



Mejora del rendimiento de la marcha tras entrenamiento de fuerza con bandas elásticas en personas con esclerosis múltiple: ensayo piloto aleatorizado

Improvement in walking performance following elastic resistance training in people with multiple sclerosis: a randomized pilot trial

Autores

Cristina Casanova García ¹
Laura de Armas Rillo ¹
Fernando Hernández-Abad de la Cruz ²

¹ Universidad Europea de Canarias (España)

² Fútbol Club Barcelona (España)

Autor de correspondencia:
Cristina Casanova García
cristina.casanova@universidadeuropea.es

Recibido: 10-04-26

Aceptado: 30-05-26

Cómo citar en APA

Casanova García, C., De Armas Rillo, L., & Hernández-Abad de la Cruz, F. (2026). Mejora del rendimiento de la marcha tras entrenamiento de fuerza con bandas elásticas en personas con esclerosis múltiple: ensayo piloto aleatorizado. *Retos*, 83, 371-389. <https://doi.org/10.47197/retos.v83.119222>

Resumen

Introducción: La esclerosis múltiple se asocia a alteraciones motoras y limitaciones en la marcha que comprometen la autonomía funcional, con escasa evidencia sobre intervenciones de fuerza accesibles centradas en la deambulación.

Objetivo: Evaluar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza con bandas elásticas sobre el rendimiento de la marcha, objetivo y percibido, en personas con esclerosis múltiple.

Metodología: Ensayo piloto aleatorizado y controlado de 12 semanas en 21 personas con esclerosis múltiple (grupo experimental, n = 12; grupo control, n = 9). El grupo experimental realizó un programa progresivo de fuerza con bandas elásticas (2-3 sesiones/semana); el control mantuvo su actividad habitual. La marcha se evaluó en la línea base y a las 4, 8 y 12 semanas mediante el T25FW y la escala MSWS-12.

Resultados: Ambos grupos mostraron homogeneidad basal (edad media: 49,7 ± 10,45 años; EDSS: 4,19 ± 1,48). En el grupo experimental, el tiempo en el T25FW disminuyó de forma clínicamente significativa de 8,1 s (IC 95%: 6,9-9,2) en PRE a 5,6 s (IC 95%: 4,7-6,5) en POST, sin solapamiento entre los intervalos de confianza. Asimismo, se observó una clara tendencia de mejora en la percepción subjetiva de la marcha (MSWS-12: de 34,6 % a 25,9 %). Por el contrario, el grupo control no experimentó cambios estadísticamente significativos en ninguna de las variables.

Discusión: Los resultados respaldan el potencial del entrenamiento con bandas elásticas como intervención accesible para mejorar la marcha en esclerosis múltiple.

Conclusiones: El entrenamiento de fuerza con bandas elásticas mejora el rendimiento de la marcha y constituye una estrategia eficaz, segura y de bajo coste en el entrenamiento de personas con esclerosis múltiple.

Palabras clave

Bandas elásticas.; deambulación.; entrenamiento de fuerza.; esclerosis múltiple.

Abstract

Introduction: Multiple sclerosis is associated with motor impairments and walking limitations that compromise functional autonomy, with limited evidence on accessible strength-based interventions specifically targeting ambulation.

Objective: To evaluate the effects of an elastic resistance training program on both objective and perceived walking performance in people with multiple sclerosis.

Methodology: A 12-week randomized controlled pilot trial was conducted with 21 participants with multiple sclerosis (experimental group, n = 12; control group, n = 9). The experimental group performed a progressive elastic resistance training program (2-3 sessions/week); the control group maintained their usual activities. Walking performance was assessed at baseline and at 4, 8, and 12 weeks using the T25FW and the MSWS-12 scale.

Results: Both groups showed baseline homogeneity (mean age: 49.7 ± 10.45 years; EDSS: 4.19 ± 1.48). In the experimental group, T25FW time decreased in a clinically significant manner from 8.1 s (95% CI: 6.9-9.2) at PRE to 5.6 s (95% CI: 4.7-6.5) at POST, with no overlap between the confidence intervals. Likewise, a clear improving trend was observed in the subjective perception of walking (MSWS-12: from 34.6% to 25.9%). In contrast, the control group did not show statistically significant changes in either variable.

Discussion: The findings support the potential of elastic resistance training as an accessible intervention to improve walking in multiple sclerosis.

Conclusions: Elastic strength training improves walking performance and represents an effective, safe, and low-cost strategy in the training of people with multiple sclerosis.

Keywords

Elastic bands; gait; multiple sclerosis.; strength training.

Introducción

La esclerosis múltiple (EM) es una enfermedad inflamatoria crónica del sistema nervioso central caracterizada por procesos de desmielinización y degeneración axonal, que se manifiestan con alteraciones motoras, fatiga y deterioro funcional (Dalgas et al., 2009; Kjølhede et al., 2015). Con una prevalencia estimada superior a 2,8 millones de personas en todo el mundo —cifra que ha aumentado un 30% en la última década—, la EM constituye la principal causa de discapacidad neurológica no traumática en adultos jóvenes (Walton et al., 2020). Entre sus principales manifestaciones clínicas, la alteración de la marcha es especialmente prevalente: aparece en más del 75% de las personas con EM a lo largo de la enfermedad y en más del 90% tras diez años de evolución (Kister et al., 2013). Esta alteración no se limita a la movilidad: las personas con EM y dificultades para la deambulación presentan tasas de desempleo más elevadas, mayor restricción en la participación social y una calidad de vida relacionada con la salud significativamente inferior a la de aquellas sin afectación ambulatoria (Serrazina et al., 2022).

El ejercicio físico ha demostrado ser una intervención segura y eficaz en el manejo de la EM, con efectos positivos sobre la movilidad, la fatiga y la calidad de vida (Heine et al., 2015; Latimer-Cheung et al., 2013). En particular, el entrenamiento de fuerza se ha asociado con mejoras en la capacidad funcional, el equilibrio y el rendimiento de la marcha (Jørgensen et al., 2017; Manca et al., 2019). Además, el entrenamiento progresivo de resistencia puede inducir adaptaciones neuromusculares relevantes que contribuyen a mejorar el control motor (Kjølhede et al., 2015). En este sentido, una dosificación adecuada de la frecuencia e intensidad del entrenamiento de fuerza —con incrementos progresivos similares a los descritos en revisiones recientes sobre rehabilitación en poblaciones clínicas (Tauda Tauda et al., 2024)— resulta clave para optimizar los beneficios funcionales sin comprometer la seguridad de la intervención.

No obstante, muchas intervenciones requieren equipamiento específico o entornos especializados, lo que limita su accesibilidad. En este contexto, el entrenamiento con bandas elásticas representa una alternativa de bajo coste, portátil y fácilmente implementable. A pesar de ello, la evidencia sobre su impacto específico en la marcha en personas con EM es aún limitada.

Por tanto, el objetivo de este estudio fue analizar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza con bandas elásticas durante 12 semanas sobre el rendimiento de la marcha, tanto objetivo como percibido, en personas con EM. Se planteó la hipótesis de que la intervención produciría mejoras significativas en ambas variables.

Método

Se realizó un ensayo piloto aleatorizado y controlado de 12 semanas de duración y seguimiento, aprobado por el CEIm del Hospital Universitario de Getafe con número de aprobación 24/70, en el que participaron 21 personas con diagnóstico de EM, reclutadas a través de la Asociación Tinerfeña de Esclerosis Múltiple.

Participantes

Los criterios de inclusión fueron: (a) edad igual o superior a 18 años; (b) diagnóstico confirmado de esclerosis múltiple; (c) capacidad de deambulación independiente de al menos 7,5 metros; y (d) puntuación en la escala EDSS igual o inferior a 6,0.

Los criterios de exclusión fueron: (a) recaída clínica en los seis meses previos al inicio del estudio; (b) embarazo en el momento del reclutamiento; (c) obesidad, diabetes mellitus o riesgo cardiovascular elevado; y (d) participación simultánea en otro programa de entrenamiento o readaptación física.

Todas las personas que participaron firmaron un consentimiento informado.

Asignación

La asignación de los participantes se realizó mediante aleatorización simple, utilizando una secuencia generada aleatoriamente a través de la herramienta online random.org. La secuencia fue generada y

aplicada por el investigador principal previamente al inicio de la intervención, asignando a cada participante, de forma individual y sucesiva, al Grupo Experimental (GE; $n = 12$) o al Grupo Control (GC; $n = 9$).

Intervención

El grupo experimental participó en un programa de entrenamiento de fuerza progresivo con bandas elásticas durante 12 semanas, diseñado específicamente para mejorar la función de la marcha mediante el fortalecimiento de la musculatura implicada en la locomoción.

El programa se centró en el entrenamiento de los principales grupos musculares de los miembros inferiores relacionados con la marcha, con especial interés en los flexores y rotadores externos de cadera, dada su relevancia en la propulsión, estabilidad y control durante la marcha.

Protocolo

Cada sesión tuvo una duración aproximada de 40 minutos e incluyó 4 ejercicios: Rugby Squat (Figura 1), ejercicio que constituye una triple extensión con vectorización diagonal desde abajo y Salida Lateral (Figura 2) con banda elástica, y Flexión de Cadera (Figura 3) y Clamshell (Figura 4) con mini banda.

Figura 1. Fase inicial y fase final de la ejecución del rugby squat.

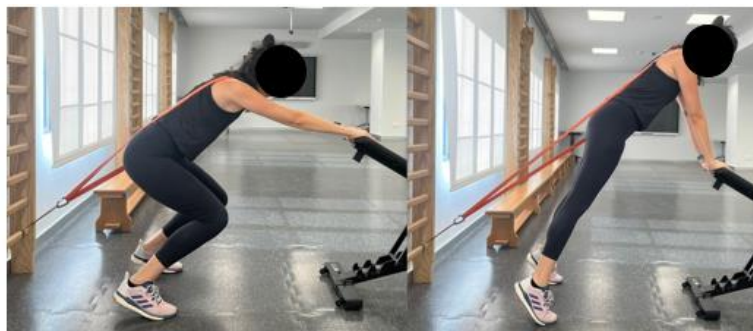


Figura 2. Fase inicial y fase final de la ejecución de la salida lateral del lado izquierdo.



Figura 3. Fase inicial y fase final de la ejecución de la flexión de cadera derecha.



Figura 4. Fase inicial y fase final de la ejecución del clamshell con separación del lado derecho.



El volumen de entrenamiento se estructuró en 4 series de 10 repeticiones para el rugby squat y 4 series de 10 repeticiones de las salidas laterales por cada lado. 3 series de 10 repeticiones por cada lado para el clamshell. Y 3 series de 6 repeticiones por cada lado para la flexión de cadera. Se ajustaron descansos de 2 minutos entre series, y de 3-5 minutos entre ejercicios.

La intensidad de la carga se controló mediante el uso de bandas elásticas de musculación de resistencia progresiva marca Domyos® amarilla de 20 kg. el primer mes, naranja de 30 kg. el segundo mes y roja de 40 kg. el tercer mes.

La frecuencia de entrenamiento fue de dos sesiones semanales durante el primer mes y de tres sesiones semanales durante los dos meses restantes, con el objetivo de favorecer una adaptación progresiva al estímulo de entrenamiento.

Todas las sesiones fueron supervisadas por profesionales cualificados en actividad física y deportes. La adherencia se registró como el porcentaje de sesiones completadas respecto al total programado. Se consideró adherencia adecuada la participación en al menos el 80% de las sesiones.

El grupo control mantuvo su actividad habitual durante el periodo de estudio, sin recibir intervención específica. Tras la finalización del estudio, se les ofreció la posibilidad de participar en el programa de entrenamiento.

Variables e instrumentos de medida

Las variables principales de interés fueron el rendimiento de la marcha, evaluado mediante medidas objetivas y subjetivas, con el objetivo de obtener una valoración integral de la capacidad de deambulación en personas con esclerosis múltiple.

El rendimiento objetivo de la marcha se evaluó mediante la prueba Timed 25-Foot Walk (T25FW), una medida ampliamente utilizada y validada en población con esclerosis múltiple, incluida dentro del Multiple Sclerosis Functional Composite (MSFC), que permite cuantificar la velocidad de la marcha en distancias cortas y detectar cambios clínicamente relevantes (Fischer et al., 1999; Learmonth et al., 2014).

Por su parte, el rendimiento percibido de la marcha se evaluó mediante la Multiple Sclerosis Walking Scale-12 (MSWS-12), un cuestionario específico y validado que mide el impacto de la enfermedad sobre la capacidad de deambulación desde la perspectiva del propio paciente, proporcionando información relevante sobre la limitación funcional en la vida diaria (Hobart et al., 2003).

Ambas variables fueron registradas en cuatro momentos temporales: antes del inicio de la intervención (pre), al mes (post 1), a los dos meses (post 2) y al finalizar el programa (post 3). Todas las evaluaciones fueron realizadas por evaluadores entrenados y cegados a la asignación de los participantes, con el fin de reducir el riesgo de sesgo de medición y garantizar la fiabilidad de los datos obtenidos.

Análisis de datos

Se realizó un análisis descriptivo de las variables sociodemográficas y clínicas basales, incluyendo el cálculo del coeficiente de variación ($CV = DE/media \times 100$) de la edad para valorar la homogeneidad interna de cada grupo, considerando valores por debajo del 25% como indicativos de una dispersión aceptable. Para las variables de la marcha (T25FW y MSWS-12) se calcularon los estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, mínimo, máximo y cuartiles) por grupo y momento de evaluación. Dado el tamaño muestral reducido, que compromete el cumplimiento de los supuestos de normalidad exigidos por las pruebas paramétricas clásicas y aumenta la sensibilidad de los estadísticos a valores extremos, la estabilidad de las medias se estimó mediante un procedimiento de remuestreo bootstrap, calculando intervalos de confianza al 90%, 95% y 99% para cada grupo, variable y momento de evaluación. Todo el análisis de datos, incluyendo el cálculo del coeficiente de variación, los estadísticos descriptivos y el remuestreo bootstrap, se realizó con el lenguaje de programación Python v3.12.

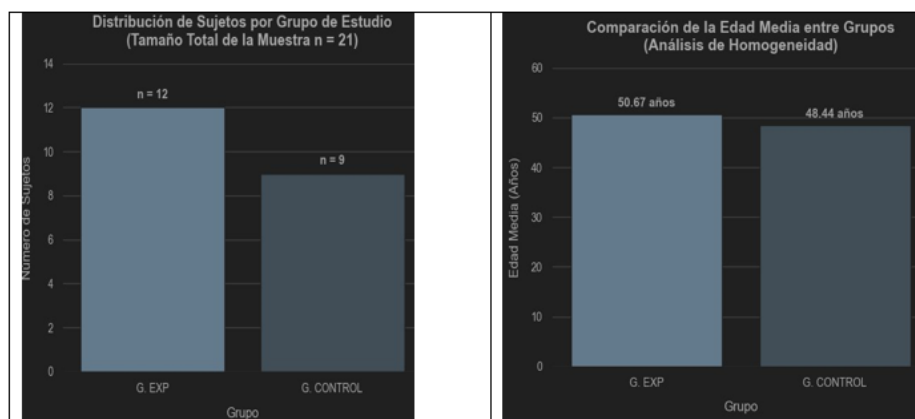
Resultados

Ambos grupos presentaron una elevada homogeneidad en sus características basales. La edad media del Grupo Experimental fue de $50,67 \pm 9,63$ años ($CV = 19\%$), mientras que la del Grupo Control fue de $48,44 \pm 11,62$ años ($CV = 24\%$), confirmando la equivalencia basal entre ambos grupos ($CV < 25\%$). La puntuación media en la escala EDSS al inicio fue de $4,19 \pm 1,48$.

En el rendimiento objetivo de la marcha (T25FW), el Grupo Experimental mostró una reducción progresiva y estadísticamente consistente en el tiempo de ejecución, pasando de una media basal de $7,78 \pm 1,98$ s a $5,61 \pm 1,12$ s al finalizar la intervención (POST3). Las estimaciones mediante remuestreo bootstrap (IC 95%) respaldaron esta mejora, situando la media en 8,1 s (IC 95%: 6,9 – 9,2) en PRE y en 5,6 s (IC 95%: 4,7 – 6,5) en POST3, sin solapamiento entre los intervalos basales y finales. Por el contrario, el Grupo Control se mantuvo estable sin cambios significativos ($11,18 \pm 8,72$ s en PRE vs. $11,04 \pm 9,21$ s en POST3; IC 95% bootstrap: 8,0 – 11,5 s).

Respecto a la percepción subjetiva de la marcha (MSWS-12), el Grupo Experimental registró una trayectoria descendente en la puntuación percibida, evolucionando de un $35,65 \pm 16,44\%$ en la evaluación basal a un $30,31 \pm 16,92\%$ en POST3 (alcanzando su punto mínimo en POST2 con $29,23 \pm 18,11\%$), mostrando una tendencia favorable. El Grupo Control, por su parte, mostró estabilidad con una ligera tendencia al incremento en el impacto percibido ($52,36 \pm 30,17\%$ en PRE frente a $55,10 \pm 25,97\%$ en POST3).

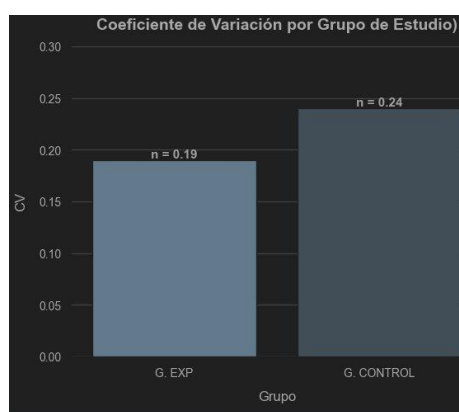
Figura 5. Distribución muestral por grupo de estudio y comparación de la edad cronológica media.



Nota: Datos representados de manera comparativa para evaluar la equivalencia basal de los grupos en el momento de la inclusión. A pesar de la ligera asimetría en el tamaño de las muestras (12 sujetos experimentales frente a 9 de control), las medias de edad demuestran que las poblaciones son altamente comparables desde una perspectiva cronológica. Este equilibrio resulta crítico en el análisis de datos para asegurar la validez interna del estudio del rendimiento motor y la marcha.

El Coeficiente de Variación (CV) (Figura 6) se empleó como complemento a la desviación típica, dado que esta última no permite comparaciones equitativas cuando las magnitudes difieren entre grupos. Al expresar la variabilidad como un porcentaje relativo a la media, el CV proporciona una métrica estandarizada y adimensional que permite evaluar la homogeneidad interna de cada grupo con independencia de la escala de medida. Este análisis resulta relevante desde el punto de vista metodológico por dos motivos: permite clasificar la dispersión de los datos como baja ($CV < 15\%$), moderada o alta, definiendo el grado de consistencia del grupo evaluado; y actúa como indicador de control de calidad, posibilitando la detección de una heterogeneidad excesiva que pudiera enmascarar los efectos reales del tratamiento en los contrastes de hipótesis.

Figura 6: Comparación del Coeficiente de Variación (CV) de la edad basal entre el Grupo Experimental y el Grupo de Control.



Nota: El gráfico presenta de forma comparativa la dispersión relativa de la edad al inicio del estudio para ambos grupos. El Grupo Experimental muestra una variabilidad interna menor ($CV = 0.19$ o 19%) en comparación con el Grupo de Control ($CV = 0.24$ o 24%). Esta diferencia indica que, aunque las edades medias están equilibradas, el grupo de control presenta una dispersión ligeramente superior en la distribución cronológica de sus participantes. Ambas métricas se mantienen por debajo del umbral crítico del 25%, lo que confirma una homogeneidad basal aceptable en toda la muestra.

A continuación, se presentan los resultados longitudinales de las dos variables principales del estudio, MSWS-12 y T25FW, en los cuatro momentos de evaluación (PRE, POST1, POST2 y POST3) para el Grupo Experimental (Figuras 7 y 8) y el Grupo Control (Figuras 9 y 10).

Figura 7. Evolución de la Escala de Marcha Subjetiva (MSWS-12) en el Grupo Experimental.

	PRE	POST1	POST2	POST3
count	12.000000	12.000000	12.000000	12.000000
mean	35.650000	35.279167	29.225000	30.308333
std	16.435577	18.677423	18.105304	16.918815
min	6.000000	6.200000	2.000000	1.000000
25%	28.600000	23.900000	16.025000	19.750000
50%	39.500000	35.975000	36.150000	35.400000
75%	48.425000	49.975000	42.125000	44.225000
max	58.300000	60.400000	50.000000	50.000000

Nota: El gráfico muestra la tendencia decreciente de la media de la puntuación MSWS-12 (%) a lo largo de las cuatro evaluaciones temporales ($n = 12$). La reducción progresiva del valor medio indica una mejora clínicamente relevante en la autopercepción de la capacidad de marcha de los sujetos.

Figura 8. Evolución del rendimiento funcional en el Test de la Marcha T25FW en el Grupo Experimental.

	PRE	POST1	POST2	POST3
count	11.000000	12.000000	12.000000	12.000000
mean	7.780909	6.749167	5.571667	5.610833
std	1.981885	1.519363	0.781058	1.115213
min	5.510000	4.930000	4.600000	4.200000
25%	6.460000	5.675000	4.997500	4.690000
50%	6.920000	6.375000	5.405000	5.385000
75%	9.015000	8.010000	5.955000	6.062500
max	11.570000	10.090000	7.380000	7.770000

Nota: El gráfico ilustra la reducción progresiva en el tiempo medio de ejecución (segundos) requerido para completar el test funcional ($n = 12$). La disminución de la media entre el hito PRE y el POST 3 evidencia una mejora en la velocidad y eficiencia de la marcha. De manera paralela, la contracción del Coeficiente de Variación (CV) refleja una estabilización y homogeneización del grupo, indicando que la respuesta adaptativa al protocolo de intervención fue consistente entre los sujetos evaluados.

Figura 9. Evolución de la Escala de Marcha Subjetiva (MSWS-12) en el Grupo de Control.

	PRE	POST1	POST2	POST3
count	9.000000	9.000000	9.000000	9.000000
mean	52.355556	53.022222	53.900000	55.100000
std	30.173337	29.215996	28.470379	25.972004
min	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
25%	33.300000	37.500000	40.000000	45.800000
50%	58.300000	47.900000	50.000000	60.000000
75%	77.000000	77.000000	83.300000	66.600000
max	87.500000	90.000000	90.000000	90.000000

Nota: La tabla presenta el comportamiento descriptivo del grupo de control ($n = 9$) a lo largo de las cuatro evaluaciones temporales. A diferencia del grupo experimental, se observa una tendencia al estancamiento y un ligero empeoramiento progresivo en la percepción subjetiva de la capacidad de marcha, reflejado en el incremento continuo de la media aritmética desde el hito PRE (52.36%) hasta el POST 3 (55.10%). Los elevados valores de la desviación típica ($\sigma \approx 26\% - 30\%$) delatan una marcada heterogeneidad interna en las respuestas de los sujetos de control.

Figura 10: Evolución del rendimiento funcional en el Test de la Marcha T25FW en el Grupo de Control.

	PRE	POST1	POST2	POST3
count	9.000000	9.000000	9.000000	9.000000
mean	11.183333	12.301111	11.765556	11.036667
std	8.720599	9.161859	9.496467	9.214034
min	4.880000	5.320000	4.920000	4.880000
25%	5.190000	6.300000	6.770000	5.400000
50%	10.900000	11.000000	8.120000	7.420000
75%	11.800000	12.000000	12.500000	12.570000
max	32.740000	33.680000	35.600000	34.060000

Nota: La tabla detalla el comportamiento descriptivo del grupo de control ($n = 9$) en las cuatro evaluaciones temporales. La media del tiempo de ejecución se mantiene elevada y relativamente estable en torno a los 11-12 segundos, contrastando con la reducción observada en el grupo experimental. Destaca una dispersión absoluta extremadamente alta (σ que oscila entre 8.87 s y 10.36 s), lo que confirma una fuerte polarización e inestabilidad en el rendimiento motriz intrínseco de los sujetos que no recibieron la intervención.

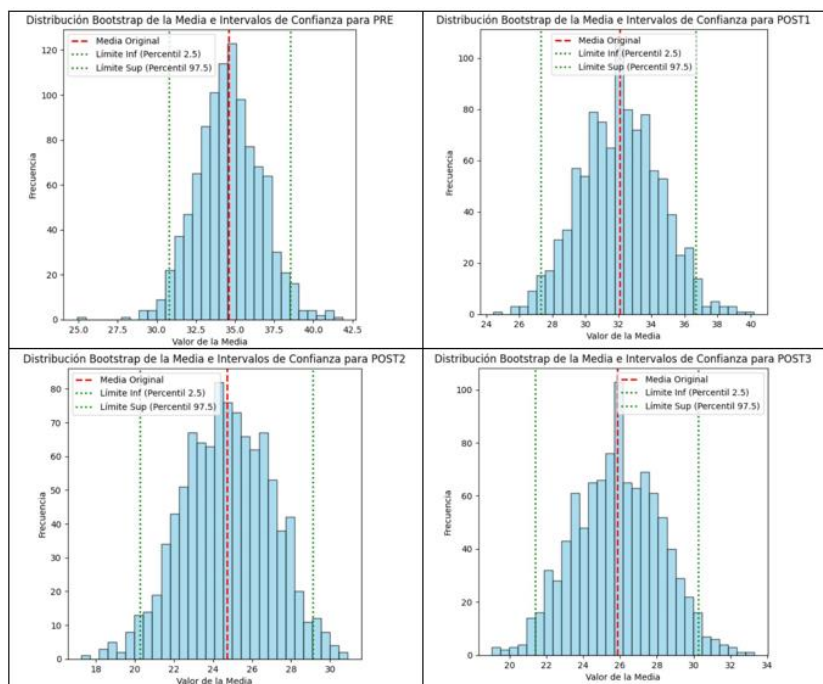
Análisis e Interpretación de los Resultados: Evolución Temporal y Bootstrap

El análisis mediante remuestreo bootstrap permitió estimar la evolución temporal de las variables de marcha en ambos grupos de estudio, empleando dos niveles de confianza (95% y 99%) para valorar la estabilidad de las estimaciones.

Respecto a la escala MSWS-12 en el Grupo Experimental, los datos observados en la muestra ($N = 11$) mostraron un descenso de la puntuación media desde 35,65 en la fase PRE a 30,31 en POST3 (Figura 7). Por su parte, la estimación puntual de la media obtenida mediante el procedimiento no paramétrico de Bootstrap ($B = 1.000$ réplicas) situó dichos valores en 34,6 (IC 95%: 30,8-38,5) en PRE hasta 25,9 (IC 95%: 21,4-30,3) en POST3. Esta ligera variación entre ambos pares de valores es consecuencia de la redistribución empírica generada por el proceso de re-muestreo con reemplazamiento de forma concordante, el T25FW disminuyó de 8,1 s (IC 95%: 6,9-9,2) en PRE a 5,6 s (IC 95%: 4,7-6,5) en POST3 (Figura 12). En contraste, el grupo control no mostró cambios relevantes: los intervalos de confianza de la MSWS-12 se solaparon ampliamente a lo largo de las cuatro evaluaciones (IC 95% en PRE: 38,5-54,2) (Figura 13), y el T25FW se mantuvo estable, oscilando entre 9,6 y 10,7 s (IC 95% en PRE: 8,0-11,5) (Figura 14).

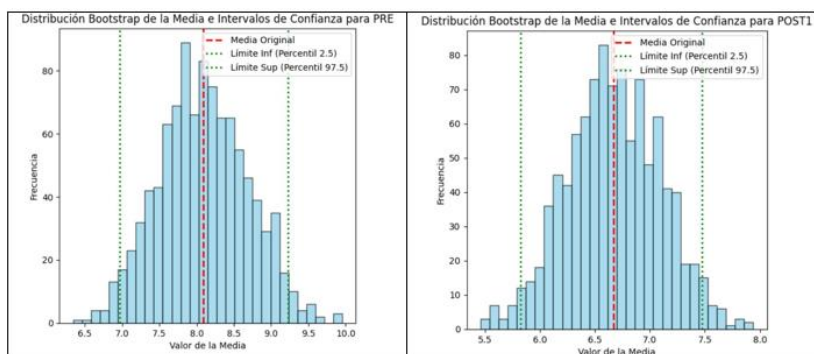
Al replicar el análisis con un IC del 99%, se mantuvo el patrón general descrito, aunque con intervalos más amplios: en el grupo experimental, tanto la MSWS-12 como el T25FW mostraron un desplazamiento hacia valores más favorables tras la intervención (Figuras 15 y 16); en el grupo control, el T25FW se situó entre 12,1 y 12,8 s (IC 99% en PRE: 10,0-14,8), confirmando la estabilidad observada en el grupo sin intervención (Figuras 17 y 18).

Figura 11. Distribución bootstrap de la media e intervalos de confianza (95%) para la escala MSWS-12 en el grupo experimental a lo largo del tiempo.



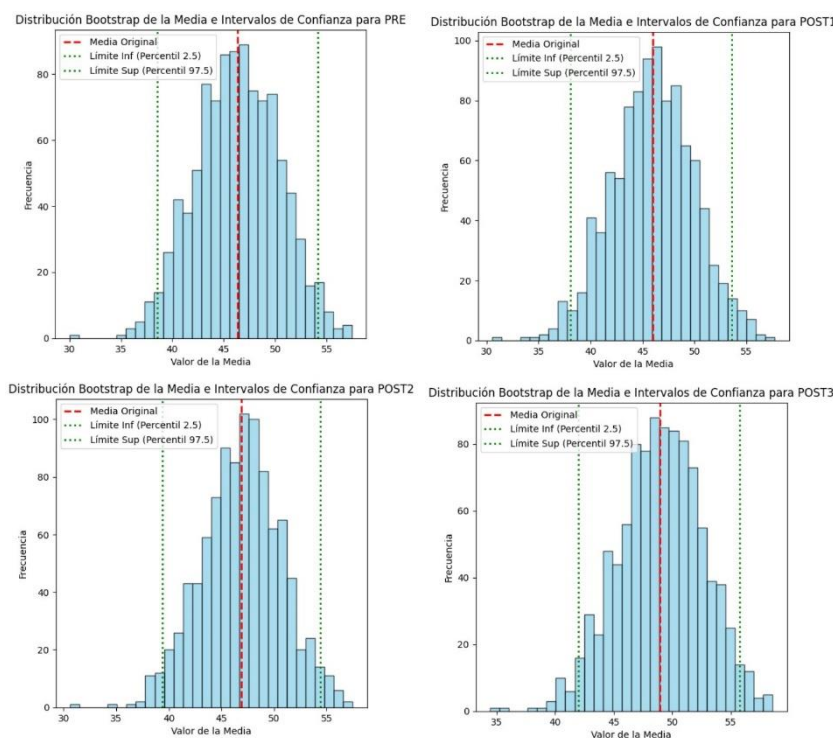
Nota: Histogramas de la distribución de la media generados mediante *bootstrap* ($B = 1000$ iteraciones) para cada fase de evaluación. La línea roja discontinua representa la media original, mientras que las líneas verdes punteadas indican los límites del intervalo de confianza del 95% (percentiles 2.5 y 97.5). Se observa un desplazamiento progresivo de las distribuciones hacia valores menores tras la intervención.

Figura 12. Distribución empírica de la media mediante bootstrap e intervalos de confianza (95%) para el Test T25FW en el grupo experimental a lo largo del tiempo.



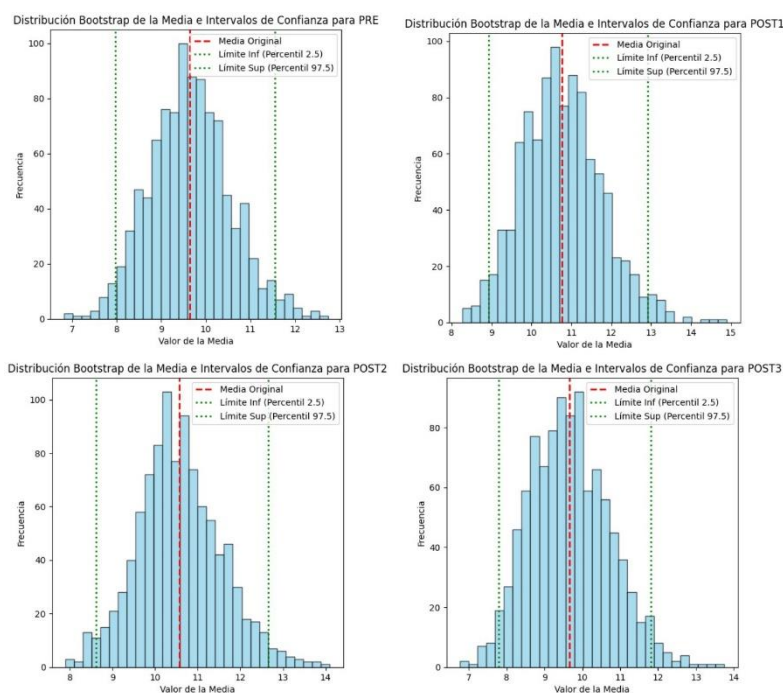
Nota: Los paneles muestran las distribuciones de la media muestral obtenidas de forma no paramétrica mediante la técnica de remuestreo *bootstrap* ($B = 1000$ iteraciones) para los cuatro momentos de evaluación clínica del grupo experimental: basal (PRE), post-intervención inmediata (POST1), primer seguimiento (POST2) y seguimiento final (POST3). La línea vertical roja discontinua representa el valor medio observado en la muestra real original. Las líneas verticales verdes punteadas delimitan los percentiles 2.5 y 97.5, correspondientes al intervalo de confianza del 95% calculado por el método de percentiles. En este test, dado que la variable medida es el tiempo en segundos que le toma al paciente completar la marcha, una reducción en los valores refleja una mejoría en la velocidad y movilidad funcional. El desplazamiento visual de las campanas hacia la izquierda a lo largo de las fases temporales —pasando de una media basal en PRE de aproximadamente 8.1 s (IC 95%: 6.9 - 9.2 s) a una media final en POST3 de 5.6 s (IC 95%: 4.7 - 6.5 s)— evidencia una ganancia de velocidad clínicamente relevante tras la intervención. La aplicación de *bootstrap* resulta fundamental en este escenario de muestra pequeña ($N = 12$) para derivar intervalos de confianza válidos y representativos sin asumir normalidad en la distribución original de los tiempos de marcha.

Figura 13. Distribución muestral por *bootstrap* de la media e intervalos de confianza (95%) para las puntuaciones de la escala MSWS-12 en el Grupo de Control.



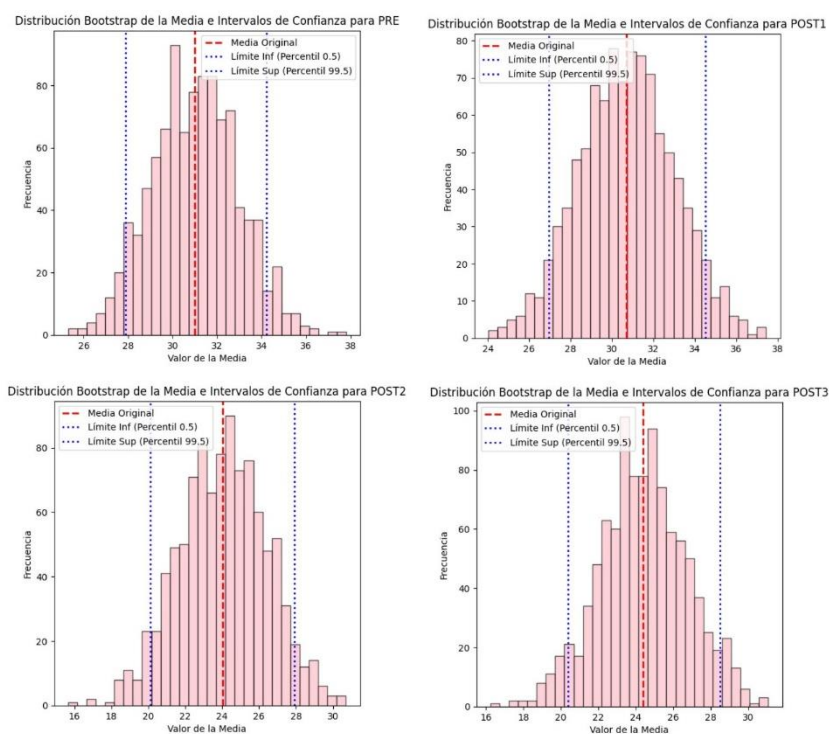
Nota: Las gráficas representan la distribución de la media estimada mediante técnicas de remuestreo *bootstrap* ($B = 1000$ réplicas con reemplazo) para las variables temporales de la escala MSWS-12 en el grupo de control: basal (PRE) y seguimientos posteriores (POST1, POST2 y POST3). Línea discontinua roja: Representa el valor de la media original observada en la muestra real de datos. Líneas punteadas verdes: Delimitan el intervalo de confianza (IC) del 95% obtenido mediante el método de percentiles ajustados (percentil 2.5 para el límite inferior y percentil 97.5 para el límite superior). Interpretación: La aproximación por *bootstrap* permite evaluar la estabilidad de las estimaciones del centro de la distribución sin asumir normalidad en los datos originales. La alta coincidencia en el solapamiento de los intervalos de confianza entre las fases PRE (38.5 - 54.2) y los sucesivos POST sugiere la ausencia de cambios estadísticamente significativos en la capacidad de marcha percibida por los sujetos del grupo de control a lo largo del tiempo del estudio, actuando de forma esperada como línea de base comparativa frente al grupo de intervención.

Figura 14. Distribución muestral por *bootstrap* de la media e intervalos de confianza (95%) para los tiempos de ejecución en la Prueba T (Grupo de Control).



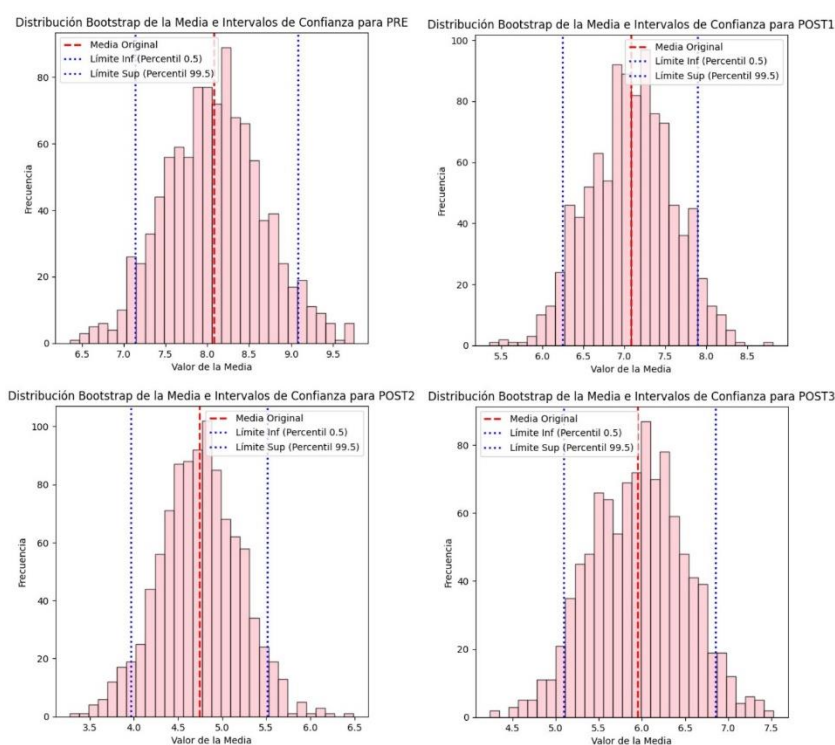
Nota: Las gráficas muestran la distribución de la media muestral obtenida mediante técnicas de remuestreo *bootstrap* ($B = 1000$ réplicas con reemplazo) para la Prueba T en el grupo de control a lo largo de las cuatro fases de evaluación: basal (PRE) y los tres seguimientos temporales (POST1, POST2 y POST3). Línea discontinua roja: Indica el valor de la media original estimada a partir de la muestra empírica. Los valores medios se sitúan de manera consistente en torno a los 9.6 segundos (PRE), 10.7 segundos (POST1), 10.5 segundos (POST2) y 9.6 segundos (POST3). Líneas punteadas verdes: Representan los límites inferiores (percentil 2.5) y superior (percentil 97.5) del intervalo de confianza (IC) del 95% calculado por el método de percentiles. Interpretación estadística: El uso del remuestreo *bootstrap* permite aproximar la distribución de las medias sin requerir supuestos previos de normalidad paramétrica en las puntuaciones originales. Se observa un solapamiento prácticamente completo y recíproco entre los intervalos de confianza de todas las fases (por ejemplo, el IC del PRE abarca desde aproximadamente 8.0 hasta 11.5, conteniendo holgadamente las medias de las fases POST). Esta homogeneidad temporal confirma la estabilidad de la línea de base y la ausencia de cambios o mejoras significativas en el rendimiento del grupo de control, validando su rol metodológico como grupo de comparación pasivo en el diseño experimental.

Figura 15. Distribución bootstrap de la media e intervalos de confianza (99%) para la escala MSWS-12 en el grupo experimental a lo largo del tiempo.



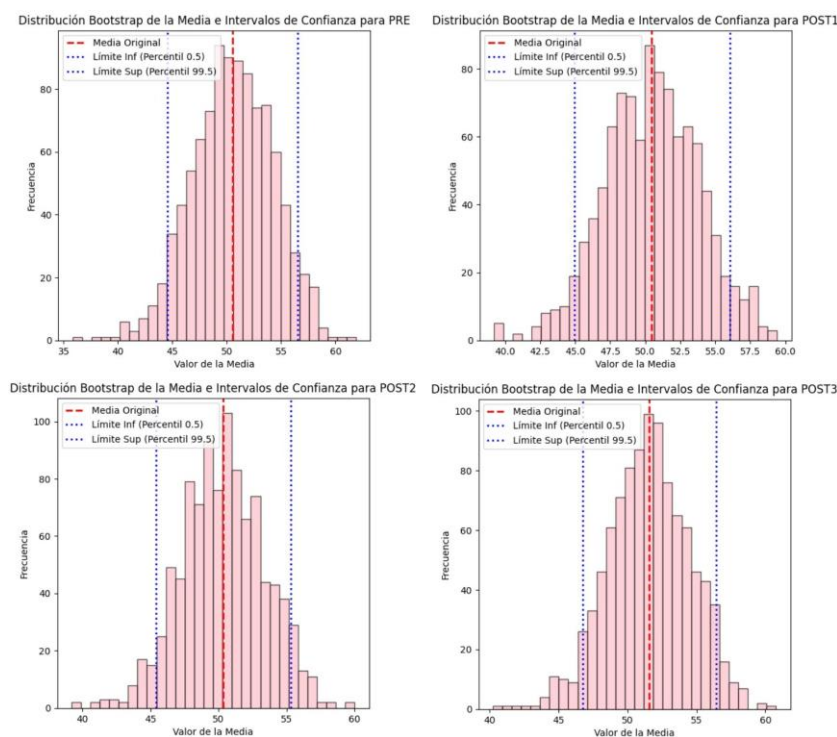
Nota: Histogramas de la distribución de la media generados mediante *bootstrap* ($B = 1000$ iteraciones) para cada fase de evaluación. La línea roja discontinua representa la media original, mientras que las líneas azules punteadas indican los límites del intervalo de confianza del 99% (percentiles 0.5 y 99.5). Se observa un desplazamiento progresivo de las distribuciones hacia valores menores tras la intervención.

Figura 16. Distribución bootstrap de la media e intervalos de confianza (99%) para el Test T25FW en el grupo experimental a lo largo del tiempo.



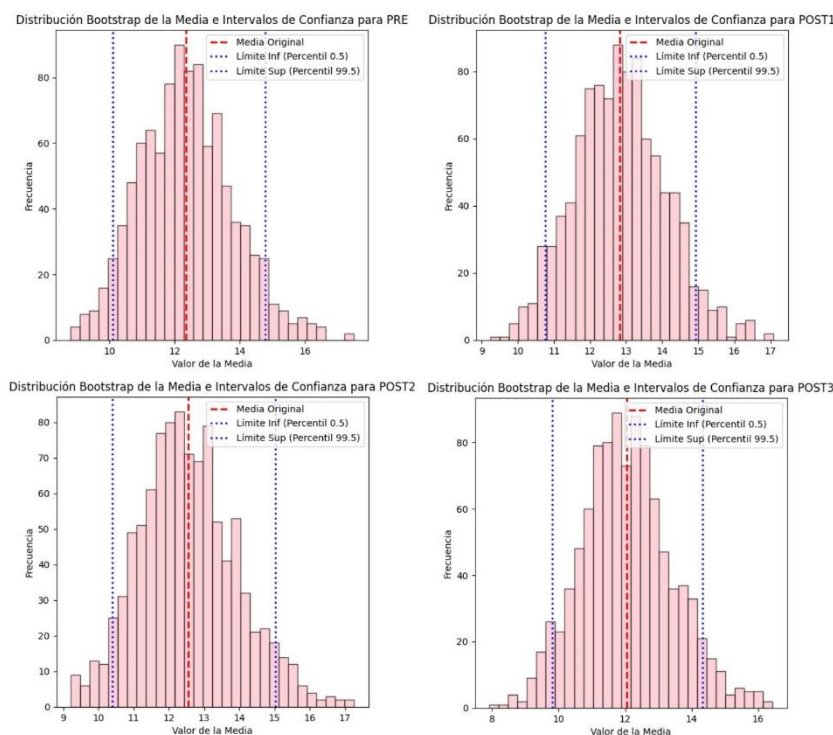
Nota: Los paneles muestran las distribuciones de la media muestral obtenidas de forma no paramétrica mediante la técnica de remuestreo *bootstrap* ($B = 1000$ iteraciones) para los cuatro momentos de evaluación clínica del grupo experimental: basal (PRE), post-intervención inmediata (POST1), primer seguimiento (POST2) y seguimiento final (POST3). La línea vertical roja discontinua representa el valor medio observado en la muestra real original. Las líneas verticales azules punteadas delimitan los percentiles 0.5 y 99.5, correspondientes al intervalo de confianza del 99% calculado por el método de percentiles.

Figura 17: Distribución muestral por *bootstrap* de la media e intervalos de confianza (99%) para las puntuaciones de la escala MSWS-12 en el Grupo de Control.



Nota: Las gráficas representan la distribución de la media estimada mediante técnicas de remuestreo *bootstrap* ($B = 1000$ réplicas con reemplazo) para las variables temporales de la escala MSWS-12 en el grupo de control: basal (PRE) y seguimientos posteriores (POST1, POST2 y POST3). Línea discontinua roja: Representa el valor de la media original observada en la muestra real de datos. Líneas punteadas azules: Delimitan el intervalo de confianza (IC) del 99% obtenido mediante el método de percentiles ajustados (percentil 0.5 para el límite inferior y percentil 99.5 para el límite superior).

Figura 18. Distribución muestral por *bootstrap* de la media e intervalos de confianza (99%) para los tiempos de ejecución en la Prueba T (Grupo de Control).

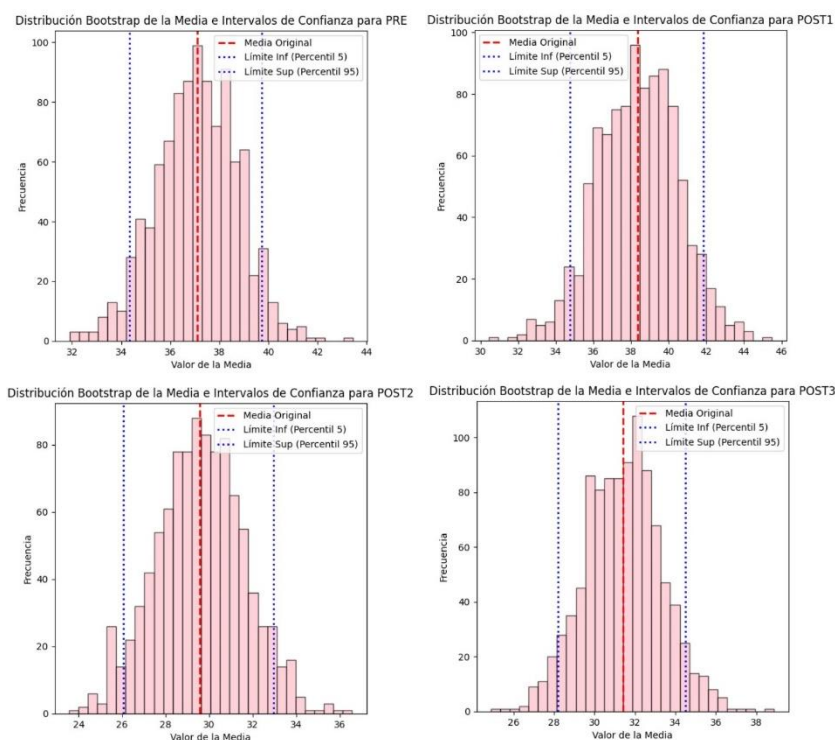


Nota: Las gráficas muestran la distribución de la media muestral obtenida mediante técnicas de remuestreo *bootstrap* ($B = 1000$ réplicas con reemplazo) para la Prueba T en el grupo de control a lo largo de las cuatro fases de evaluación: basal (PRE) y los tres seguimientos temporales (POST1, POST2 y POST3). Línea discontinua roja: Indica el valor de la media original estimada a partir de la muestra empírica. Los valores medios se sitúan de manera consistente en torno a los 12.3 segundos (PRE), 12.8 segundos (POST1), 12.5 segundos (POST2) y 12.1 segundos (POST3). Líneas punteadas azules: Representan los límites inferiores (percentil 0.5) y superior (percentil 99.5) del intervalo de confianza (IC) del 99% calculado por el método de percentiles.

Como análisis de sensibilidad adicional, se calcularon los intervalos de confianza al 90% para ambas variables y grupos (Figuras 19-22). Los resultados fueron consistentes con los niveles de confianza previos: el grupo experimental mantuvo la tendencia de mejora en la MSWS-12 y el T25FW (Figuras 19 y 20), mientras que el grupo control permaneció estable, con valores de T25FW entre 9,8 y 11,6 s (Figuras 21 y 22).

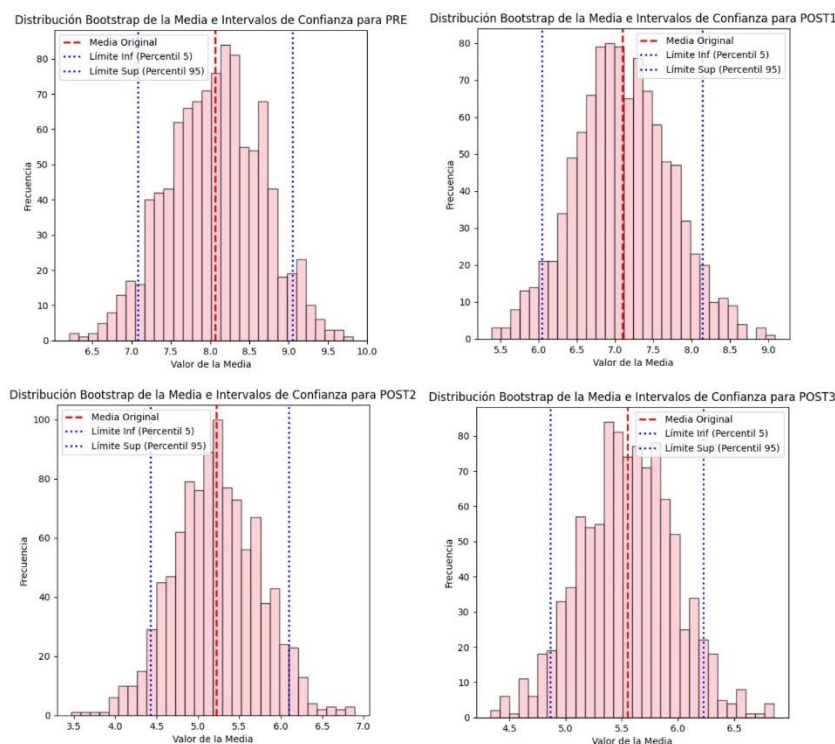
En conjunto, los análisis bootstrap realizados a distintos niveles de confianza (90%, 95% y 99%) confirman la consistencia y solidez de los hallazgos: el grupo experimental mostró mejoras sostenidas y clínicamente relevantes en ambas variables de marcha, mientras que el grupo control se mantuvo estable a lo largo del periodo de estudio, respaldando la validez interna de los resultados obtenidos.

Figura 19. Distribución bootstrap de la media e intervalos de confianza (90%) para la escala MSWS-12 en el grupo experimental a lo largo del tiempo.



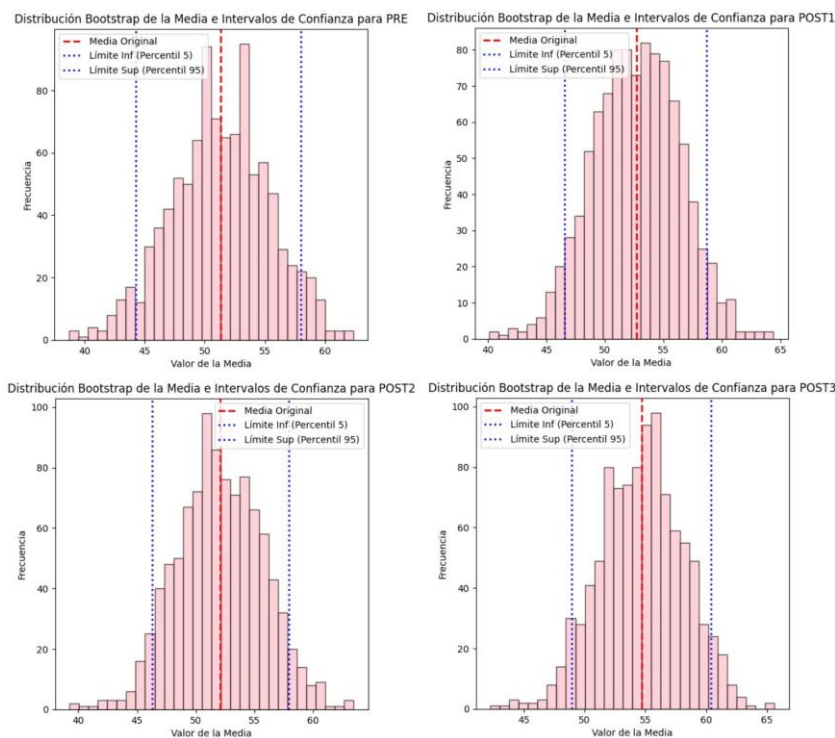
Nota: Histogramas de la distribución de la media generados mediante *bootstrap* ($B = 1000$ iteraciones) para cada fase de evaluación. La línea roja discontinua representa la media original, mientras que las líneas azules punteadas indican los límites del intervalo de confianza del 90% (percentiles 5 y 95). Se observa un desplazamiento progresivo de las distribuciones hacia valores menores tras la intervención.

Figura 20. Distribución empírica de la media mediante bootstrap e intervalos de confianza (90%) para el Test T25FW en el grupo experimental a lo largo del tiempo.



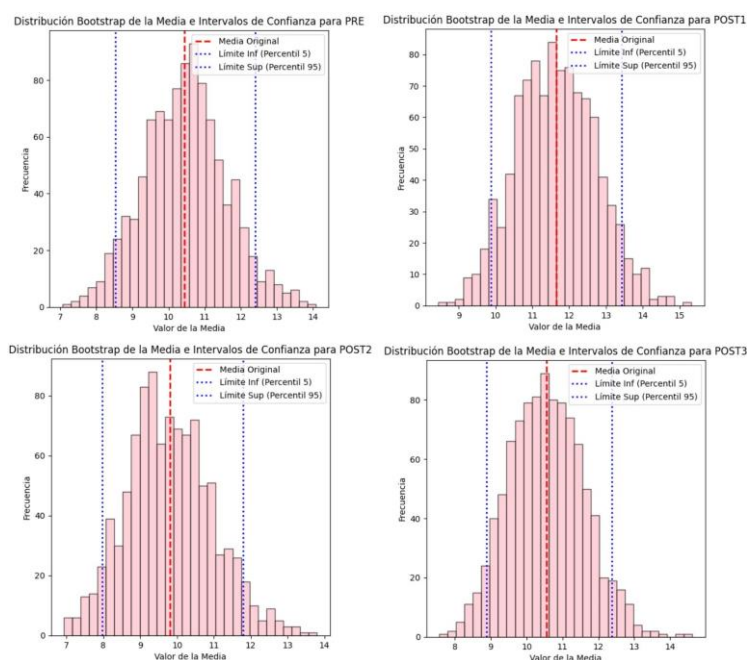
Nota: Los paneles muestran las distribuciones de la media muestral obtenidas de forma no paramétrica mediante la técnica de remuestreo *bootstrap* ($B = 1000$ iteraciones) para los cuatro momentos de evaluación clínica del grupo experimental: basal (PRE), post-intervención inmediata (POST1), primer seguimiento (POST2) y seguimiento final (POST3). La línea vertical roja discontinua representa el valor medio observado en la muestra real original. Las líneas verticales azules punteadas delimitan los percentiles 5 y 95, correspondientes al intervalo de confianza del 90% calculado por el método de percentiles.

Figura 21. Distribución muestral por *bootstrap* de la media e intervalos de confianza (90%) para las puntuaciones de la escala MSWS-12 en el Grupo de Control.



Nota: Las gráficas representan la distribución de la media estimada mediante técnicas de remuestreo *bootstrap* ($B = 1000$ réplicas con reemplazo) para las variables temporales de la escala MSWS-12) en el grupo de control: basal (PRE) y seguimientos posteriores (POST1, POST2 y POST3). Línea discontinua roja: Representa el valor de la media original observada en la muestra real de datos. Líneas punteadas azules: Delimitan el intervalo de confianza (IC) del 90% obtenido mediante el método de percentiles ajustados (percentil 5 para el límite inferior y percentil 95 para el límite superior).

Figura 22. Distribución muestral por *bootstrap* de la media e intervalos de confianza (90%) para los tiempos de ejecución en la Prueba T (Grupo de Control).



Nota: Las gráficas muestran la distribución de la media muestral obtenida mediante técnicas de remuestreo *bootstrap* ($B = 1000$ réplicas con reemplazo) para la Prueba T en el grupo de control a lo largo de las cuatro fases de evaluación: basal (PRE) y los tres seguimientos temporales (POST1, POST2 y POST3). Línea discontinua roja: Indica el valor de la media original estimada a partir de la muestra empírica. Los valores medios se sitúan de manera consistente en torno a los 10.5 segundos (PRE), 11.6 segundos (POST1), 9.8 segundos (POST2) y 10.6 segundos (POST3). Líneas punteadas azules: Representan los límites inferiores (percentil 5) y superior (percentil 95) del intervalo de confianza (IC) del 90% calculado por el método de percentiles.

Discusión

Los resultados del presente estudio muestran que un programa de entrenamiento de fuerza con bandas elásticas de 12 semanas de duración produce mejoras significativas en la velocidad de la marcha, evaluada mediante el T25FW, en personas con esclerosis múltiple. Estas mejoras fueron detectables a partir de la semana 8 en el grupo experimental, mientras que el grupo control no experimentó cambios a lo largo del seguimiento. Estos hallazgos son consistentes con la evidencia reciente que identifica el entrenamiento de fuerza como una estrategia eficaz para mejorar la función física en esta población (Nezhad et al., 2024).

Desde un punto de vista fisiológico, las mejoras observadas en la marcha pueden atribuirse a adaptaciones neuromusculares derivadas del entrenamiento progresivo de resistencia. En personas con EM, la disfunción del sistema nervioso central altera la capacidad de reclutamiento motor y reduce la sincronización de unidades motoras, lo que compromete la producción de fuerza y la eficiencia de la marcha (Kjølhede et al., 2015). El entrenamiento de fuerza puede contrarrestar parcialmente estos efectos mediante el aumento de la activación muscular voluntaria, la mejora de la coordinación intermuscular y la optimización de los patrones de reclutamiento motor, especialmente en los grupos musculares implicados en la propulsión y el control postural durante la marcha (Dalgas et al., 2009; Gutierrez et al., 2005). El diseño del programa, centrado en los flexores y rotadores externos de cadera mediante ejercicios con vectorización específica —como el rugby squat y las salidas laterales— puede haber contribuido de forma directa a los patrones musculares que sustentan la velocidad de deambulación.

En lo que respecta a la variable percibida, la MSWS-12 mostró una tendencia positiva sin alcanzar significación estadística. Este resultado merece una reflexión específica. La percepción de la capacidad de deambulación es un constructo complejo, influido no solo por el rendimiento motor objetivo, sino también por factores como la fatiga, la autoeficacia, el estado de ánimo y la experiencia subjetiva del esfuerzo (Hobart et al., 2003). Es posible que 12 semanas de intervención sean suficientes para generar cambios funcionales objetivos, pero no para modificar la percepción consolidada que las personas con EM tienen de su propia capacidad de marcha, especialmente en contextos de vida real. Además, el tamaño muestral reducido del estudio limita la potencia estadística para detectar efectos moderados en esta variable. Estudios futuros con seguimientos más prolongados y muestras más amplias podrían esclarecer si las mejoras objetivas en la marcha se traducen, a largo plazo, en cambios en la percepción funcional de los participantes.

Otro aspecto relevante es la accesibilidad de la intervención. A diferencia de programas que requieren maquinaria específica o entornos especializados, el entrenamiento con bandas elásticas puede implementarse en contextos clínicos, comunitarios o domiciliarios con un coste mínimo (De Souza-Teixeira et al., 2011). Desde una perspectiva de aplicación clínica, estos resultados sugieren que este tipo de intervención puede ser una opción viable para fisioterapeutas, graduados en ciencias de la actividad física y del deporte o profesionales de la salud que trabajen con personas con EM en entornos con recursos limitados. La supervisión por parte de profesionales cualificados, tal y como se realizó en el presente estudio, parece fundamental para garantizar la correcta ejecución técnica y la progresión de la carga. En línea con propuestas recientes, el entrenamiento con bandas elásticas podría integrarse dentro de programas multicomponente que combinen el trabajo de fuerza con entrenamiento de control motor o ejercicio aeróbico, con el objetivo de maximizar los beneficios sobre la marcha y otros parámetros funcionales (Romberg et al., 2004). En esta línea, experiencias desarrolladas en asociaciones de pacientes con otras enfermedades neurológicas progresivas han mostrado que los programas de ejercicio supervisado, incluidos los que incorporan tecnologías como la realidad virtual, resultan factibles, seguros y eficaces para mejorar la marcha, el equilibrio y la funcionalidad global (Campo-Prieto et al., 2025; Munar Rodríguez & Pérez Gómez, 2024), lo que refuerza el potencial de este tipo de abordajes accesibles en el contexto de la EM.



Limitaciones

Los resultados del presente estudio deben interpretarse con cautela, dadas las limitaciones inherentes a su diseño piloto. En primer lugar, el tamaño muestral es reducido ($n = 21$), lo que limita la potencia estadística y la generalización de los hallazgos. La asignación resultó en grupos de tamaño desigual ($GE = 12$; $GC = 9$), lo que puede haber condicionado la comparabilidad entre grupos, aunque no se observaron diferencias significativas en las variables basales. En segundo lugar, la muestra presenta una heterogeneidad clínica considerable, con una puntuación EDSS que oscila entre 0 y 6,0 y una amplia variabilidad en la edad ($49,7 \pm 10,45$ años), lo que puede haber introducido variabilidad en la respuesta a la intervención. En tercer lugar, el diseño no permite controlar posibles factores de confusión relacionados con la actividad física realizada fuera del programa, los hábitos de vida o los tratamientos farmacológicos, dado que el grupo control solo mantuvo su actividad habitual sin ningún tipo de monitorización. Por último, la ausencia de seguimiento tras la finalización del programa impide valorar si las mejoras observadas se mantienen a largo plazo. Estos aspectos deben abordarse en estudios futuros con diseños más robustos, mayor tamaño muestral y control más estricto de las variables de confusión.

Conclusiones

Los resultados de este ensayo piloto aleatorizado sugieren que un programa de entrenamiento de fuerza con bandas elásticas de 12 semanas puede mejorar el rendimiento objetivo de la marcha en personas con esclerosis múltiple, con efectos detectables a partir de las ocho semanas de intervención. La intervención se mostró segura, con una adherencia adecuada y sin registro de eventos adversos ni recaídas, lo que apoya su viabilidad en esta población.

Dado el carácter piloto del estudio, estos hallazgos deben interpretarse con prudencia y no permiten establecer conclusiones definitivas sobre la eficacia del programa. La ausencia de efecto significativo en la variable perceptiva (MSWS-12) y las limitaciones metodológicas —especialmente el tamaño muestral reducido y la heterogeneidad clínica de la muestra— limitan el alcance de las inferencias posibles.

No obstante, los resultados son prometedores y justifican la realización de ensayos clínicos con mayor tamaño muestral, diseños más robustos y seguimientos prolongados que permitan confirmar y consolidar estos hallazgos. Desde una perspectiva aplicada, el uso de bandas elásticas como herramienta de entrenamiento constituye una estrategia de bajo coste y fácil implementación, con potencial para mejorar la autonomía funcional en contextos clínicos y comunitarios.

Afiliación de los autores

1. Universidad Europea de Canarias, Facultad de Ciencias de la Salud, Departamento de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (CAFD). C. Valentín Sanz, 27, 38002 Santa Cruz de Tenerife, España.
2. Fútbol Club Barcelona, Área de Readaptación. Ciudad Deportiva Joan Gamper, Avinguda Onze de Setembre, s/n, 08970 Sant Joan Despí, Barcelona, España.

Referencias

- Campo-Prieto, P., Santos-García, D., Cancela-Carral, J. M., & Rodríguez-Fuentes, G. (2025). Efectos físicos y funcionales tras un programa de ejercicios basado en realidad virtual inmersiva: experiencia en una Asociación Española de Pacientes con Parkinson. *Retos*, 63, 365–376. <https://doi.org/10.47197/retos.v63.109749>
- Dalgas, U., Stenager, E., Jakobsen, J., Petersen, T., Overgaard, K., & 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>

- De Souza-Teixeira, F., Costilla, S., Ayán, C., García-López, D., González-Gallego, J., & de Paz, J. A. (2011). *Effects of resistance training with elastic bands on muscle strength and functional capacity in patients with multiple sclerosis: A randomized controlled trial. Journal of Physical Therapy Science*, 23(2), 307–314. <https://doi.org/10.1589/jpts.23.307>
- Fischer, J. S., Rudick, R. A., Cutter, G. R., & Reingold, S. C. (1999). *The multiple sclerosis functional composite measure (MSFC): An integrated approach to MS clinical outcome assessment. Multiple Sclerosis*, 5(4), 244–250. <https://doi.org/10.1177/135245859900500409>
- Gutierrez, G. M., Chow, J. W., Tillman, M. D., McCoy, S. C., Castellano, V., & White, L. J. (2005). *Resistance training improves gait kinematics in persons with multiple sclerosis. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(9), 1824–1829. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.04.008>
- Heine, M., van de Port, I., Rietberg, M. B., van Wegen, E. E. H., & Kwakkel, G. (2015). *Exercise therapy for fatigue in multiple sclerosis. Cochrane Database of Systematic Reviews*, (9), CD009956. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009956.pub2>
- Hobart, J. C., Riazi, A., Lamping, D. L., Fitzpatrick, R., & Thompson, A. J. (2003). *Measuring the impact of MS on walking ability: The 12-item MS Walking Scale (MSWS-12). Brain*, 126(2), 359–369. <https://doi.org/10.1093/brain/awg026>
- 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>
- Kister, I., Bacon, T. E., Chamot, E., Salter, A. R., Cutter, G. R., Kalina, J. T., & Herbert, J. (2013). *Natural history of multiple sclerosis symptoms. International Journal of MS Care*, 15(3), 146–158. <https://doi.org/10.7224/1537-2073.2012-053>
- Kjølhede, T., Vissing, K., de Place, L., Pedersen, B. G., Ringgaard, S., Stenager, E., & Dalgas, U. (2015). *Neuromuscular adaptations to long-term progressive resistance training translate to improved functional capacity in people with multiple sclerosis and are maintained at follow-up. Multiple Sclerosis Journal*, 21(5), 599–611. <https://doi.org/10.1177/1352458514549402>
- Latimer-Cheung, A. E., Pilutti, L. A., Hicks, A. L., Martin Ginis, K. A., Fenuta, A. M., MacKibbin, K. A., & Motl, 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. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(9), 1800–1828. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.12.013>
- Learmonth, Y. C., Pilutti, L. A., Ensari, I., & Motl, R. W. (2014). *Reliability, precision, and clinically meaningful change of walking assessments in multiple sclerosis. Multiple Sclerosis Journal*, 20(13), 1799–1802. <https://doi.org/10.1177/1352458514533380>
- Manca, A., Dvir, Z., Deriu, F., & Barone, M. (2019). *Strength training in multiple sclerosis: A systematic review and meta-analysis. Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(3), 874–889. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002381>
- Munar Rodríguez, D. K., & Pérez Gómez, C. A. (2024). Abordajes de personas con Enfermedad de Parkinson usando realidad virtual. Revisión Sistemática. *Retos*, 61, 1484–1494. <https://doi.org/10.47197/retos.v61.104561>
- Nezhad, N. N., Parnow, A., Khamoushian, K., Eslami, R., & Baker, J. S. (2024). *Resistance training improves functional capacities in women with multiple sclerosis: A randomized controlled trial. BMC Neurology*, 24, 457. <https://doi.org/10.1186/s12883-024-03964-x>
- Romberg, A., Virtanen, A., Ruutiainen, J., Aunola, S., Karppi, S. L., & Vaara, M. (2004). *Effects of a 6-month exercise program on patients with multiple sclerosis: A randomized study. Clinical Rehabilitation*, 18(2), 160–167. <https://doi.org/10.1191/0269215504cr718oa>
- Serrazina, F., Salavisa, M., & Correia, A. S. (2022). Trends in online search for multiple sclerosis symptoms – Is pain a hot topic? *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 64, 103939. <https://doi.org/10.1016/j.msard.2022.103939>
- Tauda Tauda, M., Cruzat Bravo, E., Reyes Sanchez, Y., Suárez Rojas, F., & Alarcón Arredondo, R. (2024). Parámetros de dosificación del entrenamiento de fuerza en la rehabilitación de pacientes y supervivientes de cáncer de mama: revisión sistemática. *Retos*, 61, 319–333. <https://doi.org/10.47197/retos.v61.108624>
- Walton, C., King, R., Rechtman, L., Kaye, W., Leray, E., Marrie, R. A., Robertson, N., La Rocca, N., Uitdehaag, B., van der Mei, I., Wallin, M., Helme, A., Napier, C. A., Rijke, N., & Baneke, P. (2020). *Rising prevalence of multiple sclerosis worldwide: Insights from the Atlas of MS, third edition. Multiple Sclerosis Journal*, 26(14), 1816–1821. <https://doi.org/10.1177/1352458520970841>



Datos de los/as autores/as:

Cristina Casanova García
Laura de Armas Rillo
Fernando Hernández-Abad de la Cruz

cristina.casanova@universidadeuropea.es
laura.dearmas@universidadeuropea.es
fernandohdez.abad@gmail.com

Autora
Autora
Autor