

**EFFECTOS DEL
ENTRENAMIENTO DE FUERZA
DE ALTA INTENSIDAD EN LA
DENSIDAD MINERAL ÓSEA
EN HOMBRES ADULTOS Y
TERCERA EDAD
FISIOTERAPIA + CAFYD**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD
FÍSICA Y EL DEPORTE**



Realizado por: Javier Fernández Bezanilla y Marina Angulo Plaza

Año Académico: 2024-2025

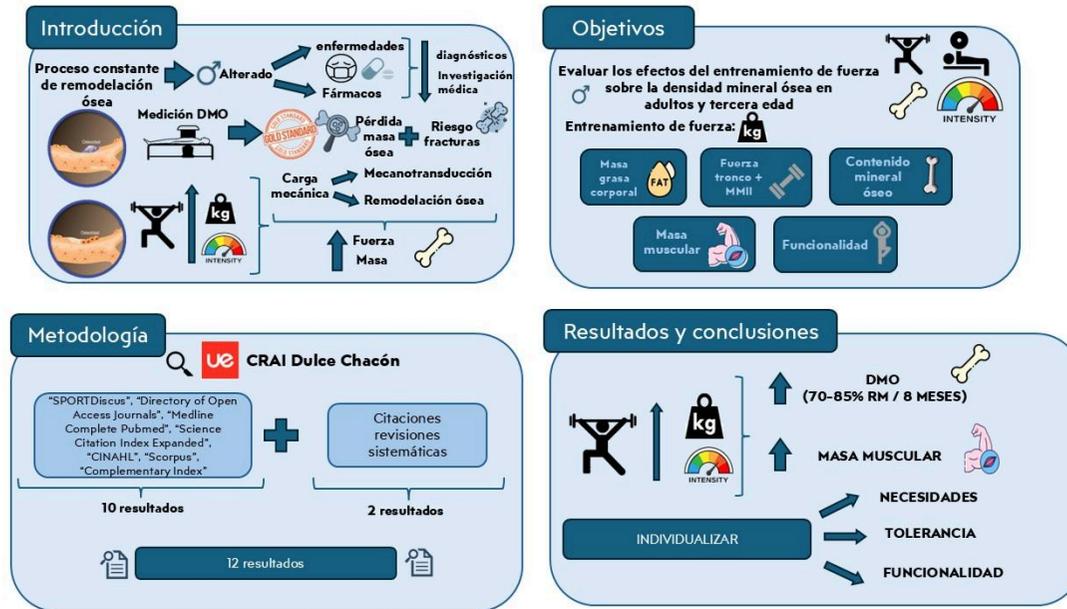
Tutor/a: Olga López Torres

Área: Revisión Bibliográfica

Resumen gráfico:

Figura 1

Resumen Gráfico



Nota. Elaboración propia.

Javier Fernández Bezanilla

Marina Angulo Plaza

Resumen

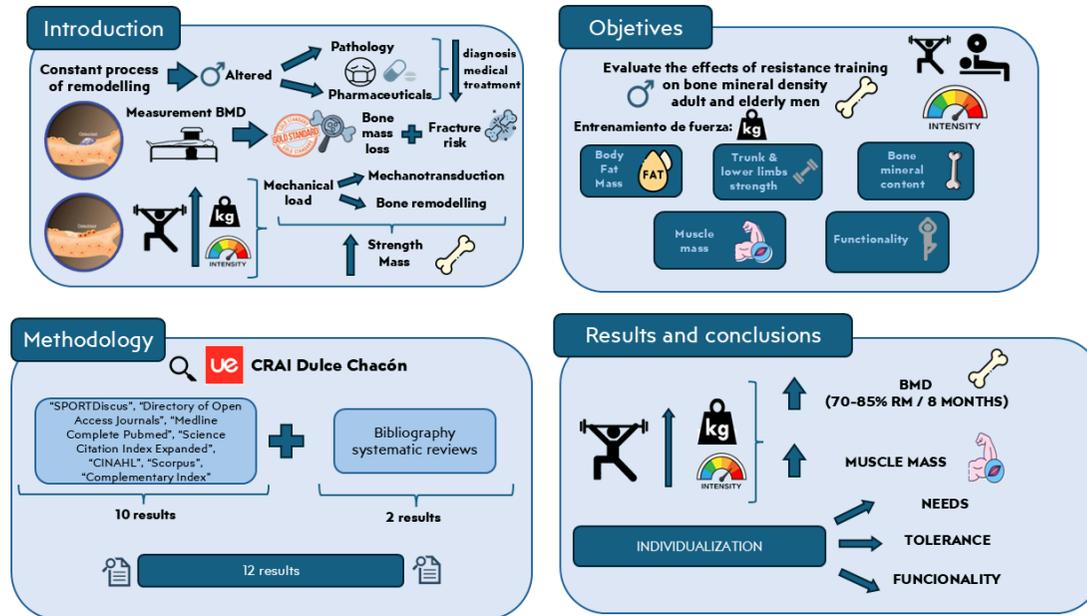
Introducción: El tejido óseo está en un proceso constante de remodelado, el cual puede verse alterado en población masculina principalmente de forma secundaria a enfermedades y consumo de fármacos, provocando un infradiagnóstico y una menor investigación de tratamientos médicos efectivos. La medición de la densidad mineral ósea (DMO) es el procedimiento principal de detección de pérdida de masa ósea y el riesgo de fracturas asociado. El hueso reacciona favorablemente a las cargas mecánicas, contribuyendo al proceso de mecanotransducción y remodelación ósea, manteniendo y fortaleciendo aquellas zonas que reciben una mayor tensión. Es por ello que el entrenamiento de fuerza que incluye altas cargas y por ende alta intensidad puede ser efectivo para aumentar la masa ósea. **Objetivos:** el principal propósito es evaluar los efectos del entrenamiento de fuerza de alta intensidad en la DMO en hombres adultos y de tercera edad. **Metodología:** Se llevó a cabo una revisión sistemática a través de la búsqueda en las bases de datos “SPORTDiscus”, “Directory of Open Access Journals”, “Medline Complete Pubmed”, “Science Citation Index Expanded”, “CINAHL”, “Scopus” “Complementary Index” de la biblioteca CRAI Dulce Chacón de la UEM, obteniendo 10 resultados de la búsqueda y 2 artículos válidos de la bibliografía de revisiones sistemáticas similares. **Resultados y conclusiones:** El entrenamiento de fuerza de alta intensidad mejora significativamente la DMO y la masa muscular en hombres adultos y de tercera edad especialmente con protocolos específicos de fuerza con cargas altas (70-85% 1RM) y duración de al menos 8 meses. Las intervenciones multimodales ofrecen beneficios menores y más localizados. Se recomienda individualizar los programas según las necesidades, la tolerancia y la funcionalidad de cada población.

Palabras clave: Entrenamiento de fuerza, alta intensidad, DMO, osteosarcopenia, hombres adultos, fuerza muscular, prevención de fracturas, programas multimodales y salud ósea.

Graphical Abstract

Figura 2

Graphical Abstract



Nota. Elaboración propia.

Javier Fernández Bezanilla

Marina Angulo Plaza

Abstract

Introduction: Bone tissue is in a constant process of remodelling, which can be altered in the male population due to pathologies and pharmaceuticals, leading to under-diagnosis and fewer investigations into effective medical treatments. Bone mineral density (BMD) measurement is the principal screening procedure for detecting bone mass loss and the associated fracture risk. Bone responds favourably to mechanical loads, leading to the process of mechanotransduction and bone remodelling, maintaining and strengthening the areas that receive more stress. Consequently, resistance training which includes high loads and therefore high intensity could be effective in increasing bone mass. **Objectives:** the main purpose is to evaluate the effects of high-intensity resistance training on BMD in adult and elderly men. **Methodology:** Our systematic review was conducted by searching the databases “SPORTDiscus,” “Directory of Open Access Journals,” “Medline Complete PubMed,” “Science Citation Index Expanded,” “CINAHL,” “Scopus,” and the “Complementary Index” of the CRAI Dulce Chacón library at UEM, obtaining 10 search results and 2 valid articles from the bibliography of similar systematic reviews. **Results and conclusions:** High intensity resistance training significantly improves BMD and muscle mass in adult and elderly men especially in those protocols with high loads (70-85% 1 RM) and durations of at least 8 months. Multimodal interventions offer smaller and more localised benefits. It is recommended to individualise training programmes according to the needs, tolerance and functionality of each subject.

Keywords: Resistance Training, high intensity, BMD, osteosarcopenia, male adults, muscle strength, fracture prevention, multimodal programmes and bone health.

Índice

1	Introducción	8
2	Objetivo/s	12
3	Metodología	13
3.1	Diseño	13
3.2	Estrategias de búsqueda	13
3.3	Criterios de selección	14
3.4	Diagrama de flujo	15
4	Discusión	16
4.1	Efectos del entrenamiento de fuerza sobre la DMO	16
4.2	Impacto en el contenido mineral óseo	18
4.3	Fuerza de miembros inferiores	20
4.4	Disminución de la masa grasa corporal y tejido adiposo visceral	21
4.5	Aumento de masa muscular	22
4.6	Cualidades físicas	23
5	Futuras líneas de investigación	24
6	Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible	25
7	Conclusiones	26
8	Referencias Bibliográficas	28
9	Anexos	36
9.1	Cuadro resumen de artículos empleados	36

Índice de Figuras

Figura 1	2
Figura 2	4
Figura 3	15

Índice de Tablas

Tabla 1	9
Tabla 2	36

1 Introducción

1.1 Tejido óseo

El tejido óseo se clasifica dentro del tejido conectivo y está formado por componentes orgánicos (principalmente colágeno tipo I) e inorgánicos (fósforo, calcio, etc). El hueso es un tejido adaptable que está en un proceso constante de remodelado, el cual se caracteriza por la reabsorción de aquellas partes del tejido deterioradas (actividad osteoclástica) y una renovación de la matriz proteica la cual se mineraliza para formar nuevo hueso (actividad osteoblástica) (Clarke, 2008). Durante el envejecimiento o en una patología, no existe un equilibrio entre esta reabsorción y formación, por lo que disminuye la cantidad de hueso, junto con un adelgazamiento de las trabéculas, aumentando la fragilidad ósea (Carpintero, 2020). Debido a esto, la medición de la densidad mineral ósea (DMO) es la principal herramienta de detección clínica para analizar la pérdida de masa ósea y su consecuente riesgo de fracturas. La DMO se puede definir por área (cantidad de tejido mineralizado medido en gramos por centímetros cuadrados, g/cm²) o volumétrica (asociación entre el contenido mineral y el tamaño del hueso medido en g/cm³) (Pacheco-Pantoja et al., 2022).

Además, la DMO se mide habitualmente mediante radioabsorciometría de doble energía (DEXA), valorado principalmente en columna lumbar y fémur proximal; tomografía computarizada (evaluado en columna vertebral, fémur proximal o antebrazo distal) o ultrasonido cuantitativo. La tomografía computarizada presenta más precisión que la radioabsorciometría de doble energía en aquellos pacientes con obesidad extrema o con un bajo índice de masa corporal (García-Concha et al., 2015).

1.2 Patologías osteomusculares relacionadas con el envejecimiento

La pérdida de DMO es la causa de diversas afecciones y patologías como la osteopenia, la osteoporosis y la osteosarcopenia. Como se puede observar en la Tabla 1, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1998) clasifica la osteopenia y la osteoporosis en función de los valores de la DMO y según desviaciones estándar. Se asigna al paciente una puntuación T-Score por encima o por debajo de la media de DMO para jóvenes adultos, por lo que un valor negativo indica una menor densidad mineral y un mayor riesgo de fractura (Pacheco-Pantoja et al., 2022).

Tabla 1

Definición de la OMS de Osteoporosis según los niveles de DMO de la media del adulto joven.

Nivel	Definición
Normal	T>-1
Osteopenia / Baja masa ósea	T<-1 y > -2,49
Osteoporosis	T<-2,5
Osteoporosis severa (establecida)	T<-2,5 + fractura por fragilidad

Nota. Elaboración propia con la información recogida de “Guidelines for preclinical evaluation and clinical trials in osteoporosis” de la Organización Mundial de la Salud, 1998.

(https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/42088/9241545224_eng.pdf)

En lo referente a la osteosarcopenia, a menudo se relaciona la baja DMO con una pérdida progresiva de masa muscular, fuerza y funcionalidad de los músculos en adultos de mediana y tercera edad (Cedeno-Veloz et al., 2019). Por otro lado, la sarcopenia se define como condición caracterizada por la pérdida progresiva y

generalizada de masa muscular y fuerza que ocurre con el envejecimiento. Esta disminución en la masa y función muscular puede llevar a discapacidad física, baja calidad de vida y aumento en el riesgo de caídas y fracturas (Gustafsson & Ulfhake, 2024). La sarcopenia es reconocida como un importante problema de salud pública en adultos mayores (Cruz-Jentoft et al., 2010). Ambas condiciones, osteopenia y sarcopenia se dan a menudo juntas, lo que requiere de un abordaje conjunto tanto de las consecuencias como del tratamiento, en especial, la influencia del entrenamiento de fuerza.

Como se ha mencionado anteriormente, la pérdida de DMO no sólo se relaciona con patologías sino también con el envejecimiento. Según el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2024) se sitúa la media de edad de la población española en 44,1 años. La cifra tenderá a subir debido al aumento de la población mayor de 65 años (en 2023 se sitúa al 20,4% mientras que en 2054 se espera que esta sea del 30,5%) (INE, 2024). Es por tanto, que las enfermedades o afecciones crónicas anteriormente mencionadas están adquiriendo cada vez más relevancia debido a su crecimiento de forma paralela a la esperanza de vida (O'Bryan et al., 2022).

Actualmente, el principal marcador del envejecimiento es la infiltración de grasa dentro de los músculos y la médula ósea. Esto provoca la degradación de las células del tejido subyacente, de nervios y de capilares gracias a la secreción de ácidos grasos y adipokinas, interfiriendo en la dualidad hueso-músculo (Zeni, 2016). También provoca un estado de inflamación crónica mediante la secreción de citoquinas proinflamatorias como la IL-6 y el factor de necrosis tumoral alfa, afectando negativamente a esta DMO (Navarro et al., 2020).

1.3 Diferencias en salud ósea por sexos

Mientras que en mujeres se ha demostrado que la deficiencia de estrógenos tras la menopausia se relaciona con un estado inflamatorio sistémico además de con un aumento de la actividad osteoclástica (Carrasco et al., 2022), en hombres la

osteoporosis se considera en la mayoría de casos secundaria a otras enfermedades, consumo de ciertos fármacos o cambios en estilos de vida. Sin embargo, Castellano-Sanchez et al. (2024) indica la relación entre la disminución de testosterona y la pérdida de la DMO, debido a su función androgénica de formación ósea, provocando un factor protector en los hombres debido a una mayor masa y fuerza en los huesos.

Asimismo, cabe remarcar que mientras que el tratamiento médico (principalmente la terapia hormonal sustitutiva o medicamentos antirresortivos como el ranelato de estroncio, unidos a suplementación de calcio y vitamina C) es efectivo tanto en la prevención como en el tratamiento de la osteoporosis en mujeres (Gosset et al., 2021), en hombres la situación cambia. Vescini et al. (2021) señala que la mayoría de ensayos clínicos aleatorizados donde se estudia la efectividad de los tratamientos farmacológicos son en mujeres, y en hombres no existe una estrategia universal válida para la toma de decisiones en su tratamiento, el cual principalmente se suele basar en medicamentos antirresortivos (como aminobifosfonatos (NBPs) o denosumab) o la terapia de reemplazo de testosterona (TRT).

Debido al infradiagnóstico, a la mayor morbilidad y mortalidad asociada a las fracturas de caderas en hombres y a la falta del consenso universal sobre los tratamientos médicos efectivos en población masculina (Vescini et al., 2021), se considera a la población mayor masculina como una muestra diana en el estudio de la osteosarcopenia.

1.4 Entrenamiento de fuerza de alta intensidad como tratamiento para la salud osteomuscular

El tejido óseo es dinámico, su estructura y tamaño van cambiando debido al proceso de remodelación ósea explicado previamente, este mecanismo sucede en la edad adulta para adaptar la estructura del hueso en respuesta a las cargas

mecánicas (adaptación mecánica), por lo que los estímulos físicos que el tejido óseo recibe diariamente provocan un efecto anabólico, generando un mantenimiento de la masa ósea y fortaleciendo la resistencia de aquellas zonas que reciben una mayor carga (Delgado-Calle & Riancho, 2013).

La carga mecánica induce el flujo dinámico del fluido intersticial pericelular en el sistema lacunar-canalicular contribuyendo significativamente a la formación de osteocitos y por tanto, al proceso de mecanotransducción y remodelación ósea. Además, la masa de tejido óseo remodelado proporciona una mayor estructura y resistencia así como mejor protección contra fracturas. Contrario a los conceptos erróneos de la sociedad, el hueso responde positivamente a cargas mecánicas que inducen tensiones de alta magnitud a altas frecuencias (Caneiro et al., 2020).

Maddalozzo et al. (2007) en su metaanálisis de 19 estudios concluyeron que el entrenamiento de fuerza de alta intensidad tiene efectos beneficiosos sobre la DMO en hombres y mujeres, resultado similar que la revisión de Benedetti et al. (2018), la cual indica que aquellas actividades realizadas con altas cargas incluyendo alto impacto, son más efectivas para aumentar la masa ósea que aquellos ejercicios sin carga o sin impacto.

Por tanto, se intuye que los mayores beneficios esqueléticos para mejorar la DMO del cuello del fémur y de la columna lumbar, y por ende reducir las afecciones anteriormente mencionadas, se podrían lograr con una alta magnitud de carga y ejercicios multiarticulares (Maestroni et al., 2020). Hipótesis que tiene por objetivo resolver la siguiente revisión sistemática.

2 Objetivo/s

2.1 Objetivo principal

Encontrar la relación existente entre el entrenamiento de fuerza de alta intensidad y el aumento de la DMO en población masculina mayor de 34 años.

2.2 Objetivos específicos

- Examinar la importancia del entrenamiento de fuerza de alta intensidad en la mejora del contenido mineral óseo.
- Explorar qué efectos tiene el entrenamiento de fuerza de alta intensidad en la mejora de la fuerza de los miembros inferiores.
- Indagar en la relación existente entre la cantidad de masa corporal grasa y de tejido adiposo visceral y el entrenamiento de fuerza de alta intensidad.
- Estudiar la relación entre el entrenamiento de fuerza de alta intensidad y el aumento de masa muscular.
- Analizar los resultados del entrenamiento de fuerza de alta intensidad en la funcionalidad, equilibrio, velocidad de la marcha y potencia muscular.

3 Metodología

3.1 Diseño

Se ha realizado una revisión sistemática en las diferentes bases de datos (“SPORTDiscus”, “Directory of Open Access Journals”, “Medline Complete Pubmed”, “Science Citation Index Expanded”, “CINAHL”, “Scopus” y “Complementary Index”) de la biblioteca CRAI Dulce Chacón de la Universidad Europea de Madrid de artículos de investigación relacionados con los efectos del entrenamiento de fuerza de alta intensidad sobre la densidad mineral ósea en hombres adultos de mediana y tercera edad.

3.2 Estrategias de búsqueda

Se ha llevado a cabo una búsqueda general siguiendo los criterios **PICO** (P: Hombres adultos de mediana y tercera edad, I: Ejercicio de fuerza de alta intensidad, C: grupo experimental frente al grupo control, O: mejora de la densidad mineral ósea) en las bases de datos “SPORTDiscus”, “Directory of Open

Access Journals”, “Medline Complete Pubmed”, “Science Citation Index Expanded”, “CINAHL”, “Scopus” y “Complementary Index”.

La estrategia de búsqueda inicial se basó en las siguientes palabras clave: <<(strength training OR resistance training OR weight training) AND (osteoporosis OR bone density OR bone loss OR bone mass OR bone health) AND (males OR men OR male OR man) AND (adults OR adult OR aged OR elderly) NOT (systematic review OR meta analysis OR protocol) NOT (aerobic exercise OR endurance training) AND (high intensity training)>>. Se hallaron un total de 170 resultados, aplicando el filtro de todas las fuentes y tipos de documentos quedan 145 artículos (figura 3). A continuación, se aplicó el filtro de fecha de publicación desde 2013-2024 quedando 89 resultados (rango de años elegido debido a que desde 2013 solo encontramos 2 revisiones sistemáticas que investigan los efectos del entrenamiento: Massini et al. (2022) estudia entrenamiento de fuerza en hombres de tercera edad y Bolam et al. (2013) analiza el entrenamiento general en hombres adultos). Posteriormente, se aplicó el filtro de publicaciones académicas obteniendo 62 resultados. Se eliminaron 35 por estar duplicados, resultando en 27. Estas 27 publicaciones fueron posteriormente revisadas aplicando los criterios de inclusión y exclusión primero en el título y en el abstract (descartando 9 artículos) y en último lugar leyendo el texto completo (excluyendo 5 artículos), obteniendo finalmente 10 resultados válidos.

Por otro lado, se llevaron a cabo otros métodos de búsqueda y se rescataron 2 artículos válidos de las citas de revisiones sistemáticas similares, utilizando la revisión de Massini et al. (2022), obteniendo finalmente 12 resultados válidos.

3.3 Criterios de selección

Estudios sobre los efectos que produce el entrenamiento de fuerza de alta intensidad sobre la DMO en hombres de mediana y tercera edad.

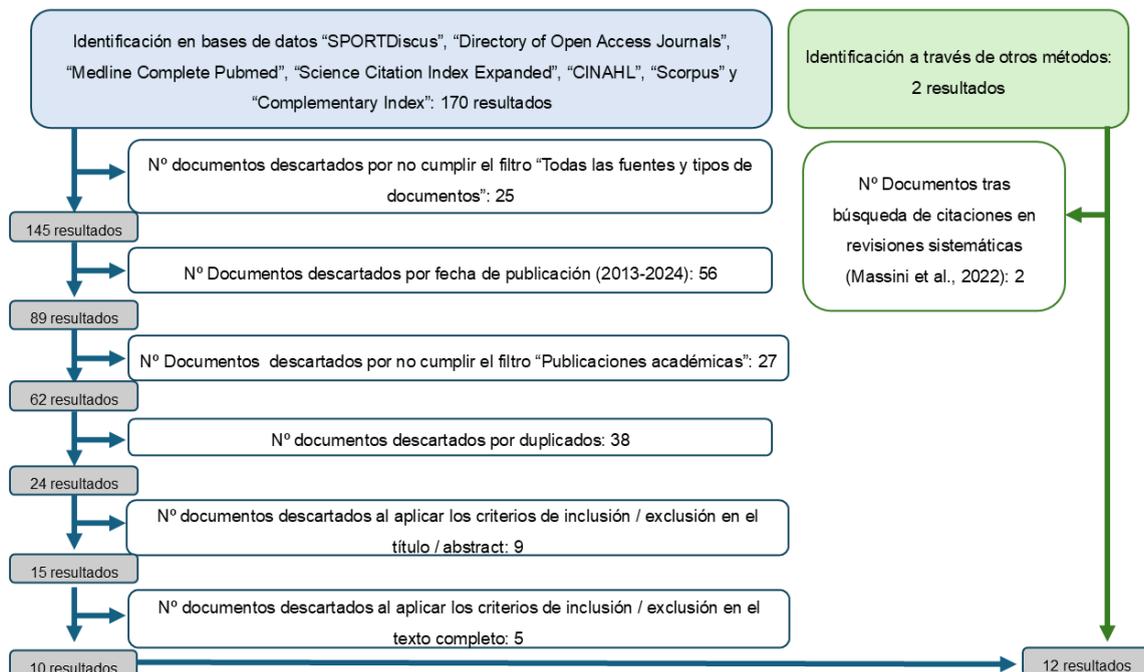
Se utilizaron los siguientes criterios de selección:

- Se incluyeron sólo los artículos que nombraban la osteoporosis, la osteopenia y la osteosarcopenia.
- Se incluyeron hombres de entre 34-91 años.
- Se incluyeron los artículos que estudiaran entrenamientos de fuerza de alta intensidad de más del 50% del RM.
- Se incluyeron los artículos cuyo tiempo de intervención estuviera entre los 3-18 meses.
- Se incluyeron los artículos que midieran la DMO mediante pruebas de imagen.

3.4 Diagrama de flujo

Figura 3

Diagrama de flujo



Nota. Elaboración propia.

4 Discusión

Debido al progreso de la medicina y de los avances tecnológicos causantes del aumento de la esperanza de vida, cada vez adquieren más importancia las patologías y afecciones asociadas a edades avanzadas. El metabolismo óseo se ve alterado tanto por el envejecimiento como por diferentes afecciones que pueden presentarse, pudiendo llegar a producir pérdidas de funcionalidad o enfermedades asociadas. Esta revisión ha sido realizada con el objetivo de examinar cuáles son los efectos del entrenamiento de fuerza de alta intensidad en la DMO en hombres adultos.

4.1 Efectos del entrenamiento de fuerza sobre la DMO

Respecto a la variable principal de la presente revisión sistemática, en aquellos artículos que estudian a población de mediana edad (<65 años), los resultados encontrados indican que la intervención con ejercicio de fuerza de más de 8 meses produce una mejora de la DMO (Harding et al., 2020; Turcotte et al., 2020). Harding et al. (2020) indican un incremento de la DMO en columna lumbar, cuello del fémur y trocánter en el grupo de entrenamiento de fuerza de alta intensidad e impacto (HiRIT, por sus siglas en inglés), además de un aumento de la DMO en columna lumbar en el grupo de compresión axial isométrica (IAC, por sus siglas en inglés) en máquinas, mientras que Turcotte et al. (2020) encontraron un crecimiento del 2.2% en columna lumbar en el grupo de ejercicio multicomponente. Sin embargo, en aquellos estudios donde el tiempo de intervención fue menor a los 8 meses, los resultados fueron heterogéneos: no encontrándose resultados estadísticamente significativos de una mejora en la DMO evaluado con DXA por parte de ciertos autores (Amaro-Gahete et al., 2019; Feito et al., 2018; Jankowski et al., 2013) mientras que sí hubo resultados significativos en el estudio de Suominen et al. (2017) medido con tomografía computarizada (QCT, por sus siglas en inglés), mostrando un aumento del 2-3%

de la DMO total y cortical de la diáfisis tibial en el grupo de entrenamiento de fuerza y velocidad de alta intensidad. Cabe destacar que en el estudio de Suominen et al. (2017), se utiliza en el protocolo cargas más cercanas al 1RM, pudiendo interpretar que en entrenamientos de intensidades más bajas, se necesitan periodos más largos, de al menos 8 meses, los cuales se podrían reducir si se aplican intensidades más altas.

Estos resultados concuerdan con las indicaciones del Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM) (Kohrt et al., 2004) donde se expone que se requiere mínimo 6 meses de entrenamiento de fuerza continuo para poder observar cambios en la DMO. Además, cabe destacar que en todos los artículos nombrados donde no hubo resultados significativos, la DMO se evalúa con DXA, prueba de imagen poco sensible para detectar variaciones a corto plazo en la masa ósea, debido a que las adaptaciones iniciales del metabolismo óseo ante un mismo tiempo corto de intervención de ejercicio físico se evidencia mejor mediante biomarcadores de osteocalcina y fosfatasa alcalina que con DXA (Fujimura et al., 2009) ya que esta tiende a subestimar el error de precisión, pudiendo clasificar erróneamente los cambios de la DMO en los sujetos (Leslie, 2008).

No obstante si analizamos los resultados de aquellos artículos que estudian a población de tercera edad (>65 años) todos obtienen mejoras estadísticamente significativas de la DMO (Harding et al., 2020; Kemmler et al., 2020a; Kemmler et al., 2020b; Kircher et al., 2024; Marques et al., 2013; O'Rourke et al., 2021; Suominen et al., 2017; Turcotte et al., 2020). Cabe destacar que salvo el estudio de Suominen et al. (2017), en todos ellos el tiempo de entrenamiento fue superior a 8 meses. Asimismo, en todos los artículos con sujetos con osteosarcopenia (Kemmler et al., 2020a; Kemmler et al., 2020b; Kircher et al., 2024; O'Rourke et al., 2021) o con T-Score $\leq -1,0$ (Harding et al., 2020; Marques et al., 2013) se produjo un aumento de la DMO (señalando reiteradamente la duración del estudio

superior a los 8 meses) mientras que en sujetos sanos solo se evidenció en el estudio de Turcotte et al. (2020) cuyo tiempo de intervención fue de 18 meses.

Si evaluamos los resultados en función al tipo de entrenamiento, podemos observar que aquellos con mejoras significativas fueron con las siguientes intervenciones: entrenamiento de fuerza de alta intensidad (Kemmler et al., 2020a; Kemmler et al., 2020b), HiRIT (Harding et al., 2020; Kircher et al., 2024; Marques et al., 2013; O'Rourke et al., 2021), IAC (Harding et al., 2020), ejercicio multicomponente formado por bicicleta estática, ejercicio de fuerza de alta intensidad y ejercicio de impacto (Turcotte et al., 2020) y entrenamiento de fuerza de alta intensidad y explosividad (Suominen et al., 2017). Además, si nos fijamos en la repetición máxima (RM) del entrenamiento, aquellos con menor porcentaje (60-85% RM) (Kircher et al., 2024; Turcotte et al., 2020) son las intervenciones con mayor duración de intervención (> 16 meses) mientras que en el estudio de Suominen et al. (2017) que estudia el menor periodo de protocolo (5 meses) trabaja con las cargas más altas para trabajar fuerza máxima (no viene indicado en el estudio el porcentaje exacto de carga, pero diversas investigaciones indican que para trabajar fuerza máxima esta debe ser superior al 80-90% RM) (Kraemer & Ratamess, 2004).

Podemos inferir la importancia de la duración del ejercicio de fuerza de alta intensidad para poder observar mejoras significativas en la DMO, considerándose óptimo un periodo superior a 8 meses, ya que la duración de la intervención condiciona la intensidad del entrenamiento. Nuevamente, se pone en manifiesto la relación entre la intensidad y la duración de los protocolos, pudiendo reducirse la duración con altas intensidades siempre que la población lo tolere.

4.2 Impacto en el contenido mineral óseo

El contenido mineral óseo (BMC, por sus siglas en inglés) es una medida específica expresada en gramos (g) que representa la cantidad total mineral del

hueso y por tanto sirve como un indicador de la salud ósea (Faienza et al., 2024). En los artículos revisados se han obtenido resultados relevantes sobre el BMC en función de los protocolos de entrenamiento y la región corporal del cuerpo analizada.

En lo referente a los protocolos de entrenamiento, se puede destacar que a través del HiRIT donde se llevaban a cabo ejercicios compuestos de resistencia progresiva durante 8 meses, la muestra experimentó un aumento promedio del BMC de la cadera total de $1,3 \pm 2,8\%$, destacando sobre todo el incremento del cuello medial del fémur de un $6,4\%$ (O'Rourke et al., 2021). Sin embargo, en cuanto al entrenamiento funcional de alta intensidad (HIFT, por sus siglas en inglés) realizado durante 16 semanas donde se incluyeron entrenamientos de fuerza, de acondicionamiento metabólico y movimiento gimnásticos con el objetivo de desarrollar múltiples capacidades físicas de manera simultánea, se reportó un cambio mínimo en el BMC de las piernas de $0,3 \pm 0,6\%$ (Feito et al., 2018). De esta forma se puede entender que en aquellos ejercicios donde el estímulo sea estrictamente de fuerza los cambios en el BMC del miembro inferior son más notorios que en aquellos donde se tiene por objetivo entrenar la fuerza junto a otras capacidades, aplicando en ambos casos unas intensidades de fuerza entre 80-100% del RM. Igualmente, estos cambios se pueden ver influenciados por el tiempo de aplicación de la intervención sabiendo que en el caso del HiRIT duró 8 meses, el doble de tiempo que el HIFT que se aplicó durante 16 semanas. Además, cabe destacar que en este último, al tener que dividir el tiempo total de entrenamiento entre todas las modalidades, el volumen total de ejercicios específicos que mejoran el BMC es menor.

También se debería considerar la edad de la muestra. Aquellas personas mayores de 65 años, el entrenamiento de fuerza adquiere mayor importancia para prevenir la pérdida mineral ósea mientras que aquellos individuos menores de 65 años, el aumento del BMC es inferior como consecuencia de presentar un menor riesgo en

dicha pérdida. Por tanto, en muestras donde la edad sea mayor de 65 años, los entrenamientos cuyo objetivo principal es la fuerza como el HiRIT tienen un mayor impacto en la mejora del BMC.

En definitiva, se puede establecer que las mejoras en la mineralización son dependientes de las zonas trabajadas y sometidas a cargas, no sufriendo mejoras significativas aquellas áreas no entrenadas específicamente (tronco y extremidades superiores). Por lo tanto, se destaca la necesidad de introducir programas con ejercicios de fuerza que actúen sobre las diferentes partes del cuerpo. Esta afirmación se ve respaldada con el estudio de Kemmler et al. (2010), que demostró cómo programas de entrenamiento globales con el uso de cargas elevadas (70-90% RM) y repeticiones moderadas (8-12 repeticiones) previene la pérdida de densidad mineral ósea así como mejora significativamente el BMC, confirmando así la importancia de este enfoque de entrenamiento.

4.3 Fuerza de miembros inferiores

Todos los entrenamientos de alta intensidad incluidos dentro de esta revisión son específicos de fuerza pero no en todos ellos se sugiere una mejora de la misma como un resultado clave del estudio. Sin embargo, en aquellos donde sí que hay un incremento significativo de la misma se localiza principalmente en miembros inferiores con mejoras que oscilan entre el 11% (Marques et al., 2013; Turcotte et al., 2020) y el 38 % (Kemmler et al., 2020a).

El grupo que llevó a cabo el HiRIT mejoró la fuerza máxima de los extensores de miembro inferiores de hasta 28% en fuerza máxima absoluta, a lo largo de 8 meses de intervención (Harding et al., 2020), mientras que los que aplicaron el HIFT las mejoras fueron del 14,4% en términos absolutos y un 15,4% relativa al peso corporal pero con una intervención de 16 semanas (Feito et al., 2018). Por tanto, las diferencias en los porcentajes de ganancia pueden deberse tanto al tipo de intervención como a la duración. Por otro lado, los protocolos de medición

también difirieron entre ambos estudios. Mientras que Harding et al. (2020) empleó test directos de fuerza máxima, como la dinamometría isométrica, Feito et al. (2018) utilizó el 5 RM y mediciones teniendo en cuenta el peso corporal.

En lo referente a aquellos protocolos de entrenamiento que combinan la fuerza con otras capacidades, cabe destacar que en los programas de entrenamiento de fuerza de alta intensidad (80-90% de 1RM) combinado con sprints lograron un aumento del 28% en la fuerza máxima de los extensores de miembros inferiores (Suominen et al., 2017), mientras que un protocolo multimodal que combina sesiones de fuerza de alta intensidad (75-80% de 1RM) con ejercicios de impacto y entrenamiento del equilibrio, mejoró un 11% la fuerza de los miembros inferiores (Turcotte et al., 2020). Las diferencias encontradas se pueden explicar debido al enfoque y el objetivo principal de cada estudio. Suominen et al. (2017) muestra mayores mejoras en fuerza máxima debido a un enfoque más explosivo cuyo objetivo principal es aumentar la fuerza máxima mientras que Turcotte et al. (2020), se centra en un entrenamiento de fuerza menos intenso y lo combina con otras capacidades como el equilibrio y la funcionalidad, la cual se adapta a adultos mayores y con más fragilidad. Por tanto, parece ser que cuanto más específico es el entrenamiento hacia la ganancia de fuerza, mejores son los resultados.

4.4 Disminución de la masa grasa corporal y tejido adiposo visceral

Los resultados obtenidos respecto a la masa grasa corporal y el tejido adiposo visceral (VAT) son variados en función de la prueba de imagen elegida para su medición.

Respecto a la masa grasa corporal, todos los estudios medidos con DXA muestran una disminución de esta (Amaro-Gahete et al., 2019; Feito et al., 2018; Harding et al., 2020; Jankowski et al., 2013; Marques et al., 2013) mientras que no hay resultados significativos en el único estudio que mide la masa grasa corporal

con RM de Dixon (Kircher et al., 2024). No obstante, los hallazgos se invierten respecto al VAT: obteniéndose una disminución significativa (-7,7%) tras 18 meses de entrenamiento de fuerza de alta intensidad medido con RM de Dixon (Knauer et al., 2023), mientras que los resultados evaluados con DXA son heterogéneos: Amaro-Gahete et al. (2019) indican una reducción del VAT en aquellos sujetos que siguieron las recomendaciones de actividad física de la OMS, en el grupo de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT, por sus siglas en inglés) y en la muestra que realizó un entrenamiento de estimulación eléctrica muscular de cuerpo completo (WB-EMS, por sus siglas en inglés). Mientras que Turcotte et al. (2020) no obtienen resultados significativos tras 18 meses de entrenamiento multicomponente. Por tanto, los resultados no son concluyentes debido a los posibles sesgos de medición de las diferentes pruebas de imagen: DXA es considerado “*gold standard*” para medir la composición corporal general y puede proporcionar datos precisos sobre masa grasa superficial, pero puede haber un mayor error de medición respecto al VAT que el RM que evalúa de una forma más detallada y localizada la grasa visceral (Murata et al., 2022).

4.5 Aumento de masa muscular

La sarcopenia y la pérdida de la funcionalidad asociada al envejecimiento es un gran problema en adultos y tercera edad. Por tanto, la variable de aumento de masa muscular es de gran importancia y uno de los resultados principales que se quieren conseguir a través de las distintas intervenciones de fuerza.

A través del entrenamiento de fuerza de alta intensidad se consiguió un aumento del 5-8% en la masa magra total medido mediante DXA (Kemmler et al., 2020a), mientras que a través del protocolo HiRIT/IAC se mostró un incremento promedio del 1,2% en la masa muscular magra total medido igualmente con DXA (Harding et al., 2020). Por lo tanto, se puede pensar que los entrenamientos específicos de fuerza, con altas cargas, podrían ser más óptimos para obtener mayores

ganancias de masa muscular que otros protocolos más mixtos y con objetivos más variados. De hecho, programas multicomponente con menores intensidades (Turcotte et al., 2020), también obtuvieron mejoras en la masa magra, aunque de manera más localizada en los músculos de la espalda, mientras que las ganancias en otras zonas fueron menores que estudios que utilizaron cargas más altas (Harding et al., 2020; Kemmler et al., 2020a).

4.6 Cualidades físicas

Los resultados obtenidos sobre las cualidades físicas son limitados debido a la baja cantidad de estudios que investigan estas variables (Harding et al., 2020; Kemmler et al., 2020b; Marques et al., 2013). Tanto el HiRIT como el IAC durante un protocolo de 8 meses, mejoró la función y la estabilidad, mientras que únicamente el HiRIT incrementó el pico de impulso absoluto y relativo (Harding et al., 2020) así como la agilidad, equilibrio dinámico y la resistencia muscular (Marques et al., 2013) en hombres con T-Score ≤ 1 . Sin embargo, no se encontraron mejoras significativas en la velocidad de la marcha (Kemmler et al., 2020b). A pesar de no poder establecer conclusiones debido a la heterogeneidad de la metodología empleada en cada investigación, cabe destacar que ningún artículo indica lesiones óseas o fracturas durante los protocolos de entrenamiento (Amaro-Gahete et al., 2019; Feito et al., 2018; Harding et al., 2020; Jankowski et al., 2013; Kemmler et al., 2020a; Kemmler et al., 2020b; Kircher et al., 2024; Knauer et al., 2023; Marques et al., 2013; O'Rourke et al., 2021; Suominen et al., 2017; Turcotte et al., 2020). Sin embargo, estudios complementarios indican que a pesar de que el entrenamiento de fuerza mejora la función física y la agilidad en adultos de tercera edad, su efecto sobre la disminución del riesgo de fracturas no es concluyente y se necesita más investigación sobre ello (Papadopoulou et al., 2021; Ponzano et al., 2021).

También se debería considerar la edad de la muestra. En todas las variables estudiadas, el entrenamiento que adquiere mayor importancia en personas mayores de 65 años son aquellos protocolos con un enfoque multimodal que incluyan el equilibrio y la funcionalidad, que tienen como objetivo principal la movilidad y prevenir caídas. (Harding et al., 2020; Kemmler et al., 2020a; Kemmler et al., 2020b; Kircher et al., 2024; Knauer et al., 2023; Marques et al., 2013; O'Rourke et al., 2021; Suominen et al., 2017; Turcotte et al., 2020). Mientras que en aquella población menor de 65 años, un entrenamiento más específico centrado en la fuerza máxima podría ser más efectivo para estas personas que suelen tener mayores capacidades físicas y menor fragilidad (Amaro-Gahete et al., 2019; Feito et al., 2018; Harding et al., 2020; Jankowski et al., 2013; Suominen et al., 2017; Turcotte et al., 2020).

5 Futuras líneas de investigación

Las limitaciones a la hora de realizar esta revisión sistemática han sido principalmente metodológicas. En primer lugar, se necesita ampliar la evaluación de los cambios de DMO debido a programas de ejercicio de fuerza de alta intensidad de biomarcadores óseos con análisis de sangre, debido a la baja especificidad del DXA, asimismo, sería conveniente realizar estudios donde se compare el análisis de biomarcadores óseos con DXA en la misma población e intervención, así como, realizar este estudio comparativo de igual manera para evaluar la masa grasa corporal y el tejido adiposo visceral contrastando la evaluación con DXA y RM de Dixon. Además, destaca la necesidad de más estudios de investigación que determinen si el entrenamiento de fuerza de alta intensidad realmente disminuye el riesgo de fracturas en hombres de tercera edad.

Igualmente, a la hora de evaluar la ganancia de fuerza cabe nombrar la variedad en los métodos de medición en los cuales se comparaba un ejercicio específico

dinámico con uno dónde se evaluaba la fuerza estática. También ha supuesto una limitación el tener un rango de población de estudio tan amplio debido a que en numerosas ocasiones suponía un cambio en el tipo de estímulo que se aplicaba en la intervención y por tanto esto nos obligaba a tener que comparar protocolos de fuerza de alta intensidad con otros multimodales. Por lo tanto se necesitan futuros estudios donde se homogenice el entrenamiento y el método de medición para valorar el aumento de fuerza reduciendo los posibles sesgos.

6 Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible

El 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años (ONU, 2023). Es por tanto, que este proyecto tiene también por finalidad cumplir con algunos de estos objetivos, entre los que caben destacar:

- El ODS 3 de Salud y bienestar: como consecuencia de utilizar el ejercicio de fuerza de alta intensidad como principal intervención en este proyecto, ya que se está promoviendo y creando conciencia de un hábito saludable de calidad y los efectos positivos que este genera.
- El ODS 5 de Igualdad de Género: a menudo la mayor parte de estudios sobre la DMO se llevan a cabo en mujeres debido a su relación con la menopausia y su entorno hormonal. Sin embargo, esta revisión también quiere demostrar que en la población masculina es necesario estudiarla. No sólo porque se haya visto que la pérdida progresiva de la DMO sucede también en hombres adultos y de tercera edad, sino que además debido a que esta es secundaria a otros factores, normalmente hay un infradiagnóstico en la población masculina a diferencia de la femenina, y se necesita ampliar los conocimientos de ciertas intervenciones como el

entrenamiento de fuerza de alta intensidad que favorezcan el fortalecimiento y la mineralización ósea.

- El ODS 12 de Producción y Consumo responsable: a través del ejercicio de fuerza de alta intensidad se consiguen una serie de beneficios en la salud de la comunidad que pueden llegar a reducir la comorbilidad de ciertas patologías crónicas y por tanto también su dependencia de la farmacología u otras terapias asociadas. De esta forma, conseguimos garantizar modalidades de consumo más sostenibles, al disminuir el uso de los recursos de nuestro planeta necesarios para producir estos tratamientos médicos.

7 Conclusiones

- El tiempo recomendado mínimo eficaz para que se observen mejoras en la DMO con el entrenamiento de fuerza a altas intensidades (más del 60% del 1RM) es de 8 meses pudiéndose alcanzar los mismos resultados en menos tiempo si se aumenta la intensidad.
- Existe una eficacia de los programas específicos de fuerza (70-85% del 1RM) para la mejora del BMC tanto en miembro superior como en miembro inferior. Sin embargo, las pruebas diagnósticas utilizadas se centran más en la valoración del miembro inferior (cadera y cuello medial del fémur) que del superior, estableciendo por tanto, un posible sesgo de medición.
- Los entrenamientos específicos de fuerza a alta intensidad son más efectivos para la ganancia de fuerza en miembros inferiores que los entrenamientos multimodales. Sin embargo, para poblaciones mayores de 65 años es más importante combinar el entrenamiento de fuerza con el equilibrio y la funcionalidad, siendo los protocolos multimodales los más adecuados.
- No hay resultados concluyentes sobre los efectos del entrenamiento de fuerza de alta intensidad sobre la masa grasa debido a la heterogeneidad

de la metodología, mostrando mejores resultados el DXA para medir masa grasa corporal y la RM de Dixon para evaluar VAT.

- Los entrenamientos específicos de fuerza de alta intensidad generan mayores aumentos de la masa magra total, siendo los más eficaces para combatir la sarcopenia.
- El entrenamiento de fuerza de alta intensidad mejora la funcionalidad, equilibrio y potencia muscular de los sujetos mayores de 65 años, aunque no la velocidad de la marcha, no pudiéndose determinar si disminuye el riesgo de fracturas.

8 Referencias Bibliográficas

- Amaro-Gahete, F.J., De-la-O, A., Jurado, L., Ruiz, J.R., Castillo, M., & Gutiérrez, A. (2019). Effects of different exercise training programs on body composition: A randomized control trial. *Scand J Med Sci Sports*, 29(7), 968-979. <https://doi.org/10.1111/sms.13414>
- Benedetti, M. G., Furlini, G., Zati, A., & Letizia, G. (2018). The Effectiveness of Physical Exercise on Bone Density in Osteoporotic Patients. *BioMed research international*, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2018/4840531>
- Bolam, K. A., Van Uffelen, J. G., & Taaffe, D. R. (2013). The effect of physical exercise on bone density in middle-aged and older men: a systematic review. *Osteoporosis Int*, 24(11), 2749–2762. <https://doi.org/10.1007/s00198-013-2346-1>
- Caneiro, J.P., O'Sullivan, P.B., Roos, E.M., Smith, A.J., Choong, P., Dowsey, M., Hunter, D.J., Kemp, J., Rodriguez, J., Lohmander, S., Bunzli, S., Barton, C. (2020). Three steps to changing the narrative about knee osteoarthritis care: a call to action. *British Journal of Sports Medicine*, 54 (5), 256-258. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101328>
- Carpintero, P. (2020). Fisiopatología ósea. In E. Gómez & J. Cordero (Eds.), *Traumatología y ortopedia: generalidades* (1st ed., Vol. 2, pp.115-126). Elsevier.
- Carrasco, A. M., Rodríguez, F. S., Paredes, S. L., Herrera, C. M., Hurtado, E. M., Ortega, N. G., Shiguango, N. S., & Sánchez, S. P. (2022). *Enfoque terapéutico actual de la osteoporosis*, 11(1), 22-28. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6434807>

- Castellano-Sanchez, P.M., Ortega-Meléndez, A.I., Velázquez-Cruz, R., & Jiménez-Ortega, R.F. (2024). Función de las hormonas sexuales en la homeostasis del hueso y su papel en el desarrollo de la osteoporosis masculina: una revisión narrativa. *Rev Osteoporos Metab Miner*, 15(4), 144-153. <https://dx.doi.org/10.20960/revosteoporosmetabminer.00024>
- Cedeno-Veloz, B., López-Doriga, P., & Duque, G. (2019). Osteosarcopenia: una revisión narrativa. *Rev Esp Geriatr Gerontol*, 54(2), 103-108. <https://doi.org/10.1016/j.regg.2018.09.010>
- Clarke, B. (2008). Normal Bone Anatomy and Physiology. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, 3(3), S131-S139. <https://doi.org/10.2215/CJN.04151206>
- Cruz-Jentoft, A. J., Baeyens, J. P., Bauer, J. M., Boirie, Y., Cederholm, T., Landi, F., Martin, F. C., Michel, J. P., Rolland, Y., Schneider, S. M., Topinková, E., Vandewoude, M., Zamboni, M., & European Working Group on Sarcopenia in Older People. (2010). Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age and ageing*, 39(4), 412–423. <https://doi.org/10.1093/ageing/afq034>
- Delgado-Calle, J., & Riancho, J.A. (2013). Mecanobiología celular y molecular del tejido óseo. *Rev Osteoporos Metab Miner*, 5(1), 51-56. <https://dx.doi.org/10.4321/S1889-836X2013000100009>
- Faienza, M. F., Giardinelli, S., Annicchiarico, A., Chiarito, M., Barile, B., Corbo, F., & Brunetti, G. (2024). Nutraceuticals and Functional Foods: A Comprehensive Review of Their Role in Bone Health. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(11), 5873. <https://doi.org/10.3390/ijms25115873>

- Feito, Y., Hoffstetter, W., Serafini, P., & Mangine, G. (2018). Changes in body composition, bone metabolism, strength, and skill-specific performance resulting from 16-weeks of HIFT. *PLoS One*, 13(6), e0198324. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198324>
- Fujimura, R., Ashizawa, N., Watanabe, M., Mukai, N., Amagai, H., Fukubayashi, T., Hayashi, K., Tokuyama, K., & Suzuki, M. (2009). Effect of Resistance Exercise Training on Bone Formation and Resorption in Young Male Subjects Assessed by Biomarkers of Bone Metabolism. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 12(4), 656–662. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1997.12.4.656>
- García-Concha, A., Onofre-Castillo, J.J., Córdova-Chávez, N.A., Santana-Vela, I.A., Torres-Gómez, E., & Martínez-Aparicio, J.S. (2015). Medición de la densidad mineral ósea y los factores de riesgo asociados. *Anales de Radiología México*, 14(2), 154-159. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=58995>
- Gosset, A., Pouillès, J. M., & Trémollières, F. (2021). Menopausal hormone therapy for the management of osteoporosis. *Best practice & research. Clinical endocrinology & metabolism*, 35(6), 101551. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2021.101551>
- Gustafsson, T., & Ulfhake, B. (2024). Aging Skeletal Muscles: What Are the Mechanisms of Age-Related Loss of Strength and Muscle Mass, and Can We Impede Its Development and Progression?. *Int J Mol Sci*, 25(20), 10932. <https://doi.org/10.3390/ijms252010932>
- Harding, A. T., Weeks, B. K., Lambert, C., Watson, S. L., Weis, L. J., & Beck, B. R. (2020). A Comparison of Bone-Targeted Exercise Strategies to Reduce Fracture Risk in Middle-Aged and Older Men with Osteopenia and

Osteoporosis: LIFTMOR-M Semi-Randomized Controlled Trial. *J Bone Miner Res*, 35(8), 1404-1414. <https://doi.org/10.1002/jbmr.4008>

Instituto Nacional de Estadística. (2024). *Proyecciones de Población Años 2024-2074*. <https://www.ine.es/dyngs/Prensa/PROP20242074.htm>

Jankowski, C.M., Gozansky, W.S., MacLean, P.S., Shulman, B., Wolfe, P., Schwartz, R.S., & Kohrt, W.M. (2013). N-acetyl-4-aminophenol and musculoskeletal adaptations to resistance exercise training. *Eur J Appl Physiol*, 113(5), 1127-1136. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2529-z>

Kemmler, W., Kohl, M., Fröhlich, M., Jakob, F., Engelke, K., von Stengel, S., & Schoene, D. (2020a). Effects of High-Intensity Resistance Training on Osteopenia and Sarcopenia Parameters in Older Men with Osteosarcopenia-One-Year Results of the Randomized Controlled Franconian Osteopenia and Sarcopenia Trial (FrOST). *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 35(9), 1634–1644. <https://doi.org/10.1002/jbmr.4027>

Kemmler, W., Kohl, M., Jakob, F., Engelke, K., & von Stengel, S. (2020b). Effects of High Intensity Dynamic Resistance Exercise and Whey Protein Supplements on Osteosarcopenia in Older Men with Low Bone and Muscle Mass. Final Results of the Randomized Controlled FrOST Study. *Nutrients*, 12(8), 2341. <https://doi.org/10.3390/nu12082341>

Kemmler, W., von Stengel, S., Engelke, K., & Kalender, W. A. (2010). Exercise and bone mineral density in the elderly: The EFOPS Study - A 3-year longitudinal trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(Suppl 1), 112–119. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2009.01051.x>

Kircher, K., Chaudry, O., Nagel, A. M., Ghasemikaram, M., Uder, M., Jakob, F., Kohl, M., Kemmler, W., & Engelke, K. (2024). Effects of high-intensity training

on fatty infiltration in paraspinal muscles in elderly males with osteosarcopenia - the randomized controlled FrOST study. *BMC geriatrics*, 24(1), 141. <https://doi.org/10.1186/s12877-024-04736-5>

Knauer, K., Chaudry, O., Uder, M., Kohl, M., Kemmler, W., Bickelhaupt, S., & Engelke, K. (2023). Effects of High-Intensity Resistance Training on Visceral Adipose Tissue and Abdominal Aortic Calcifications in Older Men with Osteosarcopenia - Results from the FrOST Study. *Clinical interventions in aging*, 18, 71–80. <https://doi.org/10.2147/CIA.S388026>

Kohrt, W.M., Bloomfield, S.A., Little, K.D., Nelson, M.E., Yingling, V.R., & American College of Sport Medicine. (2004). American College of Sports Medicine Position Stand: physical activity and bone health. *Med Sci Sports Exerc*, 36(11), 1985-1996. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000142662.21767.58>

Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc*, 36(4), 674–688. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000121945.36635.61>

Leslie, W. D. (2008). Factors affecting short-term bone density precision assessment and the effect on patient monitoring. *J Bone Miner Res*, 23(2), 199–204. <https://doi.org/10.1359/jbmr.071019>

Maddalozzo, G. F., Widrick, J. J., Cardinal, B. J., Winters-Stone, K. M., Hoffman, M. A., & Snow, C. M. (2007). The effects of hormone replacement therapy and resistance training on spine bone mineral density in early postmenopausal women. *Bone*, 40(5), 1244–1251. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2006.12.059>

Maestroni, L., Read, P., Bishop, C., Papadopoulos, K., Suchomel, T. J., Comfort, P., & Turner, A. (2020). The Benefits of Strength Training on Musculoskeletal System Health: Practical Applications for Interdisciplinary Care. *Sports*

medicine (Auckland, N.Z.), 50(8), 1431–1450.
<https://doi.org/10.1007/s40279-020-01309-5>

Marques, E.A., Mota, J., Viana, J.L., Tuna, D., Figueiredo, P., Guimarães, J.T., & Carvalho, J. (2013). Response of bone mineral density, inflammatory cytokines, and biochemical bone markers to a 32-week combined loading exercise programme in older men and women. *Arch Gerontol Geriatr*, 57(2), 226-33. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2013.03.014>

Massini, D. A., Nedog, F. H., de Oliveira, T. P., Almeida, T. A. F., Santana, C. A. A., Neiva, C. M., Macedo, A. G., Castro, E. A., Espada, M. C., Santos, F. J., & Pessôa Filho, D. M. (2022). The Effect of Resistance Training on Bone Mineral Density in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Healthcare* (Basel, Switzerland), 10(6), 1129. <https://doi.org/10.3390/healthcare10061129>

Murata, H., Yagi, T., Midorikawa, T., Torii, S., Takai, E., & Taguchi, M. (2022). Comparison between DXA and MRI for the Visceral Fat Assessment in Athletes. *Int J Sports Med*, 43(7), 625–631. <https://doi.org/10.1055/a-1717-1619>

Navarro, D. A., Prado, C., & Manzano, B. R. (2020). Osteosarcopenia: del envejecimiento de la unidad óseo-muscular a la enfermedad. *Rev Cuba Reumatol*, 22(1), e172. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-5996202000040006

O'Bryan, S. J., Giuliano, C., Woessner, M. N., Vogrin, S., Smith, C., Duque, G., & Levinger, I. (2022). Progressive Resistance Training for Concomitant Increases in Muscle Strength and Bone Mineral Density in Older Adults: A

Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 52(8), 1939–1960. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01675-2>

Organización de las Naciones Unidas. (2023). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivos y metas de desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Organización Mundial de la Salud. (1998). *Guidelines for preclinical evaluation and clinical trials in osteoporosis*. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/42088/9241545224_eng.pdf

O'Rourke, D., Beck, B.R., Harding, A.T., Watson, S.L., Pivonka, P., & Martelli, S. (2021). Assessment of femoral neck strength and bone mineral density changes following exercise using 3D-DXA images. *J Biomech*, 119, 110315. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110315>

Pacheco-Pantoja, E.L., Salazar, P., & Yáñez, V. (2022). Metabolismo óseo y osteoporosis: conceptos y funciones. *Revista Biomédica*, 33(1), 22-32. <https://doi.org/10.32776/revbiomed.v33i1.906>

Papadopoulou, S. K., Papadimitriou, K., Voulgaridou, G., Georgaki, E., Tsoitidou, E., Zantidou, O., & Papandreou, D. (2021). Exercise and Nutrition Impact on Osteoporosis and Sarcopenia-The Incidence of Osteosarcopenia: A Narrative Review. *Nutrients*, 13(12), 4499. <https://doi.org/10.3390/nu13124499>

Ponzano, M., Rodrigues, I. B., Hosseini, Z., Ashe, M.C., Butt, D. A., Chilibeck, P. D., Stapleton, J., Thabane, L., Wark, J. D., & Giangregorio, L. M. (2021). Progressive Resistance Training for Improving Health-Related Outcomes in People at Risk of Fracture: A Systematic Review and Meta-Analysis of

Randomized Controlled Trials. *Phys Ther*, 101(2), pzaa221.
<https://doi.org/10.1093/ptj/pzaa221>

Suominen, T. H., Korhonen, M. T., Alén, M., Heinonen, A., Mero, A., Törmäkangas, T., & Suominen, H. (2017). Effects of a 20-week high-intensity strength and sprint training program on tibial bone structure and strength in middle-aged and older male sprint athletes: a randomized controlled trial. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 28(9), 2663–2673.
<https://doi.org/10.1007/s00198-017-4107-z>

Turcotte, A. F., Kukuljan, S., Dalla Via, J., Gagnon, C., Abbott, G., & Daly, R. M. (2020). Changes in spinal bone density, back muscle size, and visceral adipose tissue and their interaction following a multi-component exercise program in older men: secondary analysis of an 18-month randomized controlled trial. *Osteoporosis international : a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 31(10), 2025–2035.
<https://doi.org/10.1007/s00198-020-05484-z>

Vescini, F., Chiodini, I., Falchetti, A., Palermo, A., Salcuni, A. S., Bonadonna, S., De Geronimo, V., Cesareo, R., Giovanelli, L., Brigo, M., Bertoldo, F., Scillitani, A., & Gennari, L. (2021). Management of Osteoporosis in Men: A Narrative Review. *International journal of molecular sciences*, 22(24), 13640.
<https://doi.org/10.3390/ijms222413640>

Zeni, S. N. (2016). Conexiones entre tejido óseo y tejido graso: Efecto de la obesidad sobre la salud ósea. *Acta Bioquim Cin Latinoam*, 50(3), 375-385.
<http://hdl.handle.net/11336/47521>

9 Anexos

9.1 Cuadro resumen de artículos empleados

Tabla 2

Cuadro resumen de artículos empleados.

Autores y año	Objetivos del estudio	Muestra	Variables	Resultados
Amaro-Gahete et al., 2019	Investigar los efectos de las recomendaciones de la OMS (PAR), HIIT o WB-EMS tras 12 semanas en adultos sedentarios.	n=89 Edad=45-65 hombres=47,3% GC=14 PAR=16 HIIT=16 WB-EMS=19.	Mediciones pre/post con DXA: - Masa (kg), porcentaje e índice (kg/m ²) de grasa corporal (kg). - VAT (g). - Masa (kg) e índice (kg/m ²) magro. - Densidad (g/cm ²) y contenido (g) mineral óseo.	HIIT y WB-EMS disminuye masa corporal grasa y aumenta masa corporal magra. WB-EMS es la más efectiva para aumentar el contenido mineral óseo.

Feito et al., 2018	Examinar el efecto de 16 semanas de HIFT en la composición corporal y el rendimiento en adultos activos.	n=26 Hombres: 9 (34,2 ± 9,1 años) Mujeres =17 (36,4 ±7,9 años)	Test pre y post con DXA: <ul style="list-style-type: none"> - Densidad (g/cm²) y contenido (g) mineral óseo. - Masa (kg) y porcentaje de grasa corporal. - Masa magra no ósea (kg). - Fuerza muscular (5RM) Valores corporales totales y en regiones (brazos, piernas y tronco).	El HIFT aumenta el DMO y disminuye el porcentaje de grasa corporal.
Harding et al., 2020	Determinar los efectos de 8 meses de HiRIT o de IAC en los factores de riesgo de fractura osteoporótica en hombres adultos y	n=93 T Score column lumbar y fémur proximal ≤ -1,0 (valorado con DXA) Edad >45 GC=26 HiRIT= 34 IAC=33	<ul style="list-style-type: none"> - DMO columna lumbar y fémur proximal (DXA). - Masa magra total y apendicular, masa y porcentaje graso (DXA). - Área de sección transversal muscular 	HiRIT mejora DMO (columna lumbar y fémur proximal) composición corporal, función y fuerza muscular mientras que IAC es insuficiente para provocar mejoras tras 8 meses.

	tercera edad con baja DMO.		<p>(MCSA) y densidad muscular pierna y brazo no dominante.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Área de sección transversal del músculo (MCSA) y densidad muscular (pQCT). - Función (time up and go / five times sit-to-stand). - Fuerza extensora tronco y pierna (dinamómetro). - Test de alcance funcional. - Pico de impulso (N·s) total y en función del peso (N·s/kg) mediante un CMJ sobre plataforma de fuerza. 	
--	----------------------------	--	---	--

Jankowski et al., 2013	Estudiar los efectos del N-acetyl-4-aminophe rol (ACET) en las adaptaciones musculoesqueléticas tras 16 semanas de un entrenamiento de fuerza de alta intensidad en hombres de mediana y tercera edad.	n=26 toman ACET o AINES <3 días/ mes Años≥ 50 ACET= 1 PLAC= 7.	Valoración pre y post: <ul style="list-style-type: none"> - DMO (DXA y análisis de sangre de BAP y CTX, biomarcadores de metabolismo óseo). - Masa libre de grasa (DXA). - Masa grasa (DXA). - Fuerza máxima (1RM) - Biopsia vasto lateral al inicio, 3º semana y 16º semana. 	1,000mg de ACET no atenúa el aumento de masa libre de grasa tras 16 semanas de entrenamiento. Intervención corta para estudiar los efectos sobre DMO.
Kemmler et al., 2020a	Validar el efecto del ejercicio de resistencia dinámica de alta intensidad sobre parámetros de sarcopenia y osteoporosis en	n=43 Edad: >72 años GE=21 GC=22	Mediciones pre y post: <ul style="list-style-type: none"> - DMO columna lumbar (QCT). - Índice de masa muscular esquelética SMI (DXA). - DMO superficial de cadera total (DXA). 	El ejercicio de resistencia dinámica de alta intensidad es seguro y eficaz para abordar la sarcopenia y osteoporosis en hombres mayores con osteosarcopenia.

	hombres mayores con osteosarcopenia.		- Fuerza máxima extensora de cadera y pierna (prensa de piernas isocinética nRM).	
Kemmler et al., 2020b	Evaluar el efecto del ejercicio de resistencia dinámica de alta intensidad y suplementación con proteína de suero sobre DMO y parámetros de sarcopenia en hombres osteosarcopénicos.	n=43 con osteosarcopenia Edad ≥ 72 HIT-RT=21 GC=22	Evaluación pre y post: - DMO columna lumbar y cadera (DXA). Sarcopenia (Puntuación Z según EWGSOPI): - Índice de masa muscular esquelética (DXA). - Fuerza de agarre de la mano (dinamómetro de agarre manual calibrado Jamar). - Velocidad de la marcha (protocolo de 10 m).	El ejercicio de resistencia dinámica de alta intensidad junto con suplementación con proteína de suero es efectiva para combatir la osteosarcopenia en hombres mayores.

Kircher et al., 2024	Investigar el efecto de un entrenamiento de fuerza de alta intensidad sobre el volumen de IMAT (tejido adiposo intermuscular) y la fracción de grasa muscular paraespinal versus un grupo de control durante 16 meses.	n=31 Edad: >72 GE=15 GC=16	Mediciones pre y post: - IMAT (RM de Dixon). - Fracción de grasa muscular paraespinal (RM de Dixon). - Tejido muscular (RM de Dixon). - DMO de columna lumbar y cabeza femoral (DEXA).	No se observan efectos positivos en la infiltración de grasa de los músculos erector de la columna y psoas mayor, pero sí que se consiguen resultados positivos en la DMO de columna lumbar tras el entrenamiento de fuerza de alta intensidad.
Knauer et al., 2023	Evaluar el efecto de un entrenamiento de fuerza de alta intensidad sobre el VAT y las calcificaciones aórticas abdominales	n=31 Edad: >72 GE=15 GC=16	Mediciones pre y post: - VAT (cm ³ , RM de Dixon entre L2 y L3). - ACC volume (mm ³ , TAC entre T12-L3). - Volumen de la arteria renal derecha, izquierda,	El entrenamiento de fuerza de alta intensidad reduce el VAT pero no se obtienen resultados en la progresión de las ACC y sus ramas vasculares.

	(AAC).		tronco celíaco y arteria mesentérica. (mm3, TAC). - DMO y masa muscular esquelética (DXA).	
Marques et al., 2013	Determinar la relación entre biomarcadores de recambio óseo y de inflamación asociados con un incremento de la DMO tras 32 semanas de ejercicio de fuerza de alta intensidad en adultos de tercera edad.	n=47 Hombres=26 Edad: 60-85	Valoración pre y post: . - DMO columna lumbar y fémur proximal (DXA). - Serum OC, CTX, IL6, TNF- α , IFN- γ y RANKL (análisis de sangre). - Equilibrio dinámico (8 foot up and go test). - Fuerza miembro inferior (30s Chair Stand Test). - Masa libre de grasa y porcentaje de grasa corporal (DXA).	El entrenamiento de fuerza de alta intensidad durante 32 semanas tiene un efecto positivo en la DMO en fémur proximal y columna lumbar, en los marcadores inflamatorios así como ganancia de fuerza muscular y equilibrio. No se obtienen resultados respecto a biomarcadores de recambio óseo.

O'Rourke et al., 2021	Determinar la fiabilidad de la medición de la densidad mineral volumétrica (vBMD) y la fuerza del cuello del fémur a través de imágenes 3D-DXA así como estudiar sus cambios en hombres adultos tras 8 meses de HiRIT.	n=26 hombres Edad: 64,9 ± 8,6 Grupo HiRIT del estudio de Harding et al. (2020).	Mediciones pre y post con 3D-DXA: <ul style="list-style-type: none"> - BMC del fémur proximal. - Variaciones en la fuerza del cuello femoral (apoyo unipodal y caída lateral). - Distribución de la densidad mineral ósea volumétrica en fémur proximal. 	El uso de la tecnología 3D-DXA es eficaz en la evaluación de la DMO volumétrica así como de la fuerza del cuello femoral tras las intervenciones de ejercicio en grandes cohortes, pero debe estudiarse más su validez en casos individuales. Tras 8 meses de HiRIT se produjeron aumentos en la DMO así como en la fuerza ósea.
Suominen et al., 2017	Establecer si un programa de entrenamiento de alta intensidad de 20	n=72 Edad= 40-85 años EX=40 GC= 32).	Mediciones pre y post: <ul style="list-style-type: none"> - Densidad mineral tibial (QCT). - Densidad y contenido 	El entrenamiento intensivo de fuerza y de velocidad mejora la estructura y la fuerza de la tibia media en atletas de

	semanas tiene efectos positivos sobre la estructura y la fuerza del hueso tibial en atletas de velocidad masculinos adultos y mayores.		mineral óseo, fuerza y estructura del hueso (QCT periférico en la tibia distal y la diáfisis tibial). - Fuerza muscular miembro inferior (% 1RM)	velocidad masculinos de mediana edad y mayores, por lo que en presencia de alta intensidad, la adaptabilidad de la estructura ósea se mantiene durante el envejecimiento.
Turcotte et al., 2020	Investigar el efecto del ejercicio multicomponente en el área de sección transversal del músculo paraespinal y del psoas además del tejido adiposo visceral en hombres de mediana y tercera edad.	n=180 hombres Edad=50-79 EX=91 GC=89	Mediciones pre y post: - DMO lumbar (DXA). - K2HPO4 (QCT). - Fuerza de la musculatura de la espalda (1RM jalón al pecho). - Masa muscular psoas y paraespinal (cross-sectional area, CSA). - VAT (cm2, SliceOmatic).	El ejercicio multicomponente mejora la DMO además del tamaño y fuerza de los músculos de la espalda, pero no el VAT en hombres de mediana edad y mayores. Se asociaron los cambios musculares y el VAT a los cambios de DMO espinal independientemente del tipo de ejercicio.

Nota. Elaboración propia.

Javier Fernández Bezanilla

Marina Angulo Plaza