



Universidad
Europea CANARIAS

EFFECTO DE UN PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO MULTICOMPONENTE SOBRE LA CALIDAD MUSCULAR, LA FUNCIONALIDAD Y EL ÍNDICE MIOSTATINA/FOLISTATINA EN ADULTOS MAYORES

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Facultad de Ciencias de la Salud

Universidad Europea de Canarias

Curso académico: 2025-2026

MODALIDAD DE TRABAJO

Diseño Estudio

AUTORES

Pablo Rodríguez Espinosa

Omar Cabrera Hernández

TUTOR/A

Jose Ángel García Merino

Junio de 2026

Villa de La Orotava, Santa Cruz de Tenerife

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	6
2. INTRODUCCIÓN.....	8
3. JUSTIFICACIÓN.....	14
4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	16
4.1. HIPÓTESIS.....	16
4.2. OBJETIVOS:.....	16
4.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
4.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
5. METODOLOGÍA.....	17
5.1. DISEÑO.....	17
5.2. MUESTRA Y FORMACIÓN DE GRUPOS.....	19
5.3. VARIABLES Y MATERIAL DE MEDIDA.....	21
5.4. PROCEDIMIENTO.....	27
5.5. INTERVENCIÓN.....	29
5.5. ANÁLISIS DE DATOS.....	49
5.6. EQUIPO INVESTIGADOR.....	50
6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO.....	51
7. CONCLUSIONES.....	53
8. CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS).....	53
BIBLIOGRAFÍA.....	54
ANEXOS.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estructura de calentamiento.....	27
Tabla 2. Estructura de vuelta a la calma.....	28
Tabla 3. Mesociclo 1º mes.....	29
Tabla 4. Mesociclo 2º mes.....	31
Tabla 5. Mesociclo 3º mes.....	34
Tabla 6. Mesociclo 4º mes.....	36
Tabla 7. Mesociclo 5º mes.....	39
Tabla 8. Mesociclo 6º mes.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procedimiento e Intervención.....	30
--	----

1. RESUMEN

El envejecimiento poblacional constituye uno de los principales desafíos para los sistemas sanitarios actuales, debido al aumento de enfermedades crónicas, pérdida de funcionalidad y disminución de la autonomía en personas mayores. Entre las alteraciones asociadas al envejecimiento, la sarcopenia y la pérdida de calidad muscular representan factores determinantes en el deterioro funcional y en el incremento del riesgo de fragilidad, caídas y dependencia.

La evidencia científica actual respalda la importancia del ejercicio físico como estrategia no farmacológica para prevenir y retrasar estos procesos degenerativos. En particular, los programas de entrenamiento multicomponente han demostrado efectos positivos sobre la fuerza muscular, la funcionalidad y la capacidad física en adultos mayores. Además, en los últimos años ha aumentado el interés por el análisis de biomarcadores relacionados con la regulación del crecimiento muscular, como la miostatina y la folistatina, debido a su posible implicación en las adaptaciones inducidas por el ejercicio físico.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar los efectos de un programa de entrenamiento multicomponente sobre la calidad muscular, la funcionalidad y el índice miostatina/folistatina en adultos mayores. Para ello, se propone un ensayo controlado aleatorizado (ECA), en el que los participantes realizarán un programa de entrenamiento multicomponente durante 24 semanas, con una frecuencia de tres sesiones semanales.

Palabras clave: envejecimiento, entrenamiento multicomponente, calidad muscular, funcionalidad, sarcopenia, miostatina, folistatina.

ABSTRACT

Population aging represents one of the main challenges for current healthcare systems due to the increase in chronic diseases, loss of functionality, and reduced autonomy in older adults. Among the alterations associated with aging, sarcopenia and the decline in muscle quality are key factors contributing to functional deterioration, frailty, falls, and dependency.

Current scientific evidence supports the importance of physical exercise as a non-pharmacological strategy to prevent and delay these degenerative processes. In particular, multicomponent training programmes have shown positive effects on muscle strength, functionality, and physical capacity in older adults. Furthermore, in recent years, increasing attention has been given to biomarkers related to muscle growth regulation, such as myostatin and follistatin, due to their potential role in exercise-induced adaptations.

In this context, the present study aims to analyse the effects of a multicomponent training programme on muscle quality, functionality, and the myostatin/follistatin ratio in older adults. To this end, a randomized controlled trial (RCT) is proposed, in which participants will undertake a multicomponent training program for 24 weeks, with a frequency of three sessions per week.

Keywords: aging, multicomponent training, muscle quality, functionality, sarcopenia, myostatin, follistatin.

2. INTRODUCCIÓN

El envejecimiento de la población constituye uno de los fenómenos demográficos más relevantes de las últimas décadas y representa uno de los principales desafíos para los sistemas sanitarios y sociales a nivel mundial. El aumento de la esperanza de vida, unido a la disminución de las tasas de natalidad, ha provocado un cambio significativo en la estructura demográfica, incrementando progresivamente la proporción de personas mayores dentro de la población global (Prince et al., 2015). Este fenómeno refleja los avances alcanzados en salud pública, medicina y condiciones socioeconómicas, pero también plantea importantes retos relacionados con el mantenimiento de la salud, la funcionalidad y la calidad de vida en edades avanzadas (Beard et al., 2016).

El envejecimiento poblacional se asocia con un incremento de la prevalencia de enfermedades crónicas, discapacidad y dependencia funcional. De hecho, muchas de las patologías asociadas al envejecimiento presentan un carácter multifactorial y progresivo, afectando a distintos sistemas del organismo y generando una carga significativa para los sistemas de salud (Marengoni et al., 2011). A medida que aumenta el número de personas mayores, también lo hace la demanda de servicios sanitarios, cuidados de larga duración y recursos sociales destinados a esta población. Este escenario ha impulsado el desarrollo de estrategias orientadas a promover el envejecimiento activo y saludable, con el objetivo de prolongar la autonomía funcional y reducir la aparición de discapacidad (Rowe & Kahn, 1997).

Desde el punto de vista económico, el envejecimiento de la población también tiene un impacto considerable en el gasto sanitario. Las personas mayores presentan una mayor prevalencia de enfermedades crónicas y requieren con mayor frecuencia atención médica, hospitalizaciones y tratamientos prolongados. Como consecuencia, los costes asociados a la atención sanitaria tienden a incrementarse a medida que la población envejece. En este contexto, la promoción de estrategias

que favorezcan un envejecimiento saludable se convierte en una prioridad para los sistemas de salud y para las políticas públicas (Bloom et al., 2015).

Entre los factores modificables que influyen en la salud durante el envejecimiento, la actividad física desempeña un papel fundamental. La inactividad física se considera actualmente uno de los principales factores de riesgo para el desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles, incluyendo enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2, algunos tipos de cáncer y trastornos musculoesqueléticos. Estas enfermedades representan una parte importante de la carga global de enfermedad y generan un elevado gasto sanitario a nivel mundial (Lee et al., 2012).

Diversos estudios han demostrado que la falta de actividad física no solo tiene consecuencias negativas para la salud individual, sino que también supone un importante coste económico para los sistemas sanitarios. A nivel global, se estima que la inactividad física genera miles de millones de dólares en gastos sanitarios cada año debido al tratamiento de enfermedades relacionadas con estilos de vida sedentarios. Concretamente, se ha estimado que la inactividad física es responsable de una carga económica superior a 67 mil millones de dólares anuales considerando tanto los costes sanitarios directos como las pérdidas de productividad asociadas a enfermedad y mortalidad prematura (Ding et al., 2016). Por este motivo, la promoción de estilos de vida activos se ha convertido en una estrategia clave para la prevención de enfermedades y la mejora de la salud pública (Guthold et al., 2018).

En el caso de las personas mayores, la actividad física adquiere una relevancia aún mayor debido a su impacto sobre la funcionalidad y la autonomía. Durante el proceso de envejecimiento se producen cambios fisiológicos que afectan a diferentes sistemas del organismo, entre los que destacan la pérdida progresiva de masa muscular, la disminución de la fuerza y la reducción de la densidad mineral ósea. Estos cambios pueden contribuir al desarrollo de condiciones como la

sarcopenia y la osteoporosis, las cuales se asocian con un mayor riesgo de caídas, fragilidad y discapacidad (Reginster et al., 2016). Además, la práctica regular de actividad física ha demostrado ser eficaz para mejorar la fuerza muscular, la movilidad y la capacidad funcional en personas mayores, contribuyendo así a mantener la independencia y reducir el riesgo de fragilidad (Nelson et al., 2007).

La sarcopenia se define como un síndrome caracterizado por la pérdida progresiva y generalizada de masa y función muscular asociada al envejecimiento. Actualmente, se reconoce como una condición clínica relevante debido a su relación con múltiples resultados adversos para la salud, como la disminución de la capacidad funcional, el aumento del riesgo de caídas, la fragilidad y la mortalidad (Cruz-Jentoft et al., 2019). La pérdida de masa y fuerza muscular no solo afecta al rendimiento físico, sino también a la capacidad de realizar actividades de la vida diaria y mantener la independencia funcional. Por ello, la identificación temprana de la sarcopenia y el desarrollo de estrategias preventivas constituyen aspectos fundamentales dentro de las políticas de salud dirigidas a la población envejecida (Dent et al., 2018).

Además de la pérdida cuantitativa de masa muscular, el envejecimiento también se asocia con alteraciones cualitativas en el tejido muscular que afectan a su capacidad funcional. En este sentido, el concepto de calidad muscular ha adquirido una creciente relevancia en los últimos años dentro del ámbito de la investigación en ciencias del deporte y gerontología. Este término hace referencia a la relación entre la fuerza que un músculo es capaz de generar y su tamaño o masa. Por lo tanto, dos individuos con una cantidad similar de masa muscular pueden presentar niveles de fuerza diferentes debido a variaciones en la calidad del tejido muscular (Fragala et al., 2015).

Diversos factores contribuyen a la disminución de la calidad muscular durante el envejecimiento. Entre ellos se encuentran la infiltración de tejido adiposo intramuscular, cambios en la arquitectura muscular, alteraciones en la composición de las fibras musculares y modificaciones en la activación neuromuscular (Marcus et

al., 2010). Estos cambios pueden provocar que la pérdida de fuerza sea incluso mayor que la pérdida de masa muscular observada con la edad. Por esta razón, algunos autores consideran que la disminución de la calidad muscular constituye uno de los principales determinantes de la pérdida de funcionalidad en adultos mayores (Wang et al., 2022).

En este sentido, la fuerza muscular se ha identificado como uno de los principales indicadores de salud en adultos mayores. La evaluación de la fuerza de prensión manual mediante dinamometría se ha consolidado como una herramienta sencilla, accesible y fiable para evaluar la función muscular en población envejecida, siendo considerada un marcador importante de salud y funcionalidad (Cruz-Jentoft & Sayer, 2019). Diversos estudios han demostrado que niveles bajos de fuerza muscular se asocian con mayor riesgo de discapacidad, hospitalización y mortalidad en personas mayores (Beaudart et al., 2017). Además, la fuerza muscular se ha convertido en uno de los principales criterios diagnósticos de la sarcopenia según los consensos internacionales más recientes.

Además de los cambios en el sistema muscular, el envejecimiento también conlleva modificaciones en el tejido óseo. La disminución progresiva de la densidad mineral ósea aumenta el riesgo de osteoporosis y fracturas, especialmente en población de edad avanzada. Estas fracturas, particularmente las de cadera, representan una de las principales causas de discapacidad y pérdida de autonomía en adultos mayores, así como un importante problema de salud pública debido a sus consecuencias funcionales y económicas (Reginster et al., 2016).

En este contexto, el ejercicio físico se ha consolidado como una de las estrategias no farmacológicas más eficaces para contrarrestar los efectos del envejecimiento sobre el sistema musculoesquelético. Diversos estudios han demostrado que programas de entrenamiento bien estructurados pueden mejorar significativamente la fuerza muscular, la masa muscular, el equilibrio y la capacidad funcional en adultos mayores, reduciendo al mismo tiempo el riesgo de caídas y fragilidad (Liu &

Latham, 2009). Estas adaptaciones se producen gracias a múltiples mecanismos fisiológicos, entre los que se incluyen mejoras en la síntesis proteica muscular, adaptaciones neuromusculares y cambios en la regulación hormonal y molecular del tejido muscular.

Dentro de las diferentes modalidades de ejercicio, los programas de entrenamiento multicomponente han demostrado ser especialmente eficaces en población envejecida. Este tipo de programas combina diferentes tipos de estímulos físicos, como ejercicios de fuerza, resistencia aeróbica, equilibrio y movilidad, con el objetivo de mejorar de manera global las capacidades físicas relacionadas con la funcionalidad. La integración de estos componentes permite abordar simultáneamente varios de los factores que contribuyen a la pérdida de autonomía en adultos mayores (Izquierdo et al., 2021), favoreciendo un enfoque más completo en comparación con intervenciones centradas en un único tipo de ejercicio (Sherrington et al., 2019).

Desde el punto de vista fisiológico, las adaptaciones musculares inducidas por el ejercicio están reguladas por diversos mecanismos moleculares y hormonales que modulan los procesos de síntesis y degradación proteica en el músculo esquelético. Entre estos mecanismos destaca el sistema formado por la miostatina y la folistatina, dos proteínas que desempeñan un papel clave en la regulación del crecimiento muscular. La miostatina es una proteína perteneciente a la familia del factor de crecimiento transformante beta (TGF- β) que actúa como un potente inhibidor del crecimiento muscular, limitando la proliferación y diferenciación de las células musculares (McPherron et al., 1997; Lee & McPherron, 2001).

Por otro lado, la folistatina actúa como un antagonista natural de la miostatina al unirse a ella e inhibir su actividad biológica, favoreciendo así procesos relacionados con la hipertrofia y la regeneración muscular (Walker et al., 2004). La interacción entre ambas proteínas constituye un sistema regulador fundamental del equilibrio entre procesos anabólicos y catabólicos en el músculo esquelético. En este sentido,

el índice miostatina/folistatina se ha propuesto como un posible indicador del entorno molecular que regula la masa muscular y la capacidad de adaptación del músculo frente a diferentes estímulos, entre ellos el ejercicio físico (Amthor et al., 2004).

Alteraciones en este equilibrio molecular se han asociado con procesos de pérdida muscular relacionados con el envejecimiento y con condiciones como la sarcopenia (Hittel et al., 2010). En individuos de edad avanzada, diversos estudios han observado cambios en los niveles circulantes de estos biomarcadores que podrían reflejar un entorno fisiológico menos favorable para el mantenimiento de la masa muscular. Por este motivo, el análisis de estos marcadores ha despertado un creciente interés en la investigación sobre envejecimiento y ejercicio físico (Schafer et al., 2017).

En los últimos años, la evidencia científica ha comenzado a explorar cómo el ejercicio físico puede modular estos biomarcadores musculares. Una revisión sistemática y metaanálisis reciente mostró que el entrenamiento de resistencia puede reducir significativamente la concentración de miostatina e incrementar los niveles de folistatina, lo que sugiere un entorno fisiológico más favorable para el desarrollo de adaptaciones musculares (Khalafi et al., 2023). De forma complementaria, estudios experimentales realizados en adultos mayores han mostrado que programas de entrenamiento estructurado pueden inducir cambios significativos en estos biomarcadores (Bongiovanni et al., 2016).

En un estudio realizado con hombres mayores, un programa de entrenamiento de resistencia produjo reducciones en los niveles de miostatina y aumentos en los niveles de folistatina, acompañados de mejoras significativas en la fuerza muscular y el área muscular (Negaresh et al., 2019). Estos hallazgos sugieren que las adaptaciones inducidas por el entrenamiento podrían estar mediadas, al menos en parte, por modificaciones en el equilibrio entre estos reguladores moleculares del crecimiento muscular.

Por todo ello, el desarrollo de intervenciones basadas en programas de ejercicio multicomponente orientados a mejorar la fuerza, la masa muscular y la funcionalidad en adultos mayores constituye una estrategia prometedora para promover un envejecimiento saludable. Comprender los mecanismos fisiológicos y moleculares que subyacen a las adaptaciones inducidas por el ejercicio puede contribuir a optimizar estas intervenciones y mejorar su eficacia en la prevención de la sarcopenia y la pérdida de funcionalidad asociada al envejecimiento (Dent et al., 2019).

3. JUSTIFICACIÓN

A pesar de la amplia evidencia existente sobre los beneficios del ejercicio físico en población adulta mayor, todavía persisten limitaciones en la investigación relacionada con el análisis conjunto de variables funcionales, estructurales y moleculares. La mayoría de los estudios se han centrado en evaluar mejoras en la fuerza muscular o la capacidad funcional, sin profundizar en los mecanismos fisiológicos que explican dichas adaptaciones ni en la interacción entre diferentes niveles de análisis.

En este contexto, el presente estudio aporta un enfoque integrador al combinar la evaluación de la funcionalidad, la calidad muscular y biomarcadores relacionados con la regulación del crecimiento muscular, como la miostatina y la folistatina. Aunque estos biomarcadores han comenzado a estudiarse en relación con el ejercicio físico, la evidencia en población mayor sigue siendo limitada, especialmente en el marco de programas de entrenamiento multicomponente.

Asimismo, la inclusión del índice miostatina/folistatina como indicador del equilibrio entre procesos anabólicos y catabólicos supone una aproximación relevante, ya que permite obtener información más precisa sobre el entorno fisiológico del músculo y sobre las adaptaciones inducidas por el ejercicio. Este enfoque contribuye a ampliar

la comprensión de los cambios que se producen más allá de las mejoras observables a nivel funcional.

Por otro lado, aunque los programas de entrenamiento multicomponente han demostrado ser eficaces para mejorar la condición física en adultos mayores, todavía es necesario profundizar en su efecto sobre la calidad muscular, un parámetro clave para la funcionalidad y la autonomía. Analizar esta variable permite evaluar no solo la cantidad de músculo, sino también su capacidad para generar fuerza de manera eficiente, lo que tiene una relación directa con la independencia en la vida diaria.

Desde una perspectiva aplicada, los resultados de este estudio pueden tener implicaciones relevantes para el diseño de programas de ejercicio físico dirigidos a población mayor, facilitando el desarrollo de intervenciones más eficaces y adaptadas a sus necesidades. Además, el hecho de que el estudio se plantee en un contexto cercano a la práctica real favorece la transferencia de los resultados a entornos comunitarios, centros de mayores o programas de actividad física.

En consecuencia, el presente trabajo se justifica por la necesidad de avanzar hacia un enfoque más completo en el estudio del envejecimiento y el ejercicio físico, integrando el análisis funcional con la evaluación de mecanismos fisiológicos y moleculares. Este planteamiento permite no solo confirmar los beneficios del ejercicio, sino también comprender cómo se producen dichas adaptaciones, contribuyendo al desarrollo de estrategias más eficaces para promover un envejecimiento activo y saludable.

4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

A continuación, presentamos la hipótesis de nuestro proyecto, junto con el objetivo general y los objetivos específicos.

4.1. HIPÓTESIS

La realización de un programa de entrenamiento multicomponente en personas mayores producirá mejoras significativas en la funcionalidad y en la calidad muscular, así como modificaciones favorables en biomarcadores relacionados con la regulación del crecimiento muscular, como el índice miostatina/folistatina.

4.2. OBJETIVOS:

4.2.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar el efecto de un programa de entrenamiento multicomponente sobre la funcionalidad, la calidad muscular y el índice miostatina/folistatina en personas mayores.

4.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar los cambios en la capacidad funcional de las personas mayores tras la aplicación de un programa de entrenamiento multicomponente.
2. Analizar las modificaciones en la fuerza muscular y en los indicadores de calidad muscular después de la intervención con ejercicio físico.
3. Determinar el efecto del entrenamiento multicomponente sobre los niveles de miostatina y folistatina.
4. Analizar la evolución del índice miostatina/folistatina tras la intervención con ejercicio físico.
5. Examinar la relación entre los cambios funcionales observados y las modificaciones en los biomarcadores musculares analizados.

5. METODOLOGÍA

5.1. DISEÑO.

El presente estudio se plantea como un Ensayo Clínico Aleatorizado (ECA) longitudinal con medidas repetidas (pre-post) y grupo control, cuyo objetivo es analizar los efectos de un programa de entrenamiento multicomponente sobre la calidad muscular, la funcionalidad y el índice miostatina/folistatina en adultos mayores.

Este diseño permite evaluar los cambios producidos a lo largo del tiempo dentro de cada grupo, así como comparar las diferencias entre el grupo experimental y el grupo control tras la intervención. La asignación aleatoria de los participantes a los grupos de estudio constituye una de las principales fortalezas metodológicas del diseño, ya que contribuye a distribuir de forma equilibrada las características individuales entre los grupos y reduce la influencia de posibles factores de confusión.

Asimismo, el carácter longitudinal del estudio posibilita el análisis de la evolución temporal de las variables musculares, funcionales y fisiológicas, permitiendo determinar los cambios producidos tras la aplicación del programa de entrenamiento. La realización de evaluaciones antes y después de la intervención facilita la cuantificación precisa de los efectos del ejercicio físico sobre las variables de interés.

La inclusión de un grupo control resulta fundamental para establecer comparaciones con participantes que mantienen sus hábitos de vida habituales durante el periodo de estudio, permitiendo diferenciar los efectos específicos de la intervención de aquellos cambios asociados al envejecimiento o a otras influencias externas. De este modo, el diseño favorece una mayor capacidad para establecer relaciones causales entre el programa de entrenamiento y los resultados observados.

Los ensayos clínicos aleatorizados son considerados el estándar de referencia para evaluar la eficacia de intervenciones en el ámbito de las ciencias de la salud debido a su elevada validez interna y a su capacidad para minimizar diversas fuentes de sesgo. En el campo del ejercicio físico y el envejecimiento, numerosos estudios han empleado este diseño para analizar los efectos de programas de entrenamiento multicomponente sobre la sarcopenia, la fuerza muscular, la funcionalidad y la calidad de vida de las personas mayores, demostrando resultados favorables en estas variables (Cadore et al., 2013; Beckwée et al., 2019).

Entre las principales limitaciones de este tipo de diseño se encuentran las posibles pérdidas de participantes durante el seguimiento, las dificultades para garantizar el cegamiento completo en intervenciones basadas en ejercicio físico y los problemas derivados de la adherencia al programa de entrenamiento. No obstante, la asignación aleatoria, la utilización de procedimientos estandarizados de evaluación y el seguimiento sistemático de los participantes contribuyen a fortalecer la validez y la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Se establecerán dos momentos de evaluación:

- Evaluación inicial (pre-intervención), con el objetivo de obtener valores basales de todas las variables analizadas.
- Evaluación final (post-intervención), tras la aplicación del programa de entrenamiento, para determinar los cambios producidos tras 24 semanas de intervención.

El estudio seguirá un enfoque cuantitativo, basado en la recogida sistemática de datos objetivos relacionados con variables funcionales, de composición corporal y biomarcadores fisiológicos.

5.2. MUESTRA Y FORMACIÓN DE GRUPOS

La muestra estará constituida por un total de 40 adultos mayores, reclutados mediante un procedimiento de aleatorización simple utilizando un generador informático de números aleatorios. Los participantes serán distribuidos de forma equitativa entre el grupo experimental ($n = 20$) y el grupo control ($n = 20$), con el objetivo de garantizar una distribución homogénea de las características basales y minimizar posibles sesgos de selección.

Este tipo de muestreo es habitual en estudios de intervención en población mayor, debido a la necesidad de trabajar con muestras accesibles y garantizar la adherencia al programa de entrenamiento (Mehra et al., 2016).

Tamaño muestral.

Investigaciones previas que han analizado los efectos del ejercicio físico sobre la funcionalidad, la fuerza muscular y biomarcadores relacionados con la sarcopenia han utilizado tamaños muestrales similares, generalmente comprendidos entre 20 y 50 participantes, obteniendo resultados estadísticamente significativos tras intervenciones de entre 12 y 24 semanas (Cadore et al., 2013; Bagheri et al., 2020).

Además, considerando un nivel de significación estadística de $p < 0,05$, una potencia estadística del 80 % y un tamaño del efecto moderado ($d = 0,5$), se estima que una muestra aproximada de 34 participantes sería suficiente para detectar cambios significativos en las principales variables funcionales y musculares del estudio.

Asimismo, se contempla un posible porcentaje de abandono habitual en estudios de intervención con población mayor, estimado entre un 10 % y un 20 %, motivo por el cual se proponen 40 participantes para garantizar la viabilidad del análisis final.

Finalmente, desde el punto de vista ético, el estudio respetará los principios establecidos en la Declaración de Helsinki para la investigación con seres humanos (World Medical Association, 2013). Todos los participantes firmarán un consentimiento informado antes del inicio del estudio, tras recibir información detallada sobre los objetivos, procedimientos, beneficios y posibles riesgos asociados a la investigación.

Asimismo, el proyecto será sometido a la evaluación y aprobación de un Comité de Ética de Investigación competente antes del inicio de la recogida de datos. La información personal de los participantes será tratada de manera confidencial y anonimizada, garantizando el cumplimiento de la normativa vigente en materia de protección de datos personales. Los datos recogidos serán utilizados exclusivamente con fines científicos y únicamente el equipo investigador tendrá acceso a ellos.

Características de la muestra. Los participantes deberán cumplir los siguientes criterios:

→ Criterios de inclusión.

Edad igual o superior a 65 años. Tener estado de salud compatible con la práctica de ejercicio físico moderado. No haber participado en programas estructurados de entrenamiento en los últimos 3 meses.

→ Criterios de exclusión.

Tener alguna enfermedad cardiovascular no controlada. Tener patologías neuromusculares graves. Sufrir deterioro cognitivo severo. Poseer lesiones musculoesqueléticas limitantes.

Formación de grupos.

Los participantes serán distribuidos en dos grupos:

- Grupo experimental (GE): participará en el programa de entrenamiento multicomponente durante 24 semanas.
- Grupo control (GC): mantendrá su estilo de vida habitual sin intervención específica.

Se intentará garantizar la homogeneidad inicial entre grupos en variables como edad, sexo y nivel funcional mediante la comparación de las medidas basales.

5.3. VARIABLES Y MATERIAL DE MEDIDA

1. Evaluación de la capacidad funcional.

Se emplearán pruebas funcionales ampliamente validadas en población mayor:

- Timed Up and Go (TUG)
- Sit to Stand (STS, 30 segundos)

El test Timed Up and Go (TUG) evalúa la movilidad funcional global, integrando acciones como levantarse, caminar, girar y volver a sentarse, lo que lo convierte en un indicador válido de la capacidad funcional y del riesgo de caídas en adultos mayores. Además, ha demostrado una alta fiabilidad test-retest y una fuerte correlación con otros indicadores de equilibrio y marcha (Podsiadlo & Richardson, 1991).

Por su parte, el test Sit to Stand (STS, 30 segundos) permite evaluar la fuerza funcional de los miembros inferiores mediante la repetición de levantarse y sentarse en un tiempo determinado, siendo una medida sencilla y sensible a cambios tras intervenciones de ejercicio físico. Este test ha sido ampliamente utilizado en población mayor y se ha relacionado con la capacidad para realizar actividades de la vida diaria (Jones et al., 1999).

La combinación de ambas pruebas permite obtener una evaluación integral de la funcionalidad, incluyendo movilidad, equilibrio y fuerza, aspectos clave en la prevención de la dependencia y la fragilidad en adultos mayores.

2. Evaluación de la fuerza muscular.

- Dinamometría manual mediante dinamómetro hidráulico

Se realizan dos intentos por cada mano, registrándose el valor máximo, siguiendo las recomendaciones estandarizadas para este tipo de medición. La posición del sujeto será sentado, con el codo en flexión de aproximadamente 90 grados y el antebrazo en posición neutra, con el fin de garantizar la reproducibilidad de la prueba.

La fuerza de prensión manual es considerada un biomarcador funcional del estado de salud, ya que se asocia con la fuerza muscular global, la capacidad funcional y la autonomía en adultos mayores. Además, numerosos estudios han demostrado su capacidad predictiva sobre eventos adversos como discapacidad, hospitalización y mortalidad (Bohannon, 2019).

Asimismo, la dinamometría manual presenta una alta fiabilidad y validez, lo que la convierte en una herramienta ampliamente utilizada en investigación y práctica clínica para la evaluación de la función muscular.

3. Evaluación de la calidad muscular.

La calidad muscular se define como la relación entre la fuerza muscular y la masa muscular, obtenida a partir de la dinamometría manual y la bioimpedancia eléctrica, respectivamente.

La composición corporal se evaluará mediante bioimpedancia eléctrica (BIA), utilizando un analizador de composición corporal. Esta técnica no invasiva permite estimar la masa muscular, el porcentaje de grasa corporal y el agua corporal total a

partir de la resistencia al paso de una corriente eléctrica de baja intensidad. Para garantizar la precisión de las mediciones, las evaluaciones se realizan bajo condiciones estandarizadas. La BIA es un método válido, accesible y ampliamente utilizado en estudios clínicos y de investigación (Kyle et al., 2004).

Respecto a la calidad muscular, se calculará mediante el cociente entre la fuerza de prensión manual máxima obtenida en dinamometría (kg) y la masa muscular total estimada mediante bioimpedancia eléctrica (kg), siguiendo la siguiente fórmula:

Calidad muscular = Fuerza de prensión manual (kg) / Masa muscular total (kg) Esta aproximación se basa en la definición de calidad muscular como la relación entre la capacidad de generar fuerza y la cantidad de masa muscular disponible, considerándose un indicador de la eficiencia funcional del tejido muscular (Wen et al., 2023; Michel et al., 2024).

Este indicador permite evaluar la eficiencia funcional del músculo, es decir, la capacidad de generar fuerza en relación con su tamaño. En este sentido, la calidad muscular se considera un parámetro más sensible que la masa muscular aislada, ya que tiene en cuenta tanto factores estructurales como neuromusculares.

La utilización de la fuerza de prensión manual como indicador de fuerza global se justifica por su elevada correlación con la fuerza muscular general y con diferentes indicadores de funcionalidad en población adulta mayor. Además, la dinamometría manual constituye una herramienta sencilla, válida y ampliamente utilizada en investigación sobre sarcopenia y envejecimiento, siendo considerada un marcador fiable del estado funcional y de salud muscular (Bohannon, 2019). Por otro lado, el empleo de la masa muscular total obtenida mediante bioimpedancia permite relacionar la capacidad funcional del músculo con la cantidad total de tejido muscular disponible, proporcionando una estimación global de la eficiencia muscular.

Diversos estudios han señalado que la disminución de la calidad muscular está más estrechamente relacionada con la pérdida de funcionalidad y la aparición de sarcopenia que la reducción de la masa muscular por sí sola (Barbat-Artigas et al., 2012).

Por ello, su evaluación resulta especialmente relevante en población adulta mayor, donde los cambios cualitativos del tejido muscular tienen un impacto significativo sobre la capacidad funcional.

4. Evaluación de muestras biológicas.

Se realizará una extracción de sangre en condiciones estandarizadas para analizar los niveles de:

- Miostatina
- Folistatina

Las muestras sanguíneas serán obtenidas en ayunas y analizadas mediante técnicas de laboratorio como el inmunoensayo tipo ELISA, que permite cuantificar la concentración de proteínas específicas en plasma con alta sensibilidad y precisión.

Para la cuantificación de folistatina se empleará el kit comercial Human Follistatin ELISA Kit (A1433) (St. Louis, EE. UU.), un ensayo ELISA colorimétrico para la determinación cuantitativa de folistatina humana en suero, plasma y sobrenadantes de cultivo celular.

Para la cuantificación de miostatina se utilizará el kit comercial GDF-8/Myostatin Quantikine ELISA Kit (DGDF80) (Minneapolis, EE. UU.), un ensayo ELISA tipo sándwich diseñado para la determinación cuantitativa de GDF-8/miostatina en suero, plasma, homogeneizados tisulares y sobrenadantes de cultivo celular.

El análisis conjunto de estos biomarcadores permite comprender mejor los mecanismos moleculares que regulan la adaptación muscular al ejercicio físico, especialmente en población envejecida (Khalafi et al., 2023)

5. Índice miostatina/folistatina.

El índice miostatina/folistatina se calculará como el cociente entre los niveles de ambas proteínas, constituyendo un indicador del equilibrio entre procesos anabólicos y catabólicos en el músculo esquelético.

Valores elevados de este índice se asocian con un entorno más catabólico, caracterizado por una mayor inhibición del crecimiento muscular, mientras que valores más bajos reflejan un entorno fisiológico más favorable para el desarrollo y mantenimiento de la masa muscular.

En los últimos años, este índice ha adquirido relevancia en la investigación sobre envejecimiento y ejercicio físico, al permitir evaluar de forma integrada la respuesta molecular del músculo a diferentes estímulos, como el entrenamiento de fuerza o el ejercicio multicomponente.

Variables externas y factores de confusión.

Con el fin de aumentar la validez interna del estudio y minimizar la influencia de factores de confusión, se controlarán diversas variables externas relacionadas con el estilo de vida y el estado de salud de los participantes, dado que pueden afectar a la funcionalidad, la composición corporal y los biomarcadores musculares asociados a la sarcopenia (Deutz et al., 2014; Bagheri et al., 2020).

Hábitos alimentarios. Se evaluarán mediante un recordatorio nutricional de 24 horas realizado antes de las evaluaciones pre y post intervención. Se prestará especial atención a la ingesta proteica, debido a su influencia sobre la síntesis proteica muscular y las adaptaciones al entrenamiento en personas mayores (Deutz et al.,

2014). Además, se solicitará a los participantes mantener sus hábitos alimentarios habituales durante todo el estudio (véase Anexo I).

Medicación habitual. Se registrará mediante una ficha de recogida de datos clínicos, donde se documentarán los tratamientos farmacológicos habituales (antihipertensivos, antiinflamatorios, corticoides, hipolipemiantes, entre otros), así como cualquier modificación producida durante la intervención. (Anexo II)

Calidad del sueño. Se medirá mediante el Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), cuestionario validado para valorar la calidad subjetiva del sueño, en este caso para población adulta, compuesto por 19 ítems agrupados en siete componentes.". Esta variable se controlará debido a su relación con los procesos de recuperación muscular y adaptación al ejercicio (Xie et al., 2021). (Anexo III)

Nivel de actividad física externa. Se evaluará mediante un registro semanal autoadministrado, en el que los participantes anotarán cualquier actividad física realizada fuera del programa de intervención, con el objetivo de controlar su posible influencia sobre los resultados. (Anexo IV)

Asimismo, para reducir la variabilidad en las determinaciones bioquímicas, las extracciones sanguíneas se realizarán en condiciones estandarizadas (ayuno, horario matutino y abstinencia de ejercicio intenso, alcohol y cafeína durante las 24 horas previas), favoreciendo una medición más precisa de los niveles de miostatina, folistatina y del índice miostatina/folistatina.

5.4. PROCEDIMIENTO

Para la consecución de los objetivos planteados en el presente estudio y la correcta evaluación de las variables analizadas, se diferenciarán dos momentos: un periodo pre-intervención, correspondiente a la valoración inicial; un periodo

post-intervención, tras la finalización del programa; y el desarrollo del propio programa de entrenamiento multicomponente.

A. Valoración inicial. Momento pre-intervención.

El punto inicial del estudio se llevará a cabo durante dos días consecutivos y un tercero en caso de ser necesario, en los que se realizará la evaluación de las variables funcionales, de composición corporal y de biomarcadores musculares

→ Día 1: Evaluación inicial y recogida de datos.

En la primera jornada, todos los participantes acudirán en condiciones estandarizadas. En primer lugar, se procederá a la firma del consentimiento informado, garantizando el cumplimiento de los principios éticos de investigación.

Posteriormente, se registrarán los datos personales y antropométricos tales como:

Edad, talla, peso corporal y composición corporal mediante bioimpedancia.

Asimismo, se realizará la extracción de una muestra sanguínea en ayunas para el análisis de los biomarcadores musculares (miostatina y folistatina), llevada a cabo por personal sanitario cualificado, siguiendo protocolos de seguridad e higiene.

→ Día 2: Evaluación de la capacidad funcional y fuerza muscular.

Durante la segunda jornada se llevará a cabo la evaluación de la condición física funcional, con el objetivo de valorar el estado inicial de los participantes.

El orden de realización de las pruebas será el siguiente:

- Dinamometría manual (fuerza de prensión)
- Test Sit to Stand (30 segundos)
- Test Timed Up and Go (TUG)

Estas pruebas serán realizadas bajo la supervisión de profesionales en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, garantizando la correcta ejecución y la fiabilidad de los resultados.

→ Día 3: Evaluación complementaria.

En la tercera jornada se completará la recogida de datos en caso de ser necesario, así como la repetición de alguna prueba en situaciones donde se detecten valores atípicos o errores en la medición, con el objetivo de asegurar la validez de los datos obtenidos.

B. Valoración final. Momento post-intervención

La valoración final se llevará a cabo tras la finalización del programa de entrenamiento, siguiendo el mismo protocolo que la evaluación inicial, con el objetivo de garantizar la comparabilidad de los resultados.

Para minimizar posibles factores de confusión, todas las mediciones se realizarán:

- En condiciones similares
- En la misma franja horaria
- Siguiendo el mismo orden de pruebas

De esta forma, se pretende asegurar que los cambios observados se deban a la intervención aplicada y no a variables externas.

Figura 1. Procedimiento e Intervención



5.5. INTERVENCIÓN.

El programa de entrenamiento multicomponente se desarrollará durante un periodo de 24 semanas, con una frecuencia de 3 sesiones semanales en días alternos (lunes, miércoles y viernes), siguiendo una metodología basada en el entrenamiento de fuerza, trabajo funcional, ejercicios de estabilidad y tareas orientadas a la mejora de la capacidad cardiorrespiratoria. La duración de cada sesión oscila entre 60 y 75 minutos, incluyendo calentamiento, parte principal y vuelta a la calma, siguiendo una progresión adaptada a las características funcionales de la población adulta mayor.

La intervención se estructurará en 6 mesociclos, organizados de manera progresiva con el objetivo de aumentar gradualmente la complejidad técnica, la demanda neuromuscular y el estímulo cardiovascular, favoreciendo las adaptaciones fisiológicas relacionadas con la funcionalidad y la calidad muscular. Cada mesociclo estará compuesto por tres sesiones diferenciadas según el patrón dominante de movimiento: una sesión orientada al trabajo de empuje del tren superior junto al

trabajo dominante de la cadena posterior del tren inferior; una sesión centrada en movimientos de tracción del tren superior y trabajo dominante de la cadena anterior del tren inferior; y una tercera sesión de carácter full body, donde se integrarán ejercicios globales y funcionales.

Las sesiones se dividirán en diferentes bloques de trabajo con el propósito de organizar adecuadamente la carga de entrenamiento y controlar la fatiga acumulada. Los primeros bloques estarán orientados principalmente al desarrollo de la fuerza muscular mediante ejercicios multiarticulares y patrones básicos de movimiento, mientras que los bloques posteriores incluirán ejercicios funcionales, cardiovasculares, de coordinación, estabilidad y equilibrio, aspectos especialmente relevantes en población adulta mayor debido a su relación con la prevención de caídas y el mantenimiento de la autonomía funcional.

Por otro lado, la intensidad del entrenamiento será de carácter moderado y se controlará mediante la escala de percepción subjetiva del esfuerzo (RPE), con valores comprendidos entre 5 y 7 sobre 10, lo que corresponde a un esfuerzo percibido de moderado a algo intenso. Este rango de intensidad ha sido seleccionado con el objetivo de garantizar un estímulo suficiente para la mejora de la condición física, al mismo tiempo que se minimiza el riesgo de fatiga excesiva o lesión en población adulta mayor.

La utilización de la escala RPE permite ajustar la carga de trabajo de manera individualizada, teniendo en cuenta la percepción del esfuerzo de cada participante, lo cual resulta especialmente útil en contextos donde existe una alta variabilidad en el nivel funcional. Además, esta herramienta facilita el control de la intensidad en entornos no clínicos, donde el uso de métodos más complejos (como el control de la frecuencia cardíaca) puede resultar menos accesible.

Diversos estudios han demostrado que la escala de percepción subjetiva del esfuerzo es un método válido y fiable para monitorizar la intensidad del ejercicio en

población adulta, incluyendo adultos mayores, mostrando una adecuada correlación con variables fisiológicas como el consumo de oxígeno o la frecuencia cardiaca (Borg, 1998).

Todas las sesiones comenzarán con un calentamiento centrado en la activación neuromuscular, la movilidad articular y la preparación del organismo para el ejercicio físico. Incluirá ejercicios de movilidad articular, ejercicios de estabilidad, ejercicios de activación del core y ejercicios dinámicos.

Tabla 1. Estructura de calentamiento

Calentamiento

Ejercicio	Dosificación	Intensidad
• Dorsiflexión de tobillo • Movilidad 90/90 de cadera • Bird-dog • Rotación de columna/cadera en cuadrupedia • Movilidad escapular: retracción y protracción	Circuito de 2 x 12 repeticiones cada ejercicio	1-2 RPE
• Sentadilla acabando en puntillas • Subida y bajada al step	Circuito de 2 x 30 segundos cada ejercicio	2-3 RPE
• Puente de glúteo con minibanda + abducción isométrica	Circuito de 2 x 20 segundos cada ejercicio	2-3 RPE

- Puente de glúteo dinámico con minibanda
- Plancha de codos

La inclusión de ejercicios de activación y movilidad ha demostrado mejorar el rendimiento posterior y reducir el riesgo de lesión en población mayor (Behm et al., 2016).

La vuelta a la calma, por su parte, tendrá una duración aproximada de entre 5 y 10 minutos y estará compuesta por ejercicios de movilidad articular, estiramientos y tareas de respiración controlada. Esta fase tendrá como objetivo favorecer la recuperación progresiva del organismo tras el esfuerzo realizado, disminuyendo gradualmente la frecuencia cardiaca y promoviendo la relajación muscular y el bienestar general de los participantes.

Tabla 2. Estructura de vuelta a la calma

Vuelta a la calma

Ejercicio	Dosificación	Intensidad
• Movilidad de cadera en sedestación • Movilidad lumbar y rotaciones suaves de columna • Movilidad escapular y de hombro	Circuito de 2 x 20 segundos cada ejercicio	1-2 RPE
• Estiramiento de cuádriceps en bipedestación • Estiramiento de isquiotibiales • Estiramiento de glúteo y piriforme	Circuito de 2 x 20-30 segundos cada ejercicio	1-2 RPE

- Estiramiento de pectoral y cintura escapular
- Respiración diafragmática controlada 2-3 minutos 1 RPE
- Inspiración nasal y espiración lenta

Durante el primer mesociclo, el objetivo principal será la familiarización de los participantes con la dinámica de entrenamiento, el aprendizaje técnico de los ejercicios y la adaptación inicial al esfuerzo físico. Para ello, se emplearán ejercicios de baja complejidad técnica, utilizando principalmente el propio peso corporal, bandas elásticas y cargas ligeras, priorizando la correcta ejecución del movimiento y el control postural. Además, se introducirán tareas de equilibrio y estabilidad con el propósito de mejorar el control motor y reducir el riesgo de caídas en población adulta mayor.

Tabla 3. Mesociclo 1º mes

Lunes - Empuje + parte posterior del tren inferior

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Sentarse y levantarse de una silla	3 x 10-12 repeticiones. Descanso 60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 4-5 RPE
	2. Puente de glúteos	
	3. Peso muerto con mancuerna ligera	

Bloque II	1. Elevaciones de gemelos de pie	3 x 10-12 repeticiones. Descanso 60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 4-5 RPE
	2. Press de pecho con mancuernas	
	3. Press de hombros sentado	
Bloque III	1. Flexiones en pared	2 x 10-12 repeticiones. Descanso 45-60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 4-5 RPE
	2. Extensión de tríceps con banda	

Miércoles - Tracción + parte anterior del tren inferior

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Sentadilla a silla	3 x 10-12 repeticiones. Descanso 60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 4-5 RPE.
	2. Step-up bajo	
	3. Extensión de rodilla sentado	
Bloque II	1. Marcha elevando rodillas	3 x 10-12 repeticiones. Descanso 45-60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque.
	2. Remo con banda elástica	En el caso del ejercicio metabólico haremos 6 series de 30" de trabajo con 15" de descanso. 4-5 RPE
	3. Jalón con banda	

Bloque III	1. Face pull con banda	2 x 10-12 repeticiones. Descanso 45” entre ejercicios, 90” al finalizar el bloque.
	2. Curl de bíceps con mancuerna	4-5 RPE

Viernes - Full body

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Sentadilla goblet ligera	3 x 10-12 repeticiones. Descanso 60-90” entre ejercicios, 90” al finalizar el bloque.
	2. Peso muerto con mancuerna	4-5 RPE.
	3. Press de pecho con banda	
Bloque II	1. Sentadilla + remo con banda	3 x 10 repeticiones. Descanso 60” entre ejercicios, 90” al finalizar el bloque.
	2. Thruster	4-5 RPE.
	3. Zancada hacia detrás + bíceps	
Bloque III	1. Equilibrio unilateral con mancuerna	4 x 20-25” / 10 repeticiones por lado. Descanso 30-45” entre ejercicios, 60” al finalizar el bloque.
	2. Dead bug	4-5 RPE.

En el segundo mesociclo se producirá una progresión del volumen y de la exigencia cardiovascular del entrenamiento, manteniendo la prioridad sobre la calidad técnica de ejecución. Se incorporarán ejercicios en polea, máquinas guiadas y ergómetros, aumentando progresivamente la demanda metabólica y neuromuscular. Asimismo, se introducirán ejercicios de estabilidad unilateral y tareas funcionales con desplazamientos, favoreciendo mejoras en la coordinación y la funcionalidad general.

Tabla 4. Mesociclo 2º mes

Lunes - Empuje + parte posterior del tren inferior

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Curl de isquios	3 x 12-15 repeticiones. Descanso 60-90" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 5-6 RPE.
	2. Elevación lateral en polea	
	3. Press de banca con mancuerna	
Bloque II	1. Pasos laterales con minibanda	3 x 12-15 repeticiones / 1:30 min. Descanso 45-60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. En el caso del ejercicio metabólico haremos 6 series de 30" de trabajo con 15" de descanso. 5-6 RPE.
	2. Máquina de remo	
	3. Elevación frontal con mancuernas	

Bloque III 1. Runner 3 x 1:30 min. Descanso 45" entre series. 5-6 RPE.

Miércoles - Tracción + parte anterior del tren inferior

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Sentadilla acabando en puntillas	3 x 12-15 repeticiones. Descanso 60-90" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 5-6 RPE.
	2. Zancada isométrica	
	3. Jalón al pecho	
Bloque II	1. Bicicleta	3 x 1 min / 12 repeticiones. Descanso 45-60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 5-6 RPE.
	2. Bird dog	
	3. Bíceps en barra Z	
Bloque III	1. SkiErg	3 x 1 min. Descanso 45" entre series. 5-6 RPE.

Viernes - Full body

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Patada de isquios	2-3 x 12-15 repeticiones. Descanso 60-90" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 5-6 RPE.
	2. Abducción en polea	
	3. Tríceps en banco	
Bloque II	1. Runner	3 x 1:30 min / 5 calorías. Descanso 60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 5-6 RPE.
	2. Batidas con cuerda	
	3. Bicicleta de aire	

Durante el tercer mesociclo aumentará la complejidad funcional de las sesiones mediante la inclusión de ejercicios multiarticulares, movimientos unilaterales y tareas dinámicas que integran diferentes patrones de movimiento. Del mismo modo, se incrementará la participación de ejercicios orientados al desarrollo de la fuerza funcional y la resistencia cardiovascular, buscando una mayor transferencia hacia las actividades de la vida diaria.

Tabla 5. Mesociclo 3º mes

Lunes - Empuje + parte posterior del tren inferior

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
--------	-----------	---------------------------

Bloque I	1. Peso muerto con mancuernas	3 x 12-15 repeticiones. Descanso 60-90" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Press inclinado con mancuernas	
	3. Aperturas en banco con mancuernas	
Bloque II	1. Hip thrust	3 x 12-15 repeticiones / 1 min. Descanso 45-60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Push press	
	3. Subida y bajada a step	
Bloque III	1. Skipping	3 x 1 min. Descanso 45" entre series. 6-7 RPE.

Miércoles - Tracción + parte anterior del tren inferior

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Remo unilateral con apoyo en banco	3 x 12-15 repeticiones. Descanso 60-90" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Prensa de piernas	

3. Zancada hacia detrás

Bloque II 1. Tracción de trineo 3 x 10 metros / 12 repeticiones / 1 min.
Descanso 45-60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.

2. Curl de bíceps

3. Elíptica

Bloque III 1. Remo ergómetro 3 x 1 min. Descanso 45" entre series. 6-7 RPE.

Viernes - Full body

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Landmine press	3 x 12-15 repeticiones. Descanso 60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Face pull en polea	
	3. Pallof press	
Bloque II	1. Farmer walk	3 x 10 metros / 10 calorías / 1:30 min. Descanso 60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Climber machine	

3. Runner

En el cuarto mesociclo se incrementará la exigencia neuromuscular y metabólica del programa mediante ejercicios globales y tareas con mayor componente dinámico. Se introducirán movimientos que requieren una mayor coordinación intermuscular, así como ejercicios combinados de fuerza y resistencia, con el objetivo de potenciar las adaptaciones funcionales y la capacidad de esfuerzo de los participantes.

Tabla 6. Mesociclo 4º mes

Lunes - Empuje + parte posterior del tren inferior

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Goblet squat	3 x 12-15 repeticiones. Descanso 60-90" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque.
	2. Patada de glúteo en polea	6-7 RPE.
	3. Curl femoral sentado	
Bloque II	1. Fondos en banco	3 x 12-15 repeticiones / 1 min. Descanso 45-60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Press Arnold	
	3. Elíptica	

Bloque III 1. Jumping jacks 6 x 30". Descanso 15" entre series. 6-7 RPE.

Miércoles - Tracción + parte anterior del tren inferior

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Remo en TRX	3 x 10-15 repeticiones. Descanso 45-90" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque.
	2. Dominada asistida en máquina	6-7 RPE.
	3. Extensión de cuádriceps	
Bloque II	1. Subida y bajada a cajón	3 x 12-15 repeticiones / 1 min. Descanso 45-60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque.
	2. Sentadilla en multipower	6-7 RPE.
	3. Curl martillo	
Bloque III	1. Batidas con cuerda	3 x 1 min. Descanso 45" entre series. 6-7 RPE.

Viernes - Full body

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Thruster	3 x 10-15 repeticiones. Descanso 60-90” entre ejercicios, 90” al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Press de banca con mancuernas	
	3. Remo + zancada hacia atrás	
Bloque II	1. Empuje de trineo	3 x 10 metros / 1:30 min. Descanso 60-90” entre ejercicios, 90” al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Airbike	
Bloque III	1. Dead bug	3 x 12-15 repeticiones. Descanso 60” entre series. 6-7 RPE.

El quinto mesociclo estará orientado a consolidar las adaptaciones obtenidas durante los meses previos, incrementando progresivamente la complejidad coordinativa y el componente funcional del entrenamiento. Para ello, se utilizarán ejercicios combinados y tareas que integran simultáneamente trabajo de fuerza y resistencia cardiovascular, favoreciendo una mejora global de la funcionalidad y la autonomía.

Tabla 7. Mesociclo 5º mes

Lunes - Empuje + parte posterior del tren inferior

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Elevación lateral de hombro en polea	3 x 12-15 repeticiones. Descanso 60-90" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Patada de isquio en polea	
	3. Peso muerto con mancuernas	
Bloque II	1. Extensión en polea con cuerda	3 x 12-15 repeticiones / 1 min. Descanso 45-60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Press militar con mancuernas	
	3. SkiErg	
Bloque III	1. Runner	6 x 30". Descanso 15" entre series. 6-7 RPE.

Miércoles - Tracción + parte anterior del tren inferior

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
--------	-----------	---------------------------

Bloque I	1. T-Bar Row	3 x 10-15 repeticiones. Descanso 45-90" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Jalón al pecho	
	3. Prensa de piernas	
Bloque II	1. Escalador horizontal (Climber machine)	3 x 12-15 repeticiones / 1 min. Descanso 45-60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Zancada hacia delante	
	3. Curl en polea baja con barra recta	
Bloque III	1. Bicicleta estática	3 x 1 min. Descanso 45" entre series. 6-7 RPE.

Viernes - Full body

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Sentadilla + bíceps en polea	3 x 10-15 repeticiones. Descanso 60-90" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Remo con mancuerna	
	3. Puente de glúteo + press con mancuernas	

Bloque II	1. Remo ergómetro	3 x 10-12 repeticiones / 1:30 min.
	2. Farmers carry	Descanso 60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	3. Apertura en polea	

Finalmente, el sexto mesociclo representará la fase de mayor complejidad funcional y demanda física del programa. Se integrarán ejercicios multiarticulares y movimientos globales que combinan acciones de empuje, tracción, desplazamiento y estabilidad, buscando maximizar la transferencia hacia las actividades de la vida diaria. De esta manera, la intervención seguirá una progresión lógica y controlada, respetando los principios del entrenamiento y adaptándose a las capacidades funcionales de la población adulta mayor.

Tabla 8. Mesociclo 6º mes

Lunes - Empuje + parte posterior del tren inferior

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Elevación frontal de hombro en polea	3 x 12-15 repeticiones. Descanso 60-90" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Curl de isquio en máquina	
	3. Gemelos en prensa	

Bloque II	1. Aperturas con mancuernas en banco	3 x 12-15 repeticiones / 1 min. Descanso 45-60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Extensión unilateral en polea	
	3. Skipping	
Bloque III	1. Airbike	6 x 30". Descanso 15" entre series. 6-7 RPE.

Miércoles - Tracción + parte anterior del tren inferior

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Remo sentado en polea	3 x 10-15 repeticiones / 30" por lado. Descanso 45-90" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Face pull	
	3. Zancada isométrica con mancuernas	
Bloque II	1. SkiErg	3 x 12-15 repeticiones / 1 min. Descanso 45-60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Abducción de cadera en polea	

3. Curl martillo con cuerda

Bloque III 1. Elíptica 3 x 1 min. Descanso 45" entre series. 6-7 RPE.

Viernes - Full body

Bloque	Ejercicio	Dosificación e intensidad
Bloque I	1. Remo en TRX + zancada hacia atrás	3 x 10-15 repeticiones. Descanso 60-90" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Press de hombro + sentadilla goblet	
	3. Peso muerto rumano + remo	
Bloque II	1. Batidas con cuerda	3 x 10-12 repeticiones / 1:30 min. Descanso 60" entre ejercicios, 90" al finalizar el bloque. 6-7 RPE.
	2. Step-Up + curl de bíceps	
Bloque III	1. Pallof press + paso lateral con banda	3 x 12-15 repeticiones por lado. Descanso 60" entre series. 6-7 RPE.

5.5. ANÁLISIS DE DATOS

Todo el análisis estadístico se realizará mediante el software IBM SPSS Statistics, ampliamente utilizado en investigación en ciencias de la salud y del deporte, garantizando la fiabilidad y validez de los resultados obtenidos.

El análisis de los datos se realizará mediante un enfoque estadístico descriptivo e inferencial, con el objetivo de examinar los cambios producidos tras la intervención y comparar los resultados entre el grupo experimental y el grupo control.

En primer lugar, se llevará a cabo un análisis descriptivo de todas las variables recogidas, calculando la media y la desviación estándar para las variables cuantitativas. Esto permitirá describir las características de la muestra y observar la evolución de los datos en los momentos pre y post intervención.

Posteriormente, se comprobará la normalidad de la distribución de los datos mediante el test de Shapiro-Wilk, con el fin de determinar la utilización de pruebas paramétricas o no paramétricas.

Para el análisis intragrupo (comparación pre-post dentro de cada grupo), se emplea la prueba t de Student para muestras relacionadas. En caso de no cumplirse el supuesto de normalidad, se utilizará la prueba no paramétrica de Wilcoxon.

Para el análisis intergrupo (comparación entre grupo experimental y grupo control), se utilizará la prueba t de Student para muestras independientes. Si los datos no siguen una distribución normal, se recurrirá a la prueba U de Mann-Whitney.

El nivel de significación estadística se establecerá en $p < 0,05$.

5.6. EQUIPO INVESTIGADOR

El desarrollo del presente estudio contará con la participación de un equipo investigador multidisciplinar, con el objetivo de garantizar la correcta ejecución del

programa de intervención, la seguridad de los participantes y la fiabilidad en la recogida y análisis de los datos.

El equipo estará compuesto por:

→ Investigador principal: encargado de la coordinación general del estudio, diseño metodológico y supervisión del desarrollo del proyecto.

→ Graduados en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte: responsables de la planificación y ejecución del programa de entrenamiento, así como de la supervisión directa de las sesiones.

→ Personal sanitario (enfermería o medicina): encargado de la realización de las extracciones sanguíneas y del control del estado de salud de los participantes.

→ Técnicos de laboratorio: responsables del análisis de los biomarcadores (miostatina y folistatina) mediante técnicas específicas como ELISA.

La participación de un equipo multidisciplinar permite mejorar la calidad de la investigación y garantizar un abordaje integral del estudio, especialmente en intervenciones que combinan variables funcionales, fisiológicas y moleculares (Stokols et al., 2008).

6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO

La realización del presente estudio se considera potencialmente viable desde el punto de vista logístico, metodológico y organizativo, si bien presenta una serie de condicionantes que deben ser tenidos en cuenta durante su desarrollo.

En primer lugar, la captación de la muestra resulta factible, ya que los participantes serán reclutados en centros de mayores, asociaciones vecinales y programas comunitarios de actividad física, entornos en los que existe una disponibilidad considerable de población adulta mayor con características acordes a los criterios

de inclusión establecidos. Además, este tipo de contextos favorece la adherencia al programa de entrenamiento, lo que contribuye positivamente a la viabilidad del estudio. No obstante, el uso de un muestreo no probabilístico por conveniencia puede limitar la representatividad de la muestra y, por tanto, la generalización de los resultados obtenidos.

En cuanto a los recursos materiales, el programa de intervención se desarrollará en instalaciones deportivas o espacios acondicionados que dispongan del equipamiento necesario para la realización de ejercicios de entrenamiento multicomponente, tales como material de fuerza (mancuernas, bandas elásticas, kettlebells), elementos de estabilidad (fitball, colchonetas) y dispositivos para el trabajo de resistencia (ergómetros, step). Asimismo, los instrumentos de medida empleados, como el dinamómetro manual o el analizador de bioimpedancia, son de uso habitual en el ámbito de las ciencias de la actividad física y del deporte. Sin embargo, la disponibilidad de determinados recursos, especialmente aquellos relacionados con el análisis de biomarcadores, podría depender del acceso a laboratorios especializados y del apoyo institucional.

Por otro lado, el estudio cuenta con la participación de un equipo investigador multidisciplinar cualificado, lo que garantiza la correcta ejecución del programa de entrenamiento, la supervisión de los participantes y la fiabilidad en la recogida y análisis de los datos. La colaboración de personal sanitario y técnicos de laboratorio permite abordar el análisis de variables fisiológicas con rigor. A pesar de ello, la coordinación entre los distintos profesionales implicados puede suponer un reto organizativo, especialmente en estudios con múltiples fases de evaluación.

Desde el punto de vista temporal, la duración del programa (24 semanas) se considera adecuada para la obtención de adaptaciones tanto funcionales como fisiológicas. No obstante, este periodo prolongado puede suponer una limitación en términos de adherencia, ya que existe la posibilidad de abandono por parte de algunos participantes a lo largo de la intervención, especialmente en población

adulto mayor. Asimismo, factores como el estado de salud, la motivación individual o la aparición de enfermedades intercurrentes podrían influir en la continuidad de los participantes y en los resultados obtenidos.

Con el objetivo de mejorar la adherencia y minimizar el número de abandonos, las sesiones serán supervisadas de manera continua por profesionales cualificados, fomentando un entorno seguro, dinámico y adaptado al nivel funcional de los participantes. Además, se realizará un seguimiento individualizado de la asistencia y se promoverá la motivación mediante una progresión ajustada a las capacidades de cada participante y el refuerzo positivo durante las sesiones. En caso de abandono, se registrarán las causas específicas siempre que sea posible, diferenciando entre motivos personales, problemas de salud o falta de adherencia al programa.

En relación con los aspectos económicos, el coste del estudio es moderado, dado que gran parte del material necesario está disponible en instalaciones deportivas convencionales. Sin embargo, los principales gastos asociados al análisis de biomarcadores y al personal especializado podrían suponer una limitación si no se dispone de financiación suficiente o colaboración institucional.

7. CONCLUSIONES

La realización de un programa de entrenamiento multicomponente constituye una estrategia eficaz para mejorar la funcionalidad y la calidad muscular en personas mayores. Además, el análisis del índice miostatina/folistatina permite comprender mejor las adaptaciones fisiológicas inducidas por el ejercicio físico.

8. CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

El presente trabajo contribuye principalmente al Objetivo de Desarrollo Sostenible 3: Salud y Bienestar, cuyo propósito es garantizar una vida saludable y promover el

bienestar para todas las personas y en todos los grupos de edad. Entre sus objetivos destacan la prevención de enfermedades no transmisibles, la promoción de hábitos de vida saludables y la mejora de la calidad de vida de la población mediante estrategias de promoción de la salud.

En este contexto, el estudio propuesto se relaciona directamente con el ODS 3, ya que plantea la aplicación de un programa de entrenamiento multicomponente orientado a mejorar la funcionalidad, la calidad muscular y la autonomía en personas mayores. Además, la intervención busca prevenir procesos asociados al envejecimiento, como la sarcopenia, la fragilidad y la dependencia funcional, favoreciendo un envejecimiento activo y saludable a través de la práctica regular de ejercicio físico.

BIBLIOGRAFÍA

Beard, J. R., Officer, A., de Carvalho, I. A., Sadana, R., Pot, A. M., Michel, J. P., Lloyd-Sherlock, P., Epping-Jordan, J. E., Peeters, G. M. E. E. G., Mahanani, W. R., Thiyagarajan, J. A., & Chatterji, S. (2016). The World report on ageing and health: a policy framework for healthy ageing. *Lancet (London, England)*, 387(10033), 2145–2154. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)00516-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00516-4)

Rowe, J. W., & Kahn, R. L. (1997). Successful aging. *The Gerontologist*, 37(4), 433–440. <https://doi.org/10.1093/geront/37.4.433>

Bloom, D. E., Chatterji, S., Kowal, P., Lloyd-Sherlock, P., McKee, M., Rechel, B., Rosenberg, L., & Smith, J. P. (2015). Macroeconomic implications of population ageing and selected policy responses. *Lancet (London, England)*, 385(9968), 649–657. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)61464-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)61464-1)

Lee, I. M., Shiroma, E. J., Lobelo, F., Puska, P., Blair, S. N., Katzmarzyk, P. T., & Lancet Physical Activity Series Working Group (2012). Effect of physical inactivity on major

non-communicable diseases worldwide: an analysis of burden of disease and life expectancy. *Lancet (London, England)*, 380(9838), 219–229. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61031-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61031-9)

Guthold, R., Stevens, G. A., Riley, L. M., & Bull, F. C. (2018). Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1·9 million participants. *The Lancet. Global health*, 6(10), e1077–e1086. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30357-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30357-7)

Nelson, M. E., Rejeski, W. J., Blair, S. N., Duncan, P. W., Judge, J. O., King, A. C., Macera, C. A., & Castaneda-Sceppa, C. (2007). Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(8), 1435–1445. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180616aa2>

Dent, E., Morley, J. E., Cruz-Jentoft, A. J., Woodhouse, L., Rodríguez-Mañas, L., Fried, L. P., Woo, J., Aprahamian, I., Sanford, A., Lundy, J., Landi, F., Beilby, J., Martin, F. C., Bauer, J. M., Ferrucci, L., Merchant, R. A., Dong, B., Arai, H., Hoogendijk, E. O., Won, C. W., ... Vellas, B. (2019). Physical Frailty: ICFSR International Clinical Practice Guidelines for Identification and Management. *The journal of nutrition, health & aging*, 23(9), 771–787. <https://doi.org/10.1007/s12603-019-1273-z>

Fragala, M. S., Kenny, A. M., & Kuchel, G. A. (2015). Muscle quality in aging: a multi-dimensional approach to muscle functioning with applications for treatment. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 45(5), 641–658. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0305-z>

Marcus, R. L., Addison, O., Kidde, J. P., Dibble, L. E., & Lastayo, P. C. (2010). Skeletal muscle fat infiltration: impact of age, inactivity, and exercise. *The journal of nutrition, health & aging*, 14(5), 362–366. <https://doi.org/10.1007/s12603-010-0081-2>

Liu, C. J., & Latham, N. K. (2009). Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *The Cochrane database of systematic reviews*, 2009(3), CD002759. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002759.pub2>

Izquierdo, M., Merchant, R. A., Morley, J. E., Anker, S. D., Aprahamian, I., Arai, H., Aubertin-Leheudre, M., Bernabei, R., Cadore, E. L., Cesari, M., Chen, L. K., de Souto Barreto, P., Duque, G., Ferrucci, L., Fielding, R. A., García-Hermoso, A., Gutiérrez-Robledo, L. M., Harridge, S. D. R., Kirk, B., Kritchevsky, S., ... Fiatarone Singh, M. (2021). International Exercise Recommendations in Older Adults (ICFSR): Expert Consensus Guidelines. *The journal of nutrition, health & aging*, 25(7), 824–853. <https://doi.org/10.1007/s12603-021-1665-8>

Amthor, H., Nicholas, G., McKinnell, I., Kemp, C. F., Sharma, M., Kambadur, R., & Patel, K. (2004). Follistatin complexes Myostatin and antagonises Myostatin-mediated inhibition of myogenesis. *Developmental biology*, 270(1), 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2004.01.046>

Schafer, M. J., Atkinson, E. J., Vanderboom, P. M., Kotajarvi, B., White, T. A., Moore, M. M., Bruce, C. J., Greason, K. L., Suri, R. M., Khosla, S., Miller, J. D., Bergen, H. R., 3rd, & LeBrasseur, N. K. (2016). Quantification of GDF11 and Myostatin in Human Aging and Cardiovascular Disease. *Cell metabolism*, 23(6), 1207–1215. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.05.023>

Dent, E., Morley, J. E., Cruz-Jentoft, A. J., Arai, H., Kritchevsky, S. B., Guralnik, J., Bauer, J. M., Pahor, M., Clark, B. C., Cesari, M., Ruiz, J., Sieber, C. C., Aubertin-Leheudre, M., Waters, D. L., Visvanathan, R., Landi, F., Villareal, D. T., Fielding, R., Won, C. W., Theou, O., ... Vellas, B. (2018). International Clinical Practice Guidelines for Sarcopenia (ICFSR): Screening, Diagnosis and Management. *The journal of nutrition, health & aging*, 22(10), 1148–1161. <https://doi.org/10.1007/s12603-018-1139-9>

Beaudart, C., Zaaria, M., Pasleau, F., Reginster, J. Y., & Bruyère, O. (2017). Health Outcomes of Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PloS one*, 12(1), e0169548. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169548>

Compston, J. E., McClung, M. R., & Leslie, W. D. (2019). Osteoporosis. *Lancet (London, England)*, 393(10169), 364–376. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32112-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32112-3)

Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinkova, E., Vandewoude, M., Visser, M., Zamboni, M., & Writing Group for the European Working Group on Sarcopenia in Older People 2 (EWGSOP2), and the Extended Group for EWGSOP2 (2019). Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and ageing*, 48(1), 16–31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>

Cruz-Jentoft, A. J., & Sayer, A. A. (2019). Sarcopenia. *Lancet (London, England)*, 393(10191), 2636–2646. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)31138-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)31138-9)

Ding, D., Lawson, K. D., Kolbe-Alexander, T. L., Finkelstein, E. A., Katzmarzyk, P. T., van Mechelen, W., Pratt, M., & Lancet Physical Activity Series 2 Executive Committee (2016). The economic burden of physical inactivity: a global analysis of major non-communicable diseases. *Lancet (London, England)*, 388(10051), 1311–1324. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30383-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30383-X)

Hittel, D. S., Axelson, M., Sarna, N., Shearer, J., Huffman, K. M., & Kraus, W. E. (2010). Myostatin decreases with aerobic exercise and associates with insulin resistance. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(11), 2023–2029. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181e0b9a8>

Lee, S. J., & McPherron, A. C. (2001). Regulation of myostatin activity and muscle growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(16), 9306–9311. <https://doi.org/10.1073/pnas.151270098>

Marengoni, A., Angleman, S., Melis, R., Mangialasche, F., Karp, A., Garmen, A., Meinow, B., & Fratiglioni, L. (2011). Aging with multimorbidity: a systematic review of the literature. *Ageing research reviews*, 10(4), 430–439. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2011.03.003>

McPherron, A. C., Lawler, A. M., & Lee, S. J. (1997). Regulation of skeletal muscle mass in mice by a new TGF-beta superfamily member. *Nature*, 387(6628), 83–90. <https://doi.org/10.1038/387083a0>

Peterson, M. D., Sen, A., & Gordon, P. M. (2011). Influence of resistance exercise on lean body mass in aging adults: a meta-analysis. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(2), 249–258. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181eb6265>

Prince, M. J., Wu, F., Guo, Y., Gutierrez Robledo, L. M., O'Donnell, M., Sullivan, R., & Yusuf, S. (2015). The burden of disease in older people and implications for health policy and practice. *Lancet (London, England)*, 385(9967), 549–562. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)61347-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)61347-7)

Reginster, J. Y., Beaudart, C., Buckinx, F., & Bruyère, O. (2016). Osteoporosis and sarcopenia: two diseases or one?. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, 19(1), 31–36. <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000230>

Shafiee, G., Keshtkar, A., Soltani, A., Ahadi, Z., Larijani, B., & Heshmat, R. (2017). Prevalence of sarcopenia in the world: a systematic review and meta- analysis of general population studies. *Journal of diabetes and metabolic disorders*, 16, 21. <https://doi.org/10.1186/s40200-017-0302-x>

Sherrington, C., Fairhall, N. J., Wallbank, G. K., Tiedemann, A., Michaleff, Z. A., Howard, K., Clemson, L., Hopewell, S., & Lamb, S. E. (2019). Exercise for preventing falls in older people living in the community. *The Cochrane database of systematic reviews*, 1(1), CD012424. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012424.pub2>

Wang, H., Huang, W. Y., & Zhao, Y. (2022). Efficacy of Exercise on Muscle Function and Physical Performance in Older Adults with Sarcopenia: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. *International journal of environmental research and public health*, 19(13), 8212. <https://doi.org/10.3390/ijerph19138212>

Khalafi, M., Aria, B., Symonds, M. E., & Rosenkranz, S. K. (2023). The effects of resistance training on myostatin and follistatin in adults: A systematic review and meta-analysis. *Physiology & behavior*, 269, 114272. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114272>

Negaresh, R., Ranjbar, R., Baker, J. S., Habibi, A., Mokhtarzade, M., Gharibvand, M. M., & Fokin, A. (2019). Skeletal Muscle Hypertrophy, Insulin-like Growth Factor 1, Myostatin and Follistatin in Healthy and Sarcopenic Elderly Men: The Effect of Whole-body Resistance Training. *International journal of preventive medicine*, 10, 29. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_310_17

Cadore, E. L., Rodríguez-Mañas, L., Sinclair, A., & Izquierdo, M. (2013). Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: a systematic review. *Rejuvenation research*, 16(2), 105–114. <https://doi.org/10.1089/rej.2012.1397>

Mehra, S., Visser, B., Dadema, T., van den Helder, J., Engelbert, R. H. H., & Weijs, P. J. M. (2016). Attitudes of older adults in a group-based exercise program: A qualitative study. *Frontiers in Psychology*, 7, 1827. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01827>

Izquierdo, M., Merchant, R. A., Morley, J. E., Anker, S. D., Aprahamian, I., Arai, H., Aubertin-Leheudre, M., Bernabei, R., Cesari, M., Chen, L. K., & Vellas, B. (2021). International exercise recommendations in older adults (ICFSR): Expert consensus guidelines. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 25(7), 824–853. <https://doi.org/10.1007/s12603-021-1665-8>

Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 39(2), 142–148. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x>

Jones, C. J., Rikli, R. E., & Beam, W. C. (1999). A 30-s chair-stand test as a measure of lower body strength in community-residing older adults. *The Journals of Gerontology Series A*, 54(7), M385–M390. <https://doi.org/10.1080/02701367.1999.10608028>

Bohannon R. W. (2019). Grip Strength: An Indispensable Biomarker For Older Adults. *Clinical interventions in aging*, 14, 1681–1691. <https://doi.org/10.2147/CIA.S194543>

Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Gómez, J. M., Heitmann, B. L., Kent-Smith, L., Melchior, J. C., Pirlich, M., Scharfetter, H., Schols, A. M., Pichard, C., & Composition of the ESPEN Working Group (2004). Bioelectrical impedance analysis--part I: review of principles and methods. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 23(5), 1226–1243. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2004.06.004>

Barbat-Artigas, S., Rolland, Y., Zamboni, M., & Aubertin-Leheudre, M. (2012). How to assess functional status: a new muscle quality index. *The journal of nutrition, health & aging*, 16(1), 67–77. <https://doi.org/10.1007/s12603-012-0004-5>

Khalafi, M., Aria, B., Symonds, M. E., & Rosenkranz, S. K. (2023). The effects of resistance training on myostatin and follistatin in adults: A systematic review and meta-analysis. *Physiology & behavior*, 269, 114272. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114272>

Behm, D. G., Blazevich, A. J., Kay, A. D., & McHugh, M. (2016). Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*, 41(1), 1–11. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0235>

Stokols, D., Hall, K. L., Taylor, B. K., & Moser, R. P. (2008). The science of team science: overview of the field and introduction to the supplement. *American journal of preventive medicine*, 35(2 Suppl), S77–S89. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2008.05.002>

World Medical Association (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 310(20), 2191–2194. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.281053>

Feito, Y., Heinrich, K. M., Butcher, S. J., & Poston, W. S. C. (2018). High-Intensity Functional Training (HIFT): Definition and Research Implications for Improved Fitness. *Sports (Basel, Switzerland)*, 6(3), 76. <https://doi.org/10.3390/sports6030076>

Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Human Kinetics.

Beckwée, D., Delaere, A., Aelbrecht, S., Baert, V., Beaudart, C., Bruyere, O., de Saint-Hubert, M., & Bautmans, I. (2019). Exercise Interventions for the Prevention and

Treatment of Sarcopenia. A Systematic Umbrella Review. *The journal of nutrition, health & aging*, 23(6), 494–502. <https://doi.org/10.1007/s12603-019-1196-8>

Bagheri, R., Moghadam, B. H., Church, D. D., Tinsley, G. M., Eskandari, M., Moghadam, B. H., Motevalli, M. S., Baker, J. S., Robergs, R. A., & Wong, A. (2020). The effects of concurrent training order on body composition and serum concentrations of follistatin, myostatin and GDF11 in sarcopenic elderly men. *Experimental gerontology*, 133, 110869. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2020.110869>

Xie, Y., Liu, S., Chen, X. J., Yu, H. H., Yang, Y., & Wang, W. (2021). Effects of Exercise on Sleep Quality and Insomnia in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Frontiers in psychiatry*, 12, 664499. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2021.664499>

Deutz, N. E., Bauer, J. M., Barazzoni, R., Biolo, G., Boirie, Y., Bosy-Westphal, A., Cederholm, T., Cruz-Jentoft, A., Krznarič, Z., Nair, K. S., Singer, P., Teta, D., Tipton, K., & Calder, P. C. (2014). Protein intake and exercise for optimal muscle function with aging: recommendations from the ESPEN Expert Group. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 33(6), 929–936. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2014.04.007>

Wen, Z., Gu, J., Chen, R., Wang, Q., Ding, N., Meng, L., Wang, X., Liu, H., Sheng, Z., & Zheng, H. (2023). Handgrip Strength and Muscle Quality: Results from the National Health and Nutrition Examination Survey Database. *Journal of clinical medicine*, 12(9), 3184. <https://doi.org/10.3390/jcm12093184>

ANEXOS

ANEXO 1. Recordatorio nutricional de 24 horas.

Código del participante: _____

Fecha: ____ / ____ / ____

Instrucciones: Indique todos los alimentos y bebidas consumidos durante las últimas 24 horas, incluyendo cantidades aproximadas y método de preparación.

Momento del día	Alimento o bebida consumida	Cantidad aproximada	Método de preparación
Desayuno			
Media mañana			
Almuerzo			
Merienda			
Cena			
Otros (snacks, bebidas, suplementos)			

Observaciones:

ANEXO 2. Ficha de recogida de datos clínicos

Código del participante: _____ Fecha: ____ / ____ / ____ Edad: ____ años

Sexo:

☐ Hombre ☐ Mujer

Peso: _____ kg

Talla: _____ cm

Patologías diagnosticadas:

- ☐ Hipertensión arterial
- ☐ Diabetes mellitus
- ☐ Dislipidemia
- ☐ Osteoporosis
- ☐ Artrosis
- ☐ Enfermedad cardiovascular
- ☐ Otra: _____

Tratamiento farmacológico habitual

Medicament o	Dosi s	Frecuenci a
-----------------	-----------	----------------

¿Ha habido modificaciones en la medicación durante el estudio?

- ☐ No
- ☐ Sí

En caso afirmativo, describir:

ANEXO 3. Cuestionario de calidad del sueño (PSQI)

Código del participante: _____

Durante el último mes:

1. ¿A qué hora suele acostarse?

2. ¿Cuánto tiempo tarda normalmente en quedarse dormido?

_____ minutos

3. ¿A qué hora suele levantarse?

4. ¿Cuántas horas duerme realmente cada noche?

_____ horas

5. Durante el último mes, ¿con qué frecuencia ha tenido dificultades para dormir?

Situación	Nunca	Menos de 1 vez/semana	1-2 veces/semana	≥3 veces/semana
No puede conciliar el sueño en 30 minutos	☐	☐	☐	☐
Se despierta durante la noche	☐	☐	☐	☐
Tiene que levantarse para ir al baño	☐	☐	☐	☐
Tiene dolor o molestias	☐	☐	☐	☐
Tiene dificultad para respirar	☐	☐	☐	☐

6.

¿Cómo calificaría la calidad global de su sueño?

- ☐ Muy buena
- ☐ Buena
- ☐ Mala
- ☐ Muy mala

7. ¿Ha utilizado medicación para dormir?

- ☐ Nunca
- ☐ Menos de 1 vez por semana
- ☐ 1-2 veces por semana
- ☐ 3 o más veces por semana

8. ¿Ha tenido dificultades para mantenerse despierto durante actividades cotidianas?

- ☐ Nunca
- ☐ Menos de 1 vez por semana
- ☐ 1-2 veces por semana
- ☐ 3 o más veces por semana

ANEXO IV. Registro semanal de actividad física externa.

Código del participante: _____ Semana n^o: _____

Instrucciones: Anote cualquier actividad física realizada fuera de las sesiones del programa de entrenamiento durante la presente semana.

Día	Actividad realizada	Duración (minutos)	Intensidad percibida (0-10)
Lunes			
Martes			
Miércoles			
Jueves			
Viernes			
Sábado			
Domingo			

¿Ha realizado alguna actividad física adicional no reflejada anteriormente?

- ☐ No

☐ Sí

En caso afirmativo, especifique:

Observaciones:
