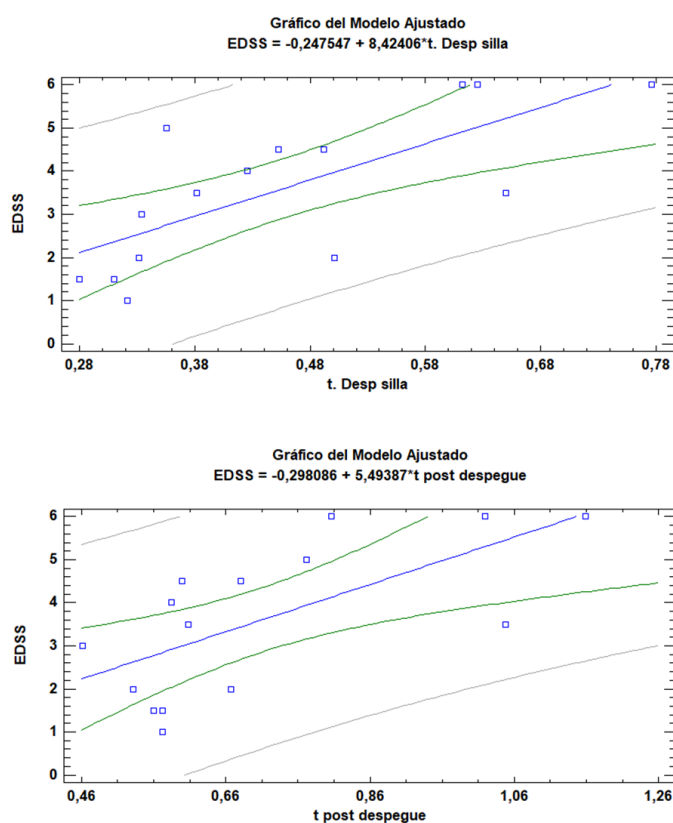


Figura 49.- Regresión lineal entre el nivel de discapacidad registrado mediante escala EDSS y los tiempos empleados en las dos fases de la tarea sit-to-stand: Tiempo de despegue (superior) y post despegue (inferior).

4.6. Efecto del PEC sobre las variables cualitativas relacionadas con la fatiga percibida y calidad de vida

A partir de la estadística inferencial aplicada a los valores registrado de la fatiga percibida en el grupo de intervención, se han obtenido ciertas diferencias, estadísticamente significativas ($p < 0.05$), después de 24 semanas de entrenamiento (Re- Post), con respecto a las evaluaciones Pre y Post, entendiéndose que se ha obtenido una cierta mejora de la fatiga percibida por las personas con EM (ver tabla 26 y figura 31). En la figura 50, se presenta la evaluación que han adquirido las puntuaciones de percepción de fatiga, Fatigue Severity Scale (Puntuación FSS) para el grupo de intervención y control, recordando que el valor crítico estaría en una puntuación superior a 4.5, a partir del cual se considera que las personas perciben una cierta fatiga física hasta llega a 7.0, considerado como máxima puntuación. A partir de los datos expuestos, es posible concluir que el entrenamiento PCE ha provocado una cierta reducción del 6% de la fatiga percibida en el grupo de intervención.

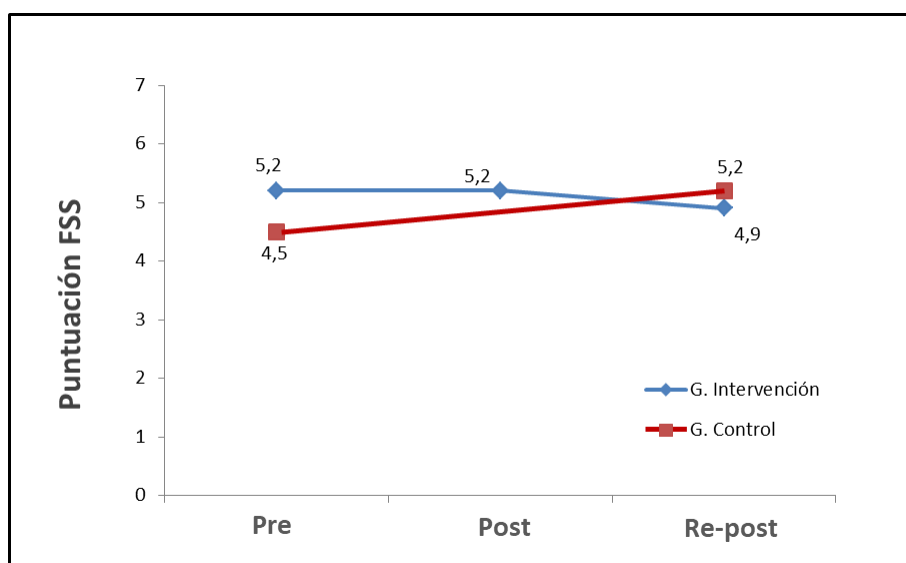


Figura 50.- Representación gráfica de la puntuación media de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post) para la percepción de la fatiga para los dos grupos (Intervención y control)

Las aportaciones de Asano y Finlayson (2014), a partir de una revisión sistemática, son coincidentes con los resultados expuestos en esta tesis. Asano y Finlayson (2014) han

relacionado el tratamiento de la fatiga a través de la medicación, el entrenamiento y los programas psicoterapéuticos (ej. Mindfulness), encontrando que las mayores evidencias de mejora se encuentran en las intervenciones relacionadas con el entrenamiento y los programas psicoterapéuticos. Dos tipos de intervención que suelen ser recomendadas como secundarias al tratamiento farmacológico, pero que cada vez más se está demostrando que tienen una mayor evidencia científica de mejora de la fatiga. En este mismo estudio de revisión no se ha descrito el tiempo que debe realizarse la intervención para que ésta sea efectiva. En este sentido, los datos expuestos indican que 12 semanas de intervención no serían suficientes para reducir la percepción de fatiga, aunque ésta tiende a reducirse después de 24 semanas de entrenamiento, algo coincidente con estudios como los desarrollados por De Souza-Teixeira et al. (2011), donde no se encuentran diferencias significativas en la mejora de la fatiga tras seis semanas de entrenamiento de fuerza, o las aportaciones de Sanchez- Lastra, Martinez- Aldao, Molina y Ayán (2019), donde concluyen que no existen evidencias de mejora de la percepción de la fatiga en programas de entrenamiento de pilates, aplicado entre 8 y 16 semanas. En cambio revisiones sistemáticas como las de Baird y Molt (2019), muestran que existen diferencias significativas en la mejora de la fatiga con entrenamientos de resistencia de 12 semanas de intervención. Debemos recordar que la mejoras obtenidas por el grupo de intervención en este estudio surgen después de 24 semanas de entrenamiento, mientras que no han existido diferencias entre las medias después de 12 semanas de entrenamiento (ver tabla 26).

Según las consideraciones expuestas, existe una cierta controversia sobre cual debería de ser el tiempo de intervención estimado para la mejora de la fatiga percibida en personas con EM, aunque este aspecto también estaría relacionado con las características y tipo de entrenamiento que se realice. Por lo tanto y siguiendo el metaanálisis específico sobre actividad física y fatiga, realizado por Safari, Van der Linden y Mercer (2017), se concluye que, debido a la heterogeneidad de los estudios analizados, existe una escasa evidencia sobre qué tipo de ejercicio, tiempo y frecuencia es el más efectivo para reducir la fatiga percibida.

En lo que respecta al segundo dato cualitativo registrado, referido a la calidad de vida, se presenta dividida en cuatro dominios (físico, psicológico, social y ambiental). En el caso de este estudio, los resultados han puesto de manifiesto que el único dominio en el

que se han encontrado diferencias estadísticamente significativas ha sido en salud psicológica ($p < 0.01$; ver tabla 27), mejorando tras 12 semanas de intervención (Post) desde la primera evaluación (Pre) y manteniéndose esta diferencia después de 24 semanas (Re-post). En la figura 51, se presenta la puntuación media de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re- Post) para el dominio psicológico de la calidad de vida para los dos grupos (G. Intervención y G Control)

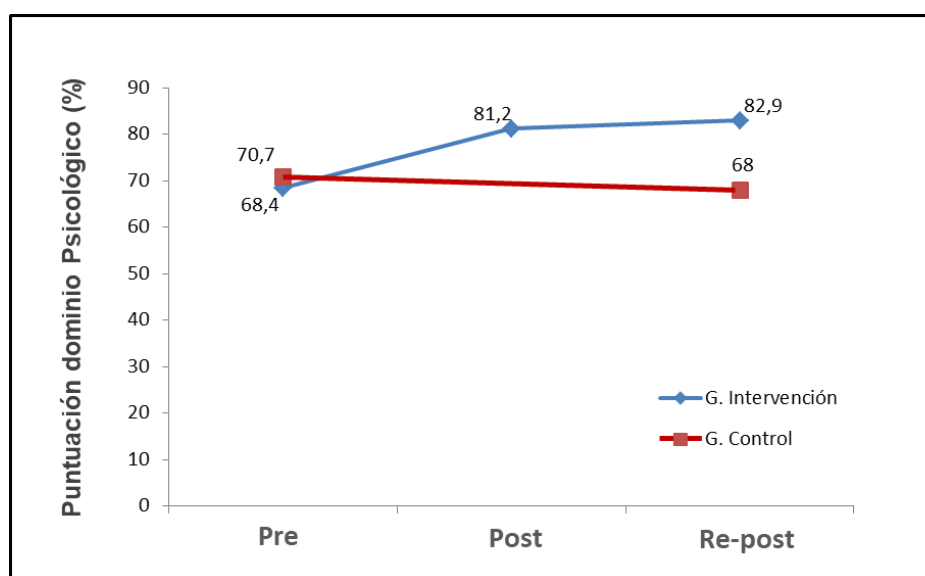


Figura 51.- Representación gráfica de la puntuación media de las tres evaluaciones (Pre, Post y Re-post) para el dominio psicológico de calidad de vida para los dos grupos (Intervención y control)

Los resultados aportados sobre los programas de entrenamiento y su relación con la calidad de vida en personas con EM (Motl & Gosney, 2008; Fasczewsky & Gill, 2019), constatan una pequeña mejora de la calidad de vida cuando se aplican programas de intervención a personas con esclerosis múltiple, evidenciando una cierta significación estadística. Estudios recientes de revisión utilizando técnicas de Metaanálisis (Alphonsus, Su & D'Arcy, 2019), únicamente encuentran resultados estadísticamente significativos sobre la mejora de la calidad de vida en las dimensiones psicológica, social y física en intervenciones específicas de entrenamiento aeróbico, sin encontrar mejoras significativas en entrenamientos de yoga o combinados, como es el caso de nuestro estudio, por lo tanto, la evidencia de que los programas de intervención mejoren la calidad de vida de las

personas con esclerosis múltiple se encuentra limitada y condicionada al test realizado y el tipo de intervención. Las aportaciones realizadas por Alphonsus et al., (2019) son coincidentes con los resultados aportados en este estudio, donde la mejora del dominio psicológico de la calidad de vida es constatable a partir de las 12 semanas de entrenamiento.

Con respecto a la alta significación encontrada en el dominio de salud psicológica ($p < 0.01$), ésta podría estar relacionada con el efecto que tienen los programas de intervención orientados a la actividad física sobre la mejora significativa de la depresión y ansiedad en personas con EM, dos aspectos directamente asociados a la salud psicológica de esta población (Ensari, Motl & Pilutti, 2014). Dicha mejora se encuentra directamente relacionada con ciertas teoría donde se considera el efecto que tiene la actividad física sobre la estimulación de la actividad del sistema nervioso simpático y parasimpático, lo que provocaría la liberación de la acetilcolina, dando como resultado un efecto calmante que actuaría como regulador de la ansiedad y la depresión (Alphonsus, et al., 2019; Callaghan, 2004).



5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO.

En este apartado se desarrollan dos aspectos imprescindibles en un proceso de investigación tan extenso como el presentado en esta tesis, como son: a) las conclusiones finales y b) las perspectivas de futuro. En el primer apartado se exponen las conclusiones más relevantes a las que se ha llegado gracias a los resultados obtenidos y la discusión de los mismos. Con respecto a las perspectivas de futuro, se parte de las limitaciones encontradas durante el debate teórico entre el pasado y el presente, para exponer de forma concisa las líneas de investigación que este trabajo ha podido abrir como resultado final del proceso seguido que, además de aportar conocimiento, tiene como finalidad formular nuevos problemas.

5.1. Conclusiones finales.

Para exponer las conclusiones finales a la discusión expuesta en el apartado anterior, se ha considerado partir de las preguntas de investigación que se realizaron como conclusión de la parte introductoria y, a continuación, exponer de forma resumida las evidencias más significativas que se han derivado de los resultados expuestos y sus correspondientes debates con las teorías explicativas más relevantes, así como con los datos y antecedentes más significativos. Finalmente, se expondrá una valoración final sobre el nivel de adaptación del programa de entrenamiento a los distintos niveles de discapacidad, según escala EDSS, en personas con EM.

a) *Objetivo específico relacionado con la fuerza estática:*

Evaluar el efecto del programa de entrenamiento combinado sobre el pico máximo de fuerza estática de reacción, la fuerza neta y el ratio de desarrollo de fuerza estática utilizando para ello el registro de la componente vertical de la fuerza de reacción procedente de una plataforma de fuerza.

- ✓ La aplicación de un programa de entrenamiento combinado (PEC), durante 12 semanas, mejora el pico máximo de fuerza ($PMF_{(Z)}$) así como su ratio de desarrollo de

fuerza estática ($RDF_{(Z)}$) en un 9.3% y 27%, respectivamente, con respecto al grupo de control. Este efecto persiste después de 24 semanas de entrenamiento.

- ✓ No se ha constatado un patrón específico de déficit de fuerza relacionado con la enfermedad y el nivel de discapacidad, lo que evidencia la imprevisibilidad propia de la patología, además de establecer que dicho déficit de fuerza también podría estar asociado a la inactividad física y la falta de entrenamiento.

b) Objetivo específico asociado al equilibrio:

Determinar el efecto del programa de intervención sobre el equilibrio estático de las personas con EM, utilizando para ello registros estabilométricos del centro de presión procedentes de una plataforma de fuerza y aplicando la metodología propuesta en el test de Romberg.

- ✓ La aplicación del programa PEC durante 12 y 24 semanas ha producido una mejora generalizada del 13% en el equilibrio estático, con respecto al grupo de control que sólo obtuvo una mejora del 5%. Esta mejora general del grupo de intervención podría estar relacionada con la incorporación en el programa PEC de ejercicios con plataformas inestables orientada al control postural al incremento de la fuerza estática proximal.
- ✓ El nivel de discapacidad EDSS se relaciona de forma clara con el incremento de las variables estabilométricas. Así, el nivel de discapacidad explicaría el 77% de la variabilidad media que se produce en todos los registros.
- ✓ Dentro de las cuatro situaciones evaluadas para el equilibrio estático, la situación referente al coeficiente de Romberg con reducción somatosensorial (RGC-RGA), ha sido la que ha alcanzado mayores diferencias entre sus medias, alcanzando una mejora general del 34% de éste coeficiente después de 12 y 24 semanas de entrenamiento. Se confirma la importancia de la visión para el control postural en las personas con EM. Posiblemente, la propuesta de ejercicios con plataformas inestables, donde se limitan las aferencias vestibulares y somatosensoriales, junto a la mejora de la ratio de desarrollo de

fuerza (RDF), asociado a un mayor ritmo de producción de fuerza muscular y/o incremento del impulso neural, podría haber contribuido al control postural ante estas situaciones inestables con restricción de aferencias.

c) *Objetivo específico relacionado con la marcha:*

Realizar una valoración objetiva del efecto del programa combinado de intervención aplicado durante veinticuatro semanas, sobre los parámetros temporales y espaciales del patrón de marcha de las personas con EM, así como del equilibrio dinámico durante las respectivas fases y periodos temporales, utilizando para ello el desplazamiento espacial del centro de gravedad durante la marcha normal de la muestra de personas con EM.

- ✓ La aplicación del programa de entrenamiento PEC durante 12 y 24 semanas ha provocado una cierta reducción del tiempo empleado en la fase de apoyo bipodal (9%) y un cierto incremento temporal de la fase monopodal (2%). La reducción del tiempo de apoyo bipodal estaría relacionada con la mejora del equilibrio dinámico y el control postural, mientras que el incremento del tiempo de la fase monopodal estaría asociado al incremento de la longitud y amplitud del paso, lo que también podría estar relacionado con las mejoras generalizadas del equilibrio y la fuerza estática. La consecuencia de todo ello es que el entrenamiento PEC ha hecho posible una marcha más estable y segura.
- ✓ Se podría indicar que ha existido un incremento general del 5% de la velocidad del CG después de 12 y 24 semanas de aplicación del entrenamiento PEC. Sin embargo, el incremento del 3% registrado para el grupo de control, nos hace ser cautos al afirmar que el incremento de la velocidad del CG en las personas con EM, pueda haberse debido exclusivamente a la aplicación del entrenamiento PEC, posiblemente la incorporación de las terapias rehabilitadoras y/o farmacológicas hayan causado también un cierto efecto.
- ✓ Se confirma que el nivel de discapacidad posee una correlación alta con las variables temporales y espaciales del ciclo de marcha, constatándose que,

cuando se incrementa el nivel de discapacidad EDSS, aumenta el tiempo de ciclo de marcha, disminuye su longitud y, en consecuencia, se reduce la velocidad del CG de las personas con EM.

d) Objetivo específico asociado al costo debido a las tareas duales:

Identificar la existencia de un costo específico de la enfermedad, relacionando el costo debido a las tareas duales concurrentes a la marcha con el nivel de discapacidad de las personas con EM, evaluado a partir de la escala EDSS.

- ✓ Las tareas duales tienden a incrementar un 5% el tiempo de ciclo de marcha dual, con respecto a la marcha normal en personas con EM. Dicho incremento se localiza especialmente en los periodos de apoyo bipodal (11%), mientras que el tiempo de apoyo monopodal se mantiene estable en las dos situaciones de marcha. Esta constatación sugiere que los problemas de control postural, asociados a la EM, provocarían un incremento de los periodos de apoyo bipodal, donde se reduce la posibilidad de aplicar fuerza y momentos de fuerza orientados hacia la estabilización corporal con respecto a los periodos de apoyo monopodal.
- ✓ Se constata que la longitud de paso tiende a reducirse un 6% debido al efecto de la tarea dual, con respecto a la marcha normal. La consecuencia del incremento temporal indicado para el apoyo bipodal y la reducción de la longitud media de paso, por efecto de la doble tarea, supone una disminución del 11% de la velocidad de desplazamiento del CG cuando la marcha se hace con doble tarea, con respecto a la marcha normal.
- ✓ El nivel de discapacidad EDSS se correlaciona significativamente con el costo producido por la doble tarea en el tiempo de ciclo de marcha y la velocidad de desplazamiento del CG. Sin embargo, no ha existido significación cuando se correlaciona con la longitud de paso, posiblemente debido a la dificultad de realizar los ajustes necesarios para mantener el equilibrio durante la fase monopodal, una fase que se mantiene estable con la aplicación de las tareas

duales. Así, las personas con un mayor nivel de discapacidad, tienden a mantener estable este periodo monopodal y, en consecuencia, también su longitud de paso.

e) *Objetivo específico relacionado con el efecto del PEC sobre el costo:*

Identificar el efecto del programa de intervención sobre el costo producido por una tarea dual de tipo discriminante y ejecutivo, sobre las distintas fases y periodos temporales del patrón de marcha de las personas con EM. Para alcanzar este objetivo se desarrollarán sistemas de generación de estímulos sincronizados temporalmente a las técnicas fotogramétricas tridimensionales.

- ✓ No se ha podido constatar que el entrenamiento PEC, aplicado durante 12 y 24 semanas, haya podido reducir el efecto de la tarea dual sobre el tiempo de ciclo de marcha, al menos cuando se utilizan tareas concurrentes ejecutivas que implican inhibición de la marcha. Una estrategia que requiere un alto componente de plasticidad neural, así como los procesos cognitivos y motores que afectan a la inhibición y la reprogramación motora, necesaria para adaptarse a la nueva situación requerida durante la marcha dual.
 - ✓ Por el contrario, la aplicación del entrenamiento PEC durante 12 semanas, reduce de forma significativa el efecto que tiene la doble tarea sobre el la longitud de paso y la velocidad de desplazamiento del CG, una tendencia que se mantiene después de 24 semanas de entrenamiento. Se sugiere que estas reducciones estarían asociadas las propuestas combinadas de entrenamientos de fuerza, equilibrio y, especialmente, a la aplicación de ejercicios basados tareas duales motoras-cognitivas que, en niveles de discapacidad de leve a moderada, podrían llegar a mejorar la cognición y la toma de decisiones en personas con EM.
-

f) Objetivo específico asociado a las tareas de Sit-to-Stand:

Comprobar el efecto del programa de intervención combinado aplicado durante veinticuatro semanas sobre los parámetros dinámicos, temporales y espaciales de la tarea Sit-to-stand, utilizando para ello una plataforma de fuerza sincronizada temporalmente a una cámara de video de alta velocidad.

- ✓ El pico máximo de fuerza dinámica vertical se incrementa en un 42%, junto con el pico máximo de fuerza horizontal, con un incremento del 25% después de 24 semanas de entrenamiento. Se confirma que la fuerza dinámica desarrollada durante la tarea sit-to-stand se incrementa de forma significativa como consecuencia del entrenamiento PEC.
- ✓ El incremento de la fuerza dinámica desarrollada durante la tarea sit-to-stand, como consecuencia del entrenamiento PEC, ha producido una mayor aceleración media del CG y, en consecuencia, un incremento del 75% de la velocidad vertical del CG en el instante de despegue del asiento. Se sugiere que el déficit de fuerza muscular en personas con EM constituye un factor relevante en el rendimiento y las estrategias utilizadas para realizar el movimiento STS.
- ✓ El programa de entrenamiento combinado (PEC), ha provocado un cambio de coordinación articular hacia un modelo más simultáneo y funcional del movimiento sit-to-stand, ayudando a mejorar las actividades cotidianas de la vida diaria de personas con EM. Sin embargo, los problemas de equilibrio y el riesgo a caer, podrían limitar el uso de este modelo en personas que tienen un mayor grado de discapacidad EDSS, debido a las dificultades que requiere el control del impulso inicial durante el periodo de frenado durante la fase de pos-despegue.
- ✓ Se sugiere que, además de la fuerza como factor limitador de la eficacia de la tarea sit-to-stand, es necesario considerar otros factores asociados a la EM, como el control postural, coordinación y el riesgo a las caídas. Se sugiere que las personas con EM deberían ser evaluadas mediante tests específicos, donde interaccionan la coordinación, el control postural y la fuerza dinámica, dando una visión completa del desarrollo de la enfermedad.

- ✓ Se ha demostrado una relación significativa entre el nivel de discapacidad (EDSS) y el tiempo de ejecución de la tarea sit-to-stand, encontrando también, aunque con menor significación, la relación entre nivel de discapacidad y pico máximo de fuerza dinámica vertical. Se plantea la importancia de realizar evaluaciones más específicas de fuerza en las que se tenga en cuenta el control postural, coordinación y riesgo de caídas para poder aproximar la investigación lo máximo posible a las actividades de la vida diaria de dicha población.
-

g) Objetivo específico relacionado con la fatiga percibida y calidad de vida:

Determinar el efecto de un programa de entrenamiento combinado a partir de los cambios producidos durante el periodo de intervención sobre la fatiga percibida y la calidad de vida de las personas con EM, utilizando para la evaluación de la fatiga percibida el test de severidad de la fatiga, Fatigue Severity Scale (FSS), y para evaluar la calidad de vida el cuestionario WHOQOL-BREF.

- ✓ El entrenamiento PEC sólo ha provocado una reducción del 6% de la fatiga percibida tras 24 semanas de intervención, mientras que tras 12 semanas no existieron cambios. Unos resultados que podrían estar relacionados con las controversias encontradas en diferentes estudios sobre la heterogeneidad en el tiempo, frecuencia y tipo de ejercicio más recomendable para la mejora en la reducción de la fatiga percibida.
 - ✓ Con respecto a la calidad de vida, el entrenamiento PEC aplicado durante 24 semanas, sólo ha tenido efecto en el dominio de salud psicológica con una mejora del 21%. Este hecho podría estar relacionado con el efecto que tienen los programas de entrenamiento físico sobre la mejora de la depresión y la ansiedad en personas con EM, dos aspectos directamente asociados a la salud psicológica de esta población.
-

Como reflexión general sobre la estrategia utilizada para la aplicación del programa de entrenamiento PEC, la escasa o nula correlación entre el nivel de discapacidad EDSS y

los cambios debidos al entrenamiento en todas las variables, hacen pensar en una estrategia de intervención adaptada al nivel de discapacidad, un problema que siempre estuvo presente en el diseño de intervención y que requiere un considerable esfuerzo durante su desarrollo.

5.2. Limitaciones y perspectivas de futuro.

A continuación se exponen las limitaciones encontradas a lo largo del proceso de investigación y no previstas en la planificación inicial, lo que unido a los hallazgos encontrados, nos ha permitido formular nuevos problemas que serán la guía para nuevas líneas de investigación y una orientación imprescindible como perspectiva futura de investigación. Para su desarrollo se han considerado tres apartados: *a)* Limitaciones y propuestas asociadas a las muestras, *b)* Limitaciones y propuestas asociadas a los procedimientos y los sistemas de registro y *d)* Perspectivas de investigación derivadas de conocimiento adquirido.

7.2.1. Limitaciones y propuestas asociadas a las muestras.

Posiblemente el acceso a una muestra suficiente para los objetivos planteados y ciertas consideraciones éticas para seleccionar al grupo de control, hayan sido los dos problemas más importantes asociados a esta tesis.

- ✓ La mayor limitación que podría tener esta tesis es el número de personas con EM que han estado dispuestas a participar en la investigación, una problemática que, posiblemente haya estado asociada a tres aspectos generales: *a)* la dedicación y esfuerzo exigido para participar en un programa de entrenamiento tan estructurado asociado a la baja participación de esta población en cualquier actividad, *b)* los problemas familiares y sociales que se derivan de la accesibilidad a las instalaciones y *c)* Necesidad de mayor implicación de los terapeutas asociados a la enfermedad.
- ✓ Al utilizarse un diseño controlado aleatorizado con grupo de intervención y grupo control, es necesario asignar de forma aleatoria cada participante a su correspondiente grupo. Pero esta no es una decisión fácil cuando la mayoría de los participantes acceden a la convocatoria con la intención de para participar en el programa de

intervención. En este sentido, consideramos adecuada la decisión de realizar dos convocatorias consecutivas diferentes, una para cada grupo. Sin embargo, esta decisión podría haber introducido ciertos contaminantes en la selección de los grupos, además de incrementar en 24 semanas la toma de datos y, en consecuencia, el tiempo de realización de la propia tesis.

5.2.2. Limitaciones y propuestas asociadas a los procedimientos y sistemas de registro.

- ✓ El uso de los registros fotogramétricos 3D han supuesto un esfuerzo notable para el procesamiento (selección y sincronización de las imágenes, digitalización y determinación de las variables), lo que nos permite reconsiderar el uso de otros sistemas automatizados que simplifiquen el proceso. En este sentido, consideramos que podría limitarse al uso del sistema GAITRite para analizar la marcha, ya que se ha comprobado que alcanza una alta validez concurrente, con respecto a la fotogrametría 3D y las variables que no pueden registrarse con este sistema, como las asociadas al CG, han tenido escasa relevancia en el análisis.
- ✓ Durante la discusión referente a las variables estabilométricas se ha sugerido que el equilibrio ante situaciones inestables podría estar asociado a la mejora de la fuerza estática y, especialmente, a su ratio de desarrollo. Para constatar esta hipótesis, se plantea como perspectiva de futuro evaluar el incremento del impulso neural mediante la sincronización temporal de los registros electromiográficos (EMG) a los cambios producidos en el centro de presión (CP) sobre las plataformas dinamométricas.
- ✓ Se considera necesario revisar los criterios utilizado en la escala EDSS para evaluar la discapacidad en personas con EM. Consideramos que puede no ser el indicador más adecuado para su evaluación, ya que se trata de una escala ordinal poco sensible a los potenciales de cambio que se producen con la aplicación de los programas de entrenamiento físico.

5.2.3. Perspectivas de investigación derivadas de conocimiento adquirido.

- ✓ Se ha sugerido que, debido al déficit de varios sistemas neurológicos funcionales y

sensoriales propios de la EM, el tiempo de apoyo bipodal tiende a incrementarse como estrategia para mantener la estabilidad durante la marcha. Esta cuestión podría constituir una hipótesis que debería contrastarse mediante el registro de los cambios producidos en el CP durante el ciclo de marcha y, a continuación, comprobar el efecto por separado que podrían tener programas de entrenamiento basados en la utilización de plataformas inestables para la estabilización y el control corporal.

- ✓ Se ha constatado que el entrenamiento PEC reduce el costo debido a las tareas duales concurrentes a la marcha, lo que abre una novedosa línea de investigación, al considerarse el costo debido a tareas duales un valor de extraordinaria relevancia cuando se trata de interaccionar con un entorno cada vez más sofisticado y complejo. En este sentido, consideramos que faltan estudios para determinar el efecto por separado del entrenamiento dual, sobre la plasticidad neural y los procesos cognitivos y motores que afectan a la inhibición y reprogramación motora necesaria para adaptarse a una nueva situación requerida en la marcha dual. Para ello, posiblemente sea necesario apoyarse en la neurociencia cognitiva y ciertas técnicas basadas en la neuroimagen para conocer la repercusión de los estos programas de entrenamientos a nivel cerebral y así poder tener una prueba constatable sobre los cambios cognitivos y neurofisiológicos.
- ✓ Además de la fuerza como factor limitador de las tareas cotidianas, es necesario considerar otros factores asociados a la EM, como el control postural, coordinación y el riesgo a las caídas. Estas aportaciones indican que los programas de entrenamiento orientados a las personas con EM deben incluir actividades donde interaccionen la coordinación, el control postural y la fuerza dinámica, dando una visión completa del desarrollo de la enfermedad.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbey, J.H., Douglas, R.D., & Sharon, G.L. (2011). Reaction time and rapid serial processing measures of information speed in multiple sclerosis: Complexity, compounding and augmentation. *Journal International Neuropsychological Society*, 17, 111- 1121. <https://doi.org/10.1017/S1355617711001135>
- Abbud, G.A., Li, K.Z., & DeMont, R.G. (2009). Attentional requirements of walking according to the gait phase and onset of auditory stimuli. *Gait & Posture*, 30 (2), 227-232. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.05.013>
- Abdel-Aziz, Y.I., & Karara, H.M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. In *Proceedings of the ASP/UI Symposium on Close Range Photogrammetry*, pp. 1–18. Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.
- Abernethy, B. (1988). Dual-task methodology and motor skills research: some applications and methodological constraints. *Journal of Human Movement Studies*, 14 (3), 101-132.
- Aidar F.J., Gama de Matos D., de Souza R.J., Gomes A.B, Saavedra F., Garrido N., Carneiro, N., & Reis, V. (2018). Influence of aquatic exercises in physical condition in patients with multiple sclerosis. *Journal of Sports Medicine and physical fitness*, 58 (5), 684-693.
- Amiri, B., Sahebozamani, M & Sedigui, B. (2019) The effects of 10-week core stability training on balance in women with multiple sclerosis according to Expanded Disability Status Scale: a single-blinded randomized controlled trial. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 55 (2), 199-208. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.18.04778-0>
- Allali, G., Laidet, M., Assal, F., Armend, S., & Lalive, P.H. (2014). Walking while talking in patients with multiple sclerosis: The impact of specific cognitive loads. *Clinical Neurophysiology*, 44 (1), 87-93. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2013.10.136>

- Alphonsus, K.B., Su, Y., & D'Arcy, C. (2019). The effect of exercise, yoga and physiotherapy on the quality of life of people with multiple sclerosis: Systematic review and meta-analysis. *Complementary Therapies in Medicine*, 43, 188- 195. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2019.02.010>
- Al-Yahya, E., Dawes, H., Smith, L., Dennis, A., Howells, K., & Cockburn, J. (2011). Cognitive motor interference while walking. A systematic review and meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 35 (3), 715-728. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2010.08.008>
- Asano, M., & Finlayson, M.L. (2014). Meta- Analysis of three different types of fatigue management interventions for people with multiple sclerosis: exercise, education and medication. *Multiple Sclerosis International*, 2014, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2014/798285>
- Assunção- Felipe, L., Rippel Salgado, P., De Souza, D., Mahmoud, S., & Christofoletti, G. (2019). A Controlled Clinical Trial on the Effects of Exercise on Cognition and Mobility in Adults With Multiple Sclerosis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 98 (2), 97-102. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000987>
- Baird, J.F., & Motl, R.W. (2019). Response Heterogeneity With Exercise Training and Physical Activity Interventions Among Persons With Multiple Sclerosis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 33 (1), 3-14. <https://doi.org/10.1177/1545968318818904>
- Bauer, H.J. (1985). *Manual de esclerosis múltiple*. Barcelona: Imprenta Juvenil. S.A.
- Belghali, M., Chastan, N., Davenne, D., & Decker, L.M. (2017). Improving dual-task walking paradigms to detect prodromal Parkinson's and Alzheimer's diseases. *Frontiers in Neurology*, 8 (22), 1-7. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00207>
- Benedict, R.H., & Zivadinov, R. (2011). “Risk factors for and management of cognitive dysfunction in multiple sclerosis,” *Nature Reviews Neurology*, 7, (6),332–342. <https://doi.org/10.1038/nrneurol.2011.61>

- Benito-León, J., Morales, J.M., Rivera-Navarro, J., & Mitchell A.J. (2003). A review about the impact of multiple sclerosis on health-related quality of life. *Disability Rehabilitation*; 25 (23), 1291-1303. <https://doi.org/10.1080/09638280310001608591>
- Bermejo, P., Blasco, M., & García, A. (2011). Esclerosis múltiple. Criterios diagnóstico y pruebas complementarias. *Medicine*, 10 (75), 5087-5093. [https://doi.org/10.1016/S0304-5412\(11\)70059-2](https://doi.org/10.1016/S0304-5412(11)70059-2)
- Bethoux, F. (2013). Gait disorders in multiple sclerosis. *Continuum*, 19 (4), 1007-1022. <https://doi.org/10.1212/01.CON.0000433286.92596.d5>
- Bethoux, F., & Marrie, R. A. (2016). A cross- sectional study of the impact of spasticity on daily activities in multiple sclerosis. *Patient*, 9, 537–546. <https://doi.org/10.1007/s40271-016-0173-0>
- Bowser, B., O' Rourke, S., Brown, C.N., White, L., & Simpson, K.J. (2015). Sit-to-stand biomechanics of individuals with multiple sclerosis. *Clinical Biomechanics* 30, 788–794. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2015.06.012>
- Bräuninger, I. (2012). The efficacy of dance movement therapy group on improvement of quality of life: A randomized controlled trial. *The Arts in Psychotherapy* 39, (4), 296-303. <https://doi.org/10.1016/j.aip.2012.03.008>
- Brenda, J., Sandroff, B., & Motl, R. (2018). Energetic cost of walking and spasticity in persons with multiple sclerosis with moderate disability. *NeuroRehabilitation*. 43 (4), 483-489. <https://doi.org/10.3233/NRE-182498>
- Briken, S., Gold, S.M., Patra, S., Vetorazzi, E., Harbs, D., Tallner, A., Ketels, G., Schulz, K., & Heesen, C. (2014). Effects of exercise on fitness and cognition in progressive MS: a randomized, controlled pilot trial. *Multiple Sclerosis Journal*. 20 (3), 382-390. <https://doi.org/10.1177/1352458513507358>
- Broekmans, T., Gijbels, D., Eijnde, B.O., Alders1, G., Lamers, I., Roelants, M. & Feys, P. (2012). *Multiple Sclerosis Journal*, 19(1), 112 –119. <https://doi.org/10.1177/1352458512444497>

- Cakt BD, Nacir B, Genc H, Saracoglu M, Karagoz A, Erdem HR, & Ergun, U. (2010). Cycling progressive resistance training for people with multiple sclerosis: a randomized controlled study. *Am J 470 Physical and Medicine Rehabilitation*, 89 (6), 446–57. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e3181d3e71f>
- Callaghan, P. (2004). Exercise: A neglected intervention in mental health care?. *Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing*, 11, 476-483. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2850.2004.00751.x>
- Cameron, M. H., Thielman, E., Mazumder, R., & Bourdette, D. (2013). Predicting falls in people with multiple sclerosis: fall history is as accurate as more complex measures. *Multiple sclerosis international*, 2013,1-7. <https://doi.org/10.1155/2013/496325>
- Cameron, M.H. & Lord, S. (2010). Postural control in multiple Sclerosis: Implications for fall prevention. *Current Neurology and Neuroscience. Reports*, 10 (5), 407–412. <https://doi.org/10.1007/s11910-010-0128-0>
- Canning, C.G., Ada, L., & Woodhouse, E. (2008). Multiple-task walking training in people with mild to moderate Parkinson’s disease: a pilot study. *Clinical Rehabilitation*, 22 (3), 226-233. <https://doi.org/10.1177/0269215507082341>
- Cano de la Cuerda, R., & Collado- Vazquez, S. (2013). *Neurorehabilitación. Métodos específicos de valoración y tratamiento*. Madrid. Editorial Médica Panamericana.
- Castillo-Bueno, I., Ramos-Campo, D.J., & Rubio-Arias, J.A. (2018). Effects of whole-body vibration training in patients with multiple sclerosis: *A systematic review*, *Neurología*, 33(8): 534-548. <https://doi.org/10.1016/j.nrleng.2018.05.002>
- Cattaneo, D., Jonsdottir, J., Zocchi, M., & Regola, A. (2007). Effects of balance exercises on people with multiple sclerosis: a pilot study. *Clinal Rehabilitation*, 21 (9), 771–781. <https://doi.org/10.1177/0269215507077602>
- Charron, S., Mckay, K., & Tremlett, H. (2018). Physical activity and disability outcomes in multiple sclerosis: A systematic review (2011–2016). *Multiple*

- Sclerosis and Related Disorders*, 20, 169-177.
<https://doi.org/10.1016/j.msard.2018.01.021>
- Cho, C., Kunin, M., Kudo, K., Osaki, Y., Olanow, C.W., & Cohen, B. (2010). Frequency-velocity mismatch: A fundamental abnormality in parkinsonian gait. *Journal Neurophysiology*, 103 (3), 1478–1489.
<https://doi.org/10.1152/jn.00664.2009>
- Coelho, F.G.M., Andreade, L.P., Pedroso, R.V., Santos-Galduroz, R.F, Gobbi, S., Costa, J.L.R., Gobbi, L.T.B. (2013). Multimodal exercise intervention improves frontal cognitive functions and gait in Alzheimer's disease: a controlled trial. *Geriatrics Gerontology International*, 13, 198–203.
<https://doi.org/10.1111/j.1447-0594.2012.00887.x>
- Comber, L., Galvin, R. & Coote, S. (2017). Gait deficits in people with multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. *Gait & Posture*, 51, 25-35.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.09.026>
- Confavreux, C., & Vukusic, S. (2006). Age at disability milestones in multiple sclerosis. *Brain*, 129 (3), 595–60. <https://doi.org/10.1093/brain/awh714>
- Corvillo, I., Varela, E., Armijo, F., Alvarez-Badillo, A., Armijo, O., & Maraver, F. (2017). Efficacy of aquatic therapy for multiple sclerosis: a systematic review. *European Journal Physical Rehabilitation and Medicine*, 53 (6), 944-952.
- Cruickshank, T.M., Reyes, A.R. & Ziman, M.R. (2015). A systematic review and Meta-Analysis of strength training in individual with multiple sclerosis or Parkinson disease. *Medicine*, 94 (4), 1-15. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000000411>
- Da Fonseca, B.A., Pereira, C.B., Jorge, F., Simm, R, Apostolos- Pereira, S., & Callegaro, D. (2016). A disturbed processing of graviceptive pathways may be involved in the pathophysiology of balance disorders in patients with multiple sclerosis. *Archivos de Neuropsiquiatria*, 74 (2), 106–11.
<https://doi.org/10.1590/0004-282X20160004>
- Dalgas, U., Ingemann-Hansen, T., & Stenager, E. (2009). Physical exercise and MS-Recommendations. *International MS Journal*, 16 (1), 5-11.

- Dalgas, U., Stenager, E., Jakobsen, J., Petersen, T., Hansen, H. J., Knudsen, C., & Ingemann-Hansen, T. (2009). Resistance training improves muscle strength and functional capacity in multiple sclerosis. *Neurology*, 73 (18), 1478-1484. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3181bf98b4>
- Dalgas, U., Stenager, E., Lund, C., Rasmussen, C., Petersen, T., Thorsten HS., & Overgaard, K. (2013). Neural drive increases following resistance training in patients with multiple sclerosis. *Journal Neurology*, 260, 1822-1832. <https://doi.org/10.1007/s00415-013-6884-4>
- Dalgas, U., Stenager, E., & Ingemann-Hansen, T. (2007). Multiple sclerosis and physical exercise: recommendations for the application of resistance, endurance, and combined training. *Multiple Sclerosis*, 14 (1), 35-53. <https://doi.org/10.1177/1352458507079445>
- Dalgas, U., & Stenager, E., (2012). Exercise and disease progression in multiple sclerosis: can exercise slow down the progression of multiple sclerosis? *Therapeutic Advances Neurological Disorder*, 5 (2), 81-95. <https://doi.org/10.1177/1756285611430719>
- Davies, B.L., Hoffmen, R.M. & Kurz, M.J. (2016). Individual with multiple sclerosis redistribute positive mechanical work from the ankle to the hip during walking. *Gait & Posture*, 49, 329-333. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.07.267>
- Desmurget, M., & Sirugu, A. (2009). A parietal-premotor network for movement intention and motor awareness. *Trends in Cognitive Science*. 13 (10), 411-419. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.08.001>
- Denninson, L., & Moss-Morris, R. (2010). Cognitive-behavioral therapy: what benefits can it offer people with multiple sclerosis?. *Expert Rev Neurotherapy*. 10 (9), 1383- 1390. <https://doi.org/10.1586/ern.10.111>
- Denommé, L.T., Mandalfino, P., & Cinelli, M.E. (2014). Understanding balance differences in individuals with multiple sclerosis with mild disability: An investigation of differences in sensory feedback on postural control during a Romberg task. *Experimental Brain Research*, 232 (6), 1833-1842. <https://doi.org/10.1007/s00221-014-3875-3>

- De Sonnevile, L.M., Boringa, J.B., Reuling, I.E.W., Lazeron, R.H.C., Ader, H.J., & Polman, C.H. (2002). Information processing characteristics in subtypes of multiple sclerosis. *Neuropsychologia*, 40, 1751-1765. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(02\)00041-6](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(02)00041-6)
- De Souza-Teixeira, F., Costilla, S., Ayan, C., Garcia-Lopez, D., Gonzalez-Gallego, J., & De Paz, J. A. (2009). Effects of resistance training in multiple sclerosis. *International Journal of Sports Medicine*, 30 (4), 245-250. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1105944>
- De Souza Teixeira, F., Fernández, R., Hernández, J.A., Bresciani, G, Jiménez, A., & De Paz Fernández, J.A. (2011). Elastic Band Training for Multiple Sclerosis Patients: A Pilot Study. *Journal Physical therapy science*. 23, 307-311. <https://doi.org/10.1589/jpts.23.307>
- Dettmers, C.M., Sulzmann, A., Ruchay-Polss, A., Gutler, R., & Vieten, M. (2009). Endurance exercise improves walking distance in MS patients with fatigue. *Acta Neurologica Scandinavica*. 120 (4), 251–257. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2008.01152.x>
- Doorenbosch CA, Harlaar J, Roebroek ME, Lankhorst GJ. Two strategies of transferring from sit-to-stand; the activation of monoarticular and biarticular muscles. *J Biomech*. 1994; 27(11), 1299-1307. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(94\)90039-6](https://doi.org/10.1016/0021-9290(94)90039-6)
- Duque, J., Lew, D., Mazzocchio, R., Oliver, E., & Ivry, R.B. (2010). Evidence for two concurrent inhibitory mechanisms during response preparation. *Journal Neuroscience*, 30 (10), 3796- 3802. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5722-09.2010>
- Ensari, I., Motl, R.W., & Pilutti, L.A. (2014). Exercise training improves depressive symptoms in people with multiple sclerosis: results of a meta-analysis. *Journal of psychosomatic resech*, 76 (6), 465- 471. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2014.03.014>

- Erin, M., Snook, M.S., & Molt, R.W. (2009) Effect of exercise training on walking mobility in ME: A Meta- Analysis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 23 (2), 108-116. <https://doi.org/10.1177/1545968308320641>
- Esclerosis Múltiple España. Disponible en: <https://www.esclerosismultiple.com/> [Con acceso el 26 de abril de 2018].
- Evers, G.C. (2008). Enviromental factors and multiple sclerosis. *Lancet Neurology*, 7, 268-77. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(08\)70042-5](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(08)70042-5)
- Ewanchuk, B.W., Gharagozloo, M., Peelen, E., & Pilutti, L.(2018) Exploring the role of physical activity and exercise for managing vascular comorbidities in people with multiple sclerosis: A scoping review. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*. 26, 19-32. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2018.08.022>
- Fasczewsky, K.S., Gill, D.L., (2019). A model of motivation for physical activity in individuals diagnosed with multiple sclerosis. *Disability and rehabilitation*. 18 (41), 2143-2150. <https://doi.org/10.1080/09638288.2018.1459883>
- Federación Española para la Lucha contra la Esclerosis Múltiple (FELEM). Disponible en: <http://www.esclerosismultiple.com/index.php>. [Con acceso el 15 de marzo de 2019].
- Feltner, M.E., Bishop, E.J., & Perez, C.M. (2004). Segmental and kinetic contributions in vertical jumps performed with and without an arm swing. *Reseach quaterly exercise and sport*, 75 (3), 216-230. <https://doi.org/10.1080/02701367.2004.10609155><https://doi.org/10.1080/02701367.2004.10609155>
- Feter, N., Freitas, M., Gonzales, N.G., Umpierre, D., Cardoso, R.K., & Rombaldi, A.J. (2018). Effects of physical exercise in myelin sheath regeneration: A systematic review and meta-analysis. *Science & Sport*. 33 (1), 8-21. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2017.06.009>
- Feys, P., Florian Van Halewyck, L., Wens, I., Eijnde, B., Van Wijmeersch, B., Popescu, V., & Van Asch, P. (2019). Effects of an individual 12-week communitylocated “start-to-run” program on physical capacity, walking, fatigue, cognitive

- function, brain volumes, and structures in persons with multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis Journal*. 25 (1), 92-103. <https://doi.org/10.1177/1352458517740211>
- Flavia, M., Stampatori, C., Zanotti, D., Parrinello, G., & Capra, R. (2010). Efficacy and specificity of intensive cognitive rehabilitation of attention and executive functions in multiple sclerosis. *Journal of the Neurological Sciences*, 288 (1-2), 101-105. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2009.09.024>
- Fimland, M., Helgerud, L., Gruber, M., Leivseth, G., & Hoff, J. (2010). Enhanced neural drive after maximal strength training in multiple sclerosis patients. *European Journal applied Physiology*. 110 (2), 435-443. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1519-2>
- Freeman, J.A., Gear, M., Pauli, A., Cowan, P., Finnigan, C., Hunter, H., Mobberley, C., Nock, A., Sims, R., & Thain, J. (2010). The effect of core stability training on balance and mobility in ambulant individuals with multiple sclerosis: a multi-centre series of single case studies. *Multiple Sclerosis*, 16 (11), 1377-1384. <https://doi.org/10.1177/1352458510378126>
- Fritz, N.E., Cheek, F.M., & Nichols-Larsen D.S. (2015). Motor-Cognitive Dual-Task Training in Persons With Neurologic Disorders: A Systematic Review. *Journal of Neurologic Physical Therapy*. 39 (3), 142-153. <https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000090>
- Fritz, N.E., Kloos, A., Kegelmeyer, D., Kaurc, P., & Nichols-Larsen, D. (2019). Supplementary motor area connectivity and dual-task walking variability in multiple sclerosis. *Journal of the Neurological Sciences*, 396, 159-164. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2018.11.015>
- Fujimoto, M., & Chou, L. (2011). Dynamic balance control during sit-to-stand movement: An examination with the center of mass acceleration. *Journal of Biomechanics*, 45 (3), 543-548. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2011.11.037>
- Gamazo-Navarro, S. (2009). *Evaluación cognitiva en la esclerosis múltiple*. Tesis Doctoral. Facultad de Medicina, Departamento de Medicina. Universidad de Salamanca.

- Gao, J., Wong-Lin, K., Holmes, P., Simen, P., & Cohen, J.D. (2009). Sequential effects in two-choice reaction time tasks: Decomposition and synthesis of mechanisms. *Neural Computation*, 21 (9), 2407-2436. <https://doi.org/10.1162/neco.2009.09-08-866>
- García- Vazquez, J. (2017). *Caracterización neuromecánica de la marcha humana en pacientes con diplejía espástica*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura.
- Geidl, W., Gobster, C., Streber, R. P., & Feifer, K. (2018). A systematic critical review of physical activity aspects in clinical guidelines for multiple sclerosis, *Multiple Sclerosis and Related Disorders* 25, 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2018.07.039>
- Giladi, N., Herman, T., Reider, G., Gurevich, T., & Hausdorff, J.M. (2005) Clinical characteristics of elderly patients with a cautious gait of unknown origin. *Journal Neurology*. 252 (3), 300–306. <https://doi.org/10.1007/s00415-005-0641-2>
- Givon, U., Zeilig, G., & Achiron, A. (2009). Gait analysis in multiple sclerosis: Characterization of temporal-spatial parameters using GAITRite functional ambulation system. *Gait & Posture*, 29 (1), 138-142. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.07.011>
- Goodale, M.A., & Westwood, D.A. (2004) An evolving view of duplex vision: separate but interacting cortical pathways for perception and action. *Current Opinion Neurobiology*. 14 (2), 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2004.03.002>
- Gutierrez-Cruz, C., Miangolarra, J.C., & Rojas, F.J. (2016). Effect of dual-task-induced uncertainty on gait biomechanics in patients with multiple sclerosis with 2–6.5 EDSS grade. *Gait & Posture*. 49, 30-35. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.06.019>
- Gutiérrez-Cruz, C., Rojas, F.J., de la Cruz, J.C. y Gutiérrez-Dávila, M. (2018). Dual-task cost of discrimination tasks during gait in patients with multiple sclerosis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, (Aceptado el 1/07/2019). <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001264>

- Gutiérrez-Cruz, C., Rojas, F.J., de la Cruz, J.C. y Gutiérrez-Dávila, M. (2018). Effects of concurrent discrimination tasks on gait in healthy subjects. *European Journal of Human Movement*, 40, 1-14. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001264>
- Gutiérrez-Cruz, C., de la Cruz, J.C., Rojas, F.J. y Gutiérrez-Dávila, M. (2019). Effects of deficit of strength in the sit-to-stand task in people with multiple sclerosis, *European Journal of Human Movement*, 42, 1-14. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001264>
- Gutiérrez- Cruz, C. (2015). “Programa de actividad física orientado hacia la mejora de calidad de vida de las personas con esclerosis múltiple en la Asociación ADEMTO de Toledo”. En: Másteres de la Universidad Autónoma de Madrid (pp.: 2014-2015). Madrid, UAM Ediciones.
- Gutiérrez-Dávila, M., Dapena, J., Campos, J. (2006). The effect of muscular pre-tensing on the sprint start. *Journal of Applied Biomechanics*. 22 (3), 194–201. <https://doi.org/10.1123/jab.22.3.194>
- Gutiérrez-Dávila, M. (2015). *Fundamentos de la biomecánica deportiva*. Madrid, España: Síntesis.
- Gutiérrez-Dávila, M., Zingsem, C., Gutiérrez-Cruz, C., Giles, F.J., & Rojas, F.J. (2014). Effect of uncertainty in the lunge in fencing. *Journal of Sports Sciences and Medicine*, 13 (1), 66-72.
- Haiton, T., Furby, J., Smith, K., Altmann, D., Brenner, D., Chataway, J., Hunter, K., Tozer, D., Miller, D., & Kapoor, R. (2012). Clinical and imaging correlates of the multiple sclerosis impact scale in secondary progressive multiple sclerosis. *Journal Neurology*. 259, 237- 245. <https://doi.org/10.1007/s00415-011-6151-5>
- Hamilton, F., Rochester, L., Paul, L., Rafferty, D., O’Leary, C.P., & Evans, J.J. (2009). Walking and talking: an investigation of cognitive-motor dual tasking in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis*. 15 (10), 1215-1227. <https://doi.org/10.1177/1352458509106712>
- Hardy, S.E., Perera, S., Roumani, Y.F., Chandler J.M., & Studenski, S.A. (2007). Improvement in usual gait speed predicts better survival in older adults. *Journal*

of American Geriatrics Society. 55 (11), 1727-1737.
<https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2007.01413.x>

Heine, M., Wens, I., Langeskov-Christensen, M., Verschuren, O., Eijnde, B.O., Kwakkel, G., & Dalgas, U. (2016). Cardiopulmonary fitness is related to disease severity in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis*, 22 (2), 231-238.
<https://doi.org/10.1177/1352458515581437>

Hernández, F.J., Romero, J.M., & Izquierdo, G. (2011). ¿Está aumentando la incidencia de la esclerosis múltiple a nivel mundial? *Revista Española de Esclerosis Múltiple*, 3 (19), 5-12.

Hoang, P.D., Cameron, M. H., Gandevia, S. C., & Lord, S. R. (2014). Neuropsychological, balance, and mobility risk factors for falls in people with multiple sclerosis: a prospective cohort study. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 95(3), 480-486. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.09.017>

Hoang, P.D., Schoene, D., Gandevia, S., Smith, S., & Lord, S. (2016). Effects of a home-based step training programme on balance, stepping, cognition and functional performance in people with multiple sclerosis – a randomized controlled trial. *Multiple Sclerosis Journal*. 22 (1), 94- 103.
<https://doi.org/10.1177/1352458515579442>

Hosseini, S. S., Rajabi, H., Mohammad, A. S., Moradi, M., Mehri, K., & Abolhasani, M. (2018). Effects of 8-week home-based yoga and resistance training on muscle strength, functional capacity and balance in patients with multiple sclerosis: A randomized controlled study. *Asian Journal of Sports Medicine*, 9 (3), 1-7. <https://doi.org/10.5812/asjms.68807>

Ivanoff, J., Branning, P., & Marois, R. (2009). Mapping the pathways of information processing from sensation to action in four distinct sensorimotor tasks. *Human Brain Mapping*, 30 (12): 4167-4186. <https://doi.org/10.1002/hbm.20837>

Izquierdo, G., & Ruiz-Peña, J.L. (2003). Evaluación clínica de la esclerosis múltiple: Cuantificación mediante la utilización de escalas. *Revista de Neurología*, 36 (2), 145-152. <https://doi.org/10.33588/rn.3602.2002350>

- Jacobs, J., & Kasser, S. (2012). Effects of dual tasking on the postural performance of people with and without multiple sclerosis: a pilot study. *Journal of Neurology*; 259 (6), 1166– 1176. <https://doi.org/10.1007/s00415-011-6321-5>
- Jørgensen, M.L.K., Dalgas, U., Wens, I., & Hvid, L.G. (2017). Muscle strength and power in persons with multiple sclerosis –A systematic review and meta-analysis. *Journal of the Neurological Sciences* 376, 225–241. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2017.03.022>
- Kalron, A., Dvir, Z., & Achiron, A. (2010). Walking while talking-difficulties incurred during the initial stages of multiple sclerosis disease process. *Gait & Posture*, 32 (3), 332-335. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.06.002>
- Karst, G.M., Venema, D.M., Roehrs, T.G., & Tyler, A. (2005). Center of pressure measures during standing tasks in minimally impaired persons with multiple sclerosis. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 29 (4), 170–180. <https://doi.org/10.1097/01.NPT.0000282314.40230.40>
- Kelly, V.E., Janke, A.A., & Shumway-Cook, A. (2010). Effects of instructed focus and task difficulty on concurrent walking and cognitive task performance in healthy young adults. *Experimental Brain Reserch*. 207 (1-2), 65-73. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2429-6>
- Kesselring, J. (2017). Neurorehabilitation in multiple sclerosis. Resilience in practice. *European Neurological Review*, 12 (1), 31-36. <https://doi.org/10.17925/ENR.2017.12.01.31>
- Kirkland, M.C., Wallack, E.M., Rancourt, S.N., & Ploughman, M. (2015). Comparing Three Dual-Task Methods and the Relationship to Physical and Cognitive Impairment in People with Multiple Sclerosis and Controls. *Multiple Sclerosis International*, 2015, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2015/650645>
- Kjølhede, T., Vissing, K., Langeskov-Christensen, D., Stenager, E., Petersen, T., & Dalgas, U. (2015). Relationship between muscle strength parameters and functional capacity in persons with mild to moderate degree multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 4, 151-158. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2015.01.002>

- Kramer, A., Dettmers, C., & Gruber, M. (2014). Exergaming with additional postural demands improves balance and gait in patients with multiple sclerosis as much as conventional balance training and leads to high adherence to home-based balance training. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 95 (10), 1803-1809. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.04.020>
- Krupp, L.B., LaRocca, N.G., Muir-Nash, J., & Steinberg, A.D. (1989). The fatigue severity scale. Application to patients with multiple sclerosis and systemic lupus erythematosus. *Archives of Neurology*, 46 (10), 1121-1123. <https://doi.org/10.1001/archneur.1989.00520460115022>
- Kurtzke, J.F. (1975). A ressement of the distribution of multiple sclerosis. *Acta Neurologica Scandinavica*, 51 (7), 110-136. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.1975.tb01364.x>
- Kyguoliene, L., Skurvydas, A., Eimantas, N., Baranauskienė, N., Balnytė, R., & Brazaitis, M. (2018). The Effect of Three Different Strategies Based on Motor Task Performance on Neuromuscular Fatigue in Healthy Men and Men with Multiple Sclerosis. *Medicina (Kaunas)* 54 (3), 1-13. <https://doi.org/10.3390/medicina54030033>
- Langeskov-Christensen, M., Heine, M., Kwakkel, G., & Dalgas, U. (2015). Aerobic capacity in persons with multiple sclerosis: a systematic review and metaanalysis. *Sports Medicine*, 45 (6), 905-23. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0307-x>
- Larocca N. (2011). Impact of walking impairment in multiple sclerosis: perspectives of patients and care partners. *Patient*, 4 (3), 189-201. <https://doi.org/10.2165/11591150-000000000-00000>
- Lambert, C. P., Archer, R.L., & Evans, W. J. (2001). Muscle strength and fatigue during isokinetic exercise in individuals with multiple sclerosis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33 (10), 1613–1619. <https://doi.org/10.1097/00005768-200110000-00001>
- Lassmann, H. (1999). The pathology of multiple sclerosis and its evolution. *Biological Sciences journal*, 354, 1635-1675. <https://doi.org/10.1098/rstb.1999.0508>

- Latimer-Cheung, A.E., Pilutti, L.A., Hicks, A.L, Martin Ginis, K.A., Fenuta, A.M., McKibbin, K.A., & Molt, R. W. (2013). Effects of exercise training on fitness, mobility, fatigue, and health-related quality of life among adults with multiple sclerosis: a systematic review to inform guideline development. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94 (9), 1800-1828. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.04.020>
- Learmonth, Y., Paul, L., Miller, L., Mattison, P., & McFadyen, A. (2011) The effects of a 12-week leisure centre-based, group exercise intervention for people moderately affected with multiple sclerosis: a randomized controlled pilot study. *Clinical Rehabilitation* 26 (7), 579- 593. <https://doi.org/10.1177/0269215511423946>
- Leone, C., Patty, F., & Feys, P. (2015). Measuring the cost of cognitive-motor dual tasking during walking in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis Journal*. 21 (2), 123-131. <https://doi.org/10.1177/1352458514547408>
- Leva de, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*. 29 (9), 1223-1230). [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(95\)00178-6](https://doi.org/10.1016/0021-9290(95)00178-6)
- Lucas-Carrasco, R., Sastre-Garriga, J., Galán, I., Den Oudsten, B.L., & Power, M.J. (2014) Preliminary validation study of the Spanish version of the satisfaction with life scale in persons with multiple sclerosis. *Disability and Rehabilitation*, 36 (12), 1001-1005. <https://doi.org/10.3109/09638288.2013.825650>
- Malet., C., & Bertland, V. (1989).Yoga exercise for multiple sclerosis patients. *Annales De Kinesitherapie*, 3, 99-101.
- Martin, C.L., Phillips, B.A., Kilpatrick, T.J., Butzkueven, H., Tubridy, N., McDonald, E., & Galea, M.P. (2006). Gait and balance impairment in early multiple sclerosis in the absence of clinical disability. *Multiple Sclerosis*, 12 (5), 620-628. <https://doi.org/10.1177/1352458506070658>
- Mattioli, F., Stampatori, C., Zanotti, D., Parrinello, G., & Capra, R. (2010). Efficacy and specificity of intensive cognitive rehabilitation of attention and executive

- functions in multiple sclerosis. *Journal of Neurological Sciences*. 288 (1-2), 101-105. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2009.09.024>
- Medina-Perez, C., de Souza-Teixeira, F., Fernandez-Gonzalo, R., & de Paz-Fernandez, J. A. (2014). Effects of a resistance training program and subsequent detraining on muscle strength and muscle power in multiple sclerosis patients. *NeuroRehabilitation*, 34 (3), 523-530.
- Milner, A.D., & Goodale, M.A. (1995). *The Visual Brain in Action*. Oxford: Oxford University Press.
- Miltenburger, C., & Kobelt, G. (2002). Quality of life and cost of multiple sclerosis. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 104 (3), 272–275. [https://doi.org/10.1016/S0303-8467\(02\)00051-3](https://doi.org/10.1016/S0303-8467(02)00051-3)
- Molt, R.W., Goldman, M.D., & Benedict, R.H. (2010). Walking impairment in patients with multiple sclerosis: exercise training as a treatment option. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 16 (6), 767-874. <https://doi.org/10.2147/NDT.S10480>
- Motl, R.W., Sandroff, B.M., Wingo, B.C., McCroskey, J., Pilutti, L.A., Cutter, G.R., Bollaert, R.E., McAuley, E. (2018). Phase-III, randomized controlled trial of the behavioral intervention for increasing physical activity in multiple sclerosis: Project BIPAMS, *Contemporary Clinical Trials*, 71: 154-161. <https://doi.org/10.1016/j.cct.2018.06.017>
- Motl, R.W., Sosnoff, J.J., Dlugonski, D., Pilutti, L.A., Klaren, R., & Sandroff, B.M. (2014). Walking and cognition, but not symptoms, correlate with dual task cost of walking in multiple sclerosis. *Gait Posture* 39 (3), 870–874. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.11.023>
- Motl, R.W., & Fernhall, B. (2012). Accurate prediction of cardiorespiratory fitness using cycle ergometry in minimally disabled persons with relapsing-remitting multiple sclerosis. *Archives Physical Medicine and Rehabilitation*, 93 (3), 490-495. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2011.08.025>

- Motl, R.W., & Gosney, J.L. (2008). Effect of exercise training on quality of life in multiple sclerosis: a meta-analysis. *Multiple Sclerosis*, 14 (1), 129-135. <https://doi.org/10.1177/1352458507080464>
- Motl, R.W., & Pilutti, L.A. (2012). The benefits of exercise training in multiple sclerosis. *Nature Reviews Neurology*, 8 (9), 487-497. <https://doi.org/10.1038/nrneurol.2012.136>
- National Multiple Sclerosis Society (NMSS). [Web en Línea]. Disponible desde Internet en: <<http://www.nationalmssociety.org/Research/Research-We-Fund/Ending-the-Disease-Forever/Searching-for-Triggering-Factors>>. [Con acceso el 15 de marzo de 2018].
- Nakamoto, H., & Mori, S. (2012). Experts in fast-ball sports reduce anticipation timing cost by developing inhibitory control. *Brain Cognition*, 80 (1), 23-32. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.04.004>
- Nakazawa, K., Obata, H., & Sasagawa, S. (2012). Neural control of human gait and posture. *Journal of Sport Medicine and Physical Fitness*. 1 (2), 263-269. <https://doi.org/10.7600/jpfsfm.1.263>
- Negaresha, R., Motl, R.W., Mokhtarzadea, M., Dalgas, U., Pateld, D., Molanouri Shamsia, M., Majdinasabe, N., Ranjbarg, R., Zimmerh, P., & Bakerj, J. (2018). Effects of exercise training on cytokines and adipokines in multiple Sclerosis: A systematic review. *Multiple sclerosis*, 24. 91-100. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2018.06.008>
- Nilsagard, E., Von Koch, L, Nilsson, M., Forsberg, S. (2014). Balance exercise Program Reduced Falls in people wirh multiple sclerosis: A simple- group, pretest- Posttest Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 95 (12), 2428-2434. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.06.016>
- Nogueira, L.A., Dos Santos, L.T. Pollyane- Galinari, P.G., Alvarenga, R.M., & Thuler, L.C. (2013). Walking execution is not affected by divided attention in patients with multiple sclerosis with no disability, but there is a motor planning impairment. *Arquivos Neuropsiquiatria*, 71 (8), 521-526. <https://doi.org/10.1590/0004-282X20130080>

- Nordin, E., Moe- Nilssen, R., & Ludin- Olsson, L. (2010). Changes in step- width during dual task walking predicts falls. *Gate & Posture*. 32 (1), 92-97. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.03.012>
- Noseworthy, J.H., Lucchinetti, C., Rodriguez, M., & Weinshenker, B.G. (2000). Multiple sclerosis, *New England Journal of Medicine*, 343(13): 938-952. <https://doi.org/10.1056/NEJM200009283431307>
- Omisade, A., Fisk, J.D., Klein, R.M., Schmidt, M., Darvesh, S., & Bhan, V. (2012) Information Processing and Magnetic Resonance Imaging Indices of Brain Pathology in Multiple Sclerosis. *International Journal of MS Care* 14 (2), 84-91. <https://doi.org/10.7224/1537-2073-14.2.84>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (1996). *WHOQOL-BREF Introduction, administration, scoring and version of the assessment*. Ginebra, Suiza: OMS.
- Oken, B.S., Zajdel, D., Kishiyama, S., Flegal, K., Dehen, C., Haas, M., Kraemer, D.F., Lawrence, J., & Leyva, J. (2006). Randomized, controlled, six-month trial of yoga in healthy seniors: effects on cognition and quality of life. *Alternatives Therapies Health and Medicine*, 12 (1), 40–47.
- Palombaro, K.M., Craik, R.L., Mangione, K.K., & Tomlinson, J.D. (2006). Determining meaningful changes in gait speed after hip fracture. *Physical Therapy*. 86 (6), 809-816.
- Papa, E., Cappozzo, A. (1999). A telescopic inverted-pendulum model of the musculoskeletal system and its use for the analysis of the sit-to-stand motor task. *Journal of Biomechanics*, 32 (11), 1205-1212. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(99\)00103-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(99)00103-7)[https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(99\)00103-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(99)00103-7)
- Páramo, M.D., & Izquierdo, G. (2007). Fatiga en la esclerosis múltiple. *Revista Española de Esclerosis Múltiple*, 1 (5), 19-27.
- Pashler, H. (1994). “Graded capacity-sharing in dual-task interference?” *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20 (2), 330–342. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.20.2.330>

- Pedroso, R.V., Coelho, F.G.M., Santos-Galduróz, R.F., Costa, J.L.R., Gobbi, S., & Stella, F. (2013). Multimodal exercise intervention improves frontal cognitive functions and gait in Alzheimer's disease: a controlled trial. *Geriatrics & Gerontology International*, 13, 198-203. <https://doi.org/10.1111/j.1447-0594.2012.00887.x>
- Pereda, S. (1987). *Psicología experimental: I. Metodología*. E. Pirámide, Madrid
- Perry, J. (1992). *Normal and pathological function*. Slack. Thorofare, NJ.
- Petajan, J. H., & White, A. T. (1999). Recommendations for physical activity in patients with multiple sclerosis. *Sports Medicine*, 27 (3), 179-191. <https://doi.org/10.2165/00007256-199927030-00004>
- Pilutti, L. A., Greenlee, T.A., Motl, R.W., Nickrent, M.S., & Petruzzello, S.J. (2013). Effects of exercise training on fatigue in multiple sclerosis: a metaanalysis. *Psychosomatic Medicine*, 75(6), 575-580. <https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e31829b4525>
- Pilutti, L.A., Platta, M.E., Motl, R.W., & Latimer-Cheung, A.E. (2014). The safety of exercise training in multiple sclerosis: A systematic review. *Journal of neurological sciences*, 343 (1-2), 3-7. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2014.05.016>
- Pilutti, L.A., Sandroff, B.M., Klaren, R.E., Learmonth, Y.C., Platta, M.E., Hubbard, E.A., Stratton, M., & Molt, R. W. (2015). Physical fitness assessment across the disability spectrum in persons With Multiple Sclerosis: A comparison of testing modalities. *Journal of Neurological Physical Therapy*. 39 (4), 241-9. <https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000099>
- Platta, M.E., Ensari, I., Motl R.W., & Pilutti, L.A. (2016). Effect of exercise training on fitness in Multiple Sclerosis: A Meta-Analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 97 (9), 1564-1572. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.01.023>
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.01.023>

- Plummer, P., Brancato, B., Dantowitz, M., Birken, S., Bonke, C., & Furey, E. (2012). Effects of gait and cognitive task difficulty on cognitive-motor interference in aging. *Journal of Aging Research*, 2012, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2012/583894>
- Plummer, P., & Eskes, G. (2015). Measuring treatment effects on dual-task performance: a framework for research and clinical practice. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 1-7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00225>
- Prakash, R.S., Snook, E.M., Erickson, K.I., Colcombe, S.J., Voss, M.W., Molt, M.W., & Kramer, A.F. (2007). Cardiorespiratory fitness: A predictor of cortical plasticity in multiple sclerosis. *Neuroimage*, 34 (3), 1238-44. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.10.003>
- Raisi, Z., Faramarzi, M., Banitalebi, E., Samieyan, M. (2018). The effect of 12 weeks combined (Strength, endurance, pilates, PNF) exercise training on fibrin d-dimer (FDD) and interleukin-6 levels in female multiple sclerosis patients with different levels of disability. *Journal of Zanjan University of Medical Sciences and Health Services* 26 (116), 35-47.
- Ramdharry, G.M., Marsden, J.F., Day, B.L., & Thompson, A.J. (2006). Destabilizing and training effects of foot orthoses in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis*, 12 (2), 219–226. <https://doi.org/10.1191/135248506ms1266oa>
- Rankin, J.K., Woollacott, M.H., Shumway-Cook, A., & Brown, L.A. (2000). Cognitive influence on postural stability: a neuromuscular analysis in young and older adults. *Journal of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 55 (3), 112-119. <https://doi.org/10.1093/gerona/55.3.M112>
- Rao, S. (2004). Cognitive Function in Patients with Multiple Sclerosis: Impairment and Treatment. *International Journal of MS Care*, 1 (6), 9-22. <https://doi.org/10.7224/1537-2073-6.1.9>
- Reicker, L.I., Tombaugh, T.N., Walker, L., & Freedman, M.S. (2007). Reaction time: An alternative method for assessing the effects of multiple sclerosis on information processing speed. *Archives Clinical Neuropsychology*, 22 (5), 655–664. <https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.04.008>

- Robinson, A., Dennett, A., & Snowden, D. (2019). Treadmill training may be an effective form of task-specific training for improving mobility in people with Parkinson's disease and multiple sclerosis: a systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy*, 105 (2), 174-186. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2018.11.007>
- Rooney, S., Wood, L., Moffat, F., & Paul, L. (2019). Prevalence of fatigue and its association with clinical features in progressive and non-progressive forms of Multiple Sclerosis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 28, 276-282. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2019.01.011>
- Rossignol, S., Duboc, R., & Gossard, J. (2005). Dynamic sensorimotor interactions in locomotion. *Physiological Reviews*, 86 (1), 89-104. <https://doi.org/10.1152/physrev.00028.2005>
- Sabapathy, N., Minahan, C., Turner, G., & Broadley S. (2011) Comparing endurance and resistance exercise training in people with MS: a randomized pilot study. *Clin Rehabil* 25, 14–24. <https://doi.org/10.1177/0269215510375908>
- Safari, R., Van der Linden, M.L., & Mercer, T.H. (2017). Effect of exercise interventions on perceived fatigue in people with multiple sclerosis: synthesis of meta-analytic reviews. *Neurodegenerative Disease Management*, 7 (3), 219-230. <https://doi.org/10.2217/nmt-2017-0009>
- Sánchez-Lastra, M.A., Martínez-Aldaob, D., Molinac, A.J., Ayánd, C. (2019). Pilates for people with multiple sclerosis: A systematic review and metaanalysis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 28, 199-212. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2019.01.006>
- Sandroff, B.M., Dlugonsky, D., Weikert, M., Suh, Y., Balantrapu, S., & Molt, R. (2012). Physical activity and multiple sclerosis: new insights regarding inactivity. *Acta Neurologica Scandinavica*, 126 (4), 256-262. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.2011.01634.x>
- Sandroff, B.M., Pilutti, L.A., Benedict, R.H., & Motl, R.W. (2015). Association between physical fitness and cognitive function in multiple sclerosis: does

- disability status matter? *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 29 (3), 214-23.
<https://doi.org/10.1177/1545968314541331>
- Sandroff, B.M., Sosnoff, J.J., & Motl, R.W. (2013). Physical fitness, walking performance, and gait in multiple sclerosis. *Journal of neurological sciences*. 328, (1-2), 70-76. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2013.02.021>
- Sakakibara, R. (2018). Neurogenic lower urinary tract dysfunction in multiple sclerosis, neuromyelitis optica, and related disorders. *Clinical Autonomic Research*. 60, 1-8.
- Schluter, N.D., Rushworth, M.F., Passingham, R.E., & Mills, K.R. (1998). Temporary interference in human lateral premotor cortex suggests dominance for the selection of movements. A study using transcranial magnetic stimulation. *Brain*, 121, 785- 799. <https://doi.org/10.1093/brain/121.5.785>
- Schniepp, R., Wuehr, M., Huth, S., Pradhan, C., Brand, T., & Jahn, K. (2014). Gait characteristics of patient with phobic postural vértigo: effects of fear of falling, attention and visual input. *Journal Neurology*, 261 (4), 738-746.
<https://doi.org/10.1007/s00415-014-7259-1>
- Schwartzmann, L. (2003). Calidad de vida relacionada con la salud: Aspectos conceptuales. *Ciencia y enfermería*, 9 (2), 9-21. <https://doi.org/10.4067/S0717-95532003000200002>
- Shakespeare, D.T., Boggild, M., & Young, C. (2003). Anti-spasticity agents for multiple sclerosis. *Cochrane database of systematic reviews*, 4, 1-16.
<https://doi.org/10.1002/14651858.CD001332>
- Sheridan, P.L., & Hausdorff, J.M. (2007). The role of higherlevel cognitive function in gait: Executive dysfunction contributes to fall risk in Alzheimer's disease. *Dementia Geriatric Cognitive Disorder*, 24, 125–137.
<https://doi.org/10.1159/000105126>
- Shumway-cook, A., & Woollacott, M.H. (2007). *Motor control. Translating Research into a clinical practice. Theory and Practical applications*. 3º Ed. United States of America: Lippincott Williams & Wilkins.

- Shutterland, D. (1984). *Gait disorders in childhood and adolescence*. Baltimore. Williams & Wilkins.
- Sibella, F., Galli, M., Romei, M., Montesano, A., Crivellini, M. (2003). Biomechanical analysis of sit-to-stand movement in normal and obese subjects. *Clinical biomechanics*, 18 (8), 745-750. [https://doi.org/10.1016/S0268-0033\(03\)00144-X](https://doi.org/10.1016/S0268-0033(03)00144-X)
- Spooren, A., Timmermans, A., & Seelen, H. (2012). Motor training programs of arm and hand in patients with MS according to different levels of the ICF: a systematic review. *BMC Neurology*. 12 (49), 1-11. <https://doi.org/10.1186/1471-2377-12-49>
- Sosnoff, J., Boes, M.K., Sandroff, B., Socie, M.J., Pula, J., & Motl, R.W. (2011b). Walking and thinking in persons with multiple sclerosis who vary in disability, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 92 (12), 2028–2033. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2011.07.004>
- Sosnoff, J.J., Gappmaier, E., Frame, A., & Motl, R.W. (2011). Influence of spasticity on mobility and balance in persons with multiple sclerosis. *Journal Neurologic Physical Therapy*, 35 (3), 129–32. <https://doi.org/10.1097/NPT.0b013e31822a8c40>
- Stoquart- ElSankari, S., Bottin, C., Roussel- Pieronne, M & Godefroy, O. (2010). Motor and cognitive slowing in multiple sclerosis: An attentional deficit?. *Clinical Neurology and Neurosurgery*. 112 (3), 226-232. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2009.11.017>
- Straudi, S., Martinuzzi, C., Pavarelli, C., Sabbagh Charabati, A., Benedetti, M.G., Foti, C., Bonato, M., Zancato, E., & Basaglia, N. (2014). A task-oriented circuit training in multiple sclerosis: a feasibility study. *BMC Neurology*. 14, (124), 1-9. <https://doi.org/10.1186/1471-2377-14-124>
- Stevermer, C.A., & Gillette, J.C. (2016). Kinematic and Kinetic Indicators of Sit-to-Stand. *Journal of Applied Biomechanics*, 32 (1), 7-15. <https://doi.org/10.1123/jab.2014-0189>

- Stuifbergen, A.K., & Roberts, G.J. (1997). Health promotion practices of women with multiple sclerosis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 78 (12), 3-9. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(97\)90215-X](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(97)90215-X)
- Tarakci, E., Yeldan, I., Huseyinsinoglu, B., Zenginler, Y., & Eraksoy, M. (2013). Group exercise training for balance, functional status, spasticity, fatigue and quality of life in multiple sclerosis: A randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 27 (9), 813-822. <https://doi.org/10.1177/0269215513481047>
- Torrades- Oliva, S. (2004). Esclerosis múltiple y otras enfermedades desmielinizantes. Factores de riesgo ambientales y genético. *Offarm*, 23 (11), 86-90.
- Van der Kamp, J., Rivas, F., Van Doorn, H., & Savelsbergh, G. (2008). Ventral and dorsal system contributions to visual anticipation in fast ball sports. *International Journal Sport Psychology*. 39 (2), 100-130.
- Vermersch, P. (2014). MObility ImproVEment with spasticity in multiplesclerosis in Europe: The MOVE 1 EU study. *Neurodegenerative DiseaseManagement*, 4, 407-415. <https://doi.org/10.2217/nmt.14.44>
- Wajda, D.A., Motl, R.W., & Sosnoff, J.J. (2013). Dual task cost of walking is related to fall risk in persons with multiple sclerosis. *Journal Neurology Science*, 335 (1), 160-163. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2013.09.021>
- Wajda D.A., & Sosnoff, J.J. (2015) Cognitive-motor interference in multiple sclerosis: a systematic review of evidence, correlates, and consequences. *Biomed Reserch International*. 2015, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2015/720856>
- Wens, I., Dalgas, U., Vandemabeele, F., Krekels, M., Grevendonk, L., & Eijnde, B.O. (2014). Multiple sclerosis affects skeletal muscle characteristics. *Plos One*, 9 (9), 1-5. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108158>
- Weinshenker, B.G. (1995). The natural historiy of multiple sclerosis. *Neurological Clinical*, 13 (1), 119-165. [https://doi.org/10.1016/S0733-8619\(18\)30064-1](https://doi.org/10.1016/S0733-8619(18)30064-1)

- White, L.J., & Dressendorfer, R.H. (2004). Exercise and multiple sclerosis. *Sport Medicine*, 34 (15), 1077-1100. <https://doi.org/10.2165/00007256-200434150-00005>
- Winter, D. (1991). *The biomechanics and motor control of human gait: Normal, elderly and pathological*. Ontario. University of Waterloo Press.
- Wood, G.A., & Jennings, S.L. (1979). On the use of spline functions for data smoothing. *Journal of Biomechanics*, 12, 477-479. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(79\)90033-2](https://doi.org/10.1016/0021-9290(79)90033-2)
- Wolkorte, R., Dorothea, J., Heersema, M., & Zijdwind, I. (2015). Reduced Dual Task Performance in MS Patients Is Further Decreased by Muscle Fatigue. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 29 (5), 424-435. <https://doi.org/10.1177/1545968314552529>
- Woollacott, M., & Shumway-Cook, A. (2002). Attention and the control of posture and gait: a review of an emerging area of research. *Gait & Posture*, 16 (1), 1-14. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(01\)00156-4](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(01)00156-4)
- Wynia, K., Middel, B., Van Dijk, J.P., De Keyser, J.H.A., & Reijnenveld, S.A. (2008). The impact of disabilities on quality of life in people with multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis*, 14 (7), 972- 980. <https://doi.org/10.1177/1352458508091260>
- Yahia, A., Ghroubi, S., Mhiri, C., & Elleuch, M.H., (2011). Relationship between muscular strength, gait and postural parameters in multiple sclerosis. *Journal Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 54(3), 144-155. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2011.02.004>
- Yogev-Seligmann, G., Hausdorff, J.M., & Giladi, N. (2012) Do we always prioritize balance when walking? Towards an integrated model of task prioritization. *Movement Disorders*, 27, (6) 765-770. <https://doi.org/10.1002/mds.24963>
- Zatsiorsky, V. M., & Seluyanov, V. N. (1985). Estimation of the mass and inertia characteristics of the human body by means of the best predictive regressions equations. En Winter, D y col (Eds): *Biomechanics IX-B* (233-239). Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois.



7. ANEXOS

ANEXO I

PROGRAMA DETALLADO DE ENTRENAMIENTO COMBINADO

PROGRAMA ENTRENAMIENTO COMBINADO
FASE I: Calentamiento (5 min)
Desplazamientos y ejercicios de movilidad articular combinados con tareas de atención dividida por parejas o grupales en los que debían de mantener la atención a diferentes estímulos externos además de andar, correr o realizar cualquier movimiento articular que se requiriera.
FASE II: Fuerza dinámica y estática (20 min)
Entrenamiento A: Trabajo de la fuerza con el propio peso, sobrecargas ligeras con series entre 2-3 y repeticiones entre 12-14 utilizando máquinas, bandas elásticas o balones medicinales (2-5 kg). Trabajo de la fuerza a través de actividades de propiocepción y disequilibrios de forma autónoma mediante fitball, TRX o plataformas inestables. Entrenamiento B: Trabajo de la fuerza con el propio peso, sobrecargas ligeras con series entre 2 a 3 y repeticiones entre 10-12 utilizando máquinas, bandas elásticas o balones medicinales (0,5-3 kg). Trabajo de fuerza a través de actividades de propiocepción sin plataformas inestables utilizando los disequilibrios del propio cuerpo al cerrar los ojos o al ponerse a una pierna además de trabajos con fitball y TRX con supervisión. Entrenamiento C: Trabajo de la fuerza con el propio peso y sobrecargas ligeras con series entre 2 a 3 y repeticiones de 10, adaptando los descansos a la necesidad de cada participante. Las actividades se realizaron mediante bandas elásticas en su mayoría y mancuernas, tanto en bipedestación como sentados, siempre con supervisión. El trabajo de fuerza a través de propiocepción se realizaba sin plataformas inestables y siempre con apoyo de entrenador. El trabajo de fitball se realizaba desde sentado o tumbado en el suelo para trabajar en su mayoría miembros inferiores y abdominales.
FASE III: Tareas duales y atención (20 min)
Entrenamiento A: Sobre cinta rodante, durante 15 minutos, el participante caminaba a paso ligero o corría estando atento a la secuencia de luces que aparecían en dos semáforos instalados enfrente, debiendo activar rápidamente el pulsador o decir algo en concreto dependiendo del

color que apareciera llegando a un máximo de tres opciones, el sistema informaba de su velocidad de reacción y de sus errores, dicho ejercicio cambiaba de dinámica para que no fuera repetitivo. Además se realizaron actividades simultaneas en plataformas inestables tales como equilibrio sobre plataforma y pase de balón por parejas entre otras.

Entrenamiento B: Sobre cinta rodante, durante 10 minutos, el participante caminaba a paso ligero estando atento a la secuencia de luces que aparecían en dos semáforos instalados enfrente, debiendo activar rápidamente el pulsador o decir algo en concreto dependiendo del color que apareciera llegando a un máximo de dos opciones, el sistema informaba de su velocidad de reacción y de sus errores. Además se realizaron actividades simultaneas desde bipedestación.

Entrenamiento C: Sobre cinta rodante, durante 10 minutos, el participante caminaba al ritmo que fuera capaz y con dos barandillas a los lados para poder sostenerse, debía estar atento a la secuencia de luces que aparecían los dos semáforos, debiendo activar rápidamente el pulsador o decir algo en concreto dependiendo del color que apareciera llegando a un máximo de dos opciones, el sistema informaba de su velocidad de reacción y de sus errores. Además se realizaron actividades simultaneas desde sentado.

FASE IV: Estiramientos (5 min)

ANEXO II:

CUESTIONARIO DE CALIDAD DE VIDA WHOQOL- BREF

Este cuestionario sirve para conocer su opinión acerca de su calidad de vida, su salud y otras áreas de su vida. Por favor, conteste a todas las preguntas. Si no está seguro qué respuesta dar a una pregunta, escoja la que le parezca más apropiada.

Tenga presente su modo de vivir, expectativas, placeres y preocupaciones. Le pedimos que piense en su vida durante las últimas dos semanas.

Por favor lea cada pregunta, valore sus sentimientos y haga un círculo en el número de la escala de cada pregunta que sea su mejor respuesta.

1. ¿Cómo puntuaría su calidad de vida?

Muy mal	Poco	Lo normal	Bastante Bien	Muy bien
1	2	3	4	5

2. ¿Cuán satisfecho está con su salud?

Muy insatisfecho	Poco	Lo normal	Bastante satisfecho	Muy satisfecho
1	2	3	4	5

Las siguientes preguntas hacen referencia a cuánto ha experimentado ciertos hechos en las últimas dos semanas

3. ¿Hasta qué punto piensa que el dolor (físico) le impide hacer lo que necesita?

Nada	Un poco	Lo normal	Bastante	Extremadamente
1	2	3	4	5

4. ¿Cuánto necesita de cualquier tratamiento médico para funcionar en su vida diaria?

Nada	Un poco	Lo normal	Bastante	Extremadamente
1	2	3	4	5

5. ¿Cuánto disfruta de la vida?

Nada	Un poco	Lo normal	Bastante	Extremadamente
1	2	3	4	5

6. ¿Hasta qué punto siente que su vida tiene sentido?

Nada	Un poco	Lo normal	Bastante	Extremadamente
1	2	3	4	5

7. ¿Cuál es su capacidad de concentración?

Nada	Un poco	Lo normal	Bastante	Extremadamente
1	2	3	4	5

8. ¿Cuánta seguridad siente en su vida diaria?

Nada	Un poco	Lo normal	Bastante	Extremadamente
1	2	3	4	5

9. ¿Cuán saludable es el ambiente físico a su alrededor?

Nada	Un poco	Lo normal	Bastante	Extremadamente
1	2	3	4	5

Las siguientes preguntas hacen referencia a “cuán totalmente” usted experimenta o fue capaz de hacer ciertas cosas en las últimas dos semanas.

10. ¿Tiene energía suficiente para su vida diaria?

Nada	Un poco	Moderado	Bastante	Totalmente
1	2	3	4	5

11. ¿Es capaz de aceptar su apariencia física?

Nada	Un poco	Moderado	Bastante	Totalmente
1	2	3	4	5

12. ¿Tiene suficiente dinero para cubrir sus necesidades?

Nada	Un poco	Moderado	Bastante	Totalmente
1	2	3	4	5

13. ¿Qué disponible tiene la información que necesita en su vida diaria?

Nada	Un poco	Moderado	Bastante	Totalmente
1	2	3	4	5

14. ¿Hasta qué punto tiene oportunidad para realizar actividades de ocio?

Nada	Un poco	Moderado	Bastante	Totalmente
1	2	3	4	5

15. ¿Es capaz de desplazarse de un lugar a otro?

Nada	Un poco	Lo normal	Bastante	Extremadamente
------	---------	-----------	----------	----------------

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Las siguientes preguntas hacen referencia a “cuán satisfecho o bien” se ha sentido en varios aspectos de su vida en las últimas dos semanas.

16. ¿Cuán satisfecho está con su sueño?

Nada	Poco	Lo normal	Bastante satisfecho	Muy satisfecho
1	2	3	4	5

17. ¿Cuán satisfecho está con su habilidad para realizar sus actividades de la vida diaria?

Nada	Poco	Lo normal	Bastante satisfecho	Muy satisfecho
1	2	3	4	5

18. ¿Cuán satisfecho está con su capacidad de trabajo?

Nada	Poco	Lo normal	Bastante satisfecho	Muy satisfecho
1	2	3	4	5

19. ¿Cuán satisfecho está de sí mismo?

Nada	Poco	Lo normal	Bastante satisfecho	Muy satisfecho
1	2	3	4	5

20. ¿Cuán satisfecho está con sus relaciones personales?

Nada	Poco	Lo normal	Bastante satisfecho	Muy satisfecho
1	2	3	4	5

21. ¿Cómo de satisfecho está con su vida sexual?

Nada	Poco	Lo normal	Bastante satisfecho	Muy satisfecho
1	2	3	4	5

22. ¿Cómo de satisfecho está con el apoyo que obtiene de sus amigos?

Nada	Poco	Lo normal	Bastante satisfecho	Muy satisfecho
1	2	3	4	5

23. ¿Cómo de satisfecho está de las condiciones del lugar donde vive?

Nada	Poco	Lo normal	Bastante satisfecho	Muy satisfecho
1	2	3	4	5

24. ¿Cómo de satisfecho está con el acceso que tiene a los servicios sanitarios?

Nada	Poco	Lo normal	Bastante satisfecho	Muy satisfecho
1	2	3	4	5

25. ¿Cómo de satisfecho está con su transporte?

Nada	Un poco	Lo normal	Bastante	Extremadamente
1	2	3	4	5

La siguiente pregunta hace referencia a la frecuencia con que Ud. ha sentido o experimentado ciertos sentimientos en las últimas dos semanas.

26. ¿Con que frecuencia tiene sentimientos negativos, tales como tristeza, desesperanza, ansiedad, depresión?

Nunca	Raramente	Medianamente	Frecuentemente	Siempre
1	2	3	4	5

GRACIAS POR VUESTRA COLABORACIÓN

ANEXO III

ESCALA DE SEVERIDAD DE LA FATIGA (FSS).

ESCALA DE LA SEVERIDAD DE LA FATIGA

Durante la pasada semana he encontrado que:	Completamente en desacuerdo			Ni de acuerdo ni en desacuerdo			Completamente de acuerdo
1. Mi motivación es menor cuando estoy fatigado	1	2	3	4	5	6	7
2. El ejercicio me hace que este fatigado.	1	2	3	4	5	6	7
3. Me fatigo fácilmente	1	2	3	4	5	6	7
4. La fatiga interfiere en mi funcionamiento físico.	1	2	3	4	5	6	7
5. La fatiga me causa problemas frecuentemente.	1	2	3	4	5	6	7
6. La fatiga me impide un funcionamiento físico prolongado.	1	2	3	4	5	6	7
7. La fatiga interfiere en llevar a cabo algunas labores y responsabilidades.	1	2	3	4	5	6	7
8. La fatiga está entre uno de los síntomas que más me invalidan.	1	2	3	4	5	6	7
9. La fatiga interfiere en mi trabajo, familia y vida social.	1	2	3	4	5	6	7

ANEXO IV

PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS DOCTORAL.

- 1.- **Gutiérrez-Cruz, C.**, Miangolarra Pagea, J.C. Rojas Ruiz, F.J. (2016) Effect Of Dual-Task-Induced Uncertainty On Gait Biomechanics In Patients With Multiple Sclerosis With 2–6.5 EDSS Grade. *Gait & Posture*, 49, 30–35
- 2.- **Gutiérrez-Cruz, C.**, Rojas Ruiz, F.J. De la Cruz-Márquez, J.C., Gutiérrez-Dávila, M. (2018) Effects Of Concurrent Discrimination Tasks On Gait In Healthy Subjects. *European Journal of Human Movement*, 40, 1-14
- 3.- **Gutiérrez Cruz, C.** De la Cruz Márquez, J.C., Rojas Ruiz, F.J., Gutiérrez Dávila, M. (2019) Effects Of Deficit Of Strengt In The Sit-To-Stand Task In People With Multiple Sclerosis. *European Journal of Human Movement*, 42, 1-14
- 4.- **Gutiérrez Cruz, C.** Rojas Ruiz, F.J., De la Cruz Márquez, J.C., Gutiérrez Dávila, M. (2019) Dual-Task Cost of Discrimination Tasks During Gait in People With Multiple Sclerosis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* (en prensa)
- 5.- **Gutiérrez Cruz, C.** Rojas Ruiz, F.J., De la Cruz Márquez, J.C., Gutiérrez Dávila, M. (2019) Effect of a dual-task training program combining strength and coordination tasks in multiple sclerosis people. *The Journal Of Sports Medicine And Physical Fitness*, (en revisión).

