

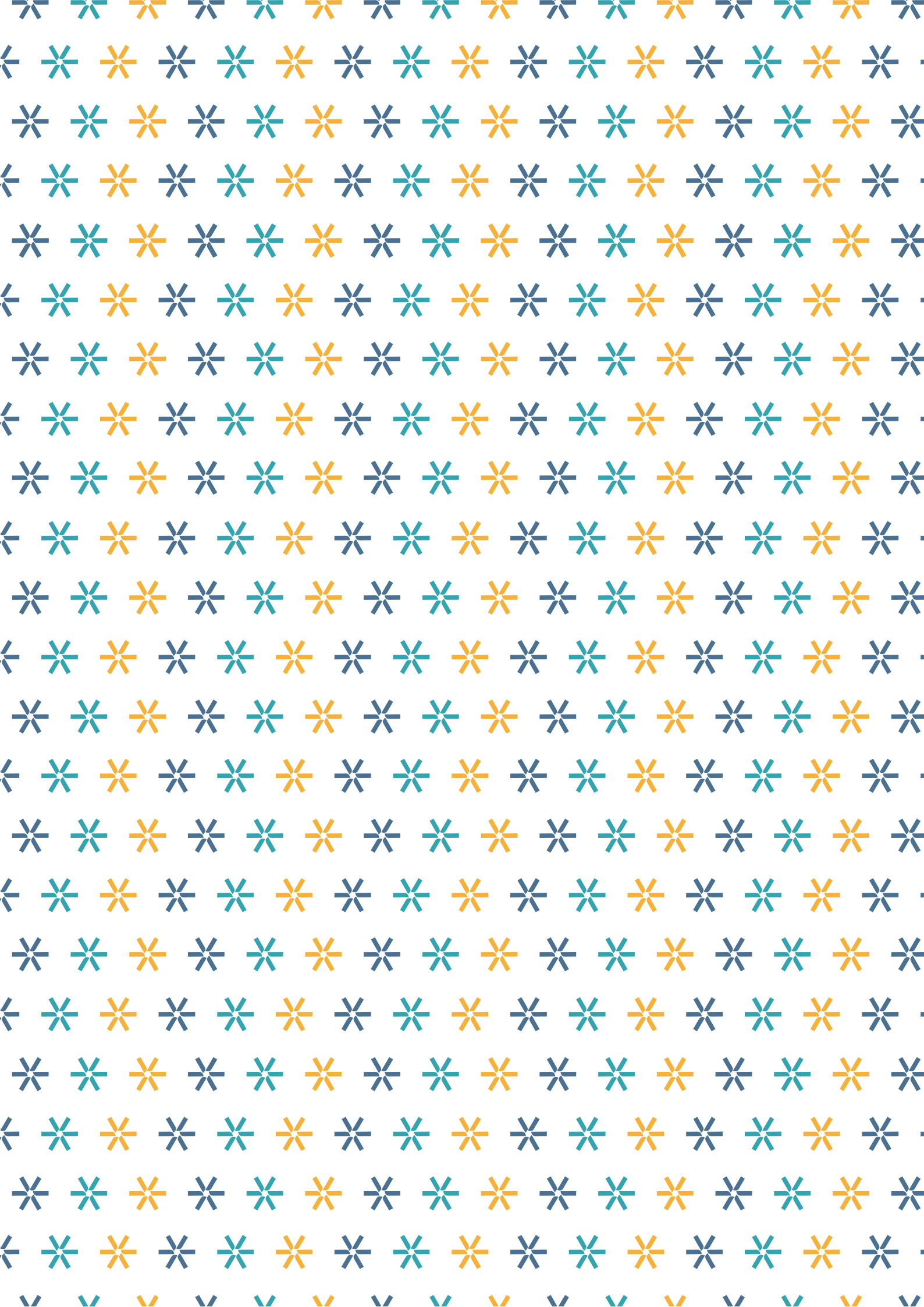
#18

EJERCICIO FÍSICO ADAPTADO A LA SALUD II

Carrera
Licenciatura en Ciencias del Entrenamiento

Autor
Díaz, Joaquín

Colaboración
Ruatta, Federico



PRESENTACIÓN

Esta nueva producción de Ediciones UNRaf se inscribe en la “Colección Cuadernos de Cátedra”, a través de la cual se pretende promover y potenciar las capacidades de los equipos docentes de las distintas propuestas formativas y Facultades, mediante la producción de textos de apoyo a las actividades de enseñanza-aprendizaje, que a la vez posibiliten la socialización e intercambios multidisciplinares e interdisciplinares.

Esta serie, en particular, reúne un conjunto de producciones seleccionadas en el marco de la V Convocatoria Institucional, realizada en el año 2025. Se abordan, en este caso, diversas temáticas que abarcan la matemática aplicada al diseño, la administración y diseño de procesos organizacionales, el entrenamiento adaptado para la salud y una guía para la elaboración del proyecto de intervención profesional en el marco de una carrera específica.

Una vez más, ponderamos la calidad de los trabajos, así como también el nivel académico, la trayectoria profesional y el compromiso de sus autores/as en torno a estas temáticas y problemáticas y para con esta iniciativa institucional, considerada de relevancia para el presente y futuro de esta Universidad.

Agradecemos a las/os responsables de cada una de las publicaciones, a sus equipos de trabajo y a los/as integrantes de la editorial, por ayudarnos a concretar este proyecto, tan prometedor y tan necesario para nuestra institución.

Mg. Marcelo M. Costamagna

Decano Facultad de Estudios
Profesionales

Bq. Fabiana Gentinetta

Decana Facultad de Tecnologías e
Innovación Para El Desarrollo

Mg. María Cecilia Gutiérrez

Decana Facultad de Ciencias
Sociales y Humanidades

Díaz, Joaquín

Ejercicio físico adaptado a la salud II / Joaquín Díaz. - 2a ed. - Rafaela : Ediciones UNRaf, 2026.

Libro digital, PDF - (Cuadernos de cátedra)

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4920-88-1

1. Deportes. 2. Salud. 3. Patologías. I. Título.

CDD 612.044



©Universidad Nacional de Rafaela, 2024

Bv. Roca 989, Rafaela

Santa Fe, Argentina

Tel. (+54 03492) 501155

info@unraf.edu.ar

editorial@unraf.edu.ar

<http://www.unraf.edu.ar/>

Autoridades UNRaf

Rector

Dr. Rubén Ascúa

Vicerrectora

Mg. María Cecilia Gutiérrez

Decano

Mg. Marcelo Costamagna

A/C Dirección editorial

Lic. Fernando García

Coordinación editorial

Lic. María Guadalupe Rey

Diseño editorial

Tec. Francisco Intelangelo

Gimena Blua

Corrección

Mag. María Eugenia Meyer

La responsabilidad por las opiniones expresadas en los libros, artículos, estudios y otras colaboraciones publicadas por Ediciones UNRaf incumbe exclusivamente a los autores firmantes y su publicación no necesariamente refleja los puntos de vista ni del Director Editorial, ni del Consejo Editor u otra autoridad de la UNRaf.



Atribución – No Comercial – Compartir por igual 4.0 Internacional (by-nc-sa 4.0): No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Esta licencia no es una licencia libre, y es la más cercana al derecho de autor tradicional.



Atribución (Attribution): En cualquier explotación de la obra autorizada por la licencia será necesario reconocer la autoría (obligatoria en todos los casos).



No Comercial (Non commercial): La explotación de la obra queda limitada a usos no comerciales.



Compartir por igual (ShareAlike): En caso de modificación, transformación o construcción sobre el material, se debe distribuir la contribución bajo la misma licencia que la original.

#18

EJERCICIO FÍSICO ADAPTADO A LA SALUD II

Carrera

Licenciatura en Ciencias del Entrenamiento

Autor

Díaz, Joaquín

Colaboración

Ruatta, Federico

Índice

Introducción	9
01. Asma, Epec e Insuficiencia respiratoria	16
02. Osteoporosis	52
03. Estrés crónico	84

Nueva introducción al Entrenamiento para la salud

El primer libro de cátedra, publicado en 2024, se inicia con un capítulo introductorio que intenta mostrar, en primer lugar, que la actividad física puede convertirse en una herramienta con enorme potencial terapéutico cuando forma parte de un programa de abordaje adaptado, diseñado y supervisado por un profesional competente. A la vez, procura dar a conocer que todas aquellas personas que aún no presentan una patología diagnosticada también pueden beneficiarse de la actividad física, considerándola una de las mejores estrategias preventivas: accesible, de bajo costo y con excelentes resultados a corto, mediano y largo plazo.

Por otro lado, ese capítulo introductorio ofrece un glosario de términos considerados esenciales, con el propósito de que el futuro licenciado en Ciencias del Entrenamiento pueda dominar la nomenclatura frecuentemente utilizada en la literatura académica del campo del entrenamiento para la salud. A partir de allí, se introduce al lector en el concepto de salud desde una mirada revisionista y antropológica, explorando cómo el modo de vida de nuestros antepasados cazadores-recolectores (biológicamente adaptados a un entorno muy distinto al actual) se enfrenta hoy a un contexto caracterizado por la hipocinesia, la sobrealimentación y el estrés crónico. De esa reflexión surge el concepto de “heptada” o, quizás ya podríamos decir, “octada” patógena del estilo de vida moderno, que expresa el desajuste biológico que predispone al ser humano a enfermar de múltiples maneras.

Expuestas estas ideas, el capítulo concluye dejando en claro cuáles son las direcciones y los objetivos que se propone el ejercicio físico adaptado como campo académico y profesional para la intervención en distintos contextos y con diferentes grupos etarios.

Al pensar este segundo Cuaderno de cátedra y su nueva introducción, buscamos abordar algunos puntos que no fueron tratados directamente en el anterior, pero que consideramos fundamentales para seguir pensando el ejercicio físico adaptado a la salud. Así, este apartado retoma conceptos, ideas y discusiones que suelen surgir en clase y que compartimos con los estudiantes, organizados en torno a tres subtemas centrales.

En primer lugar, reflexionar sobre la necesidad de dejar en claro, tanto en la formación académica como en el trabajo con la población, que la actividad física es necesaria, pero que el entrenamiento físico adaptado es esencial. En segundo lugar, ofrecer algunas reflexiones clave sobre los objetivos que un entrenador enfrenta y debiera proponerse al llevar adelante un proceso de trabajo en este campo, más allá del entrenamiento en sí mismo. Y, por último, la idea de construir un conjunto de herramientas específicas para el entrenamiento adaptado, no necesariamente exclusivas de este campo, pero sí diseñadas y especializadas para él.

Para cerrar este apartado, vale aclarar que las páginas y reflexiones que siguen no pretenden presentarse como una verdad acabada ni como una doctrina a seguir. Su propósito es compartir puntos de vista y reflexiones surgidas del recorrido académico y de la experiencia práctica, con el enorme placer de hacerlo no para su repetición acrítica, sino como un punto de partida para seguir profundizando y creciendo en este campo que tanto nos apasiona.

¿Cualquier actividad física es buena para la salud?

A menudo escuchamos que “hacer algo de actividad física siempre es bueno”, y si bien esa afirmación tiene algo de cierto, también puede resultar engañosa. En los últimos años se ha vuelto común escuchar a muchas personas decir que entrenan, cuando en realidad lo que hacen es simplemente moverse o realizar algún tipo de ejercicio. La diferencia puede parecer menor, pero es significativa. Entrenar no es solo hacer actividad o ejercicio físico. Entrenar implica que los ejercicios realizados estén en el marco de un plan individualizado, periodizado y dosificado a lo largo del tiempo, con objetivos definidos y una mirada puesta en el mediano y largo plazo. Y justamente a eso es a lo que apostamos desde el campo del entrenamiento para la salud. La actividad física es beneficiosa, por supuesto, pero lo es verdaderamente cuando forma parte de un programa pensado de manera individual, diseñado con criterio profesional y con una proyección sostenida en el tiempo. Esa es una tarea que corresponde al profesional de las Ciencias del Entrenamiento, formado durante años en el recinto académico, dentro del abordaje multidisciplinario, capaz de evaluar la aptitud física, diseñar un plan de trabajo a largo plazo y controlar la carga de entrenamiento.

Las principales organizaciones internacionales de salud recomiendan desde hace años realizar al menos 60 minutos diarios de actividad física de intensidad moderada a vigorosa, e incluir ejercicios de fuerza al menos dos veces por semana, en todos los rangos etarios. Estas son metas valiosas, aunque difíciles de cumplir para gran parte de la población. Sin embargo, representan un horizonte de referencia que como especialistas, debemos promover, acompañando con educación sólida las recomendaciones en torno al ejercicio físico para la salud.

Aun así, estas recomendaciones quedan incompletas cuando no se aclara que la actividad física más beneficiosa es aquella que se desarrolla dentro de un programa de entrenamiento. Un programa que debe ser diseñado y supervisado por un profesional competente, graduado en alguna de las carreras universitarias dedicadas a este campo en nuestro país. En nuestra institución, el estudiante de Ciencias del Entrenamiento recibe una preparación específica en entrenamiento para la salud, lo que lo posiciona como un profesional más que capacitado para llevar adelante este tipo de intervenciones. Sería deseable que las recomendaciones internacionales incluyeran también este aspecto: la necesidad de que la actividad física, además de suficiente y variada, esté guiada por un especialista, del mismo modo que las recomendaciones farmacológicas, kinesiológicas o terapéuticas se reservan a especialistas formados en cada área.

Para aclarar esta diferencia, pensemos en un ejemplo sencillo. Existe evidencia de la efectividad de realizar *actividad física acumulada*¹, es decir, pequeños períodos de movimiento a lo largo del día (por ejemplo, cuatro caminatas de 15 minutos), que sumados, alcanzan la recomendación diaria. Diversos estudios muestran que este tipo de prácticas mejora la aptitud física y genera beneficios comparables a los de un trabajo continuo. Pero, ¿eso es lo mejor que los profesionales podemos recomendar? Claramente no.

1 Concepto tomado de Matsudo, S. M. & Matsudo, V. K. (2008). Actividad física y obesidad. Prevención y tratamiento. Celafiscs.

Sumar movimiento a lo largo del día, moverse por placer o aprovechar cada oportunidad para salir del sedentarismo es fantástico. Todo lo que incrementa el gasto energético y reduzca el tiempo en sedestación es positivo. Sin embargo, cuando hablamos de “lo mejor” para la salud, hablamos de algo distinto. Nos referimos a un programa de entrenamiento físico adaptado: planificado, dosificado y prescrito por un profesional capaz de analizar múltiples variables que hacen a la realidad de cada persona. Ese programa, y no solo la suma de movimientos cotidianos, es lo que realmente permite mejorar la condición física y prevenir o tratar enfermedades a largo plazo.

Pensemos en el caso de una persona que llega a nuestra consulta con diagnóstico de hipertensión arterial. Su médico le recomienda hacer actividad física, y siguiendo las guías actuales podría sugerirle realizar ejercicios de resistencia (aeróbicos continuos de baja-moderada intensidad) y de fuerza muscular de forma regular. Esto no sería totalmente incorrecto, es decir, forma parte de las recomendaciones basadas en la última evidencia disponible, que sustentarían el proceso de entrenamiento al menos al inicio del tratamiento.

No obstante, ¿cómo está su espalda: su postura, su nivel de estabilidad central? ¿Cómo es su rendimiento en pruebas de equilibrio y estabilidad? ¿Cuál es su peso corporal? ¿Tiene dolores en alguna región específica o lesiones previas? ¿Qué nivel de control motor tiene y cuánto domina las técnicas de los ejercicios? ¿Cuáles son sus gustos, sus hábitos de alimentación, su rutina laboral, su disponibilidad de tiempo o de materiales? Todas esas preguntas, y seguramente otras más, forman parte del análisis que un entrenador capacitado realizará antes de diseñar un programa verdaderamente adaptado. Y ahí radica la diferencia que queremos remarcar entre hacer actividad física y realmente entrenar.

Por eso, y para cerrar esta primera idea, creemos que es importante que la población comprenda que la actividad física, aunque siempre valiosa, alcanza su máximo potencial cuando se convierte en parte de un programa de entrenamiento físico adaptado, diseñado de manera individual, con vistas al largo plazo y guiado por un especialista competente. Solo así puede transformarse en una herramienta poderosa para mejorar la salud y la calidad de vida de las personas con y sin patologías.

Objetivos y metas del profesional: entrenar no es suficiente

Ya dijimos que entrenar no es simplemente moverse un poco, y que el verdadero entrenamiento implica un proceso individualizado, planificado y sostenido a lo largo del tiempo. Pero también es importante recordar que dentro de ese proceso, el mejor entrenamiento es aquel que se hace, se cumple y se mantiene. Es decir, ningún plan, por más perfecto que sea en el papel (tal vez en la actualidad convenga decir en la computadora), sirve si la persona no logra sostenerlo en el tiempo.

Por eso, el rol del profesional en Ciencias del Entrenamiento no se debería limitar a evaluar, diseñar programas o prescribir cargas. Y no por no reconocer el enorme desafío que representan dichas tareas, sino porque habiendo adquirido la habilidad y el conocimiento para hacerlas correctamente, deben complementarse con más acciones

que potencien las posibilidades de que la persona continúe en el programa a lo largo del tiempo. Es decir, primero será crucial desarrollar una sólida capacidad académica y técnica que le permita abordar, acompañar y adaptarse a múltiples situaciones, trastornos o patologías en las que el ejercicio físico cumple un papel central como herramienta terapéutica o preventiva. Pero además, como necesidad posterior, será determinante poder cultivar otro tipo de competencias igual de importantes que podríamos nomenciar como habilidades blandas.

En tal situación, empatizar, escuchar, aconsejar, enseñar y desmitificar son acciones que van más allá del entrenamiento en sí, pero que resultan esenciales para lograr que las personas continúen entrenando. Porque no se trata solo de cuánto saben los entrenadores, sino también de cómo logran entender, conectar y motivar a las personas que acompañan.

En el campo de la salud es frecuente enfrentarse a abandonos, inasistencias, interrupciones y reinicios del proceso de entrenamiento. Es parte de la realidad cotidiana. Sin embargo, cada vez que alguien vuelve a comenzar, debemos estar preparados para que ese nuevo inicio sea el definitivo. Ese es el desafío y, al mismo tiempo, la oportunidad del profesional: ofrecer las condiciones para que el proceso se sostenga.

Entre las capacidades que más valor cobran en ese camino, se nos ocurre destacar tres:

- **La capacidad de empatizar.** Comprender lo que la persona vive, ponerse en su lugar, reconocer sus miedos, dudas e inseguridades. Desde esa comprensión, es posible acompañar con sensibilidad, orientar con criterio y resolver con eficacia. Nos permitirá comprender las dudas que nos plantean, los errores que cometen o los juicios que realizan, y nos dará posibilidades de actuar frente a ellos de la manera más comprensiva posible. No podemos asegurar que la empatía pueda enseñarse en los manuales, pero estamos convencidos de que sin ella será muy difícil construir una relación de confianza que promueva la continuidad en el tiempo.
- **La capacidad de incluir.** El licenciado en Ciencias del Entrenamiento se erige como un profesional autorizado y preparado para diseñar y coordinar programas de ejercicio físico adaptado para personas con diferentes condiciones y necesidades. No obstante, incluir significa algo más que saber adaptar un plan. Implica integrar a todos los que cursan una lesión, dificultad o enfermedad dentro de los espacios de entrenamiento, sin aislarlos ni diferenciarlos como “casos especiales”. Todos entrenan, cada uno con su propio programa, pero compartiendo un mismo entorno de trabajo y disfrute. Muchas de las herramientas que utilizamos en el entrenamiento para la salud son similares a las que se usan con fines estéticos o deportivos, por lo que no tiene sentido convertir los espacios de entrenamiento adaptado en entornos hospitalarios o de rehabilitación. Nuestro objetivo no es medicalizar el entrenamiento, sino normalizar la presencia de la diversidad dentro de los espacios donde entrenamos.

- **Educar, enseñar y desmitificar.** En una época saturada de información, donde las redes sociales difunden todo tipo de mitos y fórmulas rápidas, el rol educativo del profesional del entrenamiento se vuelve más necesario que nunca. Aun cuando trabajemos con adultos y fuera de una institución educativa, seguimos teniendo la responsabilidad de enseñar. Enseñar a entrenar, a comprender el propio cuerpo, a distinguir entre información confiable y mensajes vacíos. Somos quienes podemos traducir el conocimiento científico en lenguaje accesible, claro y aplicable, ofreciendo a cada persona herramientas reales para mejorar su salud y su bienestar desde el ejercicio físico.

En definitiva, en el apartado anterior afirmamos que la actividad física es grandiosa, pero mejor es cuando la propuesta pasa de solo moverse a entrenar. Aquí el desafío es mayor. Lo que proponemos es que pudiendo entrenar, por sí solo esto no es suficiente. El desafío está en formar profesionales capaces de combinar conocimiento técnico con diferentes habilidades blandas, como empatizar, incluir, enseñar y desmitificar, elementos capaces de promover la continuidad y adherencia a largo plazo.

Herramientas de trabajo

Ya hemos desarrollado en el primer Cuaderno de cátedra que las herramientas con las que dispone un profesional no tienen que ver específicamente con los medios o equipamientos de su espacio de trabajo. Claro que estos son importantes y van a posibilitar o condicionar algunas metodologías, evaluaciones o posibilidades de acción. No obstante, cuando hablamos de las herramientas de trabajo, nos referimos a aspectos intangibles que no dependen de los recursos económicos que el profesional tenga o desee invertir.

Las herramientas están en la capacidad intelectual de cada entrenador y derivan de las posibilidades de acción que la literatura científica, al menos hasta la actualidad, reconoce como las mejores opciones para el abordaje adaptado. De esta forma, las herramientas con las que cuenta el profesional en Ciencias del Entrenamiento refieren al conocimiento de las capacidades motoras, sus formas de expresión y manifestaciones, los métodos y medios más aconsejados para entrenarlas, y los modelos, estrategias y protocolos de planificación, evaluación y control de la carga de trabajo. Las herramientas se refieren entonces a esos conocimientos que el entrenador tiene en su mente, y sabe diagramar y prescribir de forma adecuada para cada situación que le toca enfrentar, así como también la capacidad de resolver situaciones inesperadas y emergentes, progresiones, regresiones y adecuaciones de cada propuesta según la realidad de cada persona.

En tal sentido, no es ilógico pensar que muchas de estas herramientas son comunes a distintas orientaciones del entrenamiento, ya sea con objetivos de rehabilitación, rendimiento deportivo, estética o, en nuestro caso, salud. Así, el entrenamiento de la fuerza puede ser una herramienta con un excelente potencial tanto para la recuperación de una articulación lesionada, como para el aumento de la masa muscular y la hipertrofia, para que un jugador salte más o corra más rápido, o para estimular la pérdida de masa grasa. De igual manera,

el entrenamiento de resistencia puede favorecer la permeabilidad de membrana en una persona con resistencia a la insulina, así como potenciar la capacidad de un deportista de recorrer más metros con un gasto energético menor. Y podríamos enumerar muchos más ejemplos en los que una misma herramienta resulta muy útil en diversos casos, contextos y objetivos.

No obstante, que existan situaciones comunes no significa que no surjan herramientas específicas de un contexto particular, con un enorme valor para algunos casos, pero de dudosa relevancia para otros. Por ejemplo, el entrenamiento postural puede ser una excelente herramienta para restablecer y mejorar la salud vertebral de personas con un elevado grado de cifosis dorsal, pero tiene escasas potencialidades para un sujeto cuyo objetivo es perder algunos kilos de sobrepeso con vistas al próximo verano, o para un jugador de fútbol cuya evaluación postural no muestra alteraciones, ni posee dolores, ni tiene limitaciones de movimiento.

La idea central, entonces, es que no todas las personas se deben entrenar igual. Ni todos como deportistas, ni todos como fisicoculturistas o población con patología. El objetivo es que cada graduado en Ciencias del Entrenamiento adquiera y pueda tener a disposición todas las herramientas, para saber adecuarlas a cada persona, según su situación, objetivos y contexto. Es decir, comprender las particularidades de cada individuo y saber cómo seleccionar, combinar y ajustar cada estrategia para ofrecer la mejor propuesta posible.

Palabras finales

En la primera edición de este libro se abordaron principalmente patologías metabólicas, como la obesidad, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares. En esta segunda edición, para completar el material que sostiene el programa de cátedra, se engloban otras condiciones, como enfermedades respiratorias que causan insuficiencia en la función como asma y EPOC, patologías óseas y musculares como osteopenia y sarcopenia, y, por último, estrés crónico y su impacto en la salud.

La dinámica de lectura seguirá la misma estructura que en el primer libro. Cada capítulo inicia con la conceptualización de la patología y luego se presentan los fundamentos biológicos aplicados, explicando qué estructuras y funciones se encuentran alteradas en cada situación. A continuación, se repasa la evidencia disponible sobre el impacto del ejercicio físico en el tratamiento y la gestión de cada condición, y finalmente se ofrecen recomendaciones y propuestas prácticas para el abordaje adaptado, enriquecidas con los aportes derivados de nuestra experiencia profesional a lo largo de los últimos años de trabajo. Esperamos que lo disfruten y que sea de enorme utilidad.

01.

**ASMA, EPOC E
INSUFICIENCIA
RESPIRATORIA**

1. Introducción y contextualización

Las patologías del sistema respiratorio afectan a personas de todas las edades y sexos, y suelen clasificarse en agudas, siendo la principal causa de consulta médica, y graves, constituyendo una de las mayores causas de mortalidad, especialmente en menores de 5 años y en adultos mayores. Estas enfermedades pueden comprometer distintas partes del aparato respiratorio, desde la nariz hasta los pulmones. Algunas, como la tos o el catarro, son leves; mientras que otras, como la bronquitis o la pulmonía, pueden ser potencialmente peligrosas. Las causas son diversas, pero las más comunes incluyen infecciones y factores ambientales, como la exposición al tabaco o a contaminantes laborales específicos (Romieu et al., 1996; Romero-Placeres et al., 2004; Ilabaca et al., 2011).

Dentro de estas patologías, las anomalías más relevantes incluyen el asma y la EPOC, en las que durante las crisis, la espiración se torna lenta, dificultosa y acompañada de sibilancias, con el tórax permanentemente dilatado. En niños, los síntomas suelen desaparecer en pocos días, mientras que en adultos persisten por más tiempo. La respiración se vuelve forzada, involucrando músculos accesorios durante la inspiración: la espiración es incompleta y el tórax permanece elevado (Langlade, 1987). También se encuentran deformaciones tóricas, malformaciones localizadas principalmente en los cartílagos costales que alteran la forma del tórax e impiden que cumpla adecuadamente su función respiratoria. Algunos ejemplos son la asimetría de un hemitórax, el tórax en reloj de arena, las depresiones submamilares, el tórax en embudo y el tórax en quilla (Langlade, 1987). Por último, las alteraciones posturales del tronco también interfieren en la correcta función respiratoria al modificar la biomecánica de la caja torácica.

En todos estos casos, las anomalías respiratorias implican, en mayor o menor medida, una disminución de la capacidad funcional del aparato respiratorio, lo que representa una "insuficiencia en la función". En situaciones graves, estas patologías pueden generar consecuencias similares en términos de afectación de la calidad de vida y el estado general de salud. Además, la disminución de la actividad física se presenta en mayor o menor medida en todas las enfermedades respiratorias (Mendoza & Damasceno, 2017). Por ello, este material, que ha sido diseñado específicamente para estudiantes de grado en Ciencias del Entrenamiento no solo busca describir cada patología, sino también proporcionar herramientas prácticas para afrontar de manera integral programas de rehabilitación pulmonar en un entorno real de gimnasio o centro de entrenamiento.

Considerando ello, este capítulo comienza con un repaso breve de la anatomía del sistema respiratorio y los fundamentos fisiológicos de la respiración. A continuación, profundiza en dos patologías específicas, el asma y la EPOC, describiéndolas de forma breve junto a su etiología y posibles riesgos y consecuencias, pero fundamentalmente analizando el impacto del ejercicio físico en su tratamiento no farmacológico. Finalmente, se detallan algunas herramientas de trabajo útiles para su inclusión en un programa de entrenamiento físico adaptado.

2. Fundamentos biológicos aplicados

El aparato respiratorio contribuye a la homeostasis, encargándose del intercambio gaseoso entre el aire atmosférico, la sangre y las células de los tejidos. Básicamente, las células utilizan oxígeno continuamente para las reacciones metabólicas que liberan energía de las moléculas de los nutrientes y producen ATP. Al mismo tiempo, estas reacciones liberan dióxido de carbono. Debido a que una cantidad excesiva de dióxido de carbono, lleva a una acidez que puede ser tóxica para las células. El exceso de CO₂ debe ser eliminado en forma rápida y eficiente.

Los aparatos cardiovascular y respiratorio cooperan para proveer O₂ y eliminar CO₂. El aparato respiratorio se encarga del intercambio de gases y el aparato cardiovascular transporta la sangre que contiene los gases. La falta de cualquiera de los dos altera la homeostasis y provoca la muerte celular rápida por falta de oxígeno y la acumulación de productos de desecho. También contribuye a ajustar el pH de los líquidos corporales, contiene receptores para el sentido del olfato, filtra el aire inspirado, origina sonidos, y libera agua y calor en la espiración.

El conocimiento de los aspectos anatómicos y fisiológicos del sistema respiratorio es esencial para comprender la evaluación y tratamiento de diversas patologías respiratorias, así como para optimizar las intervenciones en programas de ejercicio físico adaptado. A continuación, se describen a modo de repaso algunos saberes biológicos del sistema respiratorio, que tomados del material de Tortora y Derrickson (2011), permitirán una comprensión más clara y profunda de las diversas patologías y su abordaje desde el ejercicio físico.

2.1 Clasificación de sus partes

Sus partes se pueden clasificar de acuerdo con su estructura y su función. Según su estructura se puede hablar de:

- **Aparato respiratorio superior:** abarca nariz, faringe y estructuras asociadas.
- **Aparato respiratorio inferior:** incluye laringe, tráquea, bronquios y pulmones.

Además, según su función se puede clasificar en:

- **Tubo respiratorio o zona de conducción:** cavidades y tubos interconectados fuera y dentro de los pulmones. Incluye nariz, faringe, laringe, tráquea, bronquios, bronquiolos y bronquiolos terminales.
- **Zona respiratoria:** constituida por los tejidos dentro de los pulmones donde tiene lugar el intercambio gaseoso. Incluye los bronquiolos respiratorios, los conductos alveolares, los sacos alveolares y los alveolos.

La nariz se divide en una porción interna y una externa. La porción interna se encarga de funciones como el calentamiento, humectación y filtración del aire inhalado, además de detectar estímulos olfatorios.

La parte externa, por su parte, está formada por soporte óseo y cartílago cubierto por piel, músculo y mucosa. En la parte inferior de la nariz externa se encuentran las narinas o aberturas nasales, mientras que el espacio dentro de la nariz interna se llama cavidad nasal. La porción interna de la nariz se comunica con la faringe a través de las coanas. El aire que ingresa por las fosas nasales es filtrado por vellos gruesos que capturan partículas de polvo y otras impurezas. Además, la estructura de la nariz interna previene la deshidratación al capturar agua del aire durante la espiración.

La faringe es un conducto en forma de embudo que se extiende desde la nariz interna hasta la laringe, aproximadamente 13 cm. Se encuentra detrás de la boca y la nariz y delante de la columna cervical. Se divide en tres partes: la nasofaringe, que participa en el filtrado del aire y está relacionada con el oído interno; la orofaringe, que es el pasaje común para alimentos, líquidos y aire; y la laringofaringe, que conecta con el esófago para la alimentación y con la laringe para la respiración.

La laringe, por su parte, es un pasaje corto que conecta la faringe con la tráquea. Se encuentra por delante de las vértebras cervicales IV y VI, y está compuesta por nueve piezas de cartílago, siendo las más conocidas el cartílago tiroides o "nuez de Adán", que es más prominente en los hombres debido a la influencia hormonal, y la epiglotis, que actúa como una puerta que se cierra para dirigir los alimentos hacia el esófago.

La tráquea es un conducto de aproximadamente 12 cm de largo, ubicado delante del esófago, y se extiende desde la laringe hasta la vértebra T5, donde se divide en los bronquios primarios, derecho e izquierdo. Estos bronquios se dirigen hacia los pulmones correspondientes y se dividen en bronquios secundarios, que continúan ramificándose en bronquios segmentarios y bronquiolos. A medida que el ejercicio aumenta, la actividad del sistema nervioso autónomo simpático, la liberación de adrenalina provoca la dilatación de los bronquiolos, mejorando la ventilación pulmonar. En contraste, el sistema nervioso parasimpático y mediadores como la histamina inducen la contracción del músculo liso, provocando la constricción de los bronquiolos.

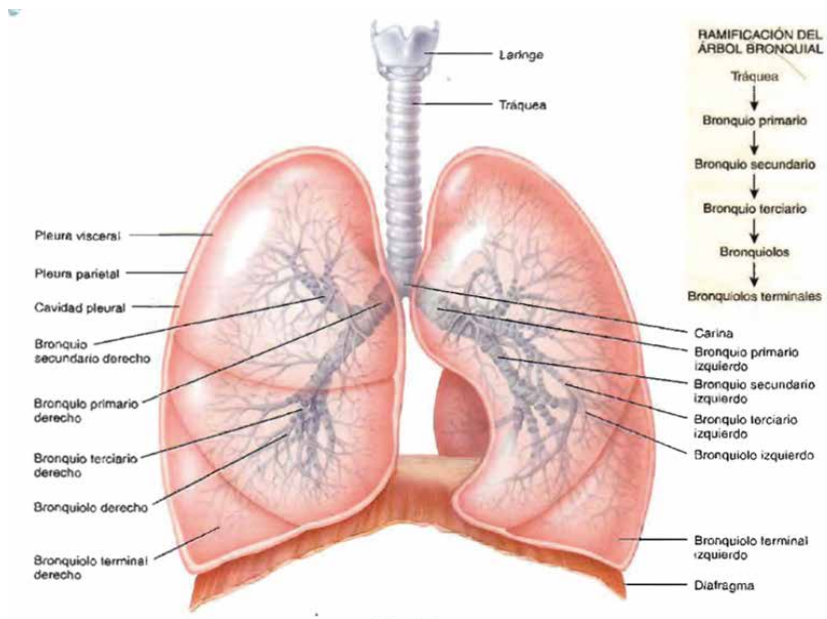


Ilustración 1. Árbol bronquial (Tortora y Derrickson, 2011)

Los pulmones son órganos pares de forma cónica situados en la cavidad torácica, separados por el corazón y otras estructuras (ver Ilustración 1). Cada pulmón está rodeado por una membrana pleural, que se compone de dos capas: la pleura parietal externa y la pleura visceral interna. Entre ambas capas se encuentra la cavidad pleural, que contiene líquido pleural que reduce la fricción entre las membranas y facilita el deslizamiento suave.

Los pulmones se extienden desde el diafragma hasta por encima de las clavículas, y se apoyan en las costillas por delante y por detrás. Las diferentes partes de los pulmones incluyen la base, que es la parte cóncava cercana al diafragma; el vértice, que es la porción superior del pulmón; la cara costal, que toma contacto con las costillas; y la cara mediastínica, que contiene al hilio, donde los bronquios, vasos sanguíneos y nervios entran y salen del pulmón. Además, el pulmón izquierdo presenta una concavidad denominada incisura cardíaca, debido a la posición del corazón, lo que hace que sea un 10% más pequeño que el derecho.

Finalmente, los alvéolos, que son pequeñas celdillas en forma de copa, son los lugares donde se lleva a cabo el intercambio gaseoso. Estos se agrupan en sacos alveolares, que comparten una abertura común. A través de la difusión, el oxígeno y el dióxido de carbono se intercambian entre la sangre y los pulmones a través de la membrana respiratoria, que forma una pared delgada entre los alvéolos y los capilares sanguíneos. Se estima que los pulmones contienen aproximadamente 300 millones de alvéolos, lo que maximiza la superficie disponible para el intercambio de gases.

2.2 Ventilación pulmonar y respiración

El proceso de intercambio gaseoso en el organismo llamado respiración tiene cuatro procesos básicos:

- **Ventilación pulmonar:** es la inspiración (flujo hacia adentro) y la espiración (flujo hacia afuera) de aire entre la atmósfera y los alvéolos pulmonares. En la ventilación pulmonar el aire fluye entre la atmósfera y los alvéolos gracias a diferencias de presión alternantes creadas por la contracción y la relajación de los músculos respiratorios.
- **Respiración externa (pulmonar):** es el intercambio de gases entre los alvéolos pulmonares y la sangre en los capilares pulmonares a través de la membrana respiratoria. En este proceso la sangre capilar pulmonar gana O₂ y pierde CO₂.
- **Respiración interna (tisular):** es el intercambio de gases entre la sangre en los capilares sistémicos y las células tisulares. En este paso la sangre pierde O₂ y gana CO₂.
- **Respiración celular:** refiere a las reacciones metabólicas dentro de las células que consumen O₂ y liberan CO₂ durante la producción de ATP.

La respiración está regulada por el centro respiratorio ubicado en la protuberancia y el bulbo raquídeo, que controlan tanto la frecuencia como la profundidad de la respiración. Este sistema cuenta con dos centros específicos, el centro neumotáxico y el centro apneústico, que influyen en los mecanismos reguladores de la respiración. Existen quimiorreceptores centrales, localizados en el centro respiratorio, que son sensibles a los cambios en los niveles de oxígeno y dióxido de carbono en la circulación arterial, y quimiorreceptores periféricos ubicados en la bifurcación de las arterias carótidas y en el cayado de la aorta, que responden a la presión parcial de oxígeno en la sangre. Diversos factores influyen en la respiración y en su frecuencia, tales como la edad, ya que en los adultos mayores hay menor elasticidad y eficiencia en el intercambio de gases, lo que eleva la frecuencia respiratoria. La complejidad física, como la capacidad pulmonar o vital también afecta, siendo generalmente mayor en los hombres que en las mujeres, en los adultos que en los niños, y en personas altas y delgadas que en las obesas.

El ejercicio aumenta la frecuencia respiratoria, mientras que la adaptación al mismo puede reducirla. También la postura influye en la respiración, siendo más perjudicial el decúbito prono que el supino; y en el embarazo, el desplazamiento del diafragma por el feto puede generar alteraciones respiratorias. El medio ambiente, como la exposición a contaminantes, incrementa la producción de moco, y a grandes alturas, donde la presión de oxígeno disminuye, puede provocar hiperventilación, taquicardia y otros problemas respiratorios, como el "mal de altura" o edemas pulmonares. Además, el estrés y las emociones, así como algunos fármacos, también afectan la respiración. Los parámetros de la respiración incluyen una frecuencia normal de 12 a 20 respiraciones por minuto, una profundidad de 500 ml de aire por respiración, un ritmo regular o irregular, y ruidos respiratorios que pueden ser normales (vesiculares) o anormales (adventicios), como sibilancias, estridores, crepitaciones, suspiros o roncus.

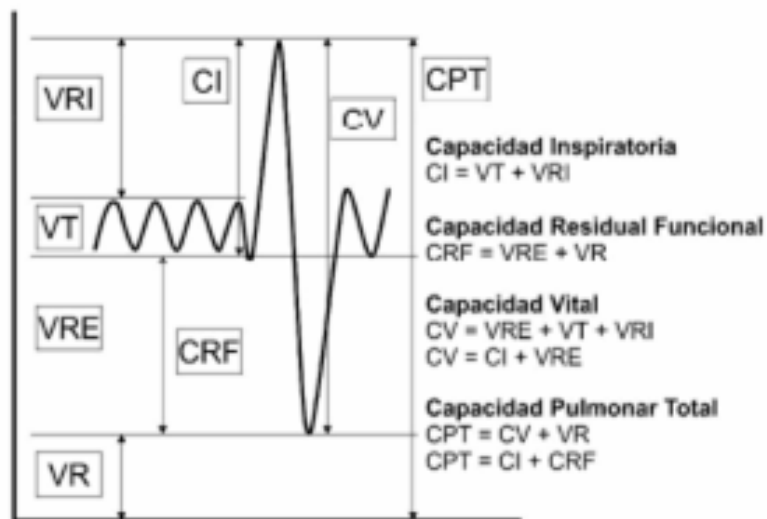


Ilustración 2 . Variables de la función pulmonar (Muiño et al., 2013)

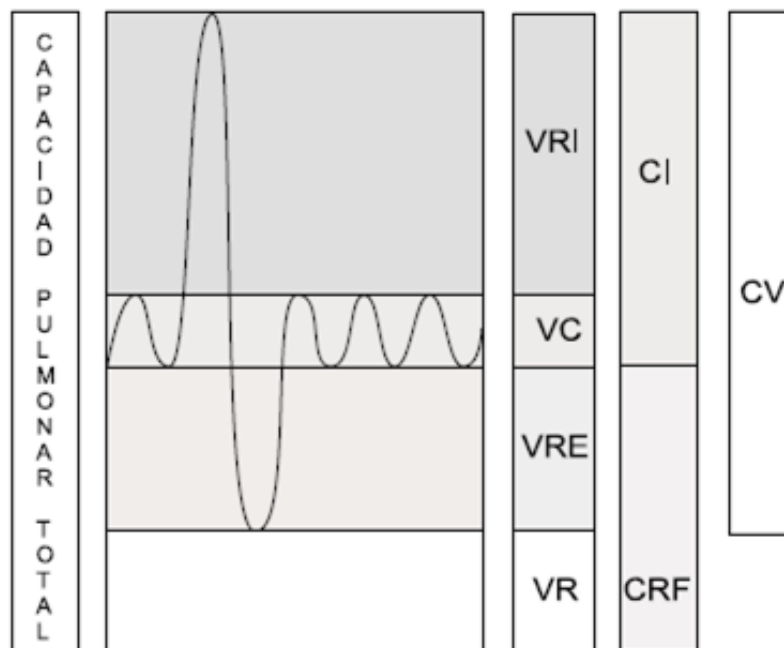


Ilustración 3. Volúmenes pulmonares. Extraído de Patiño et al. (2005).

Como se observa en las ilustraciones 2 y 3, durante una inspiración plena, los pulmones contienen la cantidad máxima de aire, conocida como la capacidad pulmonar total (CPT), que se divide en cuatro volúmenes distintos: *volumen corriente*, *volumen de reserva respiratoria*, *volumen de reserva espiratoria* y *volumen residual*. Muiño et al. (2013) describen estas variables como:

- **Volumen corriente (VC):** es el volumen de aire que se inspira y expira durante un ciclo respiratorio normal.
- **Volumen de reserva inspiratoria (VRI):** es el volumen de aire que podemos inhalar desde el nivel final de una inspiración normal.
- **Volumen de reserva espiratoria (VRE):** es el volumen máximo de aire que se puede exhalar desde el punto de reposo espiratorio o el nivel final de una espiración normal.
- **Capacidad vital (CV):** es el volumen máximo de aire movilizado entre las posiciones de máxima inspiración y máxima espiración. Cuando se realizan maniobras de espiración forzada, se denomina capacidad vital forzada (CVF).
- **Capacidad residual funcional (CRF):** es el volumen de aire que queda en los pulmones al final de una espiración normal o en el punto de reposo espiratorio.
- **Volumen residual (VR):** es el volumen de aire que queda en los pulmones después de una espiración máxima y que no puede medirse mediante espirometría.
- **Capacidad pulmonar total (CPT):** es la máxima cantidad de aire que los pulmones pueden contener al realizar una inspiración máxima.

Por otro lado, en cuanto a la posibilidad de “aprender a respirar”, que ha sido un tema de discusión tradicional, se argumenta si en casos de enfermedades respiratorias que generan insuficiencia en la función respiratoria es posible enseñar a los pacientes diferentes formas de respirar.

Dos fundamentos importantes se pueden considerar. Primero, los niveles de organización del control motor del sistema nervioso, que incluyen el nivel superior o cortical, que es voluntario y consciente; el nivel intermedio o subcortical, que involucra el tronco encefálico y en el que el control motor es involuntario, pero con voluntad; y el nivel inferior o de la médula, que es reflejo e involuntario.

El segundo fundamento se basa en la teoría de los programas o esquemas motores, según la cual la respiración puede ser vista como un programa motor general (PMG), ya que es un reflejo influenciado por estímulos sensoriales, como los químicos, emocionales y propioceptivos, o como un programa parcial dentro del PMG, controlado por niveles voluntarios. Esta perspectiva permite pensar que es posible aprender y controlar un patrón respiratorio mediante intervención técnica.

En resumen, aunque algunos sostienen que no es posible aprender a respirar, debido a que se trata de un mecanismo coordinativo que excede el control voluntario. También se puede argumentar que el entrenamiento técnico permite desarrollar modelos respiratorios específicos para situaciones cotidianas, laborales o deportivas que así lo requieran.

2.3 Inspiración y espiración

La inspiración es el proceso mediante el cual el aire entra en los pulmones debido a la expansión de la cavidad torácica, lo que provoca una disminución de la presión interna y permite que el aire fluya hacia los pulmones. La espiración, por otro lado, es el proceso de expulsión del aire de los pulmones, que ocurre cuando la cavidad torácica se reduce, aumentando la presión interna y empujando el aire fuera de los pulmones.

Según Sauleda et al. (1998), durante la inspiración participan varios músculos. Los principales son los intercostales externos, que elevan las costillas y aumentan la anchura de la cavidad torácica, y la porción intercondral de los intercostales internos, que también ayudan a elevar las costillas. El diafragma desciende sus cúpulas, incrementando la dimensión vertical de la cavidad torácica y, en algunos casos, también eleva las costillas inferiores. Entre los músculos accesorios se encuentran el esternocleidomastoideo, que eleva el esternón, y los escalenos (anterior, medio y posterior), que elevan y fijan las costillas superiores.

En la espiración pasiva, la retracción de los pulmones y la caja torácica provoca la expulsión del aire. Sin embargo, en la respiración activa, se activan los intercostales internos, con excepción de la porción intercondral, el músculo triangular del esternón (transverso del tórax) y los músculos abdominales, como el recto mayor del abdomen, el oblicuo interno y externo, y el transverso del abdomen, que comprimen las costillas inferiores y el contenido abdominal, empujando el diafragma hacia arriba y favoreciendo la expulsión del aire.

3. Enfermedades respiratorias que alteran la función

En la literatura médica especializada se documenta una amplia variedad de patologías que afectan al sistema respiratorio, como el asma, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), las neumonías, las enfermedades intersticiales y otras condiciones que comprometen la función pulmonar. Estas patologías presentan características heterogéneas en cuanto a su etiología, manifestaciones clínicas y abordajes terapéuticos. En consonancia, es fundamental reconocer que no todas requieren el mismo abordaje ni ofrecen las mismas posibilidades de intervención desde el ámbito del ejercicio físico adaptado.

En este capítulo se analizarán específicamente dos patologías respiratorias: el asma y la EPOC. Estas condiciones han sido seleccionadas debido al rol crucial que desempeña la actividad física, tanto en su prevención como en su tratamiento, así como por la abundancia de investigaciones que respaldan esta relación. El objetivo es destacar cómo el ejercicio puede incidir positivamente en la salud respiratoria, ya sea disminuyendo el riesgo de aparición de estas enfermedades o contribuyendo al manejo efectivo de sus síntomas y a la mejora de la calidad de vida de las personas que las padecen.

Es importante señalar que esta selección no implica subestimar la relevancia de otras patologías respiratorias. No obstante, este material de cátedra se limita a aquellas enfermedades en las que el ejercicio físico tiene un impacto terapéutico significativo, dejando fuera aque-

llas cuyo tratamiento depende predominantemente de intervenciones farmacológicas o quirúrgicas.

Para una mejor organización del contenido, la estructura que continúa se divide en dos apartados principales, dedicados a cada una de estas patologías. En ellos, se describen características clínicas y fisiopatológicas, y se analiza la relación con el ejercicio físico. Si bien esta división se realiza con fines explicativos, se debe aclarar que los objetivos de entrenamiento y herramientas de trabajo son comunes a ambas condiciones, dado que comparten la característica de alterar la función respiratoria.

3.1 Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es una afección respiratoria caracterizada por una obstrucción persistente y progresiva de las vías respiratorias, lo que dificulta el flujo normal de aire hacia los pulmones. Esta enfermedad, crónica e irreversible en la mayoría de los casos, puede manifestarse en forma de dos trastornos principales.

Por un lado, el enfisema consiste en un ensanchamiento anómalo y permanente de los alvéolos pulmonares, acompañado por la destrucción progresiva de sus paredes, lo que reduce de manera definitiva el flujo de aire. Por el otro, la bronquitis crónica se presenta como una tos crónica persistente, productora de esputo, que no está asociada a causas clínicas evidentes. En este caso, las glándulas bronquiales se dilatan y generan una secreción excesiva de mucosidad; mientras que la inflamación de las pequeñas vías aéreas, la cicatrización de sus paredes, la hinchazón de su revestimiento, la acumulación de moco y el espasmo del músculo liso contribuyen a la obstrucción del flujo de aire. A diferencia del enfisema, en la bronquitis crónica esta obstrucción es parcialmente reversible mediante el uso de fármacos broncodilatadores.

Ambas condiciones suelen estar estrechamente relacionadas, ya que tienden a presentarse de manera simultánea o, en muchos casos, una puede derivar en la otra. Además, las personas con EPOC tienen un mayor riesgo de desarrollar cáncer de pulmón y problemas cardiovasculares en comparación con la población general y, por ello, es una de las principales causas de morbilidad y mortalidad.

En cuanto a los síntomas, la EPOC progresa típicamente en dos estadios principales. En las fases iniciales, la concentración de oxígeno en sangre se encuentra disminuida; mientras que los valores de anhídrido carbónico permanecen normales. A medida que la enfermedad avanza hacia estadios más graves, los niveles de anhídrido carbónico en sangre aumentan, al tiempo que la concentración de oxígeno continúa descendiendo.

Los signos más habituales incluyen una tos persistente acompañada por un aumento en la producción de mucosidad, que es más evidente al levantarse por la mañana. Las personas afectadas tienden a sufrir frecuentes "resfriados de pecho", en los que el esputo producido adquiere un color amarillo o verde debido a la presencia de pus.

Con el paso de los años, estos episodios de infecciones respiratorias se hacen más frecuentes. También es común la aparición de respiración sibilante y una sensación de ahogo, inicialmente

asociada al esfuerzo físico, que posteriormente puede dificultar incluso actividades diarias simples como lavarse, vestirse o preparar la comida. Aproximadamente un tercio de los pacientes experimenta una pérdida de peso significativa, y algunos presentan hinchazón en las piernas como consecuencia de insuficiencia cardíaca.

Es necesario aclarar que las consecuencias de la EPOC no se limitan solo al compromiso pulmonar y, por ello, se la reconoce como una enfermedad sistémica, con manifestaciones clínicas extrapulmonares dentro de las que se destaca el efecto nocivo sobre la musculatura periférica, sobre todo de miembros inferiores.

La pérdida de masa muscular y fuerza que afecta principalmente al cuádriceps puede ser atribuida a diversos factores, como la inflamación sistémica, el estrés oxidativo, los trastornos en los gases sanguíneos, el uso de corticoesteroides y la propia inactividad física. Esta situación, en conjunto con la disnea de esfuerzo, configuran la explicación más aceptada de la reducción de la actividad física de estas personas, que sufren intolerancia al ejercicio y discapacidad (Mendoza & Damasceno, 2017).

Respecto a la prevención, la forma más efectiva de reducir el riesgo de desarrollar EPOC es evitar la exposición a los principales factores desencadenantes, como el tabaquismo y los ambientes contaminados. Además, es fundamental mantener un buen estado de salud general, realizar actividad física regular y seguir una alimentación equilibrada que favorezca una mayor resistencia del organismo frente a las infecciones.

Los tratamientos médicos simples pueden generar una mejora temporal en la función pulmonar mediante la relajación de los bronquios. Sin embargo, tanto la función pulmonar como la capacidad de ejercicio de los pacientes con EPOC tienden a disminuir progresivamente a medida que la enfermedad avanza (Priego-Jiménez et al., 2024). En este contexto, los programas de ejercicio físico han adquirido un papel central en su tratamiento, especialmente en estadios moderados y avanzados.

Los pacientes con EPOC requieren una cantidad significativa de energía adicional para respirar. Por ello, optimizar el uso de esta energía mediante técnicas adecuadas permite que los pacientes dispongan de mayor vitalidad para realizar actividades diarias y participar en nuevas experiencias. Esta optimización puede lograrse a través de un plan de entrenamiento, diseñado y supervisado por especialistas en Ciencias del Entrenamiento y la Salud.

El ejercicio físico adaptado no solo estabiliza los síntomas clínicos y previene el avance de la enfermedad, sino que también es reconocido como uno de los pilares terapéuticos principales en las guías actuales. Según la Actualización 2021 de la Guía Española de la EPOC (GesEPOC), existe evidencia consistente que demuestra que niveles reducidos de actividad física (AF) están asociados con un mayor riesgo de mortalidad, hospitalización y reingreso por exacerbaciones en el año siguiente (Cosío et al., 2022).

El ejercicio físico adaptado es seguro y eficaz, al mejorar la eficiencia en la utilización del oxígeno, incrementar la capacidad de trabajo y contribuir positivamente al bienestar mental de los pacientes. De hecho, estudios recientes han demostrado que los programas de ejercicio físico son efectivos para aumentar la capacidad de ejercicio, medida frecuentemente mediante la prueba de caminata

de 6 minutos (6MWT, por sus siglas en inglés). Sin embargo, persiste cierta controversia en torno a la capacidad del ejercicio para mejorar directamente la función pulmonar, medida a través de parámetros espirométricos, ya que la obstrucción del flujo aéreo es irreversible (Priego-Jiménez et al., 2024).

En este sentido, Priego Jiménez y colegas (2024) realizaron recientemente un trabajo de revisión cuyo objetivo fue identificar ensayos clínicos aleatorizados publicados sobre el efecto de los programas de ejercicio en la función respiratoria de personas con EPOC, medidos mediante FEV1², FEV1%³ y FVC⁴. Los criterios de inclusión fueron los siguientes:

- **Tipo de estudio:** ensayos clínicos aleatorizados.
- **Población:** personas diagnosticadas con EPOC en cualquier estadio de la enfermedad.
- **Tipo de intervención:** cualquier intervención de ejercicio (actividad física planificada, estructurada y repetitiva, destinada a mejorar o mantener uno o más componentes de la aptitud física, con cualquier frecuencia, duración o intensidad).
- **Tipo de comparación:** grupo de control que incluye a participantes bajo prácticas habituales, sin ejercicio o únicamente con tratamiento farmacológico habitual.
- **Resultados:** función respiratoria medida como FEV1, FEV1% y FVC. No se aplicaron limitaciones de idioma.

Los criterios de exclusión fueron los siguientes:

- Intervenciones en las que la actividad física se combinó con otras intervenciones de salud y en las que no se pudo evaluar la eficacia de la actividad física por separado.
- Estudios que incluyeran otras patologías respiratorias además de la EPOC, en los cuales no se pudieron extraer datos de forma separada para las personas con EPOC.
- Estudios que compararan dos intervenciones clasificadas como el mismo tipo de ejercicio sin incluir un grupo de control.
- Estudios que no contaran con datos suficientes para estimar el efecto de las intervenciones.

De los 4.005 artículos en texto completo identificados, 35 ensayos clínicos aleatorizados con un total de 2.909 participantes cumplieron con los criterios de inclusión.

El análisis de la evidencia disponible indicó que el AMBMT (entrenamiento de movimientos basados en la mente y el cuerpo) fue el programa de ejercicio físico más efectivo para mejorar el FEV1 y el FEV1%. Finalmente, la denominada RP (rehabilitación pulmonar)

² Es la cantidad de aire que se exhala en el primer segundo de una espiración forzada, usado para medir la obstrucción pulmonar

³ Es el porcentaje de aire exhalado en el primer segundo con relación al total exhalado (FVC), útil para identificar obstrucciones respiratorias.

⁴ Es la cantidad total de aire que se puede exhalar forzosamente después de una inspiración máxima, usada para evaluar la capacidad pulmonar total.

combinada con AMBMT fue la intervención más efectiva para mejorar el FVC.

Las intervenciones de AMBMT que consisten en sesiones guiadas y supervisadas de Tai Chi, Qigong, Yoga (con diferentes rutinas de movimientos coordinados y respiración profunda) y Pilates. Estos programas generalmente se implementan con material audiovisual para ser realizados en el hogar, junto con pautas para realizar actividad física diaria, generalmente caminatas. Se caracteriza por incluir breves estímulos de fuerza sin resistencia externa y, de forma combinada, trabajos de respiración controlada y profunda, y contracción del músculo transverso del abdomen, a través de enfatizar la exhalación con labios fruncidos (fuerza una exhalación completa, algo esencial para personas con EPOC, ya que tienen dificultad para vaciar completamente sus pulmones).

Por otro lado, los programas denominados de “rehabilitación pulmonar” incluyen un conjunto de componentes más tradicionales, incluyendo entrenamiento de fuerza, resistencia, ejercicios respiratorios y educación en salud.

Según los resultados del mencionado análisis, estos programas son seguros y efectivos. No obstante, en la actualidad están siendo reemplazados por intervenciones como el AMBMT debido a su mayor facilidad de implementación.

A pesar del desafío que representa la EPOC, tanto para quienes la padecen como para los profesionales del entrenamiento y la salud, los avances en torno al ejercicio físico generan una oportunidad esperanzadora. Las publicaciones más recientes refuerzan la idea de que con programas de ejercicio físico adaptado, es posible no solo mejorar la capacidad funcional y la calidad de vida de los pacientes, sino también estabilizar los síntomas y prevenir el avance de la enfermedad. Más adelante se presentarán herramientas de trabajo que los entrenadores podrán considerar para diseñar programas seguros y eficaces, posibles de incorporarse en la práctica profesional diaria.

3.2 Asma

El asma puede definirse como períodos episódicos de estenosis reversible de las vías respiratorias en respuesta a aeroalérgenos irritantes o al ejercicio. Esta estenosis se origina debido a la inflamación del músculo liso (broncoespasmo) y al aumento de las secreciones en las vías respiratorias.

El término asma describe una alteración en el aparato respiratorio que reduce el suministro de oxígeno al organismo. Es la enfermedad crónica más común en niños, provocando altos niveles de ausentismo escolar y afectando significativamente la calidad de vida de quienes la padecen (Astudillo, en Brockmann et al., 2007).

Aunque es más frecuente en la infancia, el asma también afecta a personas de todas las edades. Weinberger (2003) señala que muchos niños con asma dejan de presentar síntomas al alcanzar la adultez. Sin embargo, cuando los síntomas aparecen en edades más avanzadas, el curso clínico suele ser más progresivo.

Desde una perspectiva clínica, el asma se caracteriza por una obstrucción bronquial del flujo aéreo, generalmente asociada con un proceso inflamatorio alérgico. Las causas más comunes en pacientes

sensibilizados incluyen:

- Alérgenos inhalantes, como los ácaros del polvo doméstico, hongos anemófilos y ciertos alimentos (leche, huevo, mariscos, cereales).
- Factores no específicos, como el humo del tabaco, polvo, humo químico, infecciones respiratorias y cambios climáticos.

Además, factores genéticos y disfunciones inmunopatológicas, involucrando citocinas, interleucinas y moléculas de adhesión, complican la fisiopatología del asma (Abdo y Cue, 2006).

Durante un episodio de asma, ocurren diversos mecanismos que conducen al estrechamiento de las vías aéreas:

- **Broncoespasmo:** contracción de los músculos de los bronquios y bronquiolos pequeños, dificultando especialmente la espiración.
- **Exceso de moco:** aumento en la secreción mucosa, contribuyendo a la obstrucción del flujo aéreo.
- **Resistencia aumentada y atrapamiento aéreo:** incremento en las resistencias pulmonares, reclutamiento de la musculatura accesoria y formación de un gradiente de presión negativo que causa hiperinsuflación, aumento del volumen residual y disminución de la capacidad vital.

Estas alteraciones resultan en síntomas como tos, disnea y estertores secos, tanto en reposo como durante esfuerzos. La disnea es el síntoma más limitante, compartiendo similitudes con la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).

Una clasificación tradicional para adultos establece las siguientes etapas según la gravedad:

- **Etapas 1:** intermitente leve. Síntomas hasta 2 días a la semana y 2 noches al mes, sin necesidad de medicación diaria.
- **Etapas 2:** persistente leve. Síntomas más de 2 días a la semana y más de 2 noches al mes, requiriendo medicación diaria.
- **Etapas 3:** persistente moderada. Síntomas diarios durante el día y más de una noche a la semana.
- **Etapas 4:** persistente grave. Síntomas continuos durante el día y frecuentes durante la noche, con características similares a la EPOC.

En cuanto a la etiopatogenia, el asma resulta de la interacción de factores genéticos y ambientales. Por un lado, el riesgo relativo de padecer asma entre familiares de primer grado varía entre el 2,5% y el 6%. Entre los factores predisponentes, la atopia es el más relevante. Por el otro, factores ambientales que incrementan el riesgo de asma como alérgenos (ácaros del polvo, animales y moho), infecciones respiratorias virales (principal desencadenante de crisis asmáticas), tabaco (la exposición al tabaco durante la gestación puede incrementar el riesgo de asma en un 40%) y factores nutricionales (desarrollo de obesidad) (Sánchez & Piqueras, 2006).

3.2.1 Relación entre obesidad y asma

Los efectos de la obesidad en el diagnóstico del asma, su control y gravedad se evidencian cada vez más. La publicación de Mohanan y colegas (2014) desarrolla en profundidad esta relación. En tal caso, el aumento de la prevalencia de obesidad en adultos ha estado acompañado de un incremento similar en la prevalencia de obesidad en niños. Al igual que en el caso del asma, existen disparidades raciales y étnicas en la prevalencia de la obesidad. El aumento paralelo en las prevalencias de asma y obesidad ha llevado a varios estudios que examinan la posible relación entre estas dos condiciones.

Por ejemplo, un estudio realizado por Ford y Mannino (2005), que analizó las tendencias de la obesidad en adultos utilizando datos de las encuestas desde 1971 a 1994, encontró que el índice de masa corporal (IMC) aumentó de forma universal tanto en adultos con y sin asma. Sin embargo, la prevalencia de obesidad aumentó más en el grupo con asma, relación que se ha replicado en la población pediátrica.

Siguiendo a Mohanan y colegas (2014), estudios recientes sugieren que existen al menos dos fenotipos distintos de asma en la obesidad. El estado de obesidad altera tanto el asma alérgica de inicio temprano como al desarrollo de una forma novedosa de asma de inicio tardío. Los pacientes con este fenotipo atópico⁵ probablemente presenten una fisiopatología consistente con el asma alérgica de inicio temprano, que se ve complicada por el desarrollo de obesidad.

La vinculación fisiológica a nivel molecular es muy compleja y, por supuesto, escapa al interés de este capítulo, pero básicamente se puede explicar de la siguiente manera. El tejido adiposo produce varias citocinas y adipocinas que pueden tener un efecto adverso sinérgico en las vías respiratorias como el PAI-1 (inhibidor del activador del plasminógeno-1), MCP-1 (factor quimiotáctico de monocitos-1), las interleucinas 6 y 8 (IL6 y 8), y las adipocinas como la leptina y la adiponectina. Aunque el papel exacto de muchos de estos mediadores en la patogénesis de las enfermedades alérgicas de las vías respiratorias no está completamente entendido, varios estudios han mostrado el potencial papel en el asma alérgica.

Además, en las personas con obesidad los cambios mecánicos en la función pulmonar y las vías respiratorias producidos por el exceso de peso, probablemente desempeñen un papel importante. En pacientes obesos, los volúmenes corrientes disminuyen debido a la reducción de la expansión torácica, causada tanto por el peso sobre el tórax como por el efecto de la obesidad abdominal en el aplastamiento diafragmático. Parecería que respirar a volúmenes pulmonares bajos en un patrón pulmonar restrictivo lleva a un aumento en la hiperreactividad de las vías respiratorias.

Finalmente, aunque aún no se comprende completamente el mecanismo exacto que vincula la obesidad y el asma, las teorías existentes sugieren que factores mecánicos, genéticos y hormonales podrían estar involucrados. En particular, se destaca el papel de las

5 El término "atópico" hace referencia a una predisposición genética de una persona para desarrollar enfermedades alérgicas. Las personas con una condición "atópica" tienen una respuesta inmunitaria exagerada frente a ciertos alérgenos, lo que puede llevar al desarrollo de diversas afecciones.

adipocinas proinflamatorias como inmunomoduladores sistémicos, contribuyendo a la inflamación crónica característica del asma y exacerbando los síntomas de la enfermedad. No obstante, es importante recalcar que esta situación no debe generar alarma, sino más bien ocupar la atención de los profesionales de las Ciencias del Entrenamiento y la Salud, quienes tienen un rol fundamental en identificar, alertar y prevenir estas interacciones entre ambas condiciones. En este sentido, el ejercicio físico adaptado, reconocido por sus enormes beneficios, tanto en la gestión de la obesidad como en el control del asma, se presenta como una herramienta clave para mejorar la calidad de vida de los pacientes, reduciendo los síntomas y promoviendo una mejor salud en general.

3.2.2 Otros tipos de asma

Existen diversos tipos de asma, entre los cuales se destacan el asma de control difícil (ACD), el asma de riesgo vital y el asma inducida por ejercicio (AIE). Se describen brevemente estas formas a continuación. El asma de control difícil (ACD) se refiere a aquel tipo de asma insuficientemente o mal controlado, que no responde adecuadamente al tratamiento estándar, a pesar de seguir una estrategia terapéutica apropiada y ajustada al nivel de gravedad clínica del paciente. Este tipo de asma también es conocido como asma refractario.

Por otro lado, el asma de riesgo vital es una forma aguda y muy grave de asma que puede llevar a la muerte del paciente o cursa con una hipercapnia superior a 50 mmHg y/o una acidosis con un pH inferior a 7,3, siendo también conocida como asma potencialmente letal.

Por último, el asma inducida por ejercicio (AIE) es otro tipo común de asma. El ejercicio físico es un desencadenante frecuente de crisis asmáticas, y los síntomas asociados suelen manifestarse durante o después de la actividad física. Estos síntomas, que pueden variar en intensidad, incluyen tos, sibilancias y disnea (dificultad respiratoria). En casi el 90% de los pacientes con asma se presenta este tipo de reacción. No obstante, aunque en estos casos en lugar de inducir broncodilatación, el ejercicio provoca broncoconstricción, no se considera una contraindicación para la práctica de actividad física. Sin embargo, el ejercicio puede desencadenar síntomas como disnea, tos seca, fatiga extrema y rigidez en el tórax, de manera aislada o combinada. El impacto del asma inducida por ejercicio no solo es físico, sino que también puede generar problemas psicológicos y sociales, especialmente en niños y sus familias. El miedo a desencadenar un episodio de disnea puede llevar a que muchos pacientes asmáticos tengan una baja participación en actividades físicas, lo que resulta en menores niveles de aptitud física y la presencia de diversas alteraciones metabólicas. En este contexto, los programas de entrenamiento físico adaptado han sido diseñados para mejorar la condición física y la autoconfianza de los pacientes asmáticos. El fortalecimiento de los músculos respiratorios y la mejora de la frecuencia ventilatoria a la misma intensidad son algunos de los objetivos esenciales de estos programas.

La intensidad del ejercicio y las condiciones ambientales son factores clave para determinar la probabilidad de que un ejercicio provoque asma inducida por ejercicio. Generalmente, los ejercicios de

intensidad moderada e interrumpida tienen menores probabilidades de desencadenar este tipo de crisis en comparación con los ejercicios continuos o de alta intensidad. Con el tiempo, es posible que los pacientes progresen en cuanto a la intensidad del ejercicio, hasta alcanzar un nivel seguro en el que puedan realizar actividad física sin que se provoque un ataque de asma.

Existen también varios factores que pueden prevenir la aparición del asma inducida por ejercicio. Estos incluyen la realización de ejercicio en un ambiente húmedo y templado, la práctica de esfuerzos intermitentes y moderados en bloques de no más de 5 minutos, un calentamiento suave y progresivo, y la respiración lenta a través de la nariz para reducir la hiperventilación.

Considerando esto, existe un consenso creciente sobre los beneficios que tiene la actividad física para las personas con asma, en contraposición a las antiguas recomendaciones de limitar el ejercicio en estos pacientes. Es decir, aunque las personas con asma puedan tener una respuesta particular ante la actividad física, el ejercicio regular se considera beneficioso para el manejo de la enfermedad, sobre todo en niños y adolescentes. Además, el asma inducida por ejercicio puede prevenirse o reducirse con un nivel adecuado de condición física.

3.2.3 El rol del ejercicio físico en el asma

La cantidad de trabajos publicados sobre la relación entre ejercicio físico y asma es extensa y ha sido objeto de estudio durante más de 50 años en el campo de las Ciencias del Entrenamiento y la Salud. Un ejemplo temprano de estos estudios es el realizado por Hyde y Swarts (1968), quienes diseñaron un programa clásico de entrenamiento de natación para niños con asma, con la hipótesis de que el acondicionamiento físico podría mejorar la función pulmonar. Con un grupo de casi 20 niños, realizaron ejercicios en la pileta una vez por semana, durante una hora, de septiembre a mayo durante un año escolar regular.

Los ejercicios fueron distribuidos de la siguiente manera: 30% de ejercicios correctivos posturales, abdominales y estiramientos de la parte superior del torso; 30% ejercicios para músculos respiratorios; y 30% trabajos de resistencia aeróbica con distintas dinámicas. La evaluación de la función pulmonar al inicio, a la mitad y al término del programa mediante espirometría mostró mejoras cercanas al 70% de la capacidad pulmonar en promedio en el grupo de niños con asma.

En la actualidad, las pautas publicadas en EE. UU., como las citadas por Campano Lancharro (2020), recomiendan al menos 60 minutos diarios de actividad física moderada o vigorosa, principalmente de carácter aeróbico. Según Lang (2019), más de 5 horas de actividad por semana proporcionan beneficios adicionales. Además, investigaciones recientes como la de Shei et al. (2016) indican que un programa de entrenamiento de los músculos inspiratorios y exhalatorios impactaría positivamente en la fuerza, resistencia y función respiratoria, tanto en reposo como durante el ejercicio. Las recomendaciones actuales también incluyen ejercicios complementarios de fuerza, resistencia, flexibilidad y relajación, adaptados a las características individuales de los sujetos, su edad, su profesión y el control de la patología.

Los estudios que muestran mejoras en el consumo de oxígeno después de programas de entrenamiento que han utilizado cargas similares, con las siguientes pautas generales, son: la intensidad se encuentra entre el primer y segundo umbral ventilatorio; el volumen de ejercicio recomendado es de al menos 60 minutos por sesión y 120 minutos semanales; la frecuencia es de dos a tres sesiones por semana; y la duración del programa debe ser de al menos 3 meses. Considerando estas recomendaciones, se puede afirmar que los pacientes con asma se benefician de planes generales de acondicionamiento físico, al igual que cualquier persona sin la patología. Por lo tanto, su inclusión en los gimnasios debe ser considerada, siempre y cuando se respeten las condiciones específicas de cada paciente. A su vez, pueden incorporarse herramientas particulares, como ejercicios específicos para el fortalecimiento del mecanismo ventilatorio y correcciones posturales, que han demostrado tener efectos notables en el manejo del asma.

No obstante, es importante señalar que según la revisión de Schuers et al. (2019), aunque la actividad física, los ejercicios respiratorios y el entrenamiento de los músculos inspiratorios tienen un impacto positivo, la evidencia sobre la efectividad de estos enfoques en el control del asma es limitada cuando se aplican de forma aislada. En este sentido, Matsunaga et al. (2017) analizaron un centenar de niños y adolescentes, comparando sus niveles de actividad física, calidad de vida y función pulmonar (mediante espirometría pre y post broncodilatador). Los autores concluyeron que no se observaron asociaciones positivas entre actividad física, nivel de control del asma y calidad de vida en este grupo de pacientes, advirtiendo que si bien la participación en actividades físicas es importante para mantener un estado de salud global, los programas deben ser específicamente adaptados para mejorar la función pulmonar.

En conclusión, aunque el entrenamiento físico, al igual que en otras patologías, puede ofrecer beneficios a nivel local, como en la función respiratoria en este caso, este debe ser implementado dentro de un programa integral de trabajo. Este programa debe incluir el tratamiento médico adecuado, protocolos educativos, intervenciones psicológicas y, por supuesto, ejercicio físico adaptado, lo que permitirá un abordaje más completo y eficaz.

4. Programas de rehabilitación respiratoria

El programa de rehabilitación respiratoria se define como una intervención individualizada, multidimensional e interdisciplinaria, cuyo propósito principal es mejorar específicamente la función respiratoria. Su objetivo fundamental es lograr que el individuo alcance el máximo grado de autonomía y mejore su calidad de vida. En este sentido, la American Thoracic Society (ATS) y la European Respiratory Society (ERS) describen la rehabilitación respiratoria como “una intervención basada en la evidencia, multidisciplinaria e integral, destinada a pacientes con enfermedades crónicas respiratorias que presentan síntomas y, con frecuencia, limitaciones en las actividades de la vida diaria” (Cano-Dela Cuerda et al., 2010, p. 602).

Sin embargo, es importante destacar que la mayoría de las personas con asma o enfermedad pulmonar obstructiva crónica

(EPOC) no requiere participar en estos programas específicos de control clínico. Solo aquellos pacientes con afecciones graves, como hiperinsuflaciones torácicas, incrementos crónicos en el tono de los músculos respiratorios, o niveles muy bajos de aptitud física, son candidatos adecuados para estos programas. Por el contrario, los pacientes con cuadros de baja o moderada gravedad pueden beneficiarse de programas generales de entrenamiento físico, siempre que se tengan en cuenta ciertas adaptaciones particulares relacionadas con su patología.

Dado este contexto, y considerando el propósito de este material de cátedra, destinado a estudiantes de Ciencias del Entrenamiento y sus futuros contextos laborales, se presentan a continuación herramientas específicas diseñadas para complementar programas generales de entrenamiento físico. Estas herramientas están orientadas a mejorar la condición física de los alumnos con insuficiencia respiratoria, así como a incluir posibles evaluaciones funcionales que permitan monitorear de manera precisa las adaptaciones generadas al correr del tiempo.

4.1 Contraindicaciones para realizar un plan de EFA

La amplia literatura disponible sobre el tema permite identificar ciertas situaciones que contraindican la participación de los pacientes en un programa de ejercicio físico adaptado (EFA). Es fundamental aclarar que en todos los casos, se requiere la autorización y recomendación expresa del personal médico antes de iniciar cualquier plan. Entre las principales contraindicaciones, se encuentran los pacientes que se encuentren en la fase activa de alguna enfermedad pulmonar, como tuberculosis, absceso pulmonar, neumotórax o derrame pleural. Asimismo, deben excluirse aquellos con descompensación cardiovascular o con antecedentes de intervenciones quirúrgicas recientes. También se considera contraindicado para quienes padecen epilepsias descompensadas o antecedentes de isquemia cerebral, ya que ciertas posiciones de drenaje en declive pueden favorecer el aumento de la presión intracraneal. De igual forma, los pacientes con insuficiencias ventilatorias severas acompañadas de una disnea intensa, así como aquellos que presenten crisis o estatus de asma bronquial, no deberían participar en este tipo de programas hasta que su condición se estabilice.

4.2 Evaluaciones funcionales

Como ocurre en otras patologías, el proceso de entrenamiento adaptado debe comenzar con una serie de evaluaciones iniciales que brinden información relevante sobre el estado actual de cada sujeto. Estos datos no solo permiten un diagnóstico inicial, sino que también sirven como referencia para ser comparados con nuevas mediciones obtenidas tras un período continuo de entrenamiento. Existen numerosas posibilidades para evaluar las capacidades físicas en la población general, herramientas que el estudiante ya conoce, domina y puede aplicar como lo haría con cualquier otro sujeto, pero que no son objeto de desarrollo en este material de estudio. Sin embargo,

también existen pruebas específicas para personas con disfunción respiratoria que resultan interesantes, relativamente sencillas de realizar y que podrían ser consideradas por el entrenador a cargo, quien deberá analizar su relevancia, conveniencia y aplicabilidad. Entre estas evaluaciones se encuentra la medición de la elasticidad torácica, que se determina midiendo la diferencia en centímetros entre el perímetro torácico en inspiración y espiración máximas. Esta medición se realiza en el plano horizontal a la altura de la apófisis xifoides. Según Langlade (1987), la elasticidad torácica aumenta con el ejercicio y está relacionada tanto con la movilidad articular de las costillas como con la potencia de los músculos respiratorios. La Tabla 1 muestra algunos valores medios de elasticidad torácica por edades:

Tabla 1. Valores medios de elasticidad torácica (Boigey, en Langlade, 1987)

EDAD	DIFERENCIA
6 años	1 cm y 20 mm a 2 cm
10 años	3 a 4 cm
15 años	4 a 6 cm
18 años	6 a 10 cm
24 años	6 a 10 cm

Otra prueba destacada es la evaluación de la capacidad respiratoria vital o espirometría, que se realiza utilizando un espirómetro. Los valores medios establecidos para adultos, según Langlade (1987), oscilan entre 3,5 y 4 litros para los hombres, y entre 2,7 y 3 litros para las mujeres. La Tabla 2 muestra valores medios para niños y jóvenes:

Tabla 2. Valores medios de capacidad vital para diferentes edades (Binet, en Langlade, 1987)

EDAD (años)	TALLA (metros)	PESO (Kg)	CAP. VITAL (litros)
6 a 7 años	1,10	22,7	1,270
7 a 8 años	1,16	23,7	1,420
8 a 9 años	1,23	28,8	1,590
9 a 10 años	1,28	29,8	1,750
10 a 11 años	1,32	32,2	1,820
11 a 12 años	1,38	33,52	2,120
12 a 13 años	1,42	37,9	2,250
13 a 14 años	1,48	41,6	2,450
14 a 15 años	1,57	46,8	3.050

Ambas evaluaciones pueden ser opciones interesantes para complementar el diagnóstico funcional, aunque es probable que escapen a la realidad del profesional del entrenamiento, quien difícilmente disponga de los equipos, el espacio o el tiempo para realizarlas. No obstante, es posible que los alumnos hayan realizado estas pruebas en el contexto clínico bajo la supervisión de su médico. Por esta razón, es fundamental que el entrenador al menos conozca y esté familiarizado con los resultados de dichas pruebas. Esto le permitirá participar en su interpretación y, de esta manera, abordar el diseño de un plan de entrenamiento de forma más precisa y fundamentada. Por último, una herramienta sencilla y práctica para evaluar la capacidad funcional en pacientes con insuficiencia respiratoria es la prueba de marcha (caminata) de 6 minutos (6MWT). Esta consiste en medir la distancia máxima que una persona puede caminar durante un período de seis minutos, en un trayecto recto y con esfuerzo submáximo. Durante la prueba, el paciente camina a su propio ritmo, pero se le motiva verbalmente para que mantenga un esfuerzo constante. Paralelamente, se monitoriza la saturación de oxígeno (SatO₂) y otros parámetros fisiológicos.

El estudio de Ramos y colaboradores (2011) evidenció que los pacientes que recorrieron menos de 200 metros y/o presentaron una SatO₂ inferior al 85% tuvieron un alto riesgo de mortalidad mientras permanecían en la lista de espera para trasplante pulmonar. Estos resultados sugieren que este test podría ser un indicador confiable de riesgo muy elevado en este grupo de pacientes. Sin embargo, es importante destacar que estos individuos probablemente no sean candidatos para participar en programas de ejercicio adaptado

debido a su estado clínico. Por otro lado, cuando se cuenta con la autorización médica y la prueba se utiliza como evaluación inicial, una comparación post-entrenamiento se considera significativa si el paciente incrementa la distancia recorrida en más de 35 metros.

En la Tabla 3 se presenta un ejemplo de ficha para la evaluación del 6MWT, donde se recomienda registrar datos a intervalos de un minuto para un seguimiento más detallado y preciso.

Tabla 3. Ejemplo de ficha para evaluar test de marcha de 6 minutos (Mendoza & Damasceno, 2017)

Tiempo	Distancia	FC	SatO₂	Esfuerzo percibido
1° minuto				
2° minuto				
3° minuto				
4° minuto				
5° minuto				
Total				

4.2.1 Monitoreo durante el entrenamiento

El monitoreo en pacientes con insuficiencia respiratoria durante el entrenamiento se centra en tres indicadores principales: la frecuencia cardíaca (FC), la saturación de oxígeno (Sat O₂) y la percepción subjetiva del esfuerzo (Mendoza & Damasceno, 2017).

Por un lado, la frecuencia cardíaca es el número de latidos que realiza el corazón por minuto y representa un indicador clave de la intensidad del ejercicio y la respuesta cardiovascular del cuerpo. Se mide mediante dispositivos como monitores de frecuencia cardíaca, que pueden ser bandas torácicas ajustadas alrededor del pecho para detectar los impulsos eléctricos del corazón, o sensores ópticos en relojes deportivos que registran el pulso en la muñeca. Por el otro, la saturación de oxígeno, por su parte, corresponde al porcentaje de oxígeno transportado por la hemoglobina en la sangre y es crucial para evaluar la oxigenación del cuerpo durante el esfuerzo físico. Su medición se realiza con un oxímetro de pulso, un dispositivo que se coloca en el dedo y utiliza luz para determinar el nivel de oxígeno en la sangre.

Finalmente, la percepción subjetiva del esfuerzo se refiere a la autoevaluación que realiza el paciente sobre el nivel de esfuerzo que siente al ejercitarse, siendo especialmente relevante en patologías como el asma y la EPOC, donde la sensación de dificultad para respirar puede variar considerablemente. Este indicador se mide utilizando una escala numérica, que va de 0 (sin esfuerzo) a 10 (esfuerzo máximo), permitiendo ajustar la intensidad del ejercicio en función de la percepción del sujeto.

El uso combinado de estos indicadores garantiza un monitoreo más completo, que optimiza la seguridad y eficacia del entrenamiento, aunque claro está, cada entrenador determinará qué posibilidades tiene a su alcance y cuál podrá aplicar en su espacio de trabajo.

4.3 Planificación y herramientas de trabajo

Este último apartado probablemente sea el más interesante, ya que se enfoca en el desarrollo práctico y en las posibilidades reales de acción desde el entrenamiento físico para el abordaje de personas con insuficiencia respiratoria.

La planificación debe comenzar por establecer los objetivos principales, que incluyen el aumento de la capacidad respiratoria vital y el desarrollo de la aptitud física general. A partir de estos, se derivan una serie de objetivos específicos, entre los que se destacan el incremento del consumo máximo de oxígeno, la mejora de la movilidad y expansión torácica, la corrección de desviaciones posturales, el aumento del flujo de aire en el tubo respiratorio, el desarrollo de mecanismos respiratorios para situaciones específicas, y el contrarrestar los efectos secundarios derivados del uso prolongado de esteroides sistémicos, como la pérdida de masa ósea y muscular, el aumento de la frecuencia cardíaca y la tensión arterial.

Para alcanzar estos objetivos, se identifica una serie de tareas esenciales. Estas incluyen desbloquear la circulación de aire en las vías respiratorias, fortalecer el mecanismo ventilatorio con énfasis en el poder exhalatorio y desarrollar las capacidades físicas generales.

A partir de estas tareas, se plantean herramientas de entrenamiento diseñadas específicamente para cada necesidad. Dichas herramientas poseen un fundamento claro, cuya comprensión debería ser evidente a partir de los conceptos desarrollados en este material. Es importante resaltar que no son soluciones rígidas ni definitivas, sino recursos de trabajo que el entrenador puede adaptar, modificar y perfeccionar de acuerdo con las demandas particulares de cada caso y contexto.

Las herramientas aquí descritas deben entenderse como guías iniciales, pensadas para inspirar prácticas contextualizadas y acordes a las necesidades de cada situación. La flexibilidad y la capacidad de adaptación de estas estrategias dependerán del profesional a cargo, quien deberá evaluar las particularidades de cada alumno o paciente para diseñar el plan de entrenamiento más seguro y eficaz.

4.3.1 Desbloqueo de vías aéreas

Langlade (1987) afirma que pretender enseñar a respirar y fortalecer el mecanismo ventilatorio será tiempo perdido si primeramente no se asegura la existencia de una correcta permeabilidad nasal y el "desbloqueo" torácico. En este caso, según el autor, el desbloqueo se refiere a la etapa primera de "ablandamiento", que consiste en lograr una movilidad normal de todas las articulaciones costales y vertebrales.

Considerando esto, el trabajo inicial para el desbloqueo del mecanismo respiratorio se centra en dos aspectos fundamentales: *la circulación de aire y el equilibrio tónico de la musculatura implicada en la respiración*. Ambos procesos, aunque complementarios, requieren

abordajes específicos que buscan mejorar la eficiencia respiratoria, reducir la disnea y optimizar la mecánica ventilatoria.

En cuanto al *desbloqueo desde la circulación de aire*, el objetivo principal es reeducar el patrón respiratorio hacia un modelo más eficiente, caracterizado por una respiración más lenta y profunda, con activación del diafragma y la musculatura abdominal. Este enfoque no solo reduce el esfuerzo respiratorio, sino que también favorece un mayor control del patrón respiratorio. Para ello, se recomienda el desarrollo de ejercicios dirigidos a incrementar la conciencia de la respiración nasal y disminuir la ventilación excesiva, promoviendo un ritmo respiratorio más pausado y consciente (Cano-De la Cuerda et al., 2010). Un aspecto importante dentro de este proceso es la *apertura de las narinas*, que puede trabajarse de manera pasiva, mediante suaves masajes en la zona nasal, o de manera activa, enseñando al paciente a "elevar las alas de la nariz" para evitar su colapso durante respiraciones forzadas (Langlade, 1987). Esta técnica facilita tanto el ingreso como el egreso de aire por la nariz, lo que constituye un componente clave para lograr una respiración nasal completa y eficiente.

Otro componente esencial es el *control motor respiratorio*, que incluye la enseñanza progresiva de una respiración completa que involucre las zonas abdominal y costal (Langlade, 1987). La complejidad de los ejercicios puede ajustarse según la posición inicial del paciente: desde tendido supino hasta posiciones más funcionales como sentado, en banco, en squat a 90° contra la pared, de pie o incluso corriendo. Una progresión metodológica efectiva podría incluir inicialmente el manejo aislado de cada una de las tres zonas respiratorias, seguido por su integración en pares y, finalmente, la coordinación de todas juntas. En cada fase, la exhalación puede realizarse de manera pasiva (mediante la fuerza elástica de los tejidos) o activa (con una exhalación pronunciada que implique la activación del músculo transverso del abdomen). Algunos ejemplos prácticos se muestran en la Tabla 4:

Tabla 4. Ejemplos prácticos de control motor respiratorio

Región costal	Ejercicio ejemplo
Diafragmática profunda	Maniobras reconocidas en la estabilidad lumbar: hundimiento abdominal o <i>abdominal hollowing</i> y coactivación abdominal o <i>abdominal bracing</i> .
Costal inferior	Posición inicial decúbito dorsal: en la inspiración elevar un disco de fundición en dicha zona y en la espiración el abdomen se retrae por acción del transverso.
Costal medio	Posición inicial decúbito dorsal: elevar las manos que presionaban dicha zona y en la espiración el abdomen se retrae por acción del transverso.
Costal superior	Posición inicial sedestación: elevar una banda elástica que tracciona a la altura de las clavículas y en la espiración el abdomen se retrae por acción del transverso.

Por otro lado, el *desbloqueo desde el equilibrio tónico postural* se enfoca en la corrección de alteraciones en la curvatura de la columna vertebral, como hipercifosis, hiperlordosis o escoliosis, así como en la mejora de la expansión y movilidad de la caja torácica. Este trabajo postural debe progresar desde ejercicios analíticos aislados hasta su integración con el fortalecimiento de la estabilidad lumbopélvica, trabajando inicialmente estas estructuras por separado para luego sinergizarlas. Asimismo, se recomienda la integración progresiva de los ejercicios de desbloqueo postural con las actividades dirigidas a mejorar la circulación de aire, consolidando así un abordaje más integral para optimizar la función respiratoria. Algunos ejercicios tipo se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Ejercicios contruidos para la expansión y movilidad torácica

GRUPO MUSCULAR	OBJETIVO	EJERCICIO EJEMPLO
Trapezio y elevador de la escápula	Contrarrestar las contra curvatura cervical.	En sedestación: llevar la cabeza hacia un lado, inclinándola hacia el hombro contrario (por ejemplo, hacia la izquierda para estirar el trapecio derecho). Con la mano contraria (en este caso, la izquierda), colocarla suavemente sobre el lateral de la cabeza y aplicar una leve presión para profundizar el estiramiento.
Pectoral mayor y menor -Dorsal ancho	Contrarrestar el redondeo dorsal.	Arrodillarse en el suelo con una mano apoyada directamente bajo el hombro y la otra detrás de la cabeza. Girar el tronco llevando el codo hacia el brazo apoyado y luego abre el pecho mirando hacia arriba.
Rotadores internos del hombro	Des-rotar los hombros (hacia rotación externa).	Colocar el hombro en flexión de 90° y el codo también flexionado a 90°. El bastón colocado perpendicular al suelo y apoyado sobre la parte posterior del antebrazo y sujetarlo con la mano. El otro brazo tomará el bastón por debajo y traccionará desde dicho borde para favorecer la rotación externa del hombro.

Paravertebrales profundos	Contrarrestar el redondeo dorsal.	Acostarse boca abajo con los brazos extendidos formando diferentes letras: I (recto), T (en cruz), W (codos flexionados), y L (rotación externa). Elevar levemente los brazos del piso en cada posición, manteniendo las escápulas activas, y levemente despegar las clavículas.
Aductores escapulares	Contrarrestar el redondeo dorsal.	Sujetar un TRX con ambas manos y colocar el cuerpo en posición inclinada, pies apoyados en el suelo. Tirar del TRX llevando los codos hacia atrás y juntando las escápulas.
Rotadores externos del hombro	Des-rotar los hombros (hacia rotación externa).	Sostener una banda elástica con ambas manos a la altura de los hombros y los codos flexionados a 90°. Abrir los antebrazos hacia los lados, activando los rotadores externos.
Inclinadores posteriores del hombro	Contrarrestar la escápula alata.	Sentarse con la espalda recta y sostener una mancuerna en cada mano. Elevar ambos brazos rectos al frente hasta la altura de los hombros con una flexión de aproximadamente 135°. Llevar los hombros hacia adelante/arriba.
Correctores Cervicales	Contrarrestar las contra curvatura cervical.	Sentarse con la espalda recta y retraer el mentón hacia atrás (como formando una "papada") para alinear la cabeza con la columna.

4.3.2 Fortalecimiento del mecanismo ventilatorio

La segunda tarea central en el contexto del entrenamiento respiratorio adaptado se enfoca en la implementación de ejercicios específicos destinados al fortalecimiento de los músculos respiratorios. Según Cano-De la Cuerda y colaboradores (2010), tanto la musculatura inspiratoria como la espiratoria pueden ser entrenadas siguiendo los principios de sobrecarga y especificidad, lo que permite generar adaptaciones orientadas a mejorar la fuerza y la resistencia de estos músculos. Por lo tanto, esta tarea se centra en la ejercitación analítica dirigida al desarrollo de la musculatura ventilatoria.

Es fundamental enfatizar que la respiración debe realizarse de manera nasal, lenta y continua. Aunque la espiración también es preferentemente nasal, en ciertas circunstancias se pueden incluir propuestas que combinen la espiración nasal con la espiración oral, dependiendo de los objetivos específicos de la intervención.

Las estrategias de entrenamiento pueden abordarse de dos maneras principales: mediante ejercicios técnicos específicos o a través de actividades lúdicas. Este último enfoque resulta particularmente útil en programas dirigidos a población pediátrica, ya que las propuestas lúdicas facilitan la participación y el aprendizaje de habilidades respiratorias de forma entretenida y motivadora.

La Tabla 6 presenta ejemplos concretos de ejercicios contruidos basados en las ideas originales de Langlade (1987):

Tabla 6. Familias de ejercicios respiratorios tomado y adaptado de Langlade (1987)

CATEGORÍA	DINÁMICA	EJERCICIO EJEMPLO
Clásicos	Movimiento de miembros superiores acompañando la respiración.	<p>Combinar inspiraciones profundas con movimientos controlados que produzcan tensión sobre músculos pectorales:</p> <ul style="list-style-type: none"> -los brazos se elevan por encima del plano clavículo-escapular. -los brazos son llevados por detrás del plano transversal del cuerpo. -los brazos son rotados exteriormente en gran amplitud articular (las manos llegan a supinación forzada). <p>En la fase espiratoria los brazos vuelven a su posición normal favoreciendo así el juego costal.</p>
Contra resistencias	Bloqueo voluntario de vías para obligar a un reclutamiento mayor de los músculos respiratorios.	<p>Exhalatorios:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Soplar con una pajita dentro de un vaso con agua para hacer burbujas. -Soplar un cono dentro de un hilo. -Inflar un globo. -Carreras soplando un globo o barquito de papel. -Mantener un globo en el aire soplándolo. -Utilizar un espirómetro

		<p>Inhalatorios:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Con sorbete, levantar un objeto o líquido y trasladarlo. -Con la inhalación levantar un objeto a la boca y trasladarlo. -Utilizar una válvula inspiratoria.
Prolongación de la fase	<p>Voluntariamente se alarga la duración de la fase inhalatoria/exhalatoria.</p>	<p>Mantener la fase que no quiero estimular:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Siempre inspiro en 2", y espiro en 2", luego en 4", en 6", en 8", etc. -Disminuir la fase que no quiero estimular -Inspiro en 10" espiro en 10", luego inspiro en 8" y espiro en 10", luego inspiro en 6", 4", 2" y siempre espiro en 10". -Combino las anteriores. -Inspiro en 8" y espiro en 8", inspiro en 6" y espiro en 10", inspiro en 4" y espiro en 12".
Apnea controlada	<p>Juego voluntario del aire por la vía muerta (donde no hay hematosis: laringe, tráquea, bronquio).</p>	<p>-Inspiro y "juego" con el aire haciéndolo subir y bajar por las vías respiratorias.</p>
Actividades en natatorio cerrado	<p>Juegos y/o ejercicios que enfatizan diferentes momentos del acto respiratorio.</p>	

4.3.3 Ejercitación complementaria

El ejercicio físico es un componente esencial de los programas de rehabilitación respiratoria, ya que contribuye al mantenimiento de una condición física general adecuada. En el pasado, existía la creencia de que la actividad física representaba un riesgo potencial para pacientes con insuficiencia respiratoria. Sin embargo, múltiples estudios han demostrado que los programas de ejercicio físico general pueden mejorar significativamente variables como el consumo de oxígeno, la fatiga, la frecuencia cardíaca y el bienestar psicológico, aunque estas mejoras no siempre se reflejan directamente en el patrón espirométrico (Cano-De la Cuerda et al., 2010).

En este contexto, el desarrollo de la aptitud física complementaria constituye una tarea clave dentro del plan de abordaje adaptado. Este trabajo, además de potenciar los beneficios de las intervenciones descritas previamente, promueve mejoras en la salud y la calidad de vida de las personas. Para ello, según la literatura se deben considerar tres requisitos fundamentales:

- **Preparación para las demandas de la vida diaria:** este componente implica la programación de ejercicios específicos que aborden las demandas motoras, tanto

de la vida cotidiana como del ámbito laboral o deportivo. Estas actividades deben incluir ejercicios orientados al desarrollo de la fuerza, la flexibilidad, el equilibrio y la estabilidad, con especial énfasis en el trabajo neuromuscular de los miembros inferiores, debido a las repercusiones particulares que las enfermedades respiratorias suelen generar en esta zona del cuerpo. En lo que respecta al trabajo de fuerza, guías actuales de rehabilitación pulmonar sugieren un volumen de 1 a 3 series de 8 a 12 repeticiones, realizadas 2 a 3 veces por semana, con una intensidad del 60 al 70% de la RM (Mendoza & Damasceno, 2017).

El entrenamiento Kaatsu, también conocido como entrenamiento oclusivo o con restricción del flujo sanguíneo, se presenta como una opción prometedora para el desarrollo de la estructura muscular en poblaciones específicas. Este método consiste en realizar entrenamiento de fuerza de baja intensidad, generalmente entre el 30-50% de una repetición máxima (1RM), acompañado de una oclusión parcial generada mediante compresión en la zona proximal de la extremidad que se desea entrenar. Esta restricción induce una hipoxia local que desencadena una serie de eventos moleculares que en última instancia, promueven el aumento de la síntesis proteica. La capacidad de esta técnica para inducir hipertrofia muscular utilizando cargas significativamente bajas resalta su valor como herramienta innovadora en el entrenamiento de fuerza, especialmente en contextos donde las cargas elevadas no son viables (Manini & Clark, 2009).

- **Entrenamiento de la resistencia oxidativa:** se trata de diseñar programas para desarrollar la resistencia aeróbica, considerando las características individuales de cada persona y las particularidades de la fisiopatología que presenta. Los medios de entrenamiento pueden incluir progresiones que van desde el uso de dispositivos estables, como bicicletas estáticas, remoergómetros y elípticos, hasta ejercicios más dinámicos, como desplazamientos en cinta, "zero runners" o circuitos en suelo.

Según la literatura, es recomendable implementar trabajos fraccionados de moderada intensidad (60-70% de la frecuencia cardíaca máxima), con bloques de hasta 5 minutos de duración como máximo. También se destaca el ejercicio en piletas climatizadas como una opción efectiva, aunque no exclusiva.

En cuanto al entrenamiento de alta intensidad (HIIT), existen protocolos aplicados que utilizan intensidades cercanas al 85% de la frecuencia cardíaca máxima que obviamente se aplican a sujetos con grados menores de la enfermedad (Mendoza & Damasceno, 2017). No obstante, la evidencia aún no respalda su uso como una estrategia segura o eficaz, principalmente debido al riesgo de

broncoespasmo, especialmente en población pediátrica. Aunque en adultos este riesgo parece ser menor, se recomienda precaución en su implementación hasta que existan datos más concluyentes al respecto.

Una opción muy interesante es la caminata excéntrica o caminata marcha atrás, que representa un componente neuromuscular más alto, y se erige como una opción muy interesante en combinación con entrenamiento de fuerza para los períodos iniciales de entrenamiento (Mendoza & Damasceno, 2017).

- **Técnicas complementarias:** estas estrategias incluyen actividades como acupuntura, terapia manual, masajes y yoga, que pueden incorporarse como complemento de una sesión de entrenamiento (preferentemente en la etapa final) o realizarse de manera individual en el entorno que el paciente prefiera. Si bien estas técnicas han sido ampliamente promovidas, las revisiones sistemáticas recientes no han encontrado suficiente evidencia científica que respalde su eficacia como medidas coadyuvantes en la rehabilitación respiratoria (Cano-De la Cuerda et al., 2010). Por ello, su recomendación debe basarse más en el disfrute personal y el bienestar subjetivo que proporcionan, en lugar de en sus beneficios directos sobre la patología.
- **Actividad física acumulada:** la rehabilitación pulmonar genera beneficios importantes en la capacidad de ejercicio. Sin embargo, esto no siempre se traduce en un cambio en el estilo de vida que fomente la práctica regular de actividad física en la vida cotidiana. Incluso cuando una persona abandona el programa de entrenamiento, es común observar disminuciones significativas en los logros alcanzados durante dicho proceso, como era de esperarse. Por ello, el incentivo a la actividad física debe estar integrado en el diseño del programa adaptado (Mendoza & Damasceno, 2017). En este contexto, la herramienta de actividad física acumulada resulta especialmente útil. Las recomendaciones indican que realizar actividad física en sesiones acumuladas, de aproximadamente 15 minutos, puede proporcionar grandes beneficios. Protocolos acumulados de ejercicio parecen mejorar la adherencia al entrenamiento y ofrecen efectos similares en la aptitud cardiorrespiratoria y metabólica, especialmente para personas que citan la falta de tiempo como una barrera principal para realizar actividad física de forma regular. Además, esta estrategia se presenta como una alternativa segura y eficaz para pacientes con grandes limitaciones físicas y enfermedades asociadas.

5. Final

Este capítulo constituye un aporte significativo dentro de esta obra, diseñada especialmente para estudiantes universitarios y profesionales en formación. A lo largo de su desarrollo, se han

abordado aspectos fundamentales relacionados con el ejercicio físico adaptado para individuos que padecen asma y EPOC, dos condiciones que alteran de manera crítica la función respiratoria. Se inició con una revisión de los conceptos básicos de anatomía y fisiología del sistema respiratorio, incluyendo sus estructuras, componentes y los mecanismos de ventilación pulmonar y respiración. Posteriormente, se analizaron en profundidad ambas afecciones, reconociendo que el ejercicio físico constituye uno de los pilares principales de su tratamiento no farmacológico. Se incluyó una revisión de la literatura sobre la fisiopatología de estas enfermedades, así como la presentación de hallazgos de investigaciones recientes. Además, el capítulo concluye con una propuesta de trabajo que integra los avances científicos contemporáneos y tradicionales en este campo, combinados con aspectos derivados de la experiencia profesional práctica.

Es fundamental destacar que las pautas aquí desarrolladas deben ser consideradas como una orientación general, no como reglas estrictas. Los entrenadores y profesionales en Ciencias del Entrenamiento y la Salud están llamados a utilizarlas como una base sólida, pero siempre adaptándolas cuidadosamente a las necesidades específicas de cada individuo. Estas directrices se conciben como un recurso dinámico y en constante evolución, comprometido con la mejora continua y orientado a ofrecer una atención óptima a quienes enfrentan los desafíos que estas enfermedades representan.

Bibliografía

- Abdo Rodríguez, A.; & Cué Brugueras, M. (2006). Comportamiento del asma bronquial en Cuba e importancia de la prevención de las enfermedades alérgicas en infantes. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 22(1), 0-0.
- Brockmann, P. et al., (2007). Actividad física y obesidad en niños con asma. *Revista chilena de pediatría*, 78(5), 482-488. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcp/v78n5/art05.pdf>
- Cano-De La Cuerda, R.; Useros-Olmo, A. I., Muñoz-Hellín, E. (2010). Eficacia de los programas de educación terapéutica y de rehabilitación respiratoria en el paciente con asma. *Archivos de Bronconeumología*, 46(11), 600-606. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030028961000205X>
- Campano Lancharro, F. J. (2020). Actividad física y ejercicio en pacientes asmáticos: controversias y revisión de la literatura. *Revista de ASMA*, 5(3). 95.102. <http://separcontenidos.es/revista3/index.php/revista/article/viewFile/171/252>
- Cosío, B. G.; Hernández, C.; Chiner, E.; Gimeno-Santos, E.; Pleguezuelos, E.; Seijas, N.; Casanova, C. (2022). Actualización 2021 de la Guía Española de la EPOC (GesEPOC). Tratamiento no farmacológico. *Archivos de Bronconeumología*, 58(4), 345-351. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300289621002283>
- Ford, E. S. & Mannino, D. M. (2005). Time trends in obesity among adults with asthma in the United States: findings from three national surveys. *Journal of Asthma*, 42(2), 91-95. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/JAS-51328>
- Hyde, J. S. & Swarts, C. L. (1968). Effect of an exercise program on the perennially asthmatic child. *American Journal of Diseases of Children*, 116(4), 383-396. <https://jamanetwork.com/journals/jamapedia/article-abstract/502814>
- llabaca, M.; Olaeta, I.; Campos, E.; Villaire, J.; Tellez-Rojo, M. M.; Romieu, I. (1999). Association between levels of fine particulate and emergency visits for pneumonia and other respiratory illnesses among children in Santiago, Chile. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 49(9), 154-163. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10473289.1999.10463879>
- Lang, J. E. (2019). The impact of exercise on asthma. *Current opinion in allergy and clinical immunology*, 19(2), 118-125. https://journals.lww.com/co-allergy/Abstract/2019/04000/The_impact_of_exercise_on_asthma.8.aspx
- Langlade, A. (1987). *Gimnasia especial correctiva*. Stadium.
- Manini, T. M. & Clark, B. C. (2009). Blood flow restricted exercise and

skeletal muscle health. *Exercise and sport sciences reviews*, 37(2), 78-85. https://journals.lww.com/acsm-essr/fulltext/2009/04000/blood_flow_restricted_exercise_and_skeletal_muscle.6.aspx

Matsunaga, N. Y.; Oliveira, M. S.; Morcillo, A. M.; Ribeiro, J. D.; Ribeiro, M. A. ; Toro, A. A. (2017). Physical activity and asthma control level in children and adolescents. *Respirology*, 22(8), 1643-1648. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/resp.13093>

Mendoza, L. & Damasceno, K. (2017). Capítulo 14. Neumología, actividad física y salud. En S. Mahecha Matsudo (Comp.). *Actividad física y ejercicio en salud y enfermedad* (pp. 211-228). Mediterráneo.

Mohanam, S.; Tapp, H.; Mc Williams, A.; Dulin, M. (2014). *Obesity and asthma: Pathophysiology and implications for diagnosis and management in primary care. Experimental Biology and Medicine*, 239(11), 1531-1540. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1535370214525302>

Núñez, M. ; Mackenney, J. (2015). Asma y ejercicio. Revisión bibliográfica. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 31(1), 27-36. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcher/v31n1/art04.pdf>

Patiño, J. F.; Restrepo, J. F. P. ; Rodríguez, E. C. (2005). *Gases sanguíneos, fisiología de la respiración e insuficiencia respiratoria aguda*. Ed. Médica Panamericana.

Priego-Jiménez, S.; Caverro-Redondo, I.; Pascual-Morena, C.; Martínez-García, I.; Martínez-Vizcaíno, V. & Álvarez-Bueno, C. (2024). Effect of different exercise programs on lung function in people with chronic obstructive pulmonary disease: A network meta-analysis of RCTs. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 67(2), 101792. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877065723000635>

Ram, F. S.; Robinson, S. M.; Black, P. N. (2000). Effects of physical training in asthma: a systematic review. *British journal of sports medicine*, 34(3), 162-167. <https://bjsm.bmj.com/content/bjsports/34/3/162.full.pdf>

Ramos, M.; Ussetti, P.; Benítez, M.; Tapiador, N.; Gotor, P. & Millán, I. (2011). El test de seis minutos de marcha como predictor de mortalidad en lista de espera para trasplante pulmonar. *Rehabilitación*, 45(2), 122-126. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004871201100034X>

Romero-Placeres, M., et al. (2004). Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad, de La Habana. *Salud pública de México*, 46(3), 222-233. <https://www.medigraphic.com/pdfs/salpubmex/sal-2004/sal043f.pdf>

Romieu, I. et al. (1996). Effects of air pollution on the respiratory health of asthmatic children living in Mexico City. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 154(2), 300-307. <https://www.atsjournals.org/doi/abs/10.1164/ajrccm.154.2.8756798>

Sánchez, B. N. & Piqueras, F. D. B. G. C. (2006). Actualización en asma. *Medicine: Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, 9(63), 4088-4096. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2126660>

Sauleda, J.; Gea, J.; Orozco-Levi, M.; Corominas, J.; Minguella, J.; Aguar, C.; Agusti, A. G. (1998). Structure and function relationships of the respiratory muscles. *European Respiratory Journal*, 11(4), 906-911.

Schuers, M.; Chapron, A.; Guihard, H.; Bouchez, T. & Darmon, D. (2019). Impact of non-drug therapies on asthma control: a systematic review of the literature. *European Journal of General Practice*, 25(2), 65-76. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13814788.2019.1574742>

Shei, R. J.; Paris, H. L.; Wilhite, D. P.; Chapman, R. F. ; Mickleborough, T. D. (2016). The role of inspiratory muscle training in the management of asthma and exercise-induced bronchoconstriction. *The Physician and sportsmedicine*, 44(4), 327-334. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00913847.2016.1176546>

Tortora, G.; Derrickson, B. (2011). *Principios de anatomía y fisiología humana. 11 edición*. Medica Panamericana.

Weinberger, M. (2003). Clinical patterns and natural history of asthma. *The Journal of pediatrics*, 142(2), S15-S20.

02.

OSTEOPOROSIS

1. Introducción

El tejido óseo es una estructura viva en constante crecimiento, remodelación y autorreparación, desempeñando un papel fundamental en la homeostasis orgánica. Este tejido es el resultado del trabajo conjunto de diversos componentes: óseo, cartilaginoso, conectivo denso, epitelial, adiposo y nervioso. Por esta razón, cada hueso se considera un órgano. El tejido óseo es complejo y dinámico, y su proceso continuo de remodelación involucra la formación de tejido nuevo y la eliminación simultánea del tejido antiguo. El conjunto de huesos y cartílagos forma el sistema esquelético (Tortora & Derrickson, 2011). Este sistema es esencial para el mantenimiento de la homeostasis, ya que proporciona soporte estructural, protección, movilidad, producción de células sanguíneas (en la médula ósea), y regulación de los niveles de calcio y fósforo.

Muchas veces, los profesionales del ejercicio físico concentran su atención en sistemas aparentemente más relevantes, como el muscular o articular, dejando de lado la importancia crucial del ejercicio físico adaptado en la salud del tejido óseo. Este último desempeña un papel fundamental, tanto en la prevención de alteraciones óseas en niños y jóvenes como en el tratamiento no farmacológico de patologías, como la osteopenia y la osteoporosis ya diagnosticadas.

De manera general, la osteoporosis se define como una enfermedad que debilita los huesos debido a la pérdida de masa ósea y a cambios en su estructura interna. Las fracturas representan la consecuencia más grave para la salud en casos de osteoporosis. Estas pueden producirse tras una caída y, en los casos más avanzados, incluso de manera espontánea. Las fracturas más frecuentes ocurren en la columna vertebral, la muñeca y la cadera; estas últimas, junto con las de la columna, suelen provocar dolor crónico e incapacidad a largo plazo. Por lo tanto, el principal objetivo del tratamiento de la osteoporosis es prevenir las fracturas, lo que requiere aumentar la densidad ósea (Gorka Núñez, 2016).

Además, la pérdida de masa ósea, frecuentemente vinculada con la disminución de la fuerza y función muscular, se considera un factor altamente perjudicial para la calidad de vida. Esta condición dificulta las actividades cotidianas y laborales, afectando la independencia funcional que tanto los adultos como los adultos mayores buscan mantener.

Este capítulo está estructurado en tres secciones principales, diseñadas estratégicamente para la formación de licenciados en Ciencias del Entrenamiento. En la primera sección, se presenta un repaso biológico del tejido óseo, que si bien no constituye el objetivo central del libro, se considera un punto de partida necesario. La segunda sección aborda las patologías asociadas al tejido óseo, con especial énfasis en la osteoporosis. Se describen sus características, etiología, epidemiología, diagnóstico y las líneas generales de tratamiento. Finalmente, la tercera sección analiza la evidencia científica sobre el ejercicio físico como estrategia de intervención, incluyendo herramientas prácticas para evaluar la condición física funcional y recomendaciones clave para que los entrenadores diseñen programas de entrenamiento adaptados, seguros y eficaces para personas con estas condiciones.

2. Fundamentos biológicos aplicados

De manera general, los huesos pueden definirse como los componentes principales del aparato locomotor, actuando como palancas que reciben la energía generada por la contracción muscular para producir movimiento. Tal como se mencionó previamente, el tejido óseo está en constante crecimiento, remodelación y autorreparación, desempeñando un rol fundamental en la homeostasis orgánica. Este tejido resulta de la interacción coordinada de diversos tipos de tejidos (óseo, cartilaginoso, conectivo denso, epitelial, adiposo y nervioso), lo que permite considerar a cada hueso como un órgano en sí mismo.

Tortora y Derrickson (2011) ofrecen un análisis detallado sobre los fundamentos biológicos del tejido óseo, y su obra constituye la base conceptual sobre la cual se desarrolla el contenido de esta primera sección.

2.1 Funciones del sistema esquelético

El tejido óseo ocupa aproximadamente el 18% del peso corporal total y posee seis funciones básicas:

- **Sostén:** para los tejidos blandos. Además, provee los puntos de inserción para la mayoría de los músculos esqueléticos.
- **Protección:** de los órganos internos (huesos del cráneo al cerbero, las vértebras a la médula espinal, la caja torácica al corazón y los pulmones).
- **Asistencia en el movimiento:** los músculos fijos a los huesos tiran de ellos cuando se contraen para producir movimiento.
- **Homeostasis mineral:** almacén de diversos minerales, principalmente Calcio y Fósforo, que contribuyen a la solidez del hueso. Los minerales pueden liberarse a la sangre para mantener el equilibrio y redistribuirlos a otras partes del cuerpo.
- **Producción de células sanguíneas:** en algunos huesos un tejido conectivo llamado médula ósea roja produce glóbulos rojos, blancos y plaquetas, proceso llamado hemopoyesis. Se encuentra en los huesos en desarrollo del feto y en algunos huesos del adulto: pelvis, costillas, esternón, vértebras, cráneo y los extremos de huesos largos del brazo y muslo.
- **Almacenamiento de triglicéridos:** la médula ósea amarilla está constituida principalmente por adipocitos que almacenan triglicéridos.

2.2 Histología

El tejido óseo contiene una abundante matriz extracelular que rodea a distintos tipos de células. Esta matriz, denominada osteoide, está constituida por un 25% de agua, un 25% de fibras colágenas y un 50%

de sales minerales. Estas sales minerales en combinación con las fibras colágenas posibilitan el endurecimiento del tejido. Este proceso se llama calcificación y lo realizan células llamadas osteoblastos, que son formadoras de hueso. Caso contrario, cuando el organismo requiere de minerales, otras células óseas denominadas osteoclastos secretan enzimas y ácidos que extraen las sales minerales y las fibras de colágeno de la matriz.

Como se observa en la ilustración 4, el tejido óseo presenta entonces cuatro tipos de células:

- **Osteogénicas:** son las únicas células que realizan división celular. Las resultantes son osteoblastos. Se encuentran en el endostio y los conductos que contienen vasos sanguíneos.
- **Osteoblastos:** son formadoras de hueso que sintetizan y secretan fibras colágenas (y otros componentes) para construir la matriz osteoide y posibilitan la calcificación. Cuando la matriz es suficiente estas células quedan atrapadas y se convierten en osteocitos.
- **Osteocitos:** son células óseas maduras y son las principales del hueso. Mantienen el metabolismo diario a partir del intercambio de nutrientes y productos metabólicos con la sangre.
- **Osteoclastos:** células derivadas de la unión de muchos monocitos (glóbulos blancos). Se encuentran en el endostio. Cuando se necesita, esta célula es capaz de liberar enzimas y ácidos que digieren los componentes de la matriz. Este proceso se llama resorción. Es un proceso normal de crecimiento, mantenimiento y reparación del hueso.

Como ya conocerá el lector, el hueso no es completamente sólido porque posee espacios entre sus células y los componentes de la matriz. Algunos espacios son conductos para vasos sanguíneos y otros sirven para almacenar médula ósea roja. En tal sentido, según el tamaño y la distribución de los espacios las regiones de un hueso pueden clasificarse en esponjosas (20%) o compactas (80%).

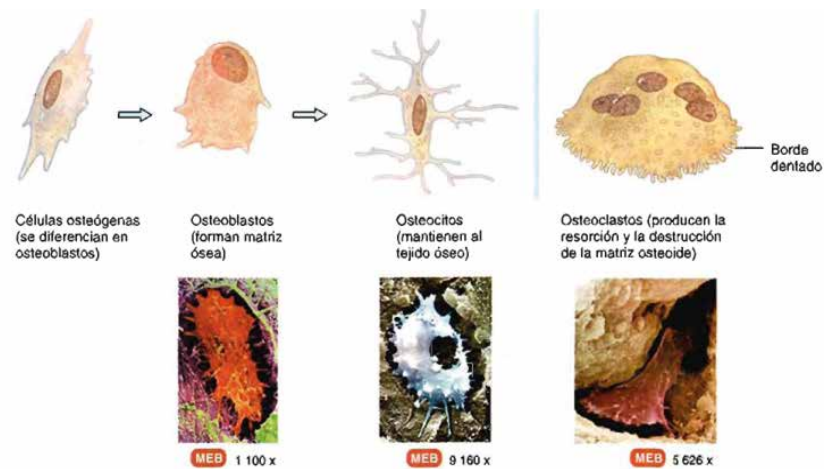


Ilustración 1. Tipos de células del tejido óseo (Tortora & Derrickson, 2011).

El hueso compacto contiene muy pocos espacios y es el componente más sólido del tejido óseo. Se encuentra por debajo del periostio y forma la mayor parte de la diáfisis de los huesos largos. Su estructura posee conductos que permiten el ingreso de vasos sanguíneos y nervios. Se llaman *conductos perforantes transversos* o *conductos de Volkman*.

Estos conductos entran transversalmente al hueso y se unen con el periostio, la matriz y los *conductos centrales* o *Haversianos* (que se encuentran distribuidos longitudinalmente). Rodeando a cada conducto central hay *laminillas concéntricas*. En esas laminillas hay espacios llamados *lagunas* donde se almacenan osteocitos. Cada laguna, a su vez, posee múltiples prolongaciones llamadas *canalículos* que permiten la conexión con otras lagunas y con los conductos. Estas vías permiten la circulación de oxígeno, nutrientes y productos metabólicos. Los componentes del hueso compacto se organizan en *osteonas* o *sistemas haversianos*. Cada osteona consiste en un conducto central con sus laminillas concéntricas, lagunas, osteocitos y canalículos.

El hueso esponjoso, por su parte, no contiene osteonas. Su estructura está configurada por láminas dispuestas irregularmente que se denominan *trabéculas*. El nombre esponjoso no viene por la textura, sino por el aspecto. El gran espacio que queda entre trabéculas y la forma en que estas se disponen le otorga el nombre.

El espacio entre trabéculas puede llenarse de médula ósea roja. Además, las trabéculas poseen lagunas con osteocitos, que reciben nutrientes directamente de la sangre que atraviesan las cavidades medulares. El tejido óseo esponjoso constituye la mayor parte de los huesos cortos, planos e irregulares y también las epifisis de los huesos largos.

2.3 Procesos de modelación y remodelación ósea

El hueso es un tejido metabólicamente activo, que le confiere al esqueleto su capacidad regenerativa y de adaptación funcional (García et al., 2008). En este contexto, el tejido óseo se forma y se renueva continuamente mediante dos procesos fundamentales: la modelación y la remodelación ósea. La modelación consiste en la formación de tejido óseo en áreas donde previamente no existía; mientras que la remodelación implica el reemplazo constante de tejido viejo por tejido nuevo. Este último proceso tiene como principal función mantener las propiedades mecánicas del hueso mediante la sustitución de zonas dañadas por traumatismos, enfermedades o envejecimiento con hueso nuevo.

La remodelación ósea comprende dos mecanismos interrelacionados:

- **Resorción ósea:** proceso en el cual los osteoclastos eliminan la matriz osteoide, compuesta por minerales y fibras de colágeno.
- **Depósito óseo:** proceso en el cual los osteoblastos incorporan nueva matriz, también formada por minerales y fibras de colágeno.

De manera más detallada, el hueso aumenta en espesor y diámetro mediante un proceso denominado por aposición. Este proceso inicia cuando los osteoblastos en la superficie ósea secretan fibras colágenas y otras sustancias orgánicas que forman la matriz osteoide y, al quedar rodeados por esta matriz, los osteoblastos se convierten en osteocitos. Poco a poco, este mecanismo genera túneles alrededor de los vasos sanguíneos del periostio, y el antiguo periostio se transforma en endostio que tapiza dichos túneles.

En el endostio se forman laminillas dirigidas hacia el vaso sanguíneo, dando lugar a una nueva osteona, mientras los osteoblastos continúan produciendo laminillas adicionales. De forma simultánea, los osteoclastos destruyen tejido óseo en la cavidad medular, lo que permite que esta aumente de tamaño, al mismo tiempo que el hueso incrementa su diámetro.

En promedio, se renueva un 4% anual del hueso compacto y un 20% anual del hueso esponjoso. Sin embargo, no todas las regiones del esqueleto ni de un mismo hueso experimentan una renovación uniforme ni completa.

El proceso de remodelación ósea puede ser estimulado por factores relacionados con el estilo de vida y por la acción hormonal. Aunque los avances recientes han mejorado considerablemente la comprensión de los mecanismos que regulan este proceso, aún persisten interrogantes sobre ciertos aspectos de su funcionamiento.

La regulación de la remodelación ósea es compleja, ya que integra diversos estímulos, incluidos factores mecánicos, hormonales, citocinas y factores de crecimiento. Estos estímulos, a su vez, pueden actuar directamente sobre osteoblastos y osteoclastos o activar cascadas de señales que modulan su actividad (García Reyes et al., 2008). A continuación, se describen brevemente algunos de estos factores.

2.3.1 Actividad física

La solidez de un hueso está directamente relacionada con el grado de tensión al que es sometido. Un hueso que soporta cargas pesadas desarrollará mayor espesor y, por ende, será más sólido que un hueso menos estimulado. El ejercicio físico moderado e intenso tiene efectos positivos sobre la masa ósea, la cual tiende a reducirse con la edad debido al deterioro de las células mecanosensoras del hueso. Aunque aún no se comprende completamente el mecanismo por el cual el hueso detecta y traduce los estímulos físicos en señales biológicas y de expresión génica, estos estímulos son fundamentales para el mantenimiento de la salud ósea (García Reyes et al., 2008).

2.3.2 Dieta y hormonas

La ingesta adecuada de minerales (especialmente calcio y fósforo) y vitaminas (C, K, B, A) es esencial para el desarrollo y mantenimiento del hueso. Más adelante se profundizará en torno a la vitamina K, clave en la salud ósea.

En cuanto a las hormonas, durante la infancia, los factores de crecimiento similares a la insulina (IGF) desempeñan un rol fundamental y actúan en respuesta a la hormona de crecimiento (GH). Además, las hormonas tiroideas (T3 y T4) estimulan la actividad de los osteoblastos. Durante la pubertad, los estrógenos y andrógenos, como la testosterona, son los responsables del gran crecimiento óseo característico de esta etapa.

También, la paratohormona (PTH) promueve la transformación de osteocitos en osteoblastos activos y prolonga su vida útil al disminuir la apoptosis. La calcitonina inhibe la acción de los osteoclastos, reduciendo el número de receptores para esta hormona. Aunque su relevancia biológica completa no está clara, se asocia al mantenimiento de la masa ósea durante el crecimiento, embarazo y lactancia. La leptina, una hormona liberada por el tejido adiposo, además de regular el apetito y la función reproductora, actúa sobre el esqueleto promoviendo la diferenciación osteoblástica, aumentando la síntesis de proteínas de la matriz ósea y reduciendo la apoptosis osteoblástica y disminuyendo la función de los osteoclastos.

2.3.3 Proteínas y citoquinas involucradas en el hueso

Los factores de crecimiento transformante beta (TGF- β) son proteínas que regulan el crecimiento celular, la diferenciación y la remodelación ósea, promoviendo la formación y reparación del hueso. Por otro lado, las interleucinas son un grupo de citoquinas que participan en la comunicación entre células y tienen múltiples funciones en la remodelación ósea. Entre ellas, la IL-1 estimula la resorción ósea y la actividad de los osteoclastos; mientras que la IL-10 tiene efectos antiinflamatorios y regula la actividad de los osteoclastos, favoreciendo el equilibrio en la remodelación. La IL-11 promueve la formación ósea y regula la actividad de los osteoblastos y la IL-34 actúa en el desarrollo y supervivencia de osteoclastos. Por último, la IL-18 inhibe la actividad de los osteoclastos y favorece la formación ósea.

2.4 Vitamina D

La publicación de Zuluaga Espinosa y colegas (2011) fundamenta los conocimientos actuales sobre los nuevos paradigmas asociados a esta hormona clave en la salud ósea. A continuación, se resumen sólo algunos aportes relevantes que aunque no constituyen el objetivo de este capítulo, se cree son significativos; sin embargo, se recomienda al lector interesado consultar la fuente original para una comprensión más profunda.

La vitamina D es una prohormona compleja con numerosas acciones en múltiples sistemas fisiológicos, lo que explica la diversidad de patologías asociadas a su deficiencia. Sus fuentes dietarias principales incluyen el pescado y los lácteos fortificados, aunque el método de cocción puede influir en su contenido. Por ejemplo, el pescado frito puede perder hasta el 50 % de su vitamina D, mientras que con otros medios de cocción se conserva la cantidad inicial. No obstante, la exposición al sol constituye la estrategia más eficaz para obtener cantidades adecuadas de *vitamina D3 endógena*, que se almacena en el tejido graso como reserva para períodos de menor exposición solar. La vitamina D3, o *colecalfiferol*, se obtiene principalmente de dos fuentes: la dieta, que aporta alrededor del 10 %, y la producción endógena, responsable del 90 %. Esta última ocurre a través de una conversión fotoquímica de 7-dehidrocolesterol en la epidermis, inducida por la exposición de la piel a los rayos ultravioleta B (UVB) de la luz solar. Este proceso genera la transformación del 7-dehidrocolesterol en pre vitamina D3, seguida de un proceso no enzimático que produce vitamina D3.

Para ejercer sus efectos fisiológicos, la vitamina D3 debe activarse mediante un proceso metabólico en dos etapas. Inicialmente, es transportada por la proteína de unión a vitamina D (DBP) hasta el hígado, donde es hidroxilada en el carbono 25, generando la 25-hidroxivitamina D3 o *calcidiol*, la principal forma circulante de vitamina D3 y el mejor indicador de sus niveles en el organismo. Posteriormente, es transportada hacia el riñón, donde completa su activación mediante una hidroxilación en el carbono 1 del anillo A, formando la 1,25-dihidroxivitamina D3 o *calcitriol*, que es la forma hormonalmente activa y responsable de la mayoría de sus efectos biológicos.

El calcitriol desempeña un papel esencial en la regulación del calcio y el mantenimiento de la integridad del esqueleto, interactuando con los riñones, el hueso, la glándula paratiroides y el intestino (imagen 2). Es indispensable para el desarrollo y mantenimiento del esqueleto mineralizado, cuya deficiencia se asocia con raquitismo en niños y adolescentes, y osteomalacia en adultos. Además, regula la homeostasis ósea al equilibrar la formación osteoblástica y la resorción osteoclástica.

Por último, la vitamina D presenta múltiples acciones no calciotrópicas que explican su relación con diversas enfermedades, como autoinmunes, diabetes, cardiovasculares, infecciones y cáncer. Los estudios han señalado que los niveles circulantes de vitamina D están vinculados con la presión arterial y el riesgo cardiovascular. Además, su deficiencia se asocia con la intolerancia a la glucosa y la diabetes mellitus tipo 2, según investigaciones transversales y revisiones sistemáticas. En etapas tempranas, una mayor ingesta de vitamina D

puede reducir el riesgo de diabetes tipo 1. Respecto al cáncer, estudios epidemiológicos han asociado niveles bajos de vitamina D con una mayor incidencia de ciertos tipos de cáncer, como colon, mama y próstata, mientras que investigaciones in vitro han demostrado que altas concentraciones de vitamina D inhiben la proliferación de células tumorales e incluso inducen su diferenciación. Considerando que la deficiencia de vitamina D es más común de lo que se cree, debe buscarse, prevenirse e intervenir de manera prioritaria para evitar complicaciones tempranas y tardías.

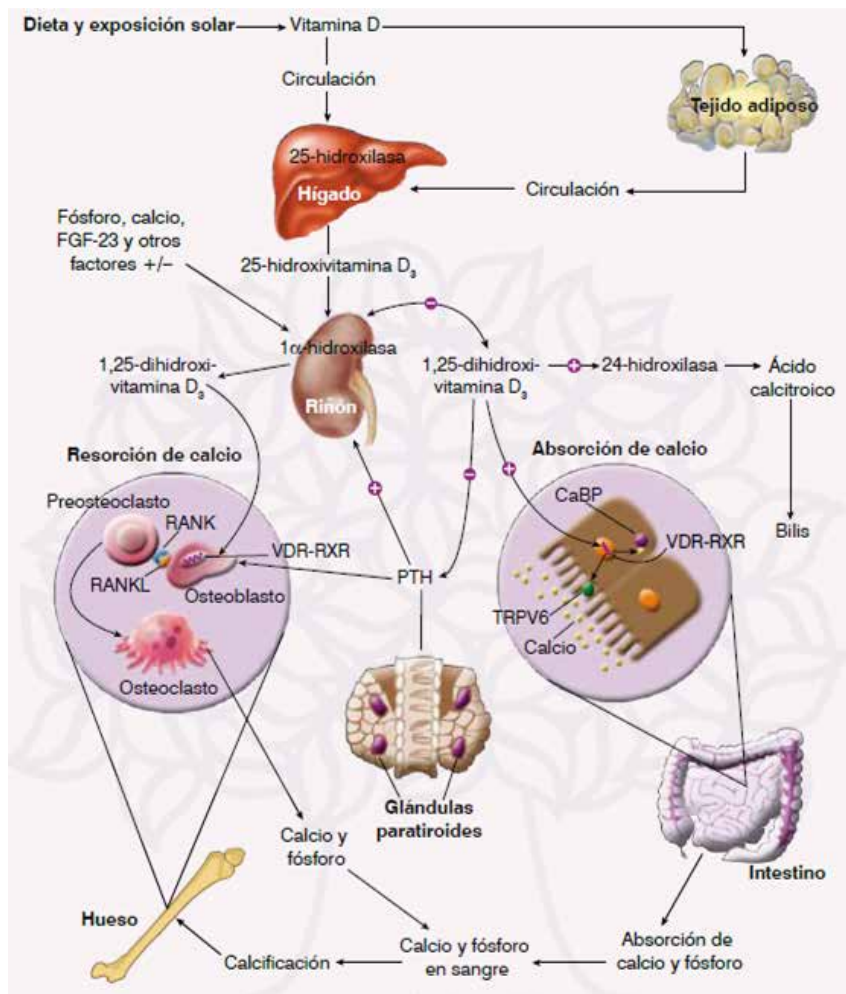


Ilustración 2. Papel pleiotrópico de la vitamina D en el organismo humano (Zuluaga Espinosa et al., 2011)

2.5 Tejido óseo y envejecimiento

Entre el nacimiento y la adolescencia, se produce una mayor cantidad de hueso de la que se pierde durante el proceso de remodelación ósea. En la adultez temprana, los índices de depósito y resorción ósea se equiparan. Sin embargo, a medida que disminuye el nivel de hormonas sexuales durante la mediana edad, especialmente

en mujeres postmenopáusicas, la masa ósea se reduce, ya que la resorción supera al depósito.

En la vejez, la actividad de los osteoclastos (células encargadas de la resorción ósea) es más rápida que la de los osteoblastos (células encargadas de la formación ósea). Además, los huesos de las mujeres suelen ser más pequeños y de menor volumen, lo que provoca una pérdida de masa ósea más significativa. Esta situación contribuye a la mayor incidencia de osteoporosis en las mujeres (Seeman, 2003). Según Tortora y Derrickson (2011), los efectos del envejecimiento en el tejido óseo se dividen en dos aspectos principales:

- **Pérdida de masa:** este fenómeno es el resultado de la desmineralización ósea, es decir, la pérdida de calcio y otros minerales de la matriz osteoide. La pérdida de masa ósea generalmente comienza después de los 30 años en las mujeres y se acelera cerca de los 45 años, cuando disminuyen los niveles de estrógenos. La pérdida continúa hasta alcanzar aproximadamente un 30% a los 70 años. En las mujeres, una vez que comienza la pérdida de tejido óseo, disminuye a un ritmo aproximado del 8% cada 10 años. En los varones, la pérdida de calcio generalmente comienza después de los 60 años, a un ritmo cercano al 3% cada 10 años. La pérdida de calcio óseo es uno de los principales problemas relacionados con la osteoporosis.
- **Fragilidad:** la fragilidad ósea es el resultado de la disminución de la síntesis proteica, particularmente de las fibras colágenas de la porción orgánica de la matriz osteoide, que proporcionan al hueso su fuerza tensil. La pérdida de esta fuerza estructural deja a los huesos frágiles y con mayor susceptibilidad a fracturas. En algunos adultos, la síntesis de fibras colágenas disminuye, en parte debido a la reducción de la hormona de crecimiento. Además, la pérdida de masa ósea incrementa la susceptibilidad a fracturas y contribuye a deformidades, dolor, disminución de la estatura corporal y pérdida de piezas dentales.

2.6 Influencia del estrés mecánico en el metabolismo óseo: mecanotransducción

Dentro de ciertos parámetros, el tejido óseo tiene la capacidad de modificar su resistencia en respuesta a cambios en el estrés mecánico. Cuando el hueso es sometido a tensión, aumenta el depósito de minerales y la producción de fibras colágenas debido a la acción de los osteoblastos, que resulta en un fortalecimiento del hueso. Sin embargo, sin el estrés mecánico, la remodelación del hueso no es normal, ya que la resorción se produce más rápidamente que la formación ósea.

A fines del siglo XIX, el profesor Wolff publicó la *ley de transformación del hueso*, conocida como la *Ley de Wolff*, que describe la relación entre la forma del hueso y su función, es decir, el hueso adapta su forma a las demandas mecánicas que percibe. El proceso fisiológico que describe los mecanismos por los cuales el hueso detecta las

tensiones y cargas mecánicas, respondiendo a cambios en su metabolismo para adecuar su estructura y propiedades mecánicas a las cargas aplicadas, se llama *mecanotransducción* (López Chicharro y López Mojares, 2008).

Este proceso no posee actividad neural, sino que se basa en un sistema de comunicación entre osteoblastos y osteoclastos, y se produce en cuatro etapas:

- **Acoplamiento mecánico:** las células detectan la deformación del hueso. No todo estímulo es detectado, debe superar un umbral específico.
- **Acoplamiento bioquímico:** la tensión viscoelástica se transmite hasta el núcleo celular, alterando la expresión génica, lo que lleva a los osteocitos a producir factores de crecimiento anabólicos.
- **Transmisión de señales:** los factores de crecimiento alcanzan la superficie y se convierten en osteoblastos.
- **Respuesta de ejecución:** los osteoblastos y osteoclastos actúan produciendo y reparando hueso.

Las principales tensiones mecánicas que afectan al hueso provienen de la acción de la fuerza de gravedad y de la tracción de los músculos esqueléticos. La actividad física de impacto, como caminar, correr o levantar pesas, juega un papel fundamental en la conservación y desarrollo de la masa ósea, siempre dependiendo del estado actual del tejido. En los adolescentes, la actividad física de impacto tiene un valor sustancial en el aumento de la masa ósea durante el crecimiento, alcanzando niveles elevados antes de que comience el proceso de involución ósea. Gordon y colegas (2016) afirman que los períodos de crecimiento se caracterizan por altas tasas de modelado y remodelación ósea, y que la adolescencia es considerada la mejor época para fortalecer los huesos, gracias al aumento de las superficies periósticas, lo que mejora la fuerza ósea. En adultos, la participación en actividad física de impacto también es relevante, ya que favorece el fortalecimiento de los huesos, previene patologías y mejora la calidad de vida.

3. Desequilibrios homeostáticos del tejido óseo

Los desequilibrios homeostáticos del tejido óseo se refieren a alteraciones en el equilibrio dinámico que mantienen la estructura, función y resistencia de los huesos. Estas condiciones surgen cuando los procesos de formación y resorción ósea se desequilibran, afectando la integridad del tejido óseo y su capacidad para cumplir sus funciones mecánicas, metabólicas y protectoras.

Entre estas alteraciones se encuentran el raquitismo y la osteomalacia, enfermedades caracterizadas por un fallo en el proceso de calcificación ósea. Aunque la matriz orgánica se forma, las sales de calcio no se depositan correctamente, lo que provoca que los huesos se tornen "blandos" o "gomosos", resultando fácilmente deformables (Tortora & Derrickson, 2011).

El *raquitismo* afecta principalmente el crecimiento óseo en niños. Es común observar incurvaciones en los miembros inferiores y deformidades en el cráneo, la caja torácica y la pelvis. Esto ocurre debido a

que el tejido óseo nuevo formado en las placas epifisiarias no alcanza a osificarse adecuadamente.

Por su parte, la *osteomalacia*, conocida como el “raquitismo del adulto”, se caracteriza porque el hueso nuevo formado durante la remodelación ósea no se calcifica. Esta condición puede generar dolor y una disminución de la solidez de los huesos, afectando especialmente costillas y piernas. Además, traumatismos mínimos pueden derivar en fracturas.

La principal causa de ambas enfermedades es una deficiencia de vitamina D, generalmente vinculada a una exposición insuficiente al sol o una dieta inadecuada. Cabe señalar que estas patologías se mencionan aquí únicamente a modo informativo y no están contempladas dentro del programa de abordaje adaptado que se desarrollará en el último apartado, ya que requieren un tratamiento específico, que el presente programa académico no contempla. Sin embargo, es fundamental que el licenciado en Ciencias del Entrenamiento conozca estas condiciones y, de presentarse un caso, profundice en su estudio para elaborar un plan de entrenamiento adaptado que sea seguro y eficaz.

A continuación, se abordarán en profundidad patologías clave como la osteopenia y la osteoporosis, que constituyen el objetivo principal de este capítulo.

3.1 Osteopenia y osteoporosis

La osteopenia se define como una disminución de la masa ósea debido a una síntesis ósea insuficiente para compensar la resorción ósea normal. En otras palabras, se considera osteopenia cualquier reducción de la masa ósea por debajo de los niveles normales. Esta condición se percibe como una etapa previa a la osteoporosis, y su diagnóstico temprano es esencial para alertar a los profesionales de la salud, prevenir complicaciones y evitar la progresión hacia la osteoporosis.

El diagnóstico de osteopenia se realiza mediante *densitometría ósea*, una prueba considerada gold standard⁶ para medir la densidad mineral ósea (DMO). Este estudio se lleva a cabo utilizando absorciometría dual de rayos X (DXA), ultrasonidos o isótopos radiactivos. Estas técnicas generan imágenes que permiten determinar la cantidad de mineral óseo por superficie en zonas específicas del esqueleto, como la columna vertebral, la cadera o el antebrazo. En algunos casos, también se examinan muñecas, talones o tobillos.

Una de las principales ventajas de la densitometría ósea frente a una radiografía convencional es su menor exposición a radiación, con una reducción cercana al 90%. Los resultados de la prueba comparan la densidad ósea del paciente con un valor promedio establecido en función de la edad y el sexo, lo que permite determinar el grado de osteopenia.

Las cifras normales de densidad mineral ósea oscilan entre 0,97 y 1,28 g/cm². Cuando la DMO es inferior a 0,97 g/cm², se considera insuficiente, y este valor se identifica como el umbral de fractura,

⁶ Es considerada la referencia más confiable y precisa sobre la cual se comparan otros métodos o pruebas

indicando un mayor riesgo y la necesidad de iniciar un tratamiento protector.

La fórmula para calcular la densidad promedio mineral ósea (DMO) es:

$$DMO [g/cm^2] = CMH / A$$

donde:

- CMH: es el contenido mineral del hueso en gramos por centímetro (g/cm).
- A: es el ancho de la línea

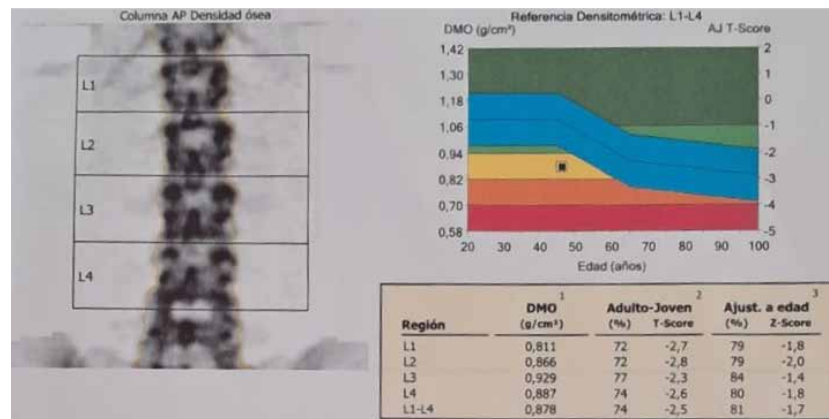


Ilustración 3. Resultados de una densitometría ósea en columna lumbar

Como se observa en la Ilustración 6, los resultados de la densitometría se expresan generalmente en dos medidas: T-score y Z-score. El T-score indica la cantidad de densidad mineral ósea en comparación con adultos jóvenes sanos de 30 años, expresado en desviaciones estándar:

- Normal: T-score de -1,0 o mayor.
- Osteopenia: T-score entre -1,0 y -2,5.
- Osteoporosis: T-score inferior a -2,5.
- El Z-score, por otro lado, compara la densidad ósea del paciente con el promedio de personas de la misma edad, sexo y tamaño corporal, expresado también en desviaciones estándar:
- Z-score mayor a -2,0: dentro de los valores esperados para la edad.
- Z-score menor a -2,0: por debajo de los valores esperados para la edad, lo que puede indicar causas secundarias de pérdida ósea y requiere mayor investigación.

Siguiendo a López Chicharro y López Mojares (2008), la osteoporosis es una enfermedad sistémica caracterizada por una disminución exacerbada de la masa ósea y un deterioro de la microarquitectura del hueso que provoca una reducción de la resistencia mecánica, mayor fragilidad ósea y una propensión incrementada a las fracturas. Las regiones más vulnerables incluyen las caderas, las vértebras dorsales y lumbares, la muñeca y el húmero. Según los criterios diagnósticos, un puntaje T menor a -2,5 indica estado de osteoporosis.

Literalmente, esta condición se describe como un estado en el que los huesos se vuelven porosos, debido a que la resorción ósea supera al depósito de hueso. Esto se asocia principalmente con una depleción de calcio en el organismo, causada por una pérdida mayor (a través de la orina, las heces y el sudor) de lo que se absorbe con la alimentación. La disminución de calcio y densidad ósea puede generar fracturas espontáneas ante tensiones mecánicas cotidianas, como sentarse rápidamente. Además, esta condición puede causar aplastamiento vertebral, reducción de la estatura corporal, incurvación de la espalda y dolor óseo, según Tortora y Derrickson (2011).

La epidemiología de la osteoporosis refleja su impacto global: una de cada tres mujeres y uno de cada cinco hombres mayores de 50 años sufrirán una fractura por esta causa. En Europa, alrededor de 22 millones de mujeres y 5,5 millones de hombres padecen osteoporosis, lo que resulta en 3,5 millones de nuevas fracturas por fragilidad ósea y un gasto de 37 mil millones de euros en salud pública (Svedbom y colaboradores, 2013).

En Estados Unidos, la National Osteoporosis Foundation estimó en los años 2000 que 10 millones de personas sufrían esta condición, con más de un millón de fracturas anuales relacionadas y costos que ascendían a 17 mil millones de dólares, proyectando un incremento a 50 mil millones para 2040. Además, existe una correlación significativa entre osteoporosis y mortalidad, registrándose 143.000 muertes anuales relacionadas, de las cuales el 50 % son por fracturas de cadera, principalmente posteriores a caídas, según Kanis y colaboradores (2008). Estas fracturas, en particular las de cadera, tienen un impacto severo: una de cada cinco personas que las sufren fallece en el año siguiente.

Angulo Carrere y Dobao Álvarez (2010) señalan que este problema afecta a más de una de cada tres mujeres y a uno de cada diez hombres, siendo particularmente prevalente en la población anciana, especialmente en mujeres postmenopáusicas. La reducción de hormonas sexuales en esta etapa de la vida aumenta la actividad de los osteoclastos, disminuye la de los osteoblastos y agrava la pérdida ósea.

En cuanto a la etiología de la osteoporosis, involucra la interacción de dos características principales: la densidad ósea y la calidad del hueso. Diversos factores contribuyen al riesgo de fracturas osteoporóticas, incluyendo variables clínicas, médicas, conductuales, nutricionales y genéticas (Lane, 2006). Entre los principales factores de riesgo se destacan el sexo, con una pérdida ósea más pronunciada en mujeres postmenopáusicas debido a la disminución de estrógenos, y en hombres durante la adultez avanzada; el envejecimiento; un pico de masa ósea reducido; una composición corporal y talla específicas; ascendencia europea o asiática; antecedentes familiares de la enfermedad; una dieta deficiente en calcio y vitamina D; el consumo excesivo de alcohol; el uso de ciertos medicamentos como sedantes y epilépticos; el deterioro de la función neuromuscular; alteraciones cognitivas como la demencia; y la pérdida de agudeza visual (Seeman, 2003).

A modo de conclusión, estas condiciones no solo afectan la funcionalidad física, sino también la calidad de vida, generando

consecuencias que van desde el dolor crónico hasta la dependencia funcional. No obstante, el entrenamiento físico adaptado se posiciona como una herramienta no farmacológica clave para abordar estas situaciones de manera segura y efectiva, promoviendo la preservación de la masa ósea, el fortalecimiento muscular, y la mejora de la estabilidad y el equilibrio. En tal caso, diseñar abordajes adaptados y basados en evidencia será esencial para minimizar riesgos, potenciar beneficios y contribuir finalmente a la independencia física y la salud en general.

4. Programas de entrenamiento adaptado

El tratamiento más efectivo para la prevención de trastornos óseos, como la osteoporosis, siempre será la prevención misma, promoviendo hábitos de vida saludables desde la niñez y adolescencia. Estos hábitos deben incluir una ingesta adecuada de calcio, exposición al sol, ejercicio físico regular y la abstención del consumo de alcohol y tabaco.

En este contexto, Gordon y colegas (2016) destacan que aunque la osteoporosis es una condición prevalente en la salud de los adultos, es fundamental considerar que tanto esta enfermedad como otros trastornos óseos tienen su origen en la infancia. De hecho, parece existir una relación estrecha entre la cantidad de masa ósea y muscular alcanzada durante la infancia y la pubertad, y la que se mantiene en la adultez, varias décadas después. En otras palabras, el capital óseo del adulto depende tanto de la acumulación ósea durante el crecimiento como de la posterior pérdida ósea con el paso de los años. Por lo tanto, la prevención de la osteoporosis debe ser una estrategia enfocada en promover la osteogénesis en las etapas de la niñez, pubertad y adolescencia.

Con relación a los adultos, se observa que menos del 20% de los pacientes con fracturas relacionadas con la osteoporosis reciben tratamiento para reducir su fragilidad ósea y prevenir nuevas fracturas (Haaland et al., 2009). Esto resalta la importancia de diseñar y llevar a cabo programas de ejercicio adaptado dirigidos a esta población.

Es importante aclarar que una vez que una persona ha sufrido una fractura, es poco probable que recupere completamente su fuerza debido a las pérdidas estructurales irreversibles en la microestructura ósea. Sin embargo, esto no debe ser motivo de desesperanza, ya que a pesar de las limitaciones, es posible lograr mejoras significativas en la condición física.

El diagnóstico de la osteopenia y su nivel de riesgo corresponde al médico especialista, quien después de descartar otras posibles causas que pudieran contribuir a una disminución en la densidad mineral ósea, realiza el diagnóstico definitivo. A partir de ahí, autoriza la implementación de un plan de entrenamiento adaptado, que debe ser supervisado por un profesional en entrenamiento físico.

Una vez diagnosticada la osteopenia, existen dos posibles enfoques terapéuticos, que no son necesariamente excluyentes entre sí:

- **Tratamiento farmacológico:** incluye la terapia de reemplazo de estrógenos (ERT), que consiste en la administración de estrógenos en bajas dosis, o la terapia de reposición hormonal (HRT), que combina estrógenos y

progesterona, entre otros fármacos. Este tratamiento es determinado por un médico especialista.

- **Tratamiento no farmacológico:** consiste en la suplementación de calcio y vitamina D, el aumento del consumo de lácteos y carnes, la limitación del consumo de alcohol y tabaco, y la prescripción de ejercicio físico adaptado.

Cuando se combinan estas estrategias de tratamiento farmacológico, nutricional y de ejercicio, los resultados obtenidos son considerablemente más efectivos que si se aplicaran de forma aislada. Este capítulo, claro está, se centra solamente en el abordaje desde el ejercicio físico.

4.1 Configuración de estímulos osteogénicos

Como se ha explicado, el tejido óseo tiene una notable plasticidad, lo que le permite adaptarse a las cargas mecánicas de forma que aumenta su competencia mecánica cuando se incrementa la sollicitación, y viceversa. En este contexto, el ejercicio físico adecuadamente prescrito juega un papel crucial en la preservación y promoción del aumento de la masa ósea. Sin embargo, no todos los estímulos son igualmente eficaces, y algunos incluso pueden resultar perjudiciales (López Chicharro y López Mojares, 2008; Gordon et al., 2016).

Para que el ejercicio sea osteogénico, los estímulos mecánicos deben provocar cambios en el metabolismo óseo, en función de la configuración de estos estímulos: la magnitud de la carga y la deformación, la velocidad de aplicación de la carga, la distribución y los ciclos de carga. En cualquier caso, los estímulos mecánicos solo provocan una respuesta adaptativa cuando alcanzan el umbral de estimulación (López Chicharro y López Mojares, 2008). Estos cambios se producen en función de varias características:

- **Magnitud de la deformación o "Strain":** el cambio porcentual en la longitud del hueso sometido a carga comparado con su longitud inicial.
- **Magnitud de la carga o "Stress":** los huesos que reciben mayor presión se vuelven más resistentes.
- **Teoría de la mecanostática o mecanostato:** existe un nivel mínimo de presión que debe alcanzarse para el mantenimiento del hueso, otro para la ganancia neta de masa ósea, y un nivel superior que puede generar sobrecargas patológicas. El estímulo debe ser crónico y superar la sobrecarga habitual. El artículo de Frost (2003) ofrece más detalles sobre este concepto, por lo que se recomienda al lector interesado en profundizar sobre este tema su lectura minuciosa.
- **Velocidad de aplicación de la carga:** las velocidades más bajas de aplicación, aunque prolongadas en el tiempo, producen menores efectos tróficos óseos.
- **Distribución de la carga:** mientras más se distribuye la zona de aplicación de la carga, mejores serán los efectos. En un mismo hueso, algunas zonas pueden adaptarse; mientras otras se debilitan.

- **Ciclos de carga:** se refiere a la frecuencia con la que se sobrecarga el hueso. Se necesita un número mínimo de repeticiones para obtener respuestas osteogénicas.

Es por esto por lo que se requiere un ejercicio físico adaptado, que sea de impacto y con suficiente carga muscular, para asegurar las adaptaciones musculoesqueléticas necesarias. Por ejemplo, se observa que las actividades de magnitud moderada a alta, con impacto rápido, multidireccional y/o inusual, tienden a generar las mejores adaptaciones en el tamaño óseo. Esta conclusión fue respaldada por Turner & Robling (2005), quienes afirman que los ejercicios que involucran impacto, como saltar, son los más efectivos para fortalecer los huesos.

No obstante, los ejercicios de alto impacto pueden ser difíciles de realizar para las personas frágiles o ancianas debido a las condiciones particulares de su organismo. Por lo tanto, es fundamental diseñar una estructura progresiva que permita el acceso gradual a ejercicios de mayor beneficio sin generar riesgos. El objetivo es organizar un proceso de entrenamiento cuyas adaptaciones producidas no estén determinadas por azar, sino como resultado de un proceso planificado y dirigido específicamente a este fin.

Considerando entonces las conclusiones más relevantes de la literatura analizada puede afirmarse que los ejercicios con impacto tienen un mayor efecto trófico sobre el hueso que aquellos sin impacto. Especialmente, los ejercicios que implican sostener el peso corporal y que poseen impacto se asocian con mejores índices de densidad mineral ósea y cambios en la microestructura ósea, lo que mejora su resistencia. Además, aunque los efectos del ejercicio varían según el sexo y la edad, parecería que los ejercicios que promueven la hipertrofia muscular pueden tener un efecto osteogénico adicional.

En general, cuanto mayor es el volumen de actividad física (horas por semana), mayor es el efecto osteogénico. Sin embargo, este efecto se limita solo a las regiones del aparato locomotor sometidas a carga. Por ello, es necesario complementar las prácticas deportivas con ejercicio adaptado que estimule las zonas no trabajadas habitualmente (López Chicharro y López Mojares, 2008).

Por otro lado, se ha observado que las cargas que producen un alto componente de acidosis metabólica podrían llevar a un balance óseo negativo. Así mismo, las actividades de bajo impacto, como la natación, se han asociado incluso con disminuciones en la masa ósea en algunos grupos. No obstante, no debe descartarse definitivamente esta opción en algunas personas con una osteoporosis muy severa. Finalmente, el ejercicio físico juega un papel fundamental en mejorar la resistencia mecánica del hueso, así como en establecer una mejor relación entre el tejido muscular y óseo. Ambas adaptaciones resultan en una mejora del equilibrio y la estabilidad, lo que contribuye a la prevención de fracturas y caídas. Teniendo en cuenta todo esto, se destacan a continuación dos aspectos clave en la prescripción del ejercicio físico adaptado: la evaluación funcional y las herramientas de entrenamiento.

4.2 Evaluación funcional

Las pruebas de esfuerzo en población adulta interesada en recuperar su capacidad funcional y mejorar la masa ósea no suelen ser necesarias. Incluso en personas mayores de 75 años, es importante considerar ciertos factores antes de realizar cualquier prueba física, ya que pueden existir contraindicaciones. Por ejemplo, este tipo de evaluaciones puede percibirse como una barrera para la práctica de actividad física, especialmente porque pocas personas de esta edad están en condiciones de realizar actividades vigorosas, que son las que justificarían la realización de una prueba de esfuerzo. Además, en edades avanzadas es más difícil distinguir entre ejercicio de intensidad moderada y vigorosa. También, se ha documentado la existencia de mayores riesgos cardiovasculares.

En estos casos, cuando las evaluaciones funcionales no son una opción viable, se recomienda comenzar con ejercicios de baja intensidad, progresar de manera gradual y estar atentos a los síntomas que presente cada individuo. Este proceso permite adquirir paulatinamente la capacidad funcional necesaria para realizar una prueba de esfuerzo de forma segura (Mahecha Matsudo & Molina, 2017).

No obstante, en algunos casos, existen pruebas de evaluación funcional que resultan viables, seguras y útiles para obtener información relevante en el diseño del entrenamiento, así como para el control a mediano y largo plazo.

A continuación, se mencionan algunas pruebas referenciadas en la literatura y recomendadas para esta población, según el informe del Grupo Europeo de Trabajo sobre Sarcopenia en Personas de Edad Avanzada (Jentoft et al., 2010). En la Tabla 7 se pueden observar valores de referencia para cada una.

4.2.1 Pruebas de composición corporal

El *análisis de bioimpedancia (ABI)* es una opción recomendada para calcular el volumen de masa corporal magra y grasa. Se trata de una prueba económica, fácil de aplicar, reproducible y adecuada, tanto para pacientes ambulatorios como encamados. Las técnicas de medición del ABI, bajo condiciones estandarizadas, han sido estudiadas por más de una década, definiéndose valores de referencia para hombres y mujeres adultos, incluyendo personas mayores. El ABI puede ser una alternativa portátil y accesible frente a la absorciometría de rayos X de energía dual (DEXA).

4.2.2 Pruebas de fuerza

La fuerza de presión manual isométrica se correlaciona estrechamente con la fuerza muscular de las extremidades inferiores, el momento de extensión de la rodilla y el área muscular transversal de la pantorrilla. Además, una fuerza de presión baja constituye un marcador clínico de movilidad limitada y es un mejor predictor de resultados funcionales adversos que la masa muscular baja. En la práctica, se ha observado una relación lineal entre la fuerza de presión inicial

y el riesgo de desarrollar discapacidad en actividades cotidianas.

4.2.3 Rendimiento físico

La prueba de *velocidad de la marcha* se considera un “signo vital” en adultos mayores, ya que es el mejor predictor de eventos adversos, como hospitalizaciones, dependencia funcional, morbilidad y mortalidad (Mahecha Matsudo & Molina, 2017). Existe una relación no lineal entre la fuerza de las extremidades inferiores y la velocidad de la marcha. Esta última tiene un alto valor predictivo para la aparición de discapacidad y episodios de salud adversos, como limitaciones severas en la movilidad y mortalidad. En el ámbito clínico y de investigación, la velocidad de la marcha en un recorrido de 6 metros puede ser utilizada como parámetro aislado para evaluar el rendimiento físico.

Por otro lado, la prueba de *levantarse y andar o Timed get up and go (TGUG)* cronometrada evalúa el tiempo que una persona tarda en realizar una serie de tareas funcionales: levantarse de una silla, caminar una distancia corta (generalmente 3 metros), girar, regresar al punto de partida y sentarse nuevamente. Esta prueba mide el equilibrio dinámico y se califica en una escala de cinco puntos, evaluando aspectos como estabilidad y fluidez de los movimientos. En geriatría, la TGUG se utiliza como una herramienta práctica para medir el rendimiento funcional.

Tabla 7. Diagnóstico de sarcopenia: variables cuantificables y límites (Jentoft et al., 2010)

Criterio	Método de medición	Características	Valores de referencia
Composición corporal	Análisis por bioimpedancia (ABI)	IMME utilizando la masa muscular absoluta, no la masa muscular de las extremidades (masa muscular absoluta/talla ²).	Hombres Sarcopenia grave: $\leq 8,50$ kg/m ² Sarcopenia moderada: 8,51 - 10,75 kg/m ² Músculo normal: $\geq 10,76$ kg/m ² Mujeres Sarcopenia grave: $\leq 5,75$ kg/m ² Sarcopenia moderada: 5,76 - 6,75 kg/m ² Músculo normal: $\geq 6,76$ kg/m ²
Fuerza	Prueba isométrica con Dinamometría	Prensión manual	Hombres: menor a 30 Kg Mujeres: menor a 20 Kg
Rendimiento físico	Velocidad de marcha	Recorrido de 6m	Menor a 1 m/s
	Levantarse y andar	Levantarse, caminar tres metros, girar,	Tiempo: <10 segundos: excelente. 10-20 segundos: aceptable. >20 segundos: posible riesgo de caídas

		regresar y sentarse.	>30 segundos: riesgo elevado de caídas y dependencia funcional. Calidad de los movimientos: 1-Muy bueno: movimiento estable, fluido, sin vacilaciones ni uso de ayudas externas. 2-Bueno: movimiento algo menos fluido, pero estable; puede haber leves vacilaciones. 3-Regular: movimiento con vacilaciones evidentes, uso moderado de ayudas o inestabilidad leve. 4-Deficiente: inestabilidad importante, riesgo de caída o necesidad de supervisión constante. 5-Muy deficiente: incapacidad de completar la prueba sin ayuda.
--	--	----------------------	---

4.3 Herramientas de ejercicio adaptado

En el primer Cuaderno de cátedra se definió que en el contexto del entrenamiento, las herramientas comprenden los recursos y enfoques empleados por los especialistas para realizar sesiones seguras y efectivas, así como para planificar el proceso de entrenamiento a corto, mediano y largo plazo.

Estas herramientas incluyen los contenidos del entrenamiento y sus distintas orientaciones, junto con los conocimientos necesarios para modificar la carga de trabajo, diversificar las estrategias de entrenamiento y resolver problemas o emergentes que puedan surgir durante las sesiones. El conocimiento y aplicación adecuado de estas herramientas permite a los especialistas en Ciencias del Entrenamiento alcanzar sus objetivos de manera más controlada y menos sujeta al azar.

En lo que respecta a los programas de ejercicio adaptado para personas con osteoporosis, históricamente se ha mostrado un gran temor a la aparición de eventos adversos, lo que ha llevado a abordar la fragilidad con propuestas de mínimo impacto. Por ejemplo, se ha recomendado frecuentemente el ejercicio en piletas debido a los múltiples beneficios cardiovasculares y metabólicos que ofrece, entre otros, de forma segura y controlada. Sin embargo, como ya se ha mencionado, aunque esta alternativa resulta adecuada en términos generales, no es la más eficaz para estimular el fortalecimiento óseo ni para mejorar la densidad mineral ósea (DMO).

Es importante señalar que no es necesario excluir el ejercicio acuático ni mucho menos, desaconsejarlo, ya que puede ser el único medio viable para algunas personas. No obstante, en muchos otros casos, el entrenador debe reconocer que la prescripción de ejercicio adaptado ha evolucionado hacia un proceso mucho más abarcativo, integrando los aportes de la literatura científica con la experiencia práctica.

A continuación, se presentan recomendaciones específicas para la prescripción de estímulos seguros y efectivos dirigidos a esta población.

4.3.1 Entrenamiento de fuerza

El entrenamiento de fuerza es una herramienta poderosa que genera altos niveles de estimulación, especialmente de tracción, acompañados de microimpactos en el eje vertical, que promueven estímulos de compresión adecuados. En individuos con masa muscular reducida, existe una estrecha relación entre la densidad muscular y la densidad mineral ósea, como lo señalaron Ferrucci et al. (2002), tanto en niños como en adultos.

En relación con los estímulos más efectivos, Ebben y colaboradores (2010) analizaron las características cinéticas (impulso, fuerza de reacción al suelo GRF y tasa de desarrollo de fuerza RFD) de cinco modalidades de ejercicio: caminar, trotar, saltos en profundidad (depth jumps), ajustados a la altura del salto con contramovimiento, sentadillas con salto (jump squats) al 30% del peso máximo en una repetición (1RM), y sentadillas traseras al peso correspondiente a cinco repeticiones máximas (5RM). El estudio incluyó a 23 jóvenes físicamente activos, sin lesiones ni patologías relevantes, quienes realizaron dos repeticiones de cada ejercicio, en orden aleatorio, sobre una plataforma de fuerza que registraba variables cinéticas a una frecuencia de 1.000 Hz.

Los resultados mostraron diferencias significativas entre todas las modalidades en términos de impulso, GRF y RFD, salvo entre sentadillas traseras y trote en el caso de RFD. Los ejercicios que generaron mayores estímulos mecánicos fueron:

- *Sentadilla trasera (5RM)*: mayor impulso.
- *Salto en profundidad*: mayor GRF y RFD.
- *Sentadilla con salto*: segundo lugar en todas las métricas.

Caminar y trotar mostraron estímulos osteogénicos significativamente menores. Estos resultados indican que las modalidades de ejercicio con carga externa (sentadillas y saltos) producen mayores estímulos mecánicos, que podrían ser más beneficiosos para la salud ósea. Sin embargo, debe considerarse que el estudio no incluyó poblaciones específicas con patologías.

Por otro lado, Molina et al. (2015) investigaron a mujeres posmenopáusicas con deterioro en su masa ósea en tratamiento farmacológico y nutricional, de las cuales un grupo adicionalmente realizó entrenamiento de fuerza. Este grupo completó tres sesiones semanales de aproximadamente 75 minutos, incluyendo ejercicios poliarticulares y monoarticulares (3-5 series de 8-10 repeticiones al 75% de la 1RM, con 1 minuto de pausa), además de multisaltos de baja a media intensidad (horizontales, frontales y desde plataformas de 30 cm, a dos y una pierna). Los resultados mostraron que combinar el tratamiento farmacológico y la suplementación con entrenamiento de fuerza mejoró la densidad mineral ósea (DMO) en el cuello femoral y las vértebras lumbares.

Ambos trabajos expuestos previamente subrayan la relevancia del entrenamiento de fuerza como estrategia para mejorar la DMO. En sujetos con un nivel de condición física suficiente, los ejercicios con carga externa y saltos generan los mayores estímulos mecánicos. Además, se evidencia que el entrenamiento de fuerza complementa eficazmente el tratamiento farmacológico y nutricional, lo que impul-

sa la motivación de realizar programas de fuerza en esta población. Existen numerosas investigaciones que respaldan el uso de acelerómetros como herramienta clave para medir el movimiento corporal y su papel en la mejora de la densidad mineral ósea (DMO). Este método es ampliamente aceptado para monitorear la actividad física y evaluar la carga mecánica en los huesos, lo que permite optimizar los ejercicios orientados a la prevención de la osteoporosis. Los acelerómetros, dispositivos pequeños, discretos y livianos, miden la aceleración (el cambio en la velocidad con respecto al tiempo) y son capaces de registrar tanto la actividad física como los períodos de inactividad. En un estudio realizado por Jämsä et al. (2011), se evaluó a 64 mujeres sanas premenopáusicas durante un programa de 12 meses. Las participantes se dividieron en dos grupos: uno de alto impacto (34 mujeres) y un grupo control (30 mujeres). Los acelerómetros, colocados en la zona lumbar, registraron impactos verticales en diferentes rangos de aceleración. Se programaron 60 impactos diarios que generaran aceleraciones iguales o superiores a 4 g (4 veces la fuerza de gravedad), utilizando ejercicios como saltos, cambios de dirección y frenados. Los análisis mediante DXA mostraron mejoras significativas en la DMO y la sección transversal ósea, evidenciando que los beneficios son dependientes de la dosis y la intensidad. Actividades específicas como saltos (4.3-5 g), correr a 13 km/h (4.2 g) o ejercicios de step (1.2 g) se destacaron como herramientas efectivas para alcanzar las aceleraciones requeridas, mientras que caminar o subir escaleras generaron menores fuerzas (0.8-1.2 g).

Por otro lado, Nickander et al. (2007) estudiaron a 30 mujeres de 41 a 65 años con antecedentes de cáncer de mama, quienes se dividieron en un grupo de ejercicio y un grupo control. El grupo de ejercicio participó en sesiones semanales guiadas que combinaban aeróbicos con Step y entrenamiento en circuito, acompañadas de al menos dos sesiones en casa. Cada sesión incluía saltos (150-180 en step y 100-150 en circuito), desplazamientos en diversas direcciones y ejercicios de resistencia, comenzando con una intensidad moderada (RPE 11) y progresando a un nivel vigoroso (RPE 14-16) durante las 12 semanas. Se utilizaron acelerómetros para registrar las fuerzas generadas durante los ejercicios.

Los mayores impactos (hasta 6 veces el peso corporal) se registraron en las sesiones de step-aerobics, especialmente en participantes con mayor habilidad para saltar. El entrenamiento en casa demostró generar perfiles de aceleración comparables a los de las sesiones guiadas, destacando su valor como complemento. Las evaluaciones incluyeron pruebas de fuerza isométrica, CMJ, velocidad de marcha en 10 metros y resistencia en 2 km, con mejoras significativas en el grupo de ejercicio, particularmente en la potencia máxima de salto y el tiempo en pruebas específicas de agilidad.

Ambos estudios corroboran la efectividad del uso de acelerómetros y subrayan que la dosis e intensidad de los ejercicios, especialmente aquellos que generan aceleraciones superiores a 4 g, son determinantes para optimizar los beneficios a nivel óseo. A modo de ejemplo práctico, los saltos tipo CMJ (salto con contramovimiento) producen aceleraciones cercanas a 4,3 o 4,5 g, mientras que los saltos desde caída, o drop jumps (DJ), alcanzan aproximadamente los 5 g. En actividades de carrera, el impacto varía según la intensidad; al acelerar,

se generan fuerzas de 4,2 g; mientras que correr a una intensidad moderada de 9 km/h produce alrededor de 3 g. Correr a mayor velocidad, como a 13 km/h, puede superar los 4,2 g. En ejercicios de subir y bajar step, la aceleración es menor, alrededor de 1,2 g, y actividades de caminar generan fuerzas aún más bajas, cercanas a 0,8 g. En cuanto a la dosificación y progresión de la carga de entrenamiento, según Mahecha, Matsudo y Molina (2017), el factor clave en el entrenamiento de fuerza es la progresión continua en la variable de intensidad, ya sea a través de la sobrecarga externa, la altura del salto o la velocidad de movimiento durante la fase concéntrica. Algunos autores incluso desaconsejan la progresión basada en el volumen o la densidad, argumentando que no son tan eficaces en este contexto. Desde una perspectiva metodológica, es importante recordar que la pérdida de masa muscular en los miembros inferiores es más pronunciada y peligrosa, ya que conduce a deficiencias funcionales que impactan directamente en la calidad de vida. Entre estos efectos negativos se destacan la inestabilidad postural, la fragilidad y un mayor riesgo de caídas, lo que desafortunadamente, puede culminar en la pérdida de independencia. Por esta razón, la preservación y fortalecimiento de la masa muscular de los miembros inferiores se convierte en un objetivo crucial al prescribir un programa de entrenamiento de fuerza.

En términos prácticos también, es fundamental recordar que en los primeros meses de entrenamiento se debe priorizar el aprendizaje técnico de los principales ejercicios de fuerza y el desarrollo de la capacidad propioceptiva. Además, se debe fomentar el conocimiento de hábitos y cuidados personales que garanticen un proceso de entrenamiento seguro.

Por último, en esta etapa el desarrollo de la tolerancia al esfuerzo será un objetivo primordial, y no se debe subestimar la importancia de lograr adherencia al programa y mantener la motivación, ya que estas son condiciones indispensables para asegurar la continuidad del tratamiento y su efectividad a largo plazo.

Considerando todos estos aportes, en la Tabla 8 se presentan algunas conclusiones sobre el entrenamiento de fuerza en personas con osteoporosis.

Tabla 8. Componentes de carga en entrenamiento de fuerza

Componentes de la carga sugeridos		
Variables externas fisiológicas	Intensidad	Cargas próximas al 10RM (60-70% RM). Velocidades de ejecución controladas en la fase excéntrica y progresivamente altas en la concéntrica.
	Volumen	Entre 3 a 5 series por ejercicio. Entre 6 y 8 ejercicios. En los saltos se recomiendan hasta 60 saltos por sesión cuando se combina con ejercicios de musculación y hasta 150 cuando se trata de clase tipo step o circuito.
	Densidad	Entre 1 a 3' de micro pausa entre series.
	Frecuencia	2 a 3 sesiones semanales son suficientes.
Variables externas mecánicas	Tipo de ejercicios	Utilizar ejercicios multi articulares preferentemente y añadir auxiliares específicos para huesos osteoporóticos. Por razones de seguridad, si es posible, comenzar con máquinas de musculación. Evitar movimientos de flexo extensión y rotación de tronco. Evitar ejercicios que causen dolor o que lo hagan en algún rango de movimiento. Evitar al inicio el entrenamiento con pesas libres en personas con muy baja DMO. Clases tipo step o circuitos son propuestas recomendadas. Las propuestas domiciliarias han mostrado buenos resultados, pero no deberían implementarse al inicio del tratamiento, hasta tanto se obtenga un mínimo nivel de control motor y conocimiento técnico de los ejercicios.

4.3.2 Entrenamiento de resistencia

El estímulo de resistencia es fundamental, ya que puede proporcionar múltiples beneficios para la salud general y mejorar la calidad de vida de las personas con osteoporosis. Por esta razón, debe incluirse en la programación general a largo plazo. Sin embargo, es importante señalar que no constituye un estímulo osteogénico por excelencia y que solo bajo ciertas características específicas este tipo de entrenamiento puede contribuir al aumento de la densidad mineral ósea (DMO).

Por ejemplo, en relación con las propuestas de caminata, Yamazaki y colaboradores (2004) trabajaron con una muestra de 50 mujeres pos-

menopáusicas, de entre 49 y 75 años, diagnosticadas con osteopenia y osteoporosis. Las participantes fueron divididas en dos grupos. El grupo de ejercicio realizó un promedio de 8.000 pasos diarios a una intensidad leve-moderada (50% del VO₂ máx), 4 días a la semana durante un año. Los resultados no mostraron mejoras significativas en la DMO del cuello femoral ni de las vértebras lumbares. Los autores concluyeron que, para obtener mejores resultados en la DMO, sería necesario combinar ejercicios de mayor intensidad con un adecuado consumo de calcio.

En consonancia con estos hallazgos, Tobías y colaboradores (2014) analizaron diferentes estudios científicos, tanto propios como de otros autores, y determinaron que existe poca evidencia de que las intervenciones basadas únicamente en caminatas mejoren la DMO. Por el contrario, los protocolos que combinaron caminata, carrera y subir escaleras mostraron mejoras significativas en este parámetro en adultos mayores.

Diversos estudios han obtenido resultados similares, lo que reafirma que el entrenamiento de resistencia, en sí mismo, no es un estímulo osteogénico directo. No obstante, aporta numerosos beneficios a la salud general, lo que justifica su inclusión en los programas de entrenamiento físico adaptado.

Es crucial diferenciar entre distintos tipos de actividades aeróbicas, como caminar, pedalear, utilizar una elíptica o un remoergómetro, y clases como steps o minitramp. Cada actividad implica diferentes niveles de impacto y, por ende, varían en su capacidad para estimular el aumento de la masa ósea. En este contexto, el objetivo principal es maximizar los beneficios de estas actividades sin generar efectos adversos.

Por lo tanto, se recomienda iniciar con estímulos de menor impacto, combinados con el entrenamiento de fuerza, para contribuir al aumento de la capacidad de trabajo y la tolerancia al esfuerzo. Breves períodos de estímulos continuos de baja intensidad, utilizados como "pausas activas", pueden ser una herramienta valiosa durante los primeros mesociclos.

Es fundamental educar a las personas para que reconozcan las diferentes intensidades de trabajo, ganen confianza en los distintos medios aeróbicos y desarrollen seguridad en sus capacidades. Una vez establecida una base sólida y alcanzadas las adaptaciones cardiovasculares iniciales, se pueden implementar progresiones hacia métodos de mayor intensidad. En etapas avanzadas, incluso pueden incluirse sesiones de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT).

En torno a esta metodología, existe actualmente un gran interés por comprender sus efectos sobre la masa ósea y su potencial como herramienta para la prevención y el abordaje de la osteoporosis. Por ejemplo, Mingyue Lu y colaboradores (2022) investigaron los efectos de 8 semanas de entrenamiento por intervalos de alta intensidad (HIIT) y de entrenamiento continuo de intensidad moderada (MICT) sobre el metabolismo óseo en 26 mujeres jóvenes, saludables y sedentarias. Las participantes fueron divididas en dos grupos: HIIT y MICT.

Ambas modalidades de ejercicio se llevaron a cabo durante 8 semanas, con una frecuencia de 3 sesiones semanales. El grupo HIIT

realizó 6 repeticiones de 3 minutos de carrera al 80-90% del VO₂máx, intercaladas con 2 minutos de recuperación activa al 30-40% del VO₂máx. Por su parte, el grupo MICT completó sesiones de carrera continua durante 30 minutos al 60-70% del VO₂máx.

Se realizaron mediciones pre y post intervención en las siguientes variables:

- **Composición corporal:** evaluada mediante impedancia bioeléctrica.
- **Densidad mineral ósea (DMO):** analizada con absorciometría de rayos X (DXA) y ultrasonido en el calcáneo.
- **Marcadores de recambio óseo:** diversos indicadores bioquímicos.
- **Fuerza muscular de miembros inferiores:** determinada mediante salto en largo y salto vertical.

Los resultados mostraron que tanto el HIIT como el MICT mejoraron el metabolismo óseo en todas las variables evaluadas. Sin embargo, el grupo HIIT presentó beneficios superiores en todos los indicadores analizados. Estos hallazgos sugieren que el HIIT podría ser una estrategia más eficaz para mejorar el metabolismo óseo en comparación con el MICT, incluso con cargas de trabajo similares.

Cabe destacar que este estudio debe interpretarse con cautela, ya que las participantes no presentaban un diagnóstico clínico de osteoporosis. Sin embargo, los resultados obtenidos pueden ser un aporte relevante para futuras intervenciones. Una vez alcanzadas las adaptaciones iniciales e intermedias mediante varios mesociclos progresivos enfocados en el desarrollo de la fuerza, la postura y la estabilidad, el HIIT podría incluirse de forma segura y efectiva como parte de un programa de entrenamiento adaptado orientado a la mejora de la salud ósea.

Considerando todos estos aportes, en la Tabla 9 se presentan algunas conclusiones sobre el entrenamiento de resistencia en personas con osteoporosis:

Tabla 9. Componentes de carga en entrenamiento de resistencia

Componentes de la carga sugeridos		
Variables externas fisiológicas	Intensidad	Se puede comenzar con intensidades a primer umbral alrededor del 60% del VO ₂ máx. y avanzar hacia intensidad entre umbrales (5-8 de la Escala de esfuerzo percibido del 1 al 10). Con el correr de los mesociclos pueden incluirse trabajos fraccionados tipo HIIT.
	Volumen	30-60´ para sesiones únicas de resistencia. Al inicio, en combinación con fuerza puede llegar a ocupar el 40% de la sesión con pequeños bloques entre ejercicios de hasta 5´. En fases avanzadas, en combinación con fuerza puede plantearse un bloque final de la sesión específicamente dedicado a resistencia con un HIIT corto, por ejemplo, de hasta 20 minutos.
	Densidad	En fases iniciales empezar con métodos fraccionados con alto componente de pausa, por ejemplo, en un circuito con 3 ejercicios de fuerza. En fases avanzadas con propuestas HIIT se recomiendan relaciones de trabajo: pausa que avancen del 1:3 al 1:1.
	Frecuencia	2 a 7 sesiones semanales son óptimas.
Variables externas mecánicas	Tipo de ejercicios	En personas con un DMO muy baja es una opción interesante el <i>runningpool</i> o carrera en piscina, que permite correr con un peso corporal muy reducido por la acción del agua. En gimnasio, en fases iniciales los medios aeróbicos de menor impacto son más recomendados: bicicleta fija, remoergómetro, elíptico, zerorunner, etc. Considerar la progresión hacia caminatas que tienen mejores resultados. Se recomienda evitar tapiz rodante o cinta por el riesgo de caídas (al menos en principio). Pueden incluirse luego de varios mesociclos actividades en circuitos, step o similares.

4.3.3 Entrenamiento estabilizador

El entrenamiento estabilizador se centra en el desarrollo del mecanismo propioceptivo, favoreciendo la estabilidad y el equilibrio. Su objetivo principal es no solo prevenir caídas o accidentes en actividades de la vida diaria y laboral, sino también actuar como un elemento protector en la programación de sesiones de entrenamiento a largo plazo.

Es común confundir el entrenamiento estabilizador con el desarrollo del CORE o zona media del cuerpo, como si esta fuera la única región que requiere estabilidad. Aunque la zona media desempeña un papel importante, no es la única área del cuerpo que necesita ser trabajada. Asimismo, no se debe asociar estabilidad y equilibrio exclusivamente con ejercicios complejos o realizados en superficies inestables. Si bien estos pueden ser útiles, no son las únicas opciones y, en algunos casos, podrían resultar peligrosos o contraproducentes.

Por el contrario, el desarrollo del equilibrio y la estabilidad puede

lograrse a través de ejercicios simples. Por ejemplo, adoptar diferentes posturas, preferentemente descalzos, y mantenerlas durante algunos segundos puede ofrecer beneficios significativos. En este sentido, la declaración de posición del Colegio Americano de Medicina del Deporte sobre ejercicio y actividad física para adultos mayores (Chodzko-Zajko et al., 2009) proporciona lineamientos valiosos que pueden considerarse al programar este tipo de actividades (ver Tabla 10).

De igual importancia es el desarrollo progresivo del CORE o zona media. Este puede iniciarse mediante la enseñanza y práctica de maniobras respiratorias como el "Bracing" (coactivación abdominal) o el "Hollow in" (hundimiento abdominal), ambas seguras y efectivas para mejorar la estabilidad lumbopélvica en esta población. Posteriormente, se puede avanzar hacia ejercicios más globales en bipedestación o planos inclinados, y finalmente hacia ejercicios tradicionales en el suelo, como puentes supinos, pronos y laterales, variantes del press Pallof, entre otros.

Es importante destacar que estos ejercicios pueden integrarse fácilmente en cualquier programa de ejercicio físico adaptado, independientemente de los objetivos particulares de cada fase de entrenamiento. Como recomendación general, se sugiere incluirlos en momentos de la sesión en los que la persona no esté excesivamente fatigada, ya que requieren un alto nivel de atención y concentración. Además, deben realizarse de forma controlada y, en las etapas iniciales, es recomendable emplear elementos de apoyo, como barras fijadas a la pared, o contar con la asistencia de un entrenador personal para prevenir caídas (Mahecha Matsudo & Molina, 2017). Al igual que con cualquier herramienta de entrenamiento, es esencial comenzar con progresiones lentas y avanzar gradualmente hacia nuevos desafíos.

Tabla 10. Ejemplos de ejercicios para el desarrollo del equilibrio y la estabilidad. Tomado y adaptado de Chodzko-Zajko et al. (2009)

Categoría	Ejemplo práctico
Posturas con disminución de números de apoyos y base de sustentación	<p>Permanecer de pie con los pies separados por 5", luego juntar los pies y mantener la posición el mismo tiempo, para finalizar sobre un solo pie.</p> <p>Estar de pie en semi tándem durante 5", luego en tándem el mismo tiempo.</p> <p>Caminar sobre una línea recta marcada en el piso.</p> <p>Estar de pie sobre los talones o sobre la punta de los pies.</p> <p>Girar un disco o pelota sobre la cabeza (parado con pies separados/juntos/sobre un pie/semi tándem/tándem/apoyo de talones o puntas).</p>
Movimientos dinámicos que alteran el centro de gravedad	<p>Caminar en círculos.</p> <p>Caminar durante 5 segundos, frenar a la señal y permanecer estático durante 3 segundos, seguir caminando 5 segundos más.</p> <p>Caminar durante 5 segundos, frenar a la señal y dar un paso hacia atrás, seguir caminando 5 segundos más.</p> <p>Caminar en pasos diagonales con balanceo de brazos.</p> <p>Atrapar y lanzar una pelota mientras se camina.</p>
Reducir impulsos sensoriales	<p>Disminuir la visión mientras se desafía el equilibrio:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Sentarse y pararse de un cajón con ojos cerrados. -Desplazarse con ojos cerrados. -Caminar hacia adelante y atrás detectando estímulos en la pared (al frente o a los costados). -Utilizar dispositivos inestables: -Posturas sobre colchoneta, minitramp, tablas de equilibrio, bozu, etc.

4.3.4 Entrenamiento vibratorio

El entrenamiento vibratorio es una modalidad de ejercicio que utiliza vibraciones mecánicas para generar contracciones musculares reflejas. Estas contracciones, a su vez, pueden inducir un aumento de la densidad mineral ósea (DMO). El equipo necesario para realizar entrenamiento vibratorio es una plataforma vibratoria, que emite vibraciones a través de la base en la que se coloca el usuario.

Las plataformas vibratorias funcionan mediante un motor que produce movimientos de vibración de alta frecuencia. El usuario se coloca sobre la plataforma y la vibración se transmite al cuerpo, lo que provoca contracciones musculares involuntarias. Este tipo de contracción es beneficioso para la actividad muscular y el aumento de la densidad ósea. El costo varía según la marca, el modelo y las características, pero en Argentina los precios pueden oscilar entre los \$50.000 y los \$150.000 dependiendo de la gama del equipo y las funcionalidades adicionales.

Diversos estudios han demostrado la eficacia de este tipo de entrenamiento, especialmente en mujeres posmenopáusicas con osteopenia, ya que el estímulo vibratorio contribuye a la mejora de la salud ósea. Según Peña García-Orea (2013), las personas mayores,

en particular las mujeres posmenopáusicas con baja densidad ósea son las que podrían beneficiarse más de esta modalidad de ejercicio para prevenir y retardar el proceso osteopénico típico de la edad. La dosis exacta de vibración no está completamente clara, pero se sugiere que la intervención debe tener una alta frecuencia (Hz), una baja amplitud (mm) y una baja magnitud o aceleración.

Considerando que en la actualidad no todos los centros de entrenamiento cuentan con estos dispositivos por diversas razones, su falta no debe considerarse un impedimento. Existen numerosas alternativas de ejercicios que también han demostrado ser beneficiosos para las personas con osteoporosis, como se ha descrito previamente. En caso de disponer de equipos de vibración, pueden implementarse de manera segura y eficaz, siendo una opción más dentro de un programa de ejercicio adaptado.

5. Final

Este capítulo constituye una parte integral de la presente obra de referencia, especialmente diseñada para estudiantes universitarios. En este desarrollo, se ha examinado una variedad de aspectos fundamentales relacionados con el ejercicio adaptado para individuos con osteoporosis. Se ha abordado desde los conceptos básicos vinculados a la anatomía y fisiología del tejido óseo, sus aspectos generales e histológicos y sus diversas adaptaciones al entrenamiento físico.

Además, se han detallado algunas patologías, principalmente osteopenia y osteoporosis, que tienen como uno de sus pilares principales de tratamiento no farmacológico al ejercicio físico. Por ello, se revisó la literatura que describe la fisiopatología de la condición, así como los resultados de investigaciones actuales en torno al ejercicio físico en su gestión y abordaje. Por último, el capítulo cierra con propuestas de intervención que reflejan los avances científicos tradicionales y contemporáneos en este ámbito, junto con aspectos inherentes a la experiencia profesional cotidiana.

Es importante volver a destacar que las pautas aquí desarrolladas sirven como orientación. Los entrenadores y profesionales en Ciencias del Entrenamiento y la Salud deben emplearlas como base, adaptándolas de manera cuidadosa a las necesidades individuales de cada alumno. Por tanto, estas directrices se conciben como un recurso predispuesto a la evolución, comprometido a mejorar y ajustarse para brindar una atención óptima a aquellas personas que acompañamos cada día.

Bibliografía

- Angulo Carrere, M. T.; Dobao Álvarez, C. (2010). Biomecánica clínica. Biomecánica del hueso. Reduca (Enfermería, Fisioterapia y Podología). Serie Biomecánica clínica. 2 (3), 32-48.
- Chodzko-Zajko, W. J.; Proctor, D. N.; Fiatarone Singh, M. A.; Minson, C. T.; Nigg, C. R.; Salem, G. J.; Skinner, J. S. (2009). Exercise and physical activity for older adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(7), 1510–1530. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19516148/>
- Ebben, W. P.; Fauth, M. L.; Kaufmann, C. E.; Petushek, E. J. (2010). Magnitude and Rate of Mechanical Loading of a Variety of Exercise Modes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 213–217. <https://sci-hub.st/10.1519/JSC.0b013e3181c27da3>
- Felsenberg, D.; Boonen, S. (2005). The bone quality framework: determinants of bone strength and their interrelationships, and implications for osteoporosis management. *Clinical therapeutics*, 27(1), 1-11. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0149291804000906>
- Ferrucci, L.; Russo, C. R.; Lauretani, F.; Bandinelli, S.; Guralnik, J. M. (2002). A role for sarcopenia in late-life osteoporosis. *Aging Clinical and Experimental Research*, 14(1), 1–4. <https://www.proquest.com/openview/a7dbf27fb1d87e488deaf6fc03830871/1?pq-origsite=gscholar&cbl=4402923>
- Frost, H. M. (2003). Bone's mechanostat: A 2003 update. *The Anatomical Record*, 275A(2), 1081–1101. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14613308/>
- García, R. R.; Moreno, P. R.; Muñoz-Torres, M. (2008). Regulación del proceso de remodelado óseo. *Revista Española de Enfermedades Metabólicas Óseas*, 17(1), 10-14. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1132846008711322>
- Gordon, C. M. et al. (2016). The Determinants of Peak Bone Mass. *The Journal of Pediatrics*, 180. 261-269.
- Gorka Nuñez, M. D. (17 de mayo de 2016). Osteoporosis y ejercicio [blog]. G-SE. https://g-se.com/osteoporosis-y-ejercicio_9438-bp-a57c-fb26de50bc
- Haaland, D. A.; Cohen, D. R.; Kennedy, C. C.; Khalidi, N. A.; Adachi, J. D.; Papaioannou, A. (2009). Closing the osteoporosis care gap – Increased osteoporosis awareness among geriatrics and rehabilitation teams. *BMC Geriatrics*, 9(1). <https://bmcgeriatr.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2318-9-28>
- Jämsä, T.; Ahola, R.; Korpelainen, R. (2011). Measurement of osteogenic exercise—how to interpret accelerometric data?. *Frontiers in physiology*, 2, 73. <https://www.frontiersin.org/journals/physiology/articles/10.3389/fphys.2011.00073/full>
- Jentoft, A. J. C., Baeyens, J. P., Bauer, J. M., Boirie, Y., Cederholm, T., Landi, F., ... & Zamboni, M. (2010). Sarcopenia: consenso europeo sobre su definición y diagnóstico. Informe del Grupo europeo de trabajo sobre la sarcopenia en personas de edad avanzada Oxford University: *Age and Ageing*, 39(4), 412-23.
- Kanis, J. A.; Burlet, N.; Cooper, C.; Delmas, P. D.; Reginster, J. Y.; Borgstrom, F.; European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis and Osteoarthritis (ESCEO). (2008). European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal

women. *Osteoporosis international*, 19, 399-428. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00198-008-0560-z>

Lane, N. E. (2006). Epidemiology, etiology, and diagnosis of osteoporosis. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 194(2), S3-S11. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0002937805013700>

López Chicharro, J. ; López Mojares, L. M. (2008). Fisiología clínica del ejercicio. Médica Panamericana.

Mahecha Matsudo, S. M.; Molina, J. C. (2017). Geriatria, actividad física y salud. En S. M. Mahecha Matsudo (Ed.), *Actividad física y ejercicio en salud y enfermedad* (pp. 175-192). Mediterráneo.

Molina, E.; Ducaud, P.; Bustamante, I.; León-Prados, J. A.; Otero-Saborido, F. M.; Gonzalez-Jurado, J. A. (2015). Variación en la densidad mineral ósea inducida por ejercicio en mujeres posmenopáusicas / Variation of Bone Mineral Density Induced by Exercise in Postmenopausal Women. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 15(59), 527-541. <https://www.redalyc.org/pdf/542/54241416008.pdf>

Nikander, R.; Sievänen, H.; Ojala, K.; Oivanen, T.; Kellokumpu-Lehtinen, P. L.; Saarto, T. (2007). Effect of a vigorous aerobic regimen on physical performance in breast cancer patients—a randomized controlled pilot trial. *Acta Oncologica*, 46(2), 181-186. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02841860600833145>

Seeman, E. (2003). The structural and biomechanical basis of the gain and loss of bone strength in women and men. *Endocrinology and Metabolism Clinics*, 32(1), 25-38. [https://www.endo.theclinics.com/article/S0889-8529\(02\)00078-6/abstract](https://www.endo.theclinics.com/article/S0889-8529(02)00078-6/abstract)

Peña García-Orea, G. (2013, 27 de febrero). Batalla contra la osteoporosis mediante el entrenamiento vibratorio: Evidencias actuales. Blog del Instituto Internacional de Ciencias del Ejercicio Físico y la Salud. G-SE. <https://g-se.com/es/batalla-contra-la-osteoporosis-mediante-el-entrenamiento-vibratorio-evidencias-actuales>

Svedbom, A.; Hernlund, E.; Ivergård, M.; Compston, J.; Cooper, C.; Stenmark, J.; EU review panel of the IOF. (2013). Osteoporosis in the European Union: a compendium of country-specific reports. *Archives of osteoporosis*, 8, 1-218. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11657-013-0137-0>

Tobias, J. H.; Gould, V.; Brunton, L.; Deere, K.; Rittweger, J.; Lipperts, M.; Grimm, B. (2014). Physical activity and bone: may the force be with you. *Frontiers in endocrinology*, 5, 20. <https://www.frontiersin.org/journals/endocrinology/articles/10.3389/fendo.2014.00020/full>

Tórtora, G.; Derrickson, B. (2011). Principios de anatomía y fisiología humana. Médica Panamericana.

Turner, C. H.; Robling, A. G. (2005). Mechanisms by which exercise improves bone strength. *J. Bone Miner. Metab.*, 23, 16-22.

Yamazaki, S.; Ichimura, S.; Iwamoto, J.; Takeda, T.; Toyama, Y. (2004). Effect of walking exercise on bone metabolism in postmenopausal women with osteopenia/osteoporosis. *Journal of bone and mineral metabolism*, 22, 500-508. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00774-004-0514-2#citeas>

Zuluaga Espinosa, N. A.; Alfaro Velásquez, J. M.; Balthazar González, V.; Jiménez Blanco, K. E.; Campuzano Maya, G. (2011). Vitamina D: nuevos paradigmas. *Med. lab*, 211-246. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-834780>

03.

ESTRÉS CRÓNICO

1. Introducción y contextualización

Stress (en inglés) es un término que fue aceptado por la Real Academia de la Lengua en la década del 70 del siglo XX y traducido como "estrés". Este sustantivo refiere en el campo de la medicina a una *reacción* por una situación de un individuo vivo, o de alguno de sus órganos o aparatos, que por exigir de ellos un rendimiento muy superior al normal, los pone en riesgo próximo de enfermar.

En las definiciones que propusieron originalmente autores como Seyle (1950) se concebía al fenómeno como las reacciones de defensa del organismo enfrentándose a agentes nocivos del ambiente. Consecuente con tal caracterización se propuso lo que se conoce como *Síndrome General de Adaptación* (Seyle, 1950) cuyas reacciones de defensa implicaban las glándulas pituitaria y suprarrenal.

Desde un punto de vista psicológico, lo que se trata es de reconocer y aceptar que en última instancia los estresores no son eventos de estímulo aislados. Más bien, desde una mirada ecológica, son los modos o tipos de interacción persona-ambiente los que facilitarán que se llegue a un resultado o una condición biológica particular conocida como estrés (Piña López et al., 2012).

En términos básicos es posible diferenciar dos tipos diferentes:

- **Eustrés:** se lo conoce como episodio de estrés. Prepara al organismo para enfrentar desafíos y, por lo tanto, es útil y beneficioso.
- **Distrés:** es un estado permanente de estrés. Es dañino.

Cualquier estímulo que produzca una respuesta de estrés se llama *estresor*. Un estresor puede ser casi cualquier alteración en el organismo humano: calor, frío, contaminantes ambientales, toxinas de bacterias, sangrado por heridas o cirugías, reacciones emocionales. Las respuestas pueden ser placenteras o, todo lo contrario, y varían entre personas y en las mismas personas de acuerdo con el momento. Es imposible eliminar todo el estrés de la vida cotidiana. Por ello, constantemente los mecanismos homeostáticos del organismo tratan de contrarrestar el estrés. Cuando tienen éxito, el medio interno se mantiene en su homeostasis (límites fisiológicos normales). Si el estrés es muy alto o extremo, inusual, de larga duración, los mecanismos de combate no son suficientes.

Maier & Watkins (1998) compararon respuestas orgánicas entre respuestas inmunes y respuestas al estrés. Entre los ajustes fisiológicos que ocurren en el primer caso, se incluyen: aumento en la temperatura corporal (fiebre), cambios en el metabolismo del hígado, alteraciones en las concentraciones plasmáticas de hierro, zinc y cobre, y aumento en la producción de leucocitos, entre otros.

A estos ajustes fisiológicos se suman algunos cambios conductuales, como reducción en la ingesta de agua y comida, reducción en la actividad general; y en conductas de exploración, sociales, sexuales y agresivas, aumento en la sensibilidad al dolor y hasta aumento del tiempo de sueño.

Todos esos ajustes, tanto fisiológicos como conductuales, tienen valor de supervivencia para el organismo (Dos Santos, 2007). Sin embargo, aquí radica el problema en la actualidad, en tanto existe

un desajuste entre la biología y el ambiente, como hemos venido desarrollando desde el primer Cuaderno de cátedra.

Leiva Alva y colegas (2007) exponen que el ser humano sigue conservando una respuesta al estrés específica, como una forma de defensa que hace cientos o miles de años tenía una utilidad muy concreta: enfrentar situaciones amenazantes en donde la vida estaba en riesgo. Esta respuesta fisiológica le fue útil en tiempo remotos, cuando podía ser atacado por otros animales o era víctima de fenómenos naturales e inclusive de situaciones que se presentaban en su manada. No obstante, esto ha cambiado a lo largo de la evolución humana y en la actualidad las condiciones de vida son totalmente diferentes. Sin embargo, aquella reacción fisiológica prehistórica nunca desapareció y aún sigue funcionando, solo que hoy en día con nuevos estresores como desencadenantes de la respuesta al estrés.

Desde aquí, el presente capítulo se divide en cuatro grandes temas de estudio: fisiología del sistema nervioso y endócrino general; mecanismos endócrinos del estrés, la respuesta al estrés; y por último, un apartado sobre investigación en relación con otras patologías. Finalmente, se elabora un detalle de criterios para la prescripción del ejercicio adaptado.

2. Fundamentos biológicos aplicados

Los sistemas nerviosos y endócrino actúan juntos para coordinar las funciones de los demás aparatos y sistemas orgánicos. El sistema nervioso actúa a través de impulsos nerviosos que se liberan conducidos por los axones de las neuronas, que desencadenan la liberación de mensajeros llamados *neurotransmisores*. El sistema endócrino tiene un funcionamiento similar, pero sus mensajeros se llaman *hormonas*.

Una hormona es una molécula mediadora que se libera en una parte del cuerpo, pero regula la actividad de células en otras partes. La mayoría de las hormonas pasan al líquido intersticial y después a la circulación sanguínea. La sangre circulante distribuye las hormonas en las células de todo el organismo. Por último, las hormonas, al igual que los neurotransmisores (del sistema nervioso) se unen a receptores en la superficie o el interior de las células objetivo.

Las respuestas del sistema endócrino son en líneas generales más lentas que las del sistema nervioso. Si bien algunas hormonas actúan en segundos, la mayoría requiere varios minutos o más para producir una respuesta y su influencia es más amplia, ayudando a regular todos los tipos de células del organismo. De todos modos, en algunas ocasiones ambos sistemas funcionan en conjunto. En el estudio del estrés patológico y sus respuestas en la vida contemporánea, el conocimiento fisiológico de estos sistemas resulta de crucial importancia para su comprensión y su posterior abordaje.

2.1 Control del sistema endócrino

Por un lado, las glándulas exocrinas secretan sus productos dentro de conductos que llevan las secreciones a las cavidades corporales, a la luz de un órgano o a la superficie corporal. Este grupo incluye a las glándulas sudoríparas, las sebáceas, las mucosas y las digestivas.

Por el otro, representadas en la Ilustración 7, las glándulas endócrinas secretan sus hormonas hacia el líquido intersticial circundante principalmente. Desde allí se difunden a los capilares y el flujo sanguíneo las lleva a hacia el resto del cuerpo. Se incluyen aquí: la hipófisis, la tiroides, la paratiroides, las suprarrenales y la pineal. Además, hay varios órganos y tejidos que no son clasificados exclusivamente como glándulas endócrinas, pero contienen células que secretan hormonas: el hipotálamo, el timo, el páncreas, los ovarios, los testículos, los riñones, el estómago, el hígado, el intestino delgado, la piel, el corazón, el tejido adiposo, la placenta y hasta los músculos esqueléticos. Todas estas glándulas endócrinas y células secretoras de hormonas constituyen el sistema endócrino.

2.1.1 Actividad hormonal

Si bien todas las hormonas viajan por el torrente sanguíneo hacia todo el organismo, cada una sólo funcionará en lugares específicos. Es decir, las hormonas influyen sólo sobre sus células diana a través de una unión química a proteínas específicas llamadas receptores. Los receptores son específicos de una hormona determinada. Por ejemplo, la hormona tirotrópica (TSH) se puede unir a receptores de la glándula tiroides porque ella tiene receptores de TSH, pero no podrá unirse a los ovarios porque estos no los tienen.

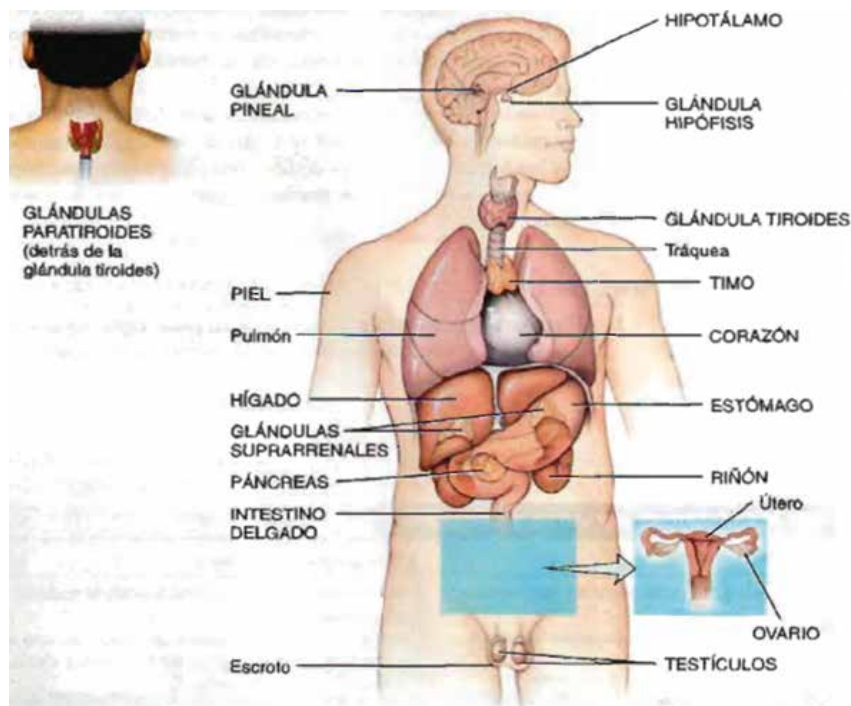


Ilustración 1. Glándulas endócrinas (Tortora y Derrickson, 2011)

Los receptores, como otras proteínas celulares, se sintetizan y destruyen constantemente. Aproximadamente, una célula diana tiene entre 2.000 y 100.000 receptores para una hormona específica. Existen dos tipos de regulación de la cantidad de receptores:

- **Regulación (negativa) por decremento (down**

regulation): si hay un exceso de hormona, el número de receptores puede decrecer. La célula diana se vuelve menos sensible a la hormona.

- **Regulación por incremento (up regulation):** cuando hay poca cantidad hormonal, el número de receptores puede aumentar. La célula diana se vuelve más sensible a la hormona.

Las hormonas pueden clasificarse en circulantes y locales. La mayoría de las hormonas endócrinas son circulantes porque viajan por la sangre hacia distintos lugares del organismo. Otras se llaman locales, porque actúan sobre la misma célula que la secretó (autócrinas) o células vecinas (parácrinas), sin ingresar a la sangre.

Química y funcionalmente se pueden clasificar también en hormonas *liposolubles* (solubles en lípidos) e *hidrosolubles* (solubles en agua):

- **Hormonas liposolubles:** esteroideas, tiroideas (T3 y T4), gas óxido nítrico (NO).
- **Hormonas hidrosolubles:** aminoácidas (catecolaminas, histamina, serotonina, melatonina), péptidas y proteicas (antidiurética, oxitocina hormona de crecimiento, insulina), eicosanoides (prostaglandinas, leucotrienos).

Las moléculas de hormonas pueden viajar libres por el plasma de la sangre (como la mayoría de las hormonas hidrosolubles) o bien unida a proteínas transportadoras (como la mayoría de las liposolubles). Dichas proteínas se sintetizan en el hígado y tienen tres funciones:

- Incrementan la solubilidad en la sangre de las hormonas liposolubles.
- Retardan la evacuación de hormonas en la orina.
- Proveen una reserva de hormonas en sangre.

Hay una fracción (0,1 al 10%) de hormonas liposolubles que no están unidas a proteínas configurando una fracción libre, que logran unirse a receptores y desencadenar respuestas. A medida que esta fracción libre disminuye, las proteínas transportadoras liberan hormonas para reponerla.

El mecanismo de acción hormonal puede describirse en líneas generales de la siguiente forma. Una misma hormona puede poner en movimiento diversas respuestas celulares. La respuesta a una hormona depende tanto de la hormona como de la célula diana. En ellas, los receptores de hormonas liposolubles están localizados internamente y de las hormonas hidrosolubles, en la membrana plasmática. Los mecanismos de acción son diferentes en cada grupo de hormonas:

- **Acción de hormonas liposolubles (Ilustración 7):** las hormonas viajan por la sangre y atraviesan el líquido intersticial y la membrana celular hasta llegar al núcleo. Si es una célula diana, la hormona se une a un receptor formando el complejo hormona-receptor que activa o inactiva genes específicos de ADN. Se produce entonces la transcripción. Se forma un ARN mensajero (ARNm) que abandona el núcleo y entra al citosol. Allí dirige la síntesis de una nueva proteína en los ribosomas. La proteína nueva produce la respuesta típica de la hormona.

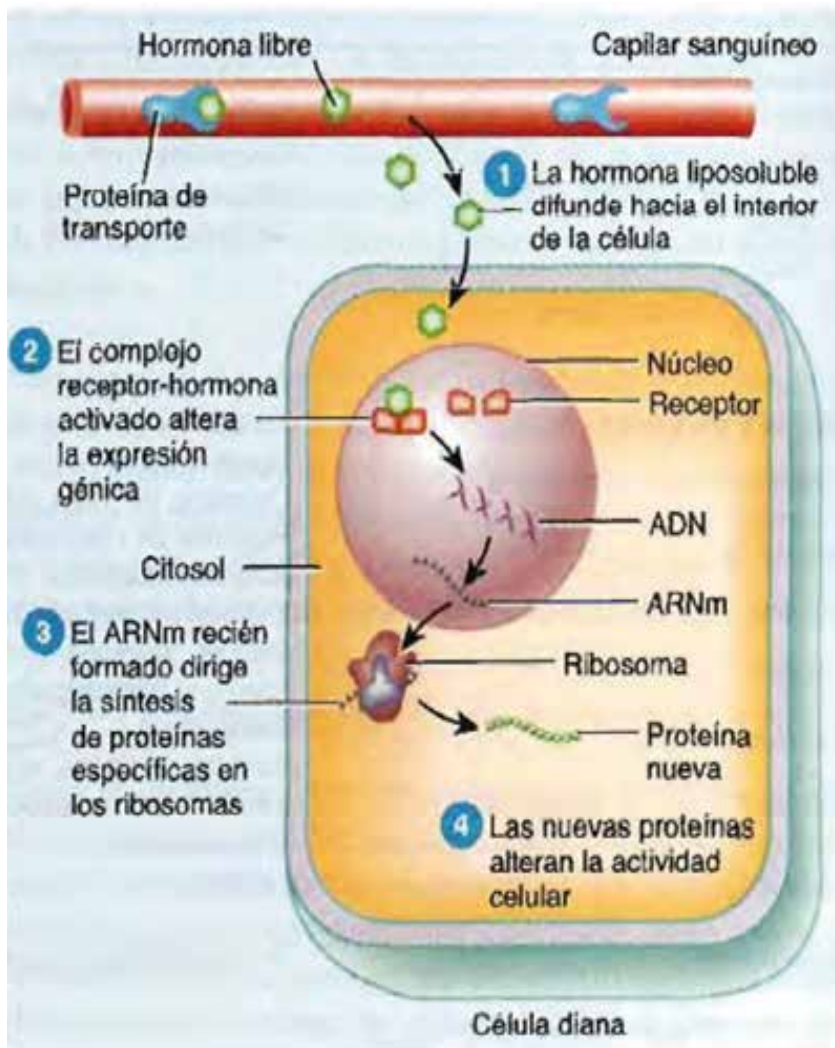


Ilustración 2. Mecanismo de acción de una hormona liposoluble

- Acción de hormonas hidrosolubles (Ilustración 9):** estas hormonas no pueden atravesar la membrana celular y, por lo tanto, se unen a receptores que protruyen la superficie celular. Al unirse a él, la hormona actúa como primer mensajero, que causa la producción de un segundo mensajero en el interior celular, donde tienen lugar las respuestas específicas de la hormona. De esta forma, los pasos que siguen el proceso de describen a continuación.

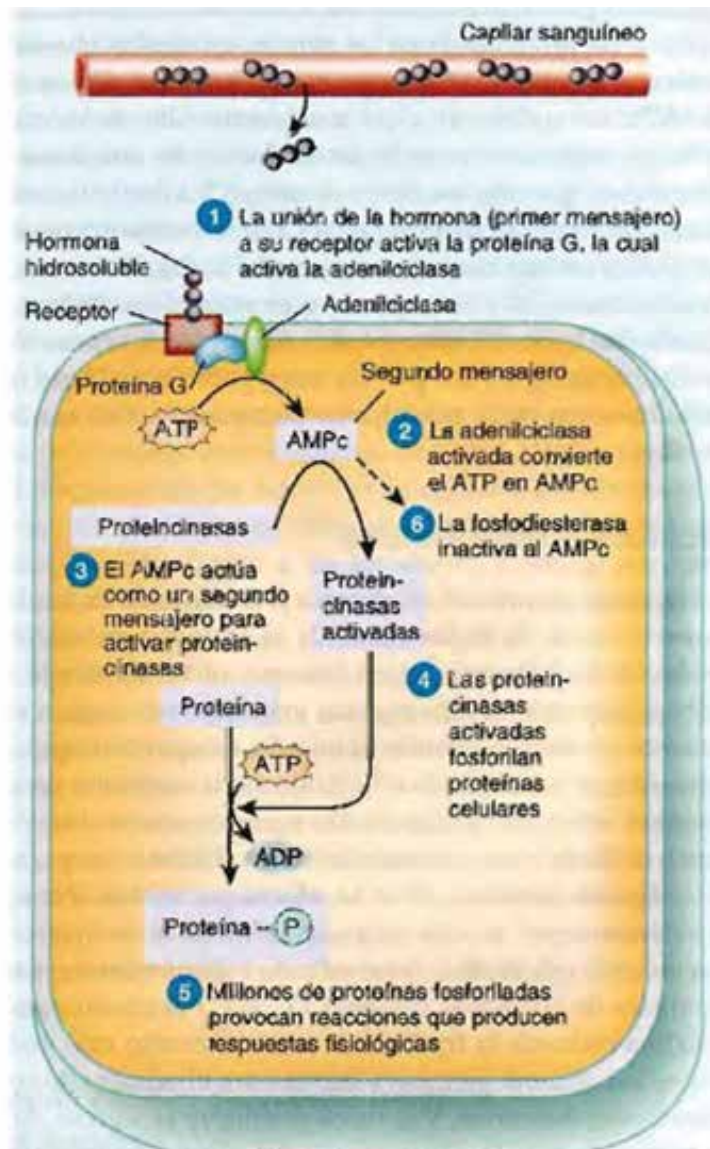


Ilustración 3. Mecanismo de acción de una hormona hidrosoluble.

La hormona hidrosoluble viaja por la sangre y se difunde por el líquido intersticial hasta la membrana celular, donde se une a su receptor específico. Este complejo hormona-receptor activa una proteína de membrana llamada proteína G. La proteína G activa, a su vez, a la adenilciclase. Ella convierte el ATP en AMP cíclico (AMPc), que es el segundo mensajero. El AMPc activa una o diversas proteinquinas que desencadenan respuestas específicas.

2.1.2 Eje hipotálamo, hipófisis, suprarrenales

El hipotálamo es una pequeña región del cerebro debajo del tálamo y es la principal conexión entre sistema nervioso y endócrino. Recibe aferencias desde múltiples lugares como el cerebro, el tálamo, el sistema activador reticular, la retina y los órganos internos. Además,

experiencias dolorosas, estresantes y emocionales causan grandes cambios en el hipotálamo. El hipotálamo controla el sistema nervioso autónomo y la termorregulación, la sed, el hambre, la conducta sexual y las reacciones de defensa como el miedo y la ira.

El hipotálamo secreta al menos nueve hormonas distintas. Pero además, funciona como director de la hipófisis o glándula pituitaria que secreta otras siete hormonas. Juntas, estas dieciséis hormonas regulan todos los aspectos del desarrollo, el metabolismo y la homeostasis.

La hipófisis se une al hipotálamo mediante el tallo y mide aproximadamente 1,5 cm. Tiene dos lóbulos anatómica y funcionalmente separados. El lóbulo posterior se conoce como neurohipófisis. El lóbulo anterior o adenohipófisis representa casi el 75% de la glándula. La adenohipófisis secreta hormonas por la estimulación de hormonas liberadoras o inhibidoras que llegan desde el hipotálamo por medio del sistema porta hipofisiario. Este sistema permite la circulación de sangre directa entre estas dos locaciones sin pasar por la circulación general.

Por otro lado, las glándulas suprarrenales se encuentran sobre los riñones y alcanzan una masa de aproximadamente 5 gramos. Se diferencian estructural y funcionalmente en dos regiones:

- **Corteza suprarrenal (aproximadamente 80-90% de la glándula):** secretan diferentes hormonas llamadas mineralocorticoides, glucocorticoides y andrógenos.
- **Médula suprarrenal:** produce tres hormonas catecolaminas (noradrenalina, adrenalina y dopamina).

Los glucocorticoides regulan el metabolismo y la resistencia al estrés. Estos son el *cortisol (hidrocortisona)*, la *corticoesterona* y la *cortisona*. El primero es el más abundante y los efectos que producen en el organismo son: proteólisis, neoglucogénesis, lipólisis, resistencia al estrés, depresión de las respuestas del sistema inmune, estimulación de la producción de adrenalina.

3. Respuesta al estrés: mecanismos endócrinos y reflejo de alarma

Cuando un evento estresor ocurre se desencadena una cascada de procesos neuroendocrinos en el organismo. Hans Selye denominó en la década del 40 del siglo XX a la respuesta al estrés como *Síndrome General de adaptación (SGA)*, refiriéndose a los cambios controlados principalmente por el hipotálamo que permiten esta respuesta. En la Ilustración 10 se encuentra un esquema detallado del proceso que se describirá a continuación. En tal caso, la respuesta ante el estrés, así como la inmune, muestran diversos modos de operación como reflejo de alarma: *la respuesta de lucha o huida, su resistencia y la recuperación del organismo.*

Cuando gobierna la respuesta de lucha o huida, se involucra la activación del eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal, que es el centro del sistema de estrés. La ocurrencia del evento estresor hace que la hipófisis y un área del hipotálamo (núcleo hipotalámico paraventricular) liberen vasopresina y la hormona liberadora de corticotropina

(CRH). La primera hormona, también conocida como hormona anti-diurética, actúa en la regulación de agua, sal y glucosa en la sangre. La segunda afecta la hipófisis, estimulando la producción y liberación de varias sustancias, entre ellas, la hormona adrenocorticotrópica (ACTH), que llega a las glándulas suprarrenales y estimula la producción de corticoides, tales como el cortisol y la corticosterona. Estas dos hormonas están relacionadas a la metabolización de grasas, proteínas y carbohidratos y a la supresión de la respuesta inmune.

A modo de síntesis, entonces, este primer paso:

- Es iniciado por impulsos nerviosos desde el hipotálamo hacia la división simpática del sistema nervioso autónomo (SNA), incluida la médula suprarrenal.
- Posibilita la movilización rápida de reservas del cuerpo para la actividad física inmediata. Se transporta gran cantidad de glucosa y oxígeno a los órganos que son más activos a la hora de rechazar el peligro: el cerebro (atención), los músculos esqueléticos (movimiento) y el corazón (flujo sanguíneo).
- Otras funciones que no son esenciales como la digestiva, urinaria y reproductora, se inhiben.
- La falta de flujo sanguíneo a los riñones promueve la liberación de renina, que pone en acción el sistema renina-angiotensina-aldosterona. La aldosterona hace que los riñones retengan sodio, lo que lleva a retener agua y elevar la presión de sangre. La retención de agua ayuda también a mantener el líquido corporal en caso de sangrado grave.

Las hormonas principales involucradas en este eje son:

- **CRH:** estimula la adenohipófisis a secretar ACTH (Corticotropina), que a su vez estimula la corteza suprarrenal a aumentar la liberación de cortisol. El cortisol estimula la neoglucogénesis en el hígado, la lipólisis y la proteólisis. Los tejidos pueden usar glucosa, los ácidos grasos y los aminoácidos resultantes para producir ATP o para reparar células dañadas. El cortisol también produce inflamación.
- **GHRH:** estimula la liberación de GH (hormona de crecimiento) desde la adenohipófisis. Se estimula entonces la lipólisis y neoglucogénesis en el hígado.
- **TRH:** estimula la adenohipófisis a liberar TSH (tirotropina) que promueve la secreción de hormonas tiroideas que estimulan el aumento del uso de glucosa para la producción de ATP. La acción combinada de GH y TSH proveen ATP adicional a las células metabólicamente activas de todo el cuerpo.

Además de esas hormonas, la exposición al estrés afecta también la liberación de otras sustancias: adrenalina, noradrenalina, acetilcolina y dopamina, que tienen funciones hormonales y de neurotransmisión. Las dos primeras son hormonas asociadas al funcionamiento de los sistemas nerviosos simpáticos y parasimpáticos. Las dos últimas son neurotransmisores que regulan la transmisión química del

impulso entre las células del sistema nervioso y afectan numerosas funciones en el organismo.

El segundo modo de operación de la respuesta ante el estrés es más lento que el primero y promueve la resistencia, la adaptación y la recuperación del organismo por medio de la liberación de urocortinas II y III (De Kloet et al., 2005). Estas proteínas tienen propiedades ansiolíticas (antidepresivas), efectos cardiovasculares (vasodilatación, menor resistencia vascular periférica y aumento del gasto cardíaco), metabólicos (suprimir la alimentación y regular los niveles de glucosa en sangre) y efectos anti-atrofia muscular.

En síntesis, esta segunda reacción de resistencia le ayuda al organismo a continuar luchando contra el estresor mucho después del cese del primer paso. El proceso de adaptación y recuperación implica, de alguna manera, haber "sobrevivido" al episodio que causa estrés y regresar a la normalidad. Este segundo paso se inicia en gran parte por hormonas liberadoras hipotalámicas y es una respuesta de más larga duración.

No obstante, y desafortunadamente, con el mantenimiento de la situación estresora, en algunas ocasiones la reacción de resistencia no logra combatir al estresor y el cuerpo pasa a otro estado: el agotamiento. En esta etapa, las reservas corporales ya no pueden sostener el esfuerzo necesario para hacer frente al estrés. En tal caso, las mismas hormonas, cuya accionar sería adaptativo y positivo en un inicio, terminan por provocar alteraciones muy nocivas, y posiblemente desencadenar diversos problemas de salud.

Por ejemplo, Saez y colegas (2005) publicaron que las hormonas del estrés se asocian con la tasa de crecimiento de tumores. Los autores utilizaron ratas hembra que fueron inyectadas con una sustancia cancerígena y sometidas a una situación estresora (nado vigoroso durante cinco días a la semana por 30 minutos diarios) y condiciones control (inmersión en agua sin ejercicio). El estrés no afectó la cantidad de tumores desarrollados en cada grupo, pero sí su volumen, dado que inicialmente eran del mismo tamaño en ambos grupos. Además, registraron que las ratas estresadas tenían niveles más altos de adrenalina y prolactina en el plasma sanguíneo, lo que sugiere que el estrés aumenta el nivel de estas hormonas que a su vez, influyen en la tasa de crecimiento de los tumores.

Además, los niveles supra normales de cortisol también están relacionados a la acumulación de grasa visceral y a la resistencia de los tejidos a la insulina, lo que tiene un vínculo importante con el desarrollo de diabetes tipo II (Rabin, citado en Dos Santos, 2007). Sumado a ello, las exposiciones prolongadas de las diferentes hormonas involucradas en las reacciones iniciales provocan desgaste muscular, supresión del sistema inmune, úlceras en el tubo digestivo, entre otros trastornos de carácter cardio metabólicos, respiratorios y neurológicos.

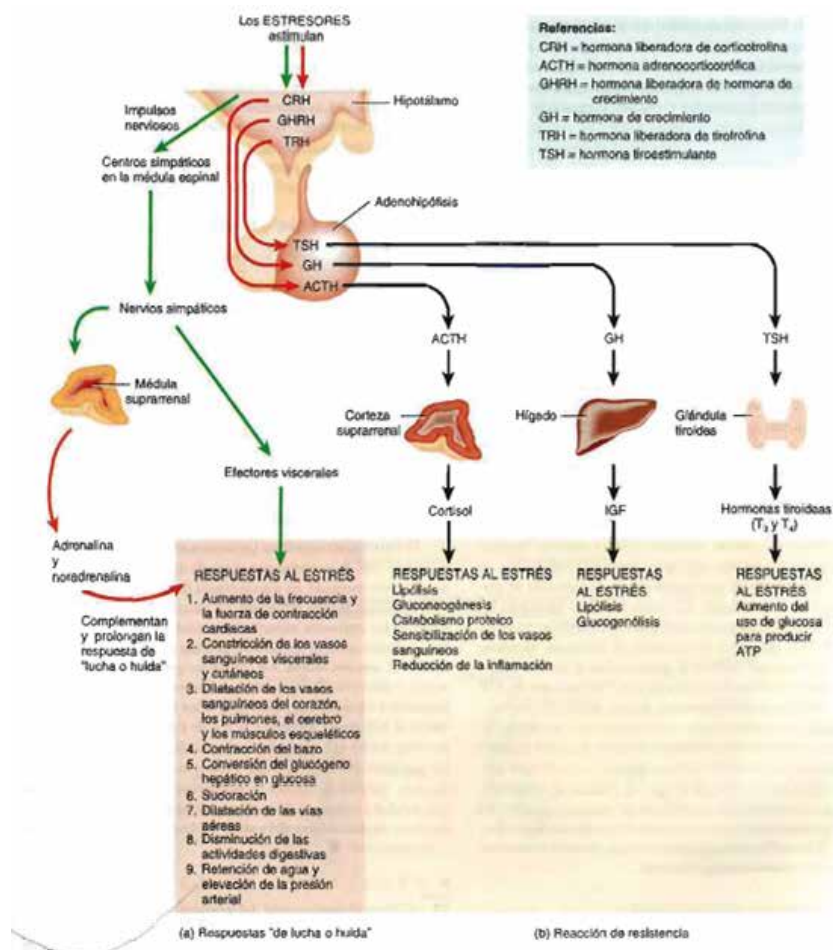


Ilustración 4. Respuesta a los estresores durante la respuesta al estrés (Torora y Derrickson, 2011).

4. Resultados de investigación sobre estrés y enfermedad

A pesar de que el papel exacto del estrés en las enfermedades humanas no se conoce, está claro que puede desencadenar múltiples trastornos al inhibir la acción del sistema inmune y sus vínculos con alteraciones en el sistema cardiovascular, respiratorio, musculares y otros. Estos trastornos pueden ser gastritis, síndrome de colon irritable, hipertensión, asma, artritis reumatoidea, migrañas, ansiedad, depresión, sarcopenia, y posiblemente muchos otros. En conclusión, las personas en situación de estrés crónico tienen más posibilidades de desarrollar enfermedades, disminuir su calidad de vida y morir prematuramente.

En términos generales, el estudio experimental del estrés no ha cambiado mucho desde sus orígenes hasta hoy. Habitualmente se usan descargas eléctricas, inyecciones de drogas, ejercicio forzado o frío, como inductores de estrés en ratas u otras especies animales. Además, también se han usado la inmovilización, la separación materna

o simplemente el manoseo del animal, entre otros. Con participantes humanos, se han evaluado situaciones como hablar en público o realizar cuentas aritméticas mentalmente (Dos Santos, 2007).

En la actualidad está siendo foco de observación la interleucina-1, una sustancia secretada por los macrófagos del sistema inmunitario que parecería ser un nexo importante entre el estrés y la inmunidad (papel importante al estimular la secreción de ACTH). Como se explicó, el cortisol permite resistir al estrés y la inflamación, y suprime la producción de interleucina-1. Este sistema de retroalimentación negativa mantiene la respuesta inmunitaria bajo control una vez que cumplió su objetivo. El mundo académico interesado en el tema se propone descubrir cómo este sistema se altera y, al mismo tiempo, como volver a ordenarlo. A continuación, se describen algunos datos de investigación sobre temas actuales de interés en relación con el tema.

4.1 Estrés y sistema inmune

El sistema inmunitario es una compleja red de procesos que actúan en la identificación y destrucción de posibles agentes nocivos no reconocidos como parte de este (Dos Santos, 2007). La respuesta inmune ocurre en dos bloques de resistencia y todo empieza con la detección del agente nocivo (patógeno):

- **Respuesta inmune innata o no específica:** comprende la acción de un conjunto de células que reconocen y responden a los patógenos de manera genérica y no confieren inmunidad a largo plazo. Las funciones son reclutar otras células inmunes para trasladarlas al sitio de la infección por medio de mediadores químicos llamados citocinas, remover sustancias extrañas presentes en los órganos y tejidos, y activar el segundo bloque de la respuesta inmune.
Esta respuesta también ocurre a nivel celular, cuando los patógenos son identificados al interior de una célula infectada, como a nivel humoral, cuando los patógenos son identificados directamente en el plasma sanguíneo. Se involucran un grupo de células llamadas *leucocitos o glóbulos blancos*, tales como:
 - **Macrófagos:** realizan fagocitosis, proceso mediante el cual la célula extiende su membrana alrededor de otra célula (virus o bacterias) y la degrada por medio de enzimas y ácidos.
 - **Células NK:** reconocen las células infectadas por un virus y las destruyen.
 - **Leucocitos activados en el proceso de infección:** sintetizan y liberan una serie de sustancias que ayudan a combatir al patógeno, tales como el óxido nítrico y citocinas tales como interleucina-1, interleucina-6 y TNF α , que causan la inflamación del lugar afectado y promueven la comunicación entre las células.
- **Respuesta inmune adaptativa o específica:** es específica al patógeno, lo que puede conferir al organismo inmunidad contra este agente a través de partes procesadas de los patógenos llamados antígenos.

Esta respuesta también incluye la formación de *anticuerpos*, que son tipos de proteínas ligadas al patógeno que facilitan el hallazgo de este por otras células. Algunas permanecen activas por años, lo que agiliza la respuesta inmune ante una nueva infección ocasionada por ese mismo patógeno.

En ambas respuestas, las células producidas son muy importantes para la defensa del organismo contra invasores y, por tanto, son producidas en grandes cantidades durante un proceso de infección. Sin embargo, al mismo tiempo, en grandes cantidades pueden dañar a las células del propio organismo, como en el caso de las enfermedades autoinmunes. Por este motivo, existen otros mecanismos cuya función es regular la acción del sistema inmunitario, como ciertas sustancias que inhiben la acción de las citocinas.

Hay evidencia, por ejemplo, que las hormonas producidas por el eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal serían inmunomoduladores. Sus efectos radican en: aumento del catabolismo y disminución de la producción de anticuerpos, y de la producción y actividad de células T y NK (Ader et al., 1990).

Recientemente, esta teoría ha recibido amplio apoyo empírico, como por ejemplo en el meta análisis que realizaron Segerstrom y Miller (2004) sobre los efectos de estrés en la inmunidad en humanos, en el que encontraron que estresores breves y naturalmente esperados, tales como un examen, provocan disminución de la actividad inmune celular, pero aumento de la actividad inmune humoral; mientras que estresores crónicos, como una incapacidad física permanente, promueven la disminución tanto de la respuesta celular como de la humoral.

4.2 Estrés y salud en la infancia

Por mucho tiempo a la infancia se la consideró una etapa en la que rara vez se presentaban alteraciones emocionales. Habitualmente se piensa que los niños no tienen responsabilidades y que solo se trata de jugar, por lo que no existiría estrés en dicha población. Sin embargo, las publicaciones más actuales evidencian que el estrés que viven los niños es un factor que influye en su desarrollo biopsicosocial (Valencia Ortiz, 2007).

Los aspectos sociales vinculados con las respuestas de estrés se pueden estudiar identificando tres situaciones generadoras:

- **Sucesos vitales:** cambios agudos que requieren ajustes drásticos en un corto tiempo. Por ejemplo, que una familia espere a su segundo hijo.
- **Estrés relacionado con el rol:** demandas persistentes que requieren de reajustes de tiempo prolongado, como en el caso del estrés crónico. Por ejemplo, ante el suceso vital ejemplificado antes, cambia el papel de la pareja y la relación con el primer hijo.
- **Dificultades cotidianas:** eventos menores ante los cuales se requiere de reajustes diarios, asociados con estrés cotidiano. Siguiendo el ejemplo, la situación nombrada altera las rutinas cotidianas de toda la familia. Además, sucesos negativos cotidianos en la familia, como dificultades económicas y falta de supervisión de

los padres, representan otros ejemplos importantes de eventos estresores en la infancia.

En cuanto a desarrollo infantil, algunos autores proponen que en la primera infancia, uno de los principales agentes de estrés es el ingreso a la escolaridad o la vivencia de situaciones extrañas. Conforme se evoluciona, se presenta el estrés como consecuencia del aumento de las exigencias académicas (Kouzma y Kennedy, 2004).

En la adolescencia, los factores de estrés están más asociados a aspectos sociales: relaciones amorosas, necesidad de tener éxito en particular con los pares, las relaciones con iguales. Además de estos estresores, actualmente se suma el papel de fenómenos como el bullying en la vida de los niños y adolescentes (Castillo, 2010).

Todas estas situaciones afectan la salud de niños y adolescentes en situación de estrés prolongado. Las consecuencias se asocian con alteraciones en el crecimiento, la vulnerabilidad biológica, la plasticidad cerebral, el papel del sistema inmune, la susceptibilidad y forma de reaccionar ante situaciones estresantes, el desarrollo de ansiedad y la depresión en la adultez.

4.3 Estrés, cognición y obesidad

El estrés continuo y crónico tiene dos efectos importantes en los niveles y funcionamiento hormonal:

- La preparación del organismo para enfrentar una batalla de "vida o muerte". Aquí aumentan los niveles basales de glucocorticoides y catecolaminas, lo que incrementa los niveles de frecuencia cardíaca y la presión arterial, así como de triglicéridos, colesterol y ácidos grasos.
- Aumento en la reactividad para nuevas formas de estrés, o sea, el sujeto comenzará a reaccionar a situaciones o eventos que anteriormente no le provocaban una respuesta de alarma o activación. Este fenómeno es conocido como facilitación o sensibilización.
- Además, el estrés crónico puede prolongar la respuesta hormonal del estrés, de tal manera que puede persistir incluso después de la desaparición del evento estresante.

La carga alostática (CA) se ha propuesto como un marco general para comprender los efectos acumulativos del estrés a lo largo de la vida de las personas. Seeman y colaboradores (1995) registraron que los individuos con cargas alostáticas altas tenían más probabilidades de tener enfermedades cardiovasculares y deterioro en el funcionamiento físico y cognitivo.

Por otro lado, Lupien y colegas (1998) exponen que los niveles de cortisol basal después de varios años se correlacionaron negativamente con el volumen y rendimiento cognitivo del hipocampo, zona relacionada con las emociones y la memoria. Este desequilibrio podría provocar una dieta ingente de carbohidratos, incitada por la necesidad del organismo de utilizar más energía para enfrentar la demanda excesiva ante el estrés y también por una respuesta de ahorro energético por la cual el alimento ingerido en dichas condiciones será almacenado en forma de grasa de reserva.

Además, las concentraciones sostenidas de glucocorticoides pueden también hacer que suban las actividades compulsivas placenteras,

tales como ingestión de sacarosa, grasa y drogas, lo que puede colaborar a engrosar los depósitos de grasa abdominal.

También hay que tener en cuenta cómo en este tipo de situaciones aparece la sensación de disipenia, fatiga y cansancio, que puede ser un limitante extra para participar en actividades físicas y deportivas, alterando el equilibrio entre la ingesta y el gasto energético.

4.4 Estrés post traumático

El *posttraumatic stress disorder (PTSD)* es un trastorno de ansiedad que se puede desarrollar en un individuo que ha experimentado, ha vivido o ha conocido un suceso físico o psicológico muy estresante. La causa inmediata parece ser el estresor específico del suceso, como podrían ser episodios de terrorismo, toma de rehenes, encarcelamiento, servicio militar, accidentes, tortura, abusos, violencia, catástrofes naturales, entre otros.

Los síntomas implican revivir el hecho por medio de sueños o reviviscencias, evitar actividades, personas o lugares que tengan alguna relación con la situación, insomnio, irritabilidad, pérdida de motivación, interés, concentración. El tratamiento médico es un eje tradicional de su abordaje, aunque el ejercicio físico adaptado podría tener un papel relevante en su tratamiento (Tortora y Derrickson, 2011).

5. Herramientas de ejercicio físico adaptado

Es necesario considerar los casos de forma particular, y ante situaciones específicas la primera autorización será del personal médico. En la mayoría de los sujetos, un plan de ejercicio adaptado puede ser el abordaje con menos costos y mayores beneficios a largo plazo. El objetivo principal del ejercicio adaptado será proveer soluciones desde la experiencia motriz que disminuyan las consecuencias generales del estrés crónico:

- Envejecimiento físico, cansancio, fatiga.
- Irritabilidad y aumento del tono muscular.
- Elevación de la presión arterial.

En primer lugar, es necesario crear ambientes de trabajo relacionados con emociones positivas: risas, felicidad, amor, pasión, entusiasmo, motivación, entre otras. La música y un optimista contexto podrían potenciar los efectos. Considerado esto, es necesario concretar una práctica de actividad que realmente sea del agrado de la persona, con el afán de potenciar la liberación de *endorfinas* durante su práctica.

Una situación que debe abordarse con cautela es la excesiva aplicación de evaluaciones o mediciones, la comparación o la constatación de parámetros de rendimiento y el contante incentivo por el progreso. En algunas ocasiones estas opciones que pueden llegar a considerarse fantásticas en el público general y deportivo, pueden tener un resultado más nocivo que beneficioso. De todos modos, todas estas consideraciones requieren el análisis de cada persona por parte del profesional a cargo y, sin lugar a dudas, no pueden extrapolarse criterios generales de abordaje.

Sin embargo, sí es posible mencionar algunas herramientas útiles para el cumplimiento de los objetivos planteados:

- **Entrenamiento postural y de la flexibilidad:** el dolor lumbar y cervical crónico, y persistente, es un denominador común en esta población. Por ello, diferentes propuestas de pandiculaciones y estiramientos destinados a la relajación de musculatura retraída en la región lumbo pélvica y dorso escapular serán necesarios. Además, es posible y muy útil el uso de ejercicios respiratorios, como los destinados a la educación respiratoria y al fortalecimiento de la mecánica inhalatoria e inhalatoria que vimos en el capítulo previo. Además, muchas tensiones psicósomáticas que se expresan en zonas específicas como columna cervical y lumbar, pueden ser abordadas con el uso masajeadores miofasciales.
- **Entrenamiento de la fuerza y la resistencia:** se recomienda el inicio con bajas intensidad y volúmenes, para evitar situaciones de alto esfuerzo que resulten displacenteras. El uso de circuitos y diferentes medios como bicicletas, cintas, elípticos u otros pueden generar variedad y mejor sensación de trabajo, al alternar grupos musculares entre estaciones. En todos los casos, debe el entrenador calmar sus expectativas de progreso y sobrecarga progresiva, que si bien en otros contextos son determinantes, en estos casos tienden a generar dificultades, sensación de fracaso o impotencia por el “no poder”.
- **Sesiones o “Píldoras” de naturaleza:** a nivel clínico se están empezando a recetar “sesiones” o “píldoras” de naturaleza para reducir el estrés. Hunter y colegas (2019) se propusieron evaluar qué tiempo es necesario para obtener reducciones en los niveles plasmáticos de cortisol. Para ello, durante 8 semanas, 36 personas participaron de un trabajo cuya consigna fue pasar al menos 10 minutos en contacto con la naturaleza 3 veces a la semana. Teniendo en cuenta que el cortisol se eleva durante la mañana y disminuye cerca de un 10%/hora durante el día, los resultados de este estudio demostraron que 20-30 minutos de naturaleza reducen casi un 20% adicional los niveles de cortisol a la caída fisiológica. Por tal razón, la prescripción de ejercicio en ambientes naturales puede ser una situación excelente para combatir los efectos del estrés crónico.

Final

A lo largo de este último capítulo se abordó el concepto de estrés y su impacto fisiológico, haciendo foco en la conexión entre el sistema nervioso y el sistema hormonal como ejes centrales de la respuesta del organismo frente a los múltiples estímulos ambientales. Se explicó cómo esta respuesta, adaptativa en el corto plazo, puede volverse disfuncional y perjudicial para la salud cuando se mantiene de forma

crónica, dando lugar a lo que se conoce como estrés. Su estudio resulta clave en el contexto actual, especialmente, en el marco del análisis del estilo de vida moderno.

Por esta razón, es fundamental que los futuros licenciados en Ciencias del Entrenamiento comprendan su relevancia, ya que su rol profesional los encuentra muchas veces para acompañar situaciones donde el estrés esté presente.

Este trabajo ha intentado aportar una pequeña base científica para comprender mejor este fenómeno, reconociendo que han quedado numerosos aspectos por conocer, pero con la seguridad de que este primer acercamiento puede constituir un punto de partida valioso para seguir profundizando en la temática.

Bibliografía

- Ader, R.; Felten, D.; Cohen, N. (1990). Interactions Between the Brain and the Immune System. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 30(1), 561–602. <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.pa.30.040190.003021>
- Castillo, E. A. (2010). Estudio descriptivo de las estrategias de afrontamiento del bullying en el profesorado mexicano. *Electronic Journal of Research in Education & Psychology*, 8(1), 353-372. http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/868/Art_20_426.pdf?sequence=1
- De Kloet; E. R.; Joëls, M.; Holsboer, F. (2005). Stress and the brain: from adaptation to disease. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(6), 463–475. <https://www.nature.com/articles/nrn1683>
- Dos Santos, C. V. (2007). Investigación básica sobre estrés y sistema inmunitario. En Galán Cuevas, S.; Camacho Gutiérrez, E. J. *Estrés y Salud. Investigación básica y aplicada. Manual Moderno.*
- Hunter, M. R.; Gillespie, B. W.; Chen, S. Y. P. (2019). Urban nature experiences reduce stress in the context of daily life based on salivary biomarkers. *Frontiers in psychology*, 10, 722. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.00722/full?utm_source=fwebandutm_medium=nblogandutm_campaign=ba-sci-fpsyg-nature-pill
- Kouzma, N. M.; Kennedy, G. A. (2004). Self-Reported Sources of Stress in Senior High School Students. *Psychological Reports*, 94(1), 314–316. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.2466/pr0.94.1.314-316>
- Leija Alva, G.; Aguilera Sosa, V. ; Rodríguez Choreño, J. D. (2007). Relación entre estrés crónico, obesidad y trastorno de ingestión compulsiva. En Galán Cuevas, S. y Camacho Gutiérrez, E. J. *Estrés y Salud. Investigación básica y aplicada. Manual Moderno.*
- Lupien, S. J.; de Leon, M.; de Santi, S.; Convit, A.; Tarshish, C.; Nair, N. P. V.; Meaney, M. J. (1998). Cortisol levels during human aging predict hippocampal atrophy and memory deficits. *Nature Neuroscience*, 1(1). https://www.nature.com/articles/nn0598_69
- Maier, S. F.; Watkins, L. R. (1998). Cytokines for psychologists: Implications of bidirectional immune-to-brain communication for understanding behavior, mood, and cognition. *Psychological Review*, 105(1), 83–107. <https://psycnet.apa.org/record/1997-42747-004>
- Piña López, J. A.; Ybarra Sagarduy, J. L.; Fierros, L. E. (2012). La conceptualización del fenómeno estrés en psicología y salud: su abordaje a la luz de un modelo de adhesión. En Galán Cuevas, S.; Camacho Gutiérrez, E. J. *Estrés y Salud. Investigación básica y aplicada. Manual Moderno.*
- Seeman, T. E.; Singer, B.; Charpentier, P. (1995). Gender differences in patterns of HPA axis response to challenge: Macarthur studies of

successful aging. *Psychoneuroendocrinology*, 20(7), 711–725. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306453095000240>

Selye, H. (1950). Stress and the General Adaptation Syndrome. *BMJ*, 1(4667), 1383–1392. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2038162>.

Segerstrom, S. C.; Miller, G. E. (2004). Psychological Stress and the Human Immune System: A Meta-Analytic Study of 30 Years of Inquiry. *Psychological Bulletin*, 130(4), 601–630. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15250815/>

Tortora, G.; Derrickson, B. (2011). *Principios de anatomía y fisiología*. Medica Panamericana.

Valencia Ortiz, A. I. (2007). Estrés y salud en la infancia: de las enfermedades crónicas al bienestar integral. En Galán Cuevas, S. y Camacho Gutiérrez, E. J. *Estrés y Salud. Investigación básica y aplicada. Manual Moderno*.

* UNRaf
Ediciones

