

TOMO I

ELEMENTOS BÁSICOS DE LA REHABILITACIÓN DEPORTIVA

UNA MIRADA MULTIDISCIPLINARIA

FUNDAMENTOS DE LA SALUD FÍSICA
Y LA ACTIVIDAD DEPORTIVA



VIGILADA
MINEDUCACIÓN

PEDRO ANTONIO CALERO SAA
EDITOR CIENTÍFICO



EDITORIAL



Cita este libro / Cite this book:

Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria*. Tomo I: fundamentos de la salud física y la actividad deportiva. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. <https://doi.org/10.35985/9786287914155>

Palabras Clave / Keywords:

Conducta Sedentaria, Actividad Física, Alfabetización en Salud, Medicina deportiva.
Sedentary Behavior, Physical activity, Health Literacy, Sports Medicine.

Contenido relacionado:

<https://investigaciones.usc.edu.co/>

TOMO I

ELEMENTOS BÁSICOS DE LA REHABILITACIÓN DEPORTIVA

UNA MIRADA MULTIDISCIPLINARIA

**FUNDAMENTOS DE LA SALUD FÍSICA
Y LA ACTIVIDAD DEPORTIVA**

*Basic Elements of Sports Rehabilitation:
A Multidisciplinary Perspective. Volume I: Foundations
of Physical Health and Sports Activity*

Pedro Antonio Calero Saa

Editor científico



EDITORIAL

Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo I: fundamentos de la salud física y la actividad deportiva / Pedro Antonio Calero Saa, José Armando Vidarte Claros, Brayan Esneider Patiño Palma y otros. [Autores]- Cali: Universidad Santiago de Cali, 2ª Edición, digital. Sello Editorial. 2026.

398 páginas; Tablas; Figuras; Imágenes; 24 cm
Incluye Referencias bibliográficas

ISBN Digital: 978-628-7914-15-5

1. Un viaje integral por la fisioterapia deportiva y la salud física. 2. Moverse, entrenar y competir. 3. La actividad física y sus tendencias. 4. Alfabetización física y sus procesos vinculantes. 5. Medicina Deportiva. 6. Bases teóricas y retos de la fisioterapia deportiva. 7. El músculo. 8. Hueso. 9. El tejido conectivo. 1. Pedro Antonio Calero Saa 2. José Armando Vidarte Claros. 3. Brayan Esneider Patiño Palma. Fisioterapia. Universidad Santiago de Cali. Facultad de Salud.

SCDD 617.1027 /C149

Co-CaUSC
IHM/ 2026



Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo I: fundamentos de la salud física y la actividad deportiva

© Universidad Santiago de Cali

© **Editor científico:** Pedro Antonio Calero Saa

© **Autores:** Pedro Antonio Calero Saa, José Armando Vidarte Claros, Brayan Esneider Patiño Palma, Luis Piragauta Ardila, Catalina Piraquive Fandiño, Andrés Felipe Porto, Elisa Andrea Cobo Mejía, Jennifer Jaramillo Losada, Álvaro Santiago Solarte Rosero, Lina Alejandra Sandoval y Paula Milena Hernández

2.ª Edición, digital
Cali, Colombia - 2026

Fondo Editorial / Publishing Fund

Carlos Andrés Pérez Galindo
Rector

Anisbed Naranjo Rojas
Directora General de Investigaciones

Comité Editorial / Editorial Board

Anisbed Naranjo Rojas
Odín Avila Rojas
Doris Lilia Andrade
Edgar Francisco Arcos
Florencio Arias
Jonathan Pelegrín
Héctor Cuevas Arenas
Liseth Suarez Osorio

Proceso de arbitraje doble ciego / "Double blind" peer-review

Recepción / Submission

Junio (June) de 2025

Evaluación de contenidos / Peer-review outcome

Febrero (February) de 2026

Correcciones de autor / Improved version submission

Marzo (March) de 2026

Aprobación / Acceptance

Abril (April) de 2026



La editorial de la Universidad Santiago de Cali se adhiere a la filosofía de acceso abierto. Este libro está licenciado bajo los términos de la Atribución 4.0 de Creative Commons (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso, el intercambio, adaptación, distribución y reproducción en cualquier medio o formato, siempre y cuando se dé crédito al autor o autores originales y a la fuente <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Para Ian Sebastián

“Si he visto más lejos ha sido por alzarme en hombros de gigantes.”

—Isaac Newton

Contenido

Prólogo.....	13
Prefacio.....	15
Un viaje integral por la fisioterapia deportiva y la salud física a modo de introducción	17
<i>Capítulo 1</i>	
Moverse, entrenar y competir: las tres dimensiones de la salud física	21
Pedro Antonio Calero Saa. Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia	
<i>Capítulo 2</i>	
La actividad física y sus tendencias: salud y terapéutica, educación y cultura, y entrenamiento deportivo	83
José Armando Vidarte Claros. Universidad Autónoma de Manizales. Colombia	
<i>Capítulo 3</i>	
Alfabetización física y sus procesos vinculantes.....	109
José Armando Vidarte Claros. Universidad Autónoma de Manizales. Colombia	
Brayan Esneider Patiño Palma. Fundación Universitaria del Área Andina. Pereira, Colombia	
<i>Capítulo 4</i>	
Medicina deportiva: contexto, retos y perspectivas.....	127
Luis Piragauta Ardila. Universidad de Boyacá. Tunja, Colombia	
Catalina Piraquive Fandiño. Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud. Bogotá, Colombia	
Andrés Felipe Porto. Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud. Bogotá, Colombia	
<i>Capítulo 5</i>	
Bases teóricas y retos de la fisioterapia deportiva	151
Elisa Andrea Cobo Mejía. Universidad de Boyacá. Tunja, Colombia	
Brayan Esneider Patiño Palma. Fundación Universitaria del Área Andina. Pereira, Colombia	
Pedro Antonio Calero Saa. Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia	
<i>Capítulo 6</i>	
El músculo: un tejido especializado en generar movimiento	175
Pedro Antonio Calero Saa. Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia	
<i>Capítulo 7</i>	
El hueso: tejido dinámico, adaptativo y multifactorial	257
Pedro Antonio Calero Saa. Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia	
Jennifer Jaramillo Losada. Universidad Santiago de Cali. Colombia	

Capítulo 8

El tejido conectivo: un tejido que sostiene, conecta y protege 295

Pedro Antonio Calero Saa. Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia

Jennifer Jaramillo Losada. Universidad Santiago de Cali. Colombia

Capítulo 9

Biomecánica: conceptos elementales para el movimiento corporal humano 355

Álvaro Santiago Solarte Rosero. Universidad Santiago de Cali. Colombia

Lina Alejandra Sandoval. Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia

Paula Milena Hernández. Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia

Acerca del editor científico 387

Acerca de los autores..... 389

Pares evaluadores 397

Table of Contents

Foreword.....	13
Preface	15
A comprehensive journey through sports physical therapy and physical health: an introduction	17
<i>Chapter 1</i>	
Moving, training, and competing: the three dimensions of physical health....	21
Pedro Antonio Calero Saa. Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia	
<i>Chapter 2</i>	
Physical activity and trends: health and therapeutics, education and culture, and sports training	83
José Armando Vidarte Claros. Universidad Autónoma de Manizales. Colombia	
<i>Chapter 3</i>	
Physical literacy and its binding processes.....	109
José Armando Vidarte Claros. Universidad Autónoma de Manizales. Colombia	
Brayan Esneider Patiño Palma. Fundación Universitaria del Área Andina. Pereira, Colombia	
<i>Chapter 4</i>	
Sports medicine: context, challenges and perspectives.....	127
Luis Piragauta Ardila. Universidad de Boyacá. Tunja, Colombia	
Catalina Piraquive Fandiño. Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud. Bogotá, Colombia	
Andrés Felipe Porto. Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud. Bogotá, Colombia	
<i>Chapter 5</i>	
Theoretical bases and challenges of sports physiotherapy	151
Elisa Andrea Cobo Mejía. Universidad de Boyacá. Tunja, Colombia	
Brayan Esneider Patiño Palma. Fundación Universitaria del Área Andina. Pereira, Colombia	
Pedro Antonio Calero Saa. Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia	
<i>Chapter 6</i>	
Muscle: a specialized tissue for generating movement	175
Pedro Antonio Calero Saa. Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia	
<i>Chapter 7</i>	
Bone: dynamic, adaptive, and multifactorial tissue	257
Pedro Antonio Calero Saa. Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia	
Jennifer Jaramillo Losada. Universidad Santiago de Cali. Colombia	

Chapter 8
Connective tissue: a tissue that holds, connects, and protects..... 295

Pedro Antonio Calero Saa. Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia
Jennifer Jaramillo Losada. Universidad Santiago de Cali. Colombia

Chapter 9
Biomechanics: basic concepts for human body movement 355

Álvaro Santiago Solarte Rosero. Universidad Santiago de Cali. Colombia
Lina Alejandra Sandoval. Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia
Paula Milena Hernández. Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia

About the scientific editor 387
About the author 389
Peer evaluators 397

Prólogo

Foreword

Es un honor escribir el prólogo del libro “Elementos Básicos De La Rehabilitación Deportiva: Una mirada Multidisciplinaria”. Este libro representa la culminación de un sueño largamente trabajado por su autor, a quien tuve el privilegio de conocer como un joven y entusiasta estudiante de fisioterapia. Hoy, verlo convertido en padre, docente apasionado por la fisioterapia deportiva y autor de este valioso aporte a su campo, me llena de profunda satisfacción y orgullo como docente, colega y amiga. Su trayectoria, como la transformación de una oruga en una mariposa que vuela alto, es un testimonio inspirador de dedicación y perseverancia.

Esta obra, que se articula de manera lógica desde los fundamentos de la anatomía, fisiología y biomecánica hasta las estrategias de prevención, rehabilitación, readaptación y retorno al juego, consta de veinticinco capítulos que constituyen una contribución significativa al conocimiento en la rehabilitación deportiva. Cada uno de sus apartados se fundamenta en la evidencia científica más actualizada.

Escribir un libro es un desafío que demanda compromiso y representa una valiosa forma de compartir conocimiento. Con concisión y claridad, esta obra ofrece un panorama esencial de la rehabilitación deportiva desde una perspectiva crítica e interdisciplinaria, resaltando la crucial importancia de los procesos de medición y evaluación, y enfatizando el uso de instrumentos válidos y confiables para la toma de decisiones clínicas y preventivas que aseguren evaluaciones e intervenciones seguras, oportunas y de calidad. Adicionalmente, explora aspectos relevantes como la nutrición, la medicina regenerativa, la tecnología y el deporte paralímpico. La experticia y la experiencia de los profesionales que han contribuido en cada capítulo, sumadas al rigor de la evidencia, garantizan la solidez de la información presentada.

Este libro se alinea de manera intrínseca con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, y particularmente con el Objetivo 3: Salud y Bienestar. Al proporcionar conocimientos actualizados y basados en la evidencia para la prevención, el tratamiento y la rehabilitación de lesiones deportivas, la obra contribuye directamente a promover vidas sanas y garantizar el bienestar de las personas de todas las edades, incluyendo atletas de alto rendimiento, deportistas aficionados y la población activa en general.

Celebro con entusiasmo la materialización de este sueño, que representa una necesidad sentida en nuestro medio. Este libro ha sido pensado para estudiantes de pregrado y posgrado, así como para profesionales que buscan profundizar en la rehabilitación deportiva, y constituye una herramienta clara, concisa y sólidamente fundamentada en la evidencia y la experiencia de sus autores, abordando los aspectos cruciales para el desarrollo formativo y ejercicio profesional cotidiano.

En el dinámico campo de la rehabilitación deportiva, la formación de un criterio profesional sólido y adaptable es más que una ventaja: es una necesidad imperante. Este libro nace de esa convicción profunda, propendiendo a que el lector no encuentre aquí un compendio de recetas prefabricadas, sino una valiosa herramienta para fortalecer su propio juicio clínico.

Felicito a Pedro Antonio Calero Saa por su responsabilidad, su osadía al liderar este proyecto, por convocar a colegas expertos y por creer en la fisioterapia, contribuyendo con este libro a su crecimiento y posicionamiento en el ámbito deportivo.

Agradezco profundamente la confianza depositada en mí al permitirme escribir este prólogo. Estoy convencida que este libro marca el inicio de muchas otras iniciativas que fortalecerán aún más el fundamental trabajo interdisciplinario en la rehabilitación deportiva, respetando el rol y las acciones específicas de cada profesional, sin incurrir en intrusismo.

Con la publicación de este libro, reafirmo que Paulo Coelho tiene razón al decir que el universo siempre conspira para alcanzar los sueños. Estoy segura de que los tiempos de Dios son perfectos.

Con gratitud y admiración,

Esther Cecilia Wilches Luna

Fisioterapeuta
Especialización en Fisioterapia Cardiorrespiratoria
Doctorado en Ciencias: Reabilitação e Desempenho Funcional.
Profesor Titular de la Universidad del Valle.

Prefacio

Preface

La idea de la creación de este libro nace de la experiencia como docente, donde se hizo evidente la necesidad de proporcionar a los estudiantes de fisioterapia un conocimiento concreto y accesible sobre la fisioterapia deportiva. Mi labor como educador, que entiendo como una verdadera vocación, busca trascender el simple acto de enseñar. Mi objetivo es que la información que comparto no solo perdure en el tiempo, sino que también evolucione y progrese, permitiendo que tanto futuros profesionales como ya establecidos se mantengan constantemente actualizados.

Este libro representa una continuación y una mejora de su predecesor, “Elementos Básicos de la Rehabilitación Deportiva”, publicado en 2018 en dos tomos. En esta nueva edición, titulada “Elementos Básicos de la Rehabilitación Deportiva: Una Mirada Multidisciplinaria”, presento una perspectiva multidisciplinaria, distribuida en tres tomos (Tomo I: Fundamentos de la Salud Física y la Actividad Deportiva; Tomo II: Evaluación y Diagnóstico en el Deportista y; Tomo III: Rehabilitación y Readaptación Deportiva) que refleja la colaboración de profesionales de la salud comprometidos con una visión común: proporcionar una base sólida de conocimientos fundamentada en principios, sin recetas prefabricadas, que guíen la evaluación y el tratamiento en el ámbito deportivo.

La rehabilitación deportiva es una odisea que comienza con un desafío y culmina con una victoria sobre las adversidades que afronta el deportista. Este texto no es simplemente un conjunto de temas; es una exploración de los conceptos cruciales que forman la columna vertebral de la rehabilitación deportiva. Desde la evaluación inicial hasta la comprensión de los tejidos que dan forma a nuestra capacidad de movimiento, cada capítulo es un paso hacia la excelencia en la recuperación y el rendimiento.

Los capítulos de este libro son como las piezas de un rompecabezas que, al unirse, revelan el panorama completo de la rehabilitación deportiva. Abordamos la actividad física y el ejercicio no solo como partes de la recuperación, sino como elementos esenciales de un estilo de vida saludable. La nutrición y la psicología deportiva se presentan como componentes críticos que apoyan el regreso del deportista a su máximo potencial, mientras que el deporte adaptado demuestra la capacidad de superación y adaptación.

Con la intención de fomentar el trabajo en equipo, se llevó a cabo un minucioso reclutamiento de expertos de diversas áreas relacionadas con el deporte. Respecto a las directrices otorgadas a los autores y colaboradores de cada capítulo, se enfatizó la importancia de evitar las soluciones estándar (recetas) y de proporcionar un sólido referente teórico. Este enfoque busca promover una lectura crítica del contenido y estimular un criterio profesional basado en el principio de individualidad, garantizando que cada información esté respaldada por evidencia científica robusta.

No obstante, este proyecto ha sido ambicioso y ha presentado varios desafíos, incluyendo la gestión del tiempo y, en algunos casos, la comunicación entre los colaboradores y autores. Estas dificultades, ligadas a la distancia y a las múltiples responsabilidades de cada uno en sus respectivos campos, han dificultado en ocasiones la finalización de la compilación. Sin embargo, el compromiso de los colaboradores ha sido fundamental para superar estos obstáculos. Aunque este trabajo no genere incentivos económicos (cuyo objetivo no es), sí tiene el potencial de proporcionar un valioso incentivo en la apropiación conceptual, tal como lo sugiere el título de esta obra.

Espero que este libro inspire y enriquezca a sus lectores, contribuyendo a su formación profesional y al desarrollo de la fisioterapia deportiva en beneficio de nuestros pacientes.

Pedro Antonio Calero Saa

Fisioterapeuta,
Magíster en Intervención Integral en el Deportista
Docente de Tiempo Completo
Programa de Fisioterapia
y Programa de Especialización en Fisioterapia del Deporte
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte.

Un Viaje Integral por la Fisioterapia Deportiva y la Salud Física a Modo de Introducción

A Comprehensive Journey Through Sports Physical Therapy and Physical Health: An Introduction

En el vasto y complejo mundo de la fisioterapia deportiva, cada movimiento, cada gesto y cada competición representan un desafío y una oportunidad para explorar la complejidad del cuerpo humano. Este libro, “Elementos Básicos de la Rehabilitación Deportiva”, en el Tomo I denominado Fundamentos de la salud física y la actividad deportiva, no solo es un compendio de conocimientos teóricos y prácticos, sino también un testimonio de experiencias personales y profesionales en este apasionante campo desde las bases teóricas que permiten comprender al individuo como todo.

Desde el aficionado hasta el profesional de élite, cada atleta representa un microcosmos de desafíos físicos, emocionales y fisiológicos; por lo que desde mi profunda pasión y dedicación por entender y optimizar el rendimiento humano a través del movimiento se complementa con el Tomo II Evaluación y diagnóstico en el Deportista. A su vez, integrar los conceptos prevención, rehabilitación y la readaptación, abordándolas según las últimas tendencias como en tecnologías innovadoras y estrategias avanzadas en el deporte, lo que claramente se evidencia en el Tomo III Rehabilitación y Readaptación Deportiva.

Aspectos como el movimiento, entrenamiento y la competencia constituyen dimensiones fundamentales de la salud física; que no solo definen la condición física del individuo, sino que también delinean el camino hacia la excelencia deportiva. Desde la promoción de la salud mediante la actividad física hasta el entrenamiento especializado y la competición de alto nivel, cada faceta de este proceso exige una comprensión profunda y una intervención precisa por parte de los profesionales de la salud y del Deporte.

La actividad física contemporánea se ve moldeada por tendencias que abarcan desde la salud pública hasta el entrenamiento deportivo especializado y la educación física. Este entorno dinámico presenta desafíos y oportunidades en la promoción del bienestar físico y la mejora del rendimiento deportivo, enfocándose en la prevención de lesiones y la optimización del entrenamiento mediante enfoques científicos y multidisciplinarios.

La alfabetización física, esencial para la formación integral del deportista, se nutre de teorías pedagógicas y metodologías que fortalecen las habilidades motoras y cognitivas desde una edad temprana. Este proceso educativo sienta las bases para un desarrollo físico óptimo y una participación deportiva segura y efectiva a lo largo de la vida.

En el núcleo de la rehabilitación deportiva se encuentra la fisioterapia, cuyo enfoque basado en la biomecánica y la anatomía funcional permite la evaluación precisa y el tratamiento efectivo de las lesiones musculoesqueléticas. Desde lesiones agudas hasta condiciones crónicas, los fisioterapeutas deportivos aplican métodos innovadores y tecnologías avanzadas para acelerar la recuperación, restaurar la funcionalidad, prevenir futuras complicaciones y readaptar las complicaciones adquiridas.

El músculo, como motor del movimiento humano, y el hueso, como estructura dinámica y adaptativa, son piezas fundamentales en la mecánica corporal del deportista. La comprensión de estos tejidos desde una perspectiva fisiológica y biomecánica es crucial para optimizar el rendimiento y minimizar el riesgo de lesiones en el contexto deportivo.

El tejido conectivo, por su parte, desempeña un papel integral al proporcionar soporte estructural, conexión entre tejidos y protección ante impactos biomecánicos. La rehabilitación efectiva de lesiones deportivas no solo trata los síntomas físicos, sino que también fortalece y restaura la integridad de estos tejidos esenciales para la función deportiva.

La evaluación física y funcional del deportista, complementada por evaluaciones cardiopulmonares y neuromusculares especializadas, proporcionan una visión holística que guía la rehabilitación desde la fase inicial hasta el retorno seguro al deporte competitivo orientado por equipos multidisciplinares integrados por profesionales en medicina, fisioterapia, terapia ocupacional, nutricionistas, dietistas, enfermería, psicología, entrenamiento deportivo y profesional en deporte; quienes integran sus conocimientos y posibilitan estrategias terapéuticas y ayudas diagnósticas avanzadas fundamentales para optimizar los resultados y mejorar la precisión en el diagnóstico y tratamiento de lesiones deportivas complejas.

La medicina regenerativa representa un campo emergente que promete revolucionar la rehabilitación deportiva al ofrecer terapias que promueven la curación y la regeneración de tejidos dañados. Este enfoque, combinado con avances en tecnología y rehabilitación basada en datos, abre nuevas posibilidades para mejorar los tiempos de recuperación y restaurar la función plena del deportista.

El desarrollo tecnológico continúa siendo un factor disruptivo en el deporte y la actividad física, presentando tanto desafíos como oportunidades para mejorar el rendimiento, prevenir lesiones y optimizar la recuperación. Desde dispositivos de monitorización hasta simulaciones computacionales, la inteligencia artificial, la integración de la tecnología en la práctica deportiva redefine constantemente los límites de la excelencia física y la salud atlética.

La psicología del deporte juega un papel crucial en la rehabilitación, abordando no solo los aspectos físicos de la lesión, sino también los procesos emocionales y psicológicos que influyen en la recuperación y el retorno al juego. La atención integral al bienestar mental del deportista es fundamental para gestionar el estrés, la ansiedad y las expectativas durante el proceso de rehabilitación.

La nutrición y la suplementación adecuadas complementan el enfoque integral de la rehabilitación deportiva, proporcionando los nutrientes necesarios para apoyar la recuperación y el desarrollo muscular. La optimización de la dieta y la ingesta de suplementos juegan un papel crucial en la mejora del rendimiento y la prevención de lesiones a largo plazo.

En el ámbito específico del deporte paralímpico, como el baloncesto en silla de ruedas, la fisioterapia adquiere una dimensión aún más especializada. La atención a las necesidades únicas de los atletas con discapacidades físicas demanda un enfoque personalizado que garantice la inclusión, la accesibilidad y el máximo rendimiento deportivo.

Elementos Básicos de la Rehabilitación Deportiva representa, por lo tanto, un recurso imprescindible para estudiantes, profesionales de la salud y entrenadores deportivos que buscan profundizar en el conocimiento científico y las mejores prácticas en la rehabilitación de lesiones deportivas. A través de la colaboración de expertos multidisciplinarios y la integración de investigaciones de vanguardia, este libro invita a explorar los fundamentos esenciales y las innovaciones emergentes que están transformando el campo de la rehabilitación deportiva en la actualidad.

Bienvenidos a un viaje de descubrimiento y aprendizaje en la intersección entre la ciencia, la tecnología y el cuidado humano en el deporte y la salud.

Jhonatan Betancourt Peña

Fisioterapeuta y PhD. Educación, Deporte y Salud
Decano Facultad de Salud y Rehabilitación
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte

CAPÍTULO 1

Moverse, Entrenar y Competir: las Tres Dimensiones de la Salud Física

Moving, Training, and Competing: The Three Dimensions of Physical Health

Pedro Antonio Calero Saa

Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte

© <https://orcid.org/0000-0002-9978-7944>

✉ pcalero22@gmail.com

Resumen

El capítulo “Moverse, Entrenar y Competir: Las tres dimensiones de la salud física” se planteó como objetivo explorar la relevancia de la actividad física en la vida diaria y su impacto en la salud física y social de los individuos. Menciona, además, cómo el deporte y el ejercicio aportan al desarrollo de habilidades físicas, sociales y psicológicas, promoviendo un estilo de vida activo y saludable.

Como metodología, el capítulo incluye una revisión de la literatura existente sobre la actividad física, sus beneficios y la evolución de la participación en deportes a lo largo del tiempo. En el capítulo se realiza el análisis de diferentes enfoques sobre cómo la actividad física se integra en la vida de las personas, considerando factores biológicos y sociales.

Los resultados obtenidos indican que la actividad física no solo mejora la salud física, sino que además fomenta habilidades sociales, el trabajo en equipo y la comunicación. Se destaca que la participación en deportes influye positivamente en la vida individual, familiar y comunitaria, generando cambios en aspectos físicos, sociales y culturales.

Finalmente, en el capítulo se enfatiza la importancia de estrategias que integren el deporte en todos los niveles, desde la formación básica hasta el

Cita este capítulo / Cite this chapter

Calero Saa PA. Moverse, entrenar y competir: las tres dimensiones de la salud física. En: Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria*. Tomo I: fundamentos de la salud física y la actividad deportiva. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 21-81. <https://doi.org/10.35985/9786287914155.1>

alto rendimiento. El capítulo hace mención de un estilo de vida moderno, influenciado por la tecnología, la cual ha reducido la actividad física de los individuos, lo que resalta la importancia de construir un entorno que promueva la actividad física regular. Como conclusión, el capítulo destaca la relevancia de la actividad física como un componente esencial para el bienestar integral de las personas y la sociedad.

Palabras Clave: Conducta Sedentaria, Ejercicio Físico, Salud Humana.

Abstract

The chapter “Moving, Training, and Competing: The Three Dimensions of Physical Health” aims to explore the relevance of physical activity in daily life and its impact on the physical and social health of individuals. It also discusses how sports and exercise contribute to the development of physical, social, and psychological skills, promoting an active and healthy lifestyle.

As a methodology, the chapter includes a review of existing literature on physical activity, its benefits, and the evolution of participation in sports over time. It analyzes different approaches to how physical activity is integrated into people’s lives, considering both biological and social factors.

The results indicate that physical activity not only improves physical health but also fosters social skills, teamwork, and communication. It highlights that participation in sports positively influences individual, family, and community life, generating changes in physical, social, and cultural aspects.

Finally, the chapter emphasizes the importance of strategies that integrate sports at all levels, from basic training to high performance. It mentions a modern lifestyle influenced by technology, which has reduced individuals’ physical activity, underscoring the need to create an environment that promotes regular physical activity. In conclusion, the chapter highlights the relevance of physical activity as an essential component for the overall well-being of individuals and society.

Keywords: Sedentary Behavior, Exercise, Human Health.

Introducción

“La información es tan real y concreta
como la masa, la energía o la temperatura.
No podemos ver directamente
ninguna de estas propiedades,
pero las aceptamos como reales.
La información es igual de real.”

—Charles Seife, Decodificando el Universo (2009)

La involucración de las personas en diversas áreas de la actividad física, el ejercicio y el deporte ha crecido significativamente en los últimos años. Este comportamiento no fue producto de la influencia de gimnasios, campos deportivos o laboratorios de estudio fisiológico del ejercicio, sino de la selección natural que ha actuado a lo largo de los períodos del proceso evolutivo(1); esto ha permitido que las características individuales para realizar ciertas actividades varíen debido a diferentes factores de desarrollo, comportamiento y diversidad genética. De acuerdo con esto, las actividades de los primeros humanos dependían por completo del esfuerzo físico individual, generando un vínculo necesario y fisiológico entre la adquisición de energía a partir de la alimentación y el gasto calórico como actividad física, provocando una presión en la adaptación constante y continua que impactó en los sistemas cardiorrespiratorios y musculoesqueléticos y, a su vez, cambios importantes en el metabolismo de nuestros antepasados(2).

La situación de los cazadores-recolectores y de los neandertales evidenció la adquisición de habilidades, limitaciones y necesidades físicas particulares de la especie mientras sobrevivían en sus entornos durante millones de años, hasta que la agricultura surgió hace aproximadamente 10.000 años. Las tareas consistentes en la búsqueda de alimento y el uso eficiente de combustible fueron fundamentales para poder realizar las tareas fisiológicas como la reproducción, la lactancia materna, la alimentación, la caza y la fuga(3). En el proceso evolutivo, la constitución genética del hombre y la mujer ha tenido cambios poco significativos durante los últimos 50 milenios en contraste con los avances sociales influenciados por la agricultura y la industrialización. Estas acciones diarias de supervivencia de los “primeros hombres”, generó una relación muy importante multivariable entre el gasto energético, el consumo energético y la función motora, lo que permitió una facilitación evolutiva constante de las tareas domésticas y de supervivencia,

llevando actualmente a que elementos tecnológicos que facilitan las tareas diarias, laborales, transporte y actividades lúdicas sean cada vez más hipocinéticas, pasando drásticamente de una actividad representativa como la caza como principal mecanismo de proporción de alimentos, a depender de los sistemas logísticos de entrega de alimentos(4), reduciendo de manera significativa el gasto metabólico que caracterizaba al genoma humano desde su reconocimiento hace aproximadamente 50.000 años atrás.

La actividad física era un aspecto de realización obligatoria para la sociedad antigua, pues cazar, recolectar, excavar, construir e incluso huir requerían de atributos físicos que eran estimulados cada día. Sin embargo, actualmente, la realización de actividad física y ejercicio físico se ha convertido en una actividad extraordinaria y su fin es conseguir un objetivo que puede ir desde sentirse bien hasta simplemente verse bien.

El estilo de vida y la exigencia social de la vida humana en el siglo XXI son extremadamente diferentes en una comparación innecesaria con nuestro pasado, la actividad física ya no es un requisito instintivo para la vida diaria, sin embargo, la evolución genética se ha tornado incapaz de alcanzar las características del cambio cultural actual, lo que nos lleva a comprender que a pesar de esto, nuestro código genético tiene una programación antigua, adaptados a las condiciones de selección natural(5). Este desajuste ha permitido en gran medida la aparición de enfermedades crónicas, lo que deriva en una afectación de la calidad de vida del individuo, ocasionada por la inactividad física.

Actividad Física, Inactividad Física y Conducta Sedentaria

Cada día observamos la presencia de grupos de personas que crean pequeñas comunidades con el propósito de fomentar tanto la actividad física como el ejercicio. Estos grupos se distinguen por compartir variables como la edad, la raza, el género y otras características, lo que los ha llevado a buscar como objetivo primordial la protección de su salud (entendida como un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades; OMS), al dinamizar la naturaleza de dicha participación, llevar a cabo actividades y ejercicios físicos, ya sean grupales o individuales, facilita el fortalecimiento de un aspecto social, como es el redescubrimiento de entornos urbanos y rurales. Esto genera una ruptura con la monotonía a través de condiciones subjetivas definidas por el contexto en el que el individuo o el grupo interactúa.

La actividad física (AF) es un mecanismo fundamental en el mantenimiento de un estilo de vida saludable y, al realizarla de manera regular, ayuda en la prevención de enfermedades, así como al mantenimiento del peso adecuado, a la reducción del riesgo de desarrollar obesidad y al fortalecimiento del sistema inmunológico(6). Sin embargo, es importante conceptualizar la AF como cualquier movimiento corporal de los músculos esqueléticos que requiera un gasto de energía(7, 8, 9).

La actividad física se puede clasificar por el equivalente metabólico o MET (se relaciona con la tasa de absorción de oxígeno del cuerpo para una actividad determinada). Un MET (equivalente metabólico de tarea) es la cantidad de energía que gasta una persona mientras está sentada en reposo, y por lo general se expresa en mililitros de oxígeno por kilogramo de peso corporal por minuto [ml O₂/kg/min]) (10), lo que indica que una AF de intensidad ligera o leve, se da cuando un individuo utiliza un equivalente metabólico entre 1,5 y 3 MET, lo que involucra actividades de la vida diaria que están por encima del gasto energético basal; mientras que una AF de intensidad moderada, es aquella que involucra un equivalente metabólico de a menos de 6 MET; esta clase de AF, por lo general es estimulada por actividades de caminata a paso ligero hasta correr, subir gradas a paso moderado, o incluso realizar actividades de la casa. Cualquier actividad que genere un equivalente metabólico mayor a 6 MET, se cataloga como actividad física de intensidad vigorosa(11).

Tabla 1. Parámetros de AF según METS

Nivel	Parámetro
Intensidad Leve de AF	1,5-3 METS: Caminar despacio
Intensidad Moderada de AF	3 – 5,9 METS: Caminar, ir de compras o montar bicicleta
Intensidad Vigorosa de AF	≥ 6 METS: Correr, bailar o nadar

Fuente: Tomado y modificado de Ridout(12)

Lo importante de entender de la actividad física, es que se refiere a actividades que permiten un incremento de la tasa metabólica basal (actividades de supervivencia), que, al realizarse con suficiente intensidad, puede impactar sobre la homeostasis celular, generando de esta manera, cambios y adaptaciones fisiológicas y moleculares, siempre y cuando se realice con regularidad con relación a las actividades de la vida diaria (Tabla 2).

La actividad física es un elemento fundamental de la vida diaria de un individuo activo, ayuda a emplear las calorías de forma eficiente, lo que a su vez facilita la regulación de la composición corporal, mientras que también aumenta la tasa de metabolismo basal y disminuye tanto el apetito como la masa grasa (13).

Tabla 2. Tasa Metabólica Basal y Actividades de la Vida Diaria

Tasa Metabólica Basal	Actividades de la Vida Diaria
La respiración	Caminar
La ventilación	Subir y bajar escaleras
Digestión	Transportar objetos
Perfusión	Tareas domesticas
Presión Arterial	Lavar ropa a mano
Soñar	Organizar closet
Pensar	Recoger elementos del suelo
La respiración	Correr al transporte

Con relación a lo mencionado anteriormente, la actividad física debe ser considerada desde dos perspectivas: una biológica y otra social. Desde el ámbito biológico, se define como cualquier actividad que requiere un gasto de energía y que implica la colaboración de varios sistemas para su correcta ejecución. Por otro lado, la dimensión social señala que la actividad física es una acción humana que, influenciada por factores subjetivos, se ve afectada por el contexto en el que tanto el individuo como la comunidad la realizan (14).

Tabla 3. Dimensiones de la Actividad Física

Social	Biológica
Acción humana influenciada por los entornos en los que tanto el individuo como la comunidad la desarrollan	Actividad que demanda un gasto energético
Origen de saber, interacción, sentimientos, bienestar y ocio	Colaboración de diversos sistemas para asegurar la realización de la actividad
Cultura, Lenguaje y Desarrollo Humano	Potencialidades físicas a partir de elementos físicos y biológicos

El mundo en sus avances tecnológicos ha cambiado el estilo de vida humano y ha fomentado una disminución significativa de la actividad física relacionada con lo laboral. La adaptación evolutiva que ha venido desarrollando a lo largo de millones de años que en su principio preparó a nuestros antepasados para un estilo de vida físicamente activo que ayudaba a responder a acciones como cazar, pescar, luchar, escapar de depredadores o construir refugios, se ha visto desafiada por las transformaciones de la rápida evolución impulsadas por la tecnología y la información digital en el estilo de vida de las personas(9).

Adicionalmente, la esperanza de vida humana, en gran medida en los países de mayores ingresos, ha aumentado rápidamente en la historia reciente de la evolución humana; sin embargo, la esperanza de vida saludable no ha seguido el mismo ritmo(8). En contraste con este comportamiento, se encuentra la Inactividad Física (IF), que es un término que se emplea para describir a aquellas personas que no alcanzan el nivel sugerido de actividad física regular, que es de al menos 150 a 300 minutos semanales de actividad física de intensidad moderada, o entre 75 y 150 minutos de actividad de alta o vigorosa intensidad. (6, 15), incorporando alternadamente estimulación de fuerza muscular al menos 2 veces por semana(11). La IF se convierte en un factor de riesgo para la aparición y la mortalidad asociada a enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT), incluyendo las enfermedades cardiovasculares. (ECV)(16), así como también diabetes, depresión y riesgo de caídas(17). Sin embargo, a pesar de este conocimiento, la población mundial permanece en gran medida en estado de inactividad. El 27,5% de los adultos a nivel mundial, no logran cumplir las recomendaciones mínimas de AF regular que permitan llegar a obtener beneficios para la salud, siendo la prevalencia de la IF más del doble en los países desarrollados en comparación con los de ingresos bajos(11). Este flagelo causa aproximadamente el 9% de las muertes prematuras a nivel mundial, convirtiéndose así, en un factor de riesgo similar a la obesidad y el tabaquismo, generando gastos aproximados de 67.5 mil millones cada año(18).

El panorama nacional no es ajeno a este problema, la población joven se caracteriza por alta prevalencia de riesgo cardiovascular y ECNT que tendrán consecuencias en la vida adulta, debido a hábitos de vida no saludables(19). En un estudio, Zorrilla & Cols(20), evaluaron 227 estudiantes de un colegio público de la ciudad de Cali, encontrando que el hábito del consumo de alcohol tuvo una relación estadísticamente significativa con el riesgo cardiovascular ($p=0.035$), lo cual establecía también que si este hábito se mantenía, su efecto sinérgico atribuía un riesgo de ECV ($OR=1,062$); de igual manera, se encontró que las alteración del Índice de Masa Corporal (IMC), tuvo una relación

estadísticamente significativa con el riesgo cardiovascular ($p=0,005$) y 6 veces la probabilidad de tener una ECV ($OR=6,074$). Un estudio de Bisbicuth et al. (21) evaluó a 219 estudiantes universitarios de una facultad de salud, donde se encontró que el nivel de actividad física en esta población fue bajo en un 31,5% ($n=69$), y en el análisis de correlación, el estilo de vida está positivamente asociado con el nivel de actividad física, lo que indica que a mayor actividad física, mejor es el estilo de vida ($p=0,001$). No obstante, este estudio también reveló una relación entre el estilo de vida y las variables del índice de masa corporal (IMC) y riesgo cardiovascular; en contraste con la relación positiva mencionada, estas variables muestran una relación negativa o inversamente proporcional. Es decir, a mayor IMC y/o riesgo cardiovascular, se correlaciona un estilo de vida menor o menos saludable. En un estudio de Sandoval & Cols (19), donde en la evaluación de 104 docentes universitarios, se encontró una relación estadísticamente significativa entre el IMC y el riesgo cardiovascular ($P=0,000$) y se encontró la misma probabilidad de tener una ECV ($OR=6,071$). Las ECV se han convertido en la principal causa de muerte a nivel mundial con unos 17,5 millones de muertes, lo que corresponde al 31% de las muertes a nivel mundial, incluso por encima de las enfermedades transmisibles, neonatales y nutricionales, todas juntas, duplicando el número de muertes debido al cáncer según la OMS(22). En Colombia, las ECV son la principal causa de morbilidad en ambos sexos mayores de 45 años, teniendo en cuenta datos estadísticos, cada vez más se aumenta la prevalencia factores de riesgo, observando datos de hipertensión del 13,74%, diabetes 6,8%, colesterolemia del 27,3%, tabaquismo 15% y malos hábitos alimenticios de un 89%(23, 24). Un estudio de Ramírez & Cols (25), en 115 conductores de transporte intermunicipal, encontró datos descriptivos que reflejan características antropométricas importantes como un nivel de AF bajo con un 87% ($N=100$), y un IMC predominando el sobrepeso y la obesidad tipo I con un 47%($N=54$) y un 29,6%($N=34$) respectivamente.

El riesgo de contraer una ECNT (afecciones de aparición lenta y de larga duración, sin posibilidad de cura pero sí en lo posible un control de subjetivo de progresión), o incluso una ECV (afecciones del corazón y de los vasos sanguíneos), está determinado por el perfil y las características propias del individuo como lo es el sexo, la edad, los hábitos alimenticios, el estilo de vida y factores antropométricos como el perímetro de cintura, el IMC, la talla, el peso, el porcentaje de grasa y la masa magra(26), siendo la edad temprana, la principal promotora de este riesgo, a partir de la inclusión al estilo de vida de las características mencionadas, debido al efecto sinérgico, lo cual, repercute en la exposición a factores de riesgo en el tiempo(27).

Otro concepto importante y promotor del deterioro en la salud y el aumento de la probabilidad de riesgo de ECNT y ECV, es la Conducta Sedentaria (CS), la cual, constituye un comportamiento de vigilia caracterizado por un gasto energético $\leq 1.5\text{MET}$ ($1\text{MET} = 3.5 \text{ ml O}_2/\text{kg}/\text{min}$) en una postura sentada o reclinada, sin incluir el sueño(28, 4, 29). Es un factor de riesgo importante para el desarrollo de la diabetes mellitus (tipo II)(30).

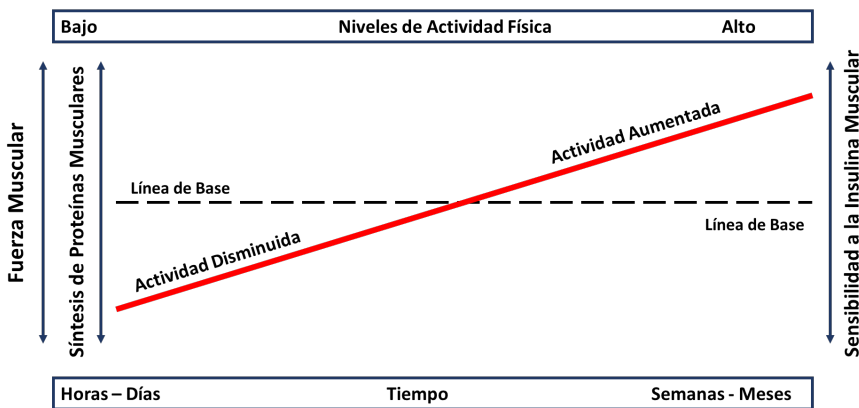
La CS es diferente a la IA, debido a que, es posible que se realicen cantidades recomendadas de AF diaria, sin embargo, aun así, se puede acumular un gran volumen de tiempo sedentario(7), es decir, un individuo puede dedicar 2 horas en la mañana en la realización de ejercicio, pero, en su jornada laboral, la cual ocupa todo el resto del día, el individuo permanece sentado. Ese ejercicio realizado no compensa el tiempo sedentario del resto de la jornada. La posición sentada se asocia con la mayoría de las ocupaciones modernas, y es el comportamiento más peligroso de la IF, lo que aumenta los efectos que desencadenan un envejecimiento prematuro y enfermedades crónicas, el aumento de peso, ECV, coágulos sanguíneos, muerte celular, inflamación, osteoporosis, entre otras (9). Un estudio de Raichlen & Cols (31), investigaron las características de una tribu de Cazadores-recolectores de Tanzania en cuanto al tiempo sedentario en comparación con individuos urbanos industrializados; en cuanto a la tribu, identificaron una mayor cantidad de tiempo en actividades moderadas y vigorosas, incluso, un estado de reposo activo al mantener en posición de cuclillas, lo que permitía un gasto energético al mantener al sistema musculoesquelético en actividad, en comparación a una postura sedentaria sedente. Esta información indica la posibilidad de contrarrestar los efectos del estado sedentario sobre la salud, al optar por una postura de reposo activo. Un comportamiento sedentario prolongado, sin interrupciones, es perjudicial para la salud, además de que genera un aumento del riesgo de enfermedades cardiometabólicas y mortalidad prematura(32), observándose datos de asociación adversa como la función pulmonar, cognitiva y física(33, 34, 35).

Disponer de 8 a 10 horas de tiempo sedentario, se asocia con mayor riesgo para la salud en individuos que realizan AF leve(36). La AF ofrece alguna protección y es importante mencionar que se requiere incluir volúmenes grandes ($>400 \text{ min}/\text{sem}$) de intensidad (moderada a vigorosa) con el fin de disminuir los riesgos de morbilidad relacionados con la CS en la población general(33). Empero, las estimaciones basadas en dispositivos electrónicos establecen que menos del 10% de la población realiza al menos 150 min de AF semanal de intensidad moderada a vigorosa(37).

Para el año 2018, el Comité Asesor de las Pautas de Actividad Física de Estados Unidos, llegó a la conclusión de que había evidencia sólida de que una mayor cantidad de comportamiento sedentario se asociaba con un mayor riesgo de incidencia y mortalidad de ECV(38), entendiendo que los adultos mayores son más sedentarios que los adultos jóvenes(30). A partir de estas conductas, en los últimos años, se ha visto aumentado la prevalencia de ECNT, la proporción de personas afectadas se incrementan cada vez con la edad en un 13% en adultos jóvenes y el 95% en los adultos mayores, con dos o más morbilidades(7), las cuales se asocian con la muerte precoz y la discapacidad, generando impacto sobre la calidad de vida y la salud pública(39).

La realización regular de actividades con una intensidad moderada o alta ofrece beneficios concretos en varios indicadores de salud; sin embargo, esta práctica no asegura una protección completa contra la posibilidad de sufrir alguna lesión(40). Shur & Cols plantean un constructo teórico que describe el comportamiento metabólico muscular en relación con el ejercicio físico: proponen que, al realizar ejercicio físico, el sistema muscular se expone a un estrés fisiológico en los músculos, lo cual, producirá mejoras significativas en la fuerza muscular, la síntesis proteica y la sensibilidad a la insulina (capacidad de reducir los niveles de azúcar en sangre), estímulos generados por el ejercicio y que serán de corta duración. Mientras que la inactividad física impone estímulos opuestos de menor magnitud que con periodos más largos en individuos sedentarios, induciendo cambios musculares que perduran mientras haya inactividad (Figura 1)(41).

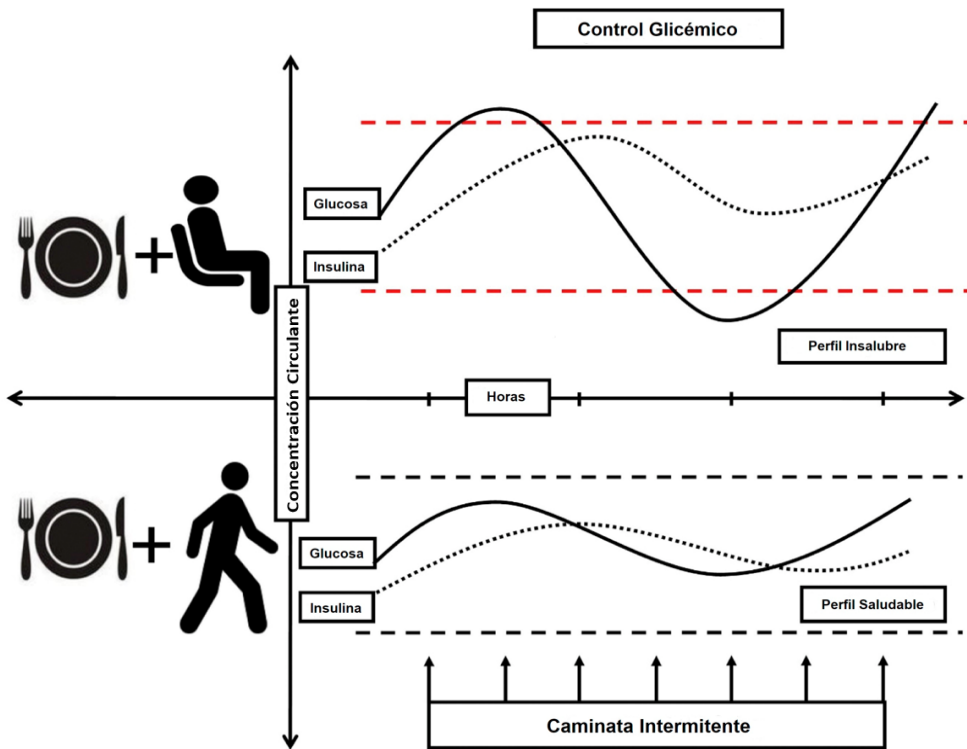
Figura 1. Constructo Teórico que Describe la Relación entre los Niveles de Inactividad Física y la Salud Metabólica Muscular



Fuente: Tomado y Adaptado de Shur & Cols.(41)

La Figura 2, muestra un comportamiento de los niveles circulantes en sangre de glucosa y la insulina posprandial con respecto a un comportamiento sedentario, comparado con una actividad física leve en adultos mayores. Según la figura, las líneas discontinuas dan razón de los niveles óptimos de la glucosa con respecto a la hiperglucemia y la hipoglucemia. Se aprecia que, durante los estados de reposo, la falta de asimilación o captación de glucosa por la contracción muscular genera una concentración en sangre mayor, mientras que, con una actividad leve, los niveles de glucosa en sangre se mantienen dentro de los niveles óptimos.

Figura 2. Comportamiento Sedentario versus la Actividad de Intensidad Ligera o Leve en el Perfil de Glucosa Posprandial

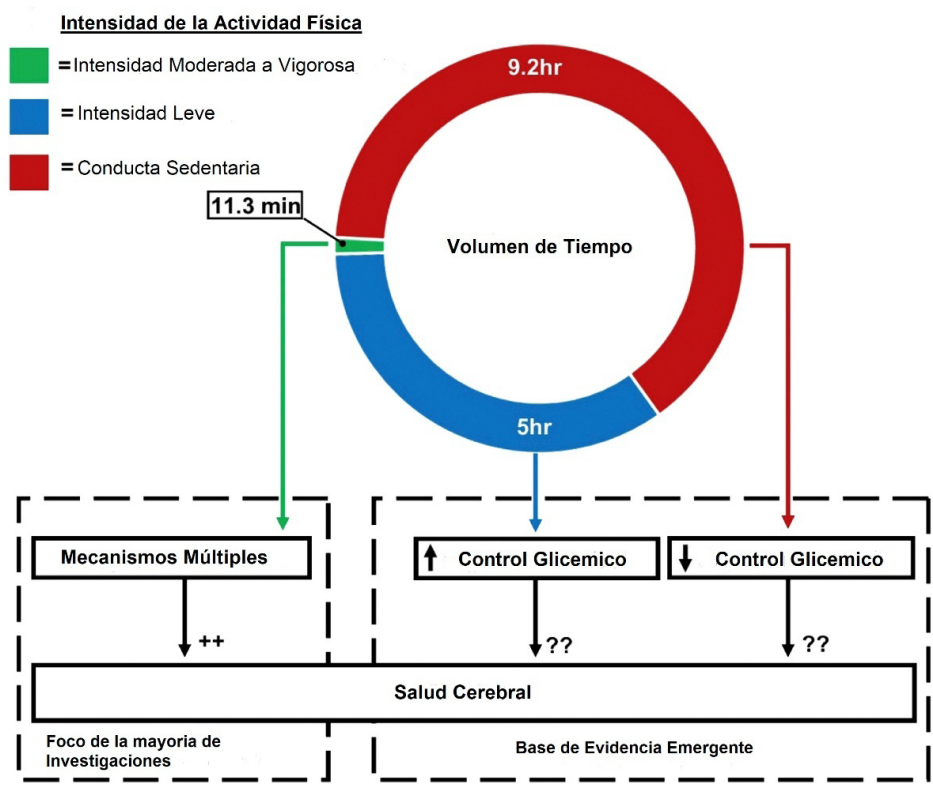


Fuente: Tomado y Adaptado de Wheeler & Cols(43).

Lo anterior se debe especialmente, a una descripción del comportamiento de esta población, donde Wheeler & Cols, expresan que la distribución del tiempo en un día normal, una gran pequeña parte se le atribuye a actividades de

moderada a alta intensidad, una cantidad siguiente de actividad leve, mientras que la mayor parte del tiempo se invierte en conducta sedentaria, promoviendo de esta manera un menor control glicémico en sangre y de esta manera, afectando incluso la salud cerebral (Figura 3)(42). Lo que nos lleva a determinar la necesidad de incurrir en acciones de promoción para al menos aumentar ese tiempo de actividad leve, permitiendo así, la protección de la salud.

Figura 3. Distribución del Tiempo con Relación a Actividad Física y Conducta Sedentaria en Adultos Mayores, según Encuesta Nacional de Examen de Salud y Nutrición de EE. UU.



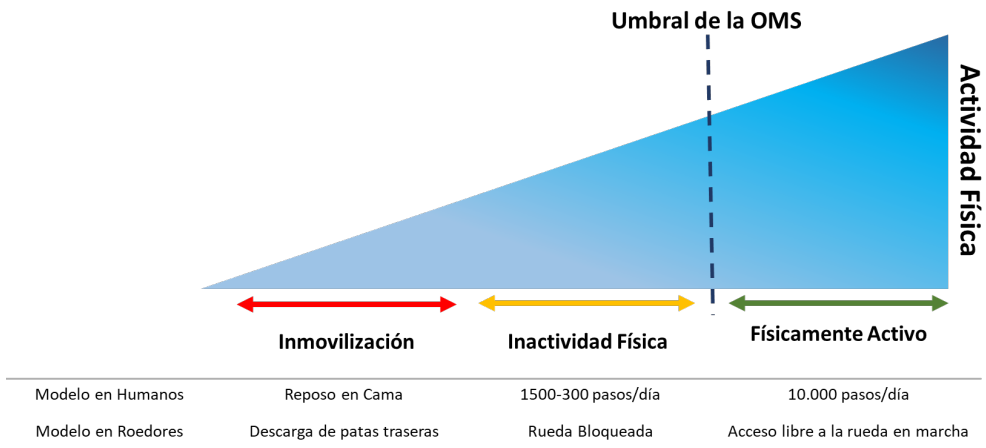
Fuente: Tomado y Adaptado de Wheeler & Cols(42).

La realización de AF es una estrategia fundamental en la protección de la salud(43) y mantenerla en niveles óptimos es importante para la función. De esta manera, ha sido adoptada por las guías de práctica clínica para múltiples condiciones patológicas dados los resultados que ofrece su efecto sobre la salud. Sin embargo, a pesar de la evidencia que transcurre por las diferentes

plataformas y eventos de divulgación científica, sumado a los esfuerzos acumulado en años de salud pública, la actividad física y su participación es muy bajo. Razones como la falta de tiempo, acceso limitado, desconocimiento y el miedo a lesionarse(44, 45), son algunas de las expresiones de individuos para empezar a generar un hábito de realizar AF.

A partir de las diferentes brechas de conocimiento que hay en torno a la participación de los individuos en actividad física y sus diferentes conductas de inactividad y sedentarismo, los cambios fisiológicos tienen diferentes connotaciones como resultado a una gran cantidad de información no simplificada, de acuerdo con la gran cantidad de variables existentes. Por tal motivo, es pertinente apreciar los diferentes modelos de inactividad física que se utilizan para estudiar los efectos de la inactividad física, por consiguiente, han dado luz al camino de preciar los efectos de la inactividad física y la relación entre el consumo y gasto energético sobre la salud metabólica, permitiendo de esta manera, esclarecer y entender diferentes mecanismos fisiológicos en los individuos. Entre esos modelos, se plantea el modelo de IF e Inmovilización (Figura 4).

Figura 4. Modelos de inactividad / inmovilización frente al espectro de la actividad física

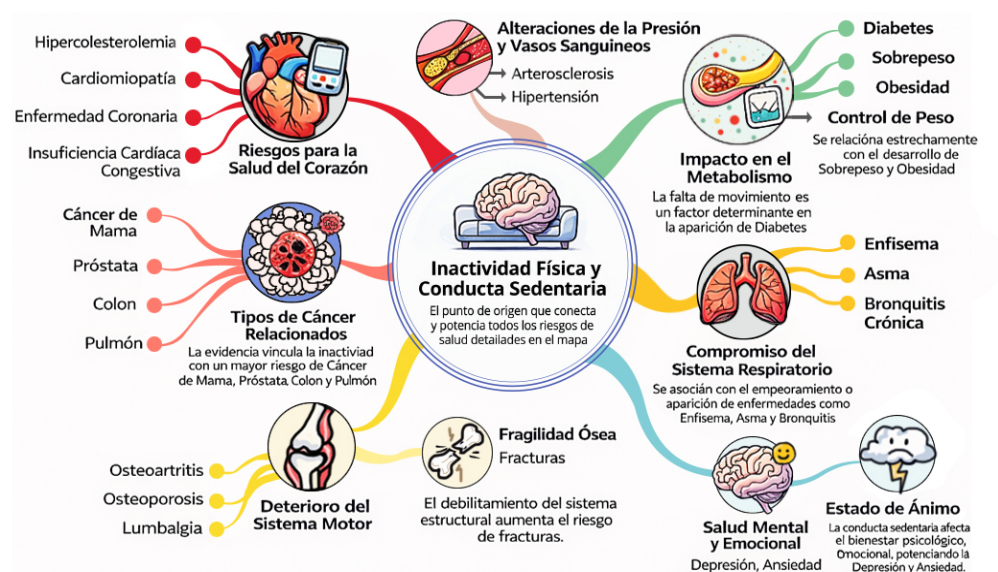


Fuente: Tomado y Modificado de Shur & Cols(41) y Pierre & Cols(46).

En el estudio longitudinal del centro de aerobio realizado por Blair(47), se indicó que una baja forma física cardiorrespiratoria es responsable de un numero sustancial de muertes de un 16%, en comparación con otros factores

de riesgo como son la obesidad 2-3%; tabaquismo 8-10%; hipercolesterolemia 2-4%; diabetes 2-4%; e hipertensión 8-16%. Las personas que no realizan ejercicio con regularidad tienen un mayor riesgo de desarrollar enfermedades crónicas como cardiopatías coronarias, hipertensión, hipercolesterolemia, cáncer, obesidad y trastorno musculoesqueléticos.

Figura 5. Rol de la Inactividad Física en las Enfermedades



Fuente: Tomado y modificado de Heyward & Gibson(48) y editado por NotebookLM

El equilibrio energético es un proceso importante de regulación entre el gasto y el consumo; un balance negativo es considerado a partir de un gasto mayor al consumo, provocando una pérdida progresiva de peso corporal, grasa y musculo, mientras que un balance positivo se da cuando la ingesta es mayor al gasto basal. En este sentido, el exceso de energía se conserva en forma de grasa, glucógeno y proteína, de acuerdo con que, si no es contrarrestada de manera adecuada por medio de mecanismos específicos, este balance evoluciona hacia la aparición de obesidad y demás trastornos que afectan el metabolismo(3).

Ya se ha abordado el concepto de IF, en este sentido, se contextualiza la inmovilización como una ausencia de movimiento por objetivos clínicos de una extremidad o de todo el cuerpo, de causa involuntaria, generando cambios biológicos inmediatos, lo que contrasta con la IF y la CS. Esta

inmovilización se relaciona con los entornos hospitalarios o de cuidado en casa. Independientemente de la causa de inmovilización en los individuos, los cambios tróficos del sistema musculoesquelético son rápidos, lo que ocasiona daños colaterales en la salud. Esta pérdida de trofismo se relaciona con la pérdida de fuerza y su consecuente alteración funcional, complicando la recuperación del paciente. La inmovilización se considera un factor de riesgo en el deterioro y la independencia funcional(46).

A través de la evidencia científica, se ha permitido informar y dar a conocer los beneficios que conlleva la disminución de conductas hipocinéticas promoviendo la realización de AF con intensidades de moderada a vigorosa intensidad y de manera regular. Este comportamiento se ve interrumpido por un auge en la globalización, el estilo de vida urbano y el crecimiento tecnológico, que causa cambios en el estilo de vida tendientes a la obesidad, comprometiendo al siglo XXI en lo que concierne a promover desde los entes gubernamentales, entornos y ambientes saludables que disminuyan el riesgo de afecciones derivadas de la CS y la IF.

Beneficios de la Actividad Física en la Salud

La AF es una intervención aceptada universalmente para la promoción de la salud, siendo un potencial amortiguador de los efectos perjudiciales de la multimorbilidad de la salud, la mortalidad por todas sus causas y la esperanza de vida(8, 49). Un individuo que realice actividades domésticas, (trapear, barrer, limpiar el polvo) que realice desplazamiento activo (realizar compras, ir al trabajo a pie), el ejercicio planificado y la participación en los deportes, podrían compensar la pérdida de actividad física. Desde la pandemia, la gente se ha dado cuenta de la necesidad de incorporar el deporte y el ejercicio en sus estilos de vida, no obstante, existe aún una gran cantidad de individuos a nivel mundial que su la actividad que realizan no es suficiente.

De acuerdo con el concepto de AF, todos los movimientos que un individuo realiza son actividades físicas, sin embargo, dichos movimientos pueden clasificarse en planificados y no planificados. Los Movimientos No Planificados son aquellos que se realizan al realizar compras en el supermercado, lavar los platos, subir escaleras, hacer aseo en casa o realizar caminatas hacia un destino particular ya sea el trabajo, la casa u otro sitio, que responden a las actividades de supervivencia. Lo Movimiento Planificados son aquellos que responden a la realización de deportes y el ejercicio, las cuales, están destinadas a generar

beneficios a la salud. Se caracterizan por tener un patrón y un volumen relativamente estables, incluyendo una frecuencia, duración e intensidad, involucrando a su vez reglas y competencia(9).

Tanto la CS como la IF, son dos factores que desarrollan la probabilidad de desarrollar ECNT, por consiguiente, la realización de actividad física con intensidades moderadas a vigorosas de manera regular, reducen el riesgo de sufrir de hipertensión, diabetes mellitus tipo 2, diferentes tipos de cánceres y la inflamación crónica relacionada con el envejecimiento(50).

La investigación científica ha confirmado múltiples beneficios que la realización de AF ofrece sobre la salud; la obesidad es un aumento de peso corporal que da lugar a una acumulación excesiva de grasa, la cual se asocia con un aumento en la producción de adipocitocinas proinflamatorias, incluido el factor de necrosis tumoral (FNT)- α y la interleucina (IL)-6, así como una disminución de la producción de adipocitocinas antiinflamatorias como la adiponectina y la IL-10(51). El crecimiento excesivo del tejido adiposo provoca hipoxia de los adipocitos y necrosis celular, proceso que induce al estrés oxidativo y recluta células inmunes como macrófagos y linfocitos al tejido adiposo (52). Este tipo de células inmunes secretan citoquinas proinflamatorias, que estimulan la producción de especies reactivas de oxígeno por parte de macrófagos y monocitos (52). De acuerdo con el contexto anterior, estudios como los de You & Cols (53) y Sakurai & Cols (54), han demostrado que la AF y el entrenamiento con ejercicio, ayuda a reducir la inflamación sistémica de bajo grado y mejora el estrés oxidativo en personas con obesidad y afecciones relacionadas. Otro estudio de Strasser et al(55), determinó que la AF o el entrenamiento con ejercicio, aumenta el gasto energético y reduce la grasa corporal, particularmente la grasa visceral, reduciendo la producción de adipocitocinas proinflamatorias.

En un estudio de Ding & Xu (56) se analizó la relación dosis-respuesta entre la actividad física durante el tiempo libre (AFTL) y los biomarcadores de inflamación y estrés oxidativo en una población de 4978 adultos con sobrepeso/obesidad; los resultados sugieren que la población con sobrepeso/obesidad deben realizar AFTL de una intensidad vigorosa de 330-380 min/semana, equivalente a una medida metabólica de 8 MET, con lo cual podrán obtener beneficios para la salud en términos de inflamación y regulación del estrés oxidativo.

Powel & Cols (57) en su informe científico del comité asesor sobre pautas de actividad física de 2018, se destacó que los beneficios de la actividad física (ver Tabla 4) incluyen la disminución del riesgo de aumento excesivo de peso en

niños y adultos, así como de la incidencia de seis tipos de cáncer y de lesiones relacionadas con caídas. Además, se establece que la actividad física está relacionada con una mejor función cognitiva y salud mental a lo largo de la vida. Por otro lado, el tiempo de inactividad física se asocia directamente con un mayor riesgo de mortalidad cardiovascular y por todas las causas, así como con la incidencia de enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2.

Tabla 4. Los Beneficios para la Salud Asociados con la Actividad Física Regular

Niños y Adolescentes	Adultos Jóvenes y Adultos Mayores
● Fortalecimiento de la salud ósea (de 3 a 17 años). ● Optimización del estado de peso (entre 3 y 17 años). ● Aumento de la aptitud cardiorrespiratoria y muscular (de 6 a 17 años). ● Mejora de la salud cardiometabólica (de 6 a 13 años). ● Disminución del riesgo de depresión (de 6 a 13 años).	● Disminución del riesgo de mortalidad por causas generales. ● Reducción del riesgo de mortalidad por enfermedades cardiovasculares. ● Menor probabilidad de desarrollar enfermedades cardiovasculares (incluyendo afecciones cardíacas y accidentes cerebrovasculares). ● Riesgo reducido de hipertensión. ● Menor riesgo de diabetes tipo 2. ● Disminución del riesgo de tener un perfil lipídico adverso en sangre. ● Menor probabilidad de cáncer en la vejiga, mama, colon, endometrio, esófago, riñón, pulmón y estómago. ● Mejora en la función cognitiva. ● Reducción del riesgo de demencia (incluida la enfermedad de Alzheimer). ● Aumento en la calidad de vida. ● Disminución de la ansiedad. ● Reducción del riesgo de depresión. ● Mejora en la calidad del sueño. ● Aumento lento o reducción del peso corporal. ● Pérdida de peso, especialmente cuando se acompaña de una ingesta calórica menor. ● Prevención del aumento de peso tras la pérdida inicial. ● Mejora de la salud ósea. ● Incremento en la función física. ● Menor riesgo de caídas en adultos mayores. ● Reducción del riesgo de lesiones relacionadas con caídas en adultos mayores.

Fuente: Tomado y Modificado de Szabo & Demetrovics(9)

Ejercicio Físico y Prescripción del Ejercicio

La mitad del siglo XX fue escenario de un crecimiento mundial de la obesidad y la inactividad física(58), donde los adultos jóvenes y mayores fueron los principales afectados(59). Los estudios poblacionales determinaron en el año 2014, que 266 millones (10.8%) de hombres y 375 millones (14.9%) de mujeres del mundo eran obesos, comparado con, 34 millones (3.2%) de hombres y 71 millones (6.4%) de mujeres en 1975, lo que trajo consigo, un impacto económico adverso que ascendió a 2 billones de dólares anuales (60, 61).

La AF es una estrategia recomendada con amplia evidencia científica, para mantenerse activo, sin embargo, la AF física realizada de manera regular (es decir, realizado por semanas o meses) y con intensidades que van desde moderada a vigorosa, permite generar cambios y adaptaciones que en general benefician la salud. Esa regularidad requiere una organización adecuada con el fin de generar estímulos y cambios homeostáticos a nivel metabólico. El Ejercicio Físico (EF) se convierte en la una alternativa para solucionar parte del riesgo de un estilo de vida sedentario, siendo una intervención más completa, como nivel que subyace de la AF, que permite, por medio de su ejecución de manera regular, adaptaciones beneficiosas y reducción del riesgo de ECNT. Es la manifestación practica del movimiento en el campo de la AF, donde cualquier esfuerzo individual o grupal se realiza por medio del EF, al igual que cada actividad deportiva, a través del cual, se genera un estímulo para poder desarrollar y perfeccionar capacidades motrices y física del individuo (62).

Al hablar de EF, nos referimos a un concepto que tiene como esencia, promover una adherencia o continuidad de su práctica y, que va más allá de actividades que realiza un individuo en su día a día. El EF se conceptualiza como una actividad planificada, estructurada y repetitiva realizada bajo la búsqueda de objetivos de mejorar o mantener la condición física(63) (es el estado fisiológico, metabólico y estructural que proporciona los fundamentos esenciales en la realización de las actividades de la vida diaria, con la intención de retardar la aparición de la fatiga) de un individuo (64, 65), provocando estrés al organismo, promoviendo adaptaciones agudas (adaptación que se da en el momento de realización del ejercicio) y crónicas (adaptación dada por los cambios estructurales y funcionales producto de las adaptaciones agudas, promovidas por el ejercicio repetitivo y regular o continuo), cuyos resultados impactan la homeostasis celular (66) y el metabolismo (conjunto de reacciones químicas, catalizadas por enzimas que tienen lugar en cada una de las células) (67). El metabolismo es un concepto clave para preservar la vida y la salud, facilitando tanto el crecimiento como el desarrollo personal. Esto se

logra a través de: a) la absorción, almacenamiento y utilización de la energía derivada de la ingesta de macronutrientes, y b) la creación de las estructuras propias que forman el organismo (67).

Se ha convertido en un foco de motivación para generar cambios en el estilo de vida, mejorar la capacidad aeróbica y física, controlar la aparición de la fatiga y generar un impacto beneficioso en la calidad de vida. También es recomendado y utilizado como plan de prevención e intervención sin requerimientos farmacológicos (68).

Sin embargo, la definición de EF infiere que se corresponda a una conducta, que tiene como fin, mejorar la Aptitud Física. De acuerdo con lo anterior, es más pertinente asociar el ejercicio con términos de características conductuales en lugar de determinantes motivacionales, lo que lleva a generar una distinción entre ejercicio y actividad física, identificando el principio FITT-VP.

Tabla 5. Definición del principio FITT-VP

Principio	Definición	Ejemplo
Frecuencia	¿Con qué frecuencia haces ejercicio?	5 veces por semana
Intensidad	¿Qué tan duro trabajas durante el ejercicio?	Moderada, Alta
Tipo/Modo	¿Qué tipo de actividad realizas?	Caminata, Trote
Tiempo/Duración	¿Cuánto tiempo haces ejercicio?	30 minutos, 10 segundos
Volumen	¿Cuál es la cantidad total de carga de entrenamiento?	Trote por 20 minutos, 3 veces por semana con intervalos de máxima velocidad por 10 metros cada 5 minutos.
Progresión	¿Cuál es el aumento progresivo de la actividad?	Aumento del tiempo de trote de 10 a 15 minutos en una semana.

Fuente: Tomado y Modificado de ACSM(69)

La práctica del EF implica que la intervención muscular se dé a partir de un trabajo mecánico y químico, donde el grado de trabajo se da por una planificación dada por la duración, frecuencia e intensidad (70).

Sistemas Energéticos

La realización de EF genera un gasto energético, siendo de esta manera, una estrategia para contrarrestar los desequilibrios dados entre en consumo y gasto energético. Sin embargo, su implementación requiere fuentes energéticas para su funcionamiento:

- **Aeróbico:** Aeróbico significa aire y vida y es un término derivado de la biología que describe a los organismos que requieren de oxígeno para sobrevivir. El ejercicio aeróbico, el cual estimula la respiración, es una estrategia que mejora la forma en que el cuerpo se oxigena. Se refiere a la actividad física sostenida durante un periodo que requiere de un esfuerzo adicional del sistema cardiopulmonar para aumentar el transporte de oxígeno a los músculos (71). El EF se realiza con el oxígeno como principal fuente de energía. Esta energía se obtiene por medio de tres macronutrientes que se consumen diariamente: Carbohidratos, Lípidos y Proteínas.
- **Anaeróbica:** La energía la obtiene sin la presencia de oxígeno, a través de dos sistemas: Sistema de Glucólisis Anaeróbica o Anaeróbica Láctica y; Sistema de los Fosfágenos o Anaeróbica Aláctica.

Estas dos rutas permiten adquirir los componentes necesarios para producir energía mediante la resíntesis de Adenosín Trifosfato (ATP). Este proceso abarca desde la descomposición de glucosa y glucógeno hasta la formación de piruvato y/o lactato (glucólisis), así como la oxidación aeróbica de lípidos, proteínas y carbohidratos (fosforilación oxidativa)(67).

El movimiento, la activación química del metabolismo y el trabajo dedicado al transporte de iones, implica fases de cambio, variación y desplazamiento de las partes del cuerpo o de todo su conjunto. El movimiento se produce gracias a las acciones isotónicas de los músculos, por consiguiente, este trabajo muscular requiere de energía que es obtenida por el ATP.

El ATP es un nucleótido esencial para la producción de energía en las células. Su estructura incluye una base nitrogenada (adenina) unida al carbono 1 de un azúcar pentosa, la ribosa, que en su carbono 5 tiene tres grupos fosfatos conectados.

Existen tres sistemas, llamados Sistemas Energéticos, de los cuales se obtiene energía para diferentes tipos de actividades:

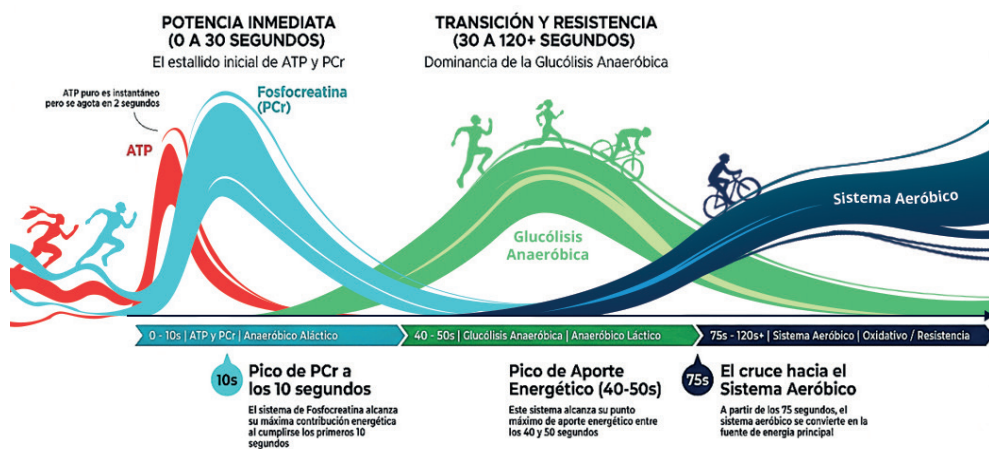
Sistema Anaeróbico Aláctico o Sistema de los Fosfágenos: es un sistema conformado por el ATP y el PCr (Fosfato de creatina), los cuales permiten el intercambio de energía en el metabolismo muscular y se encuentran libremente en el citoplasma de la célula muscular. Estos fosfágenos tiene como característica su utilización rápida y en gran cantidad por unidad de tiempo, sin embargo, en cuanto a la disposición de cantidad es poca. Debido a que la capacidad de almacenamiento es poca (0.7mol de ATP), la duración

de los esfuerzos de máxima intensidad tiende a ser de 6 a 8 segundos, es decir, su potencia o capacidad de utilización es alta (3.7mol de ATP) y es adecuada para trabajos rápidos y cortos como fuerza potencia. Como ejemplo de estas actividades, el sistema anaeróbico aláctico suministra energía en acciones como el levantamiento de pesas (halterofilia), en el saque de un tenista, la salida de un velocista de 100mts o en el lanzamiento de un pitcher en el beisbol, entre otras actividades que requieren de fuerza máxima de corta duración(72, 73, 10).

Sistema Anaeróbico Láctico o Glucolisis Anaeróbica: Este sistema también es conocido como la vía Embden-Meyer-Hof y se lleva a cabo en el citoplasma de las miofibras. La glucosa es la principal fuente de energía, la cual se obtiene a partir del glucolisis. Por medio de la degradación de la glucosa se resintetiza el ATP, proporcionando una gran cantidad de energía por unidad de tiempo (almacenamiento de 1.2mol de ATP; potencia de 1.6mol de ATP), por debajo de la capacidad del sistema de fosfágenos, sin embargo, proporciona mayor duración en esfuerzos de alta intensidad en tiempos que van desde los 6-8 segundos hasta los 2 minutos. Este sistema entra en acción a los 6-8 segundos con la resíntesis de ATP por medio de actividades de alta intensidad. En el proceso bioquímico de degradación de la glucosa, se libera hidrogeno (H^+) y, cuando su concentración es mayor a la del O_2 , el H^+ se fija al ácido pirúvico, dando lugar al ácido láctico. Teniendo en cuenta este proceso, el acumulo, se produce una acidosis metabólica miofibrilar, provocando una inhibición de enzimas necesarias en la glucolisis, como la Fosfofructoquinasa (PFK), ocasionando fatiga muscular. Dentro de las actividades que se pueden ejemplarizar en la participación de este sistema, es en actividades que impliquen velocidad como los 100, 400mts planos (72, 73, 10).

Sistema Aeróbico o Fosforilación Oxidativa: El metabolismo aeróbico se desarrolla directamente en la mitocondria de las células y se hace necesario el uso del O_2 . Es un sistema que proporciona la mayor cantidad de energía para y durante la actividad muscular. A partir de del consumo de macronutrientes diarios como los lípidos, carbohidratos y proteínas, se obtiene los sustratos. Este sistema suministra energía para actividades larga duración, mayor a 2 minutos. La cantidad y capacidad de metabolizar O_2 y los demás sustratos, dependen esencialmente del número y la concentración de mitocondrias y las células. Este sistema brinda una capacidad de almacenamiento alta (90mol de ATP) y una potencia de utilización pequeña (1mol de ATP). Este sistema se activa a nivel deportivo en actividades de larga duración como los maratonistas o en la vida normal cuando se realiza una caminata larga (72, 73, 10).

Figura 6. Aporte energético de acuerdo con los sistemas involucrado y relación con la intensidad y la duración del ejercicio



Fuente: Tomado y adaptado de Steinach & Gunga(73)

El sistema o metabolismo aeróbico se produce en las mitocondrias y necesita de O_2 para la obtención de energía. Mientras que, el sistema aeróbico, no requiere del uso del O_2 (Figura 5). El dominio de cada sistema se da con relación a la duración y la intensidad del ejercicio y, comprender los parámetros del ejercicio, requiere del conocimiento de los parámetros de la Prescripción del Ejercicio (PE).

La realización de manera regular de EF, mejora de manera significativa la condición física del individuo, dándole herramientas para desenvolverse funcionalmente en las exigencias físicas que ofrece la vida diaria y, mejorando el estilo de vida. El concepto de prescripción toma su definición a partir de las bases de la terapéutica razonada aplicada a las áreas de la salud (74). La PE, de acuerdo con la American College of Sports Medicine (ACSM), se define como la integración efectiva de las ciencias del ejercicio y las estrategias de comportamiento, de manera sistemática y personalizada, con el fin de alinearse con los objetivos de cada persona. Esto incluye la capacidad de implementar un programa de ejercicio prolongado, teniendo en cuenta y cuantificando variables que determinan la dosis de ejercicio, tales como el tipo de ejercicio, frecuencia, duración e intensidad (75).

El sistema o metabolismo aeróbico se produce en las mitocondrias y necesita de O_2 para la obtención de energía. Mientras que, el sistema aeróbico, no requiere del uso del O_2 (Figura 5). El dominio de cada sistema se da

con relación a la duración y la intensidad del ejercicio y, comprender los parámetros del ejercicio, requiere del conocimiento de los parámetros de la Prescripción del Ejercicio (PE).

La realización de manera regular de EF, mejora de manera significativa la condición física del individuo, dándole herramientas para desenvolverse funcionalmente en las exigencias físicas que ofrece la vida diaria y, mejorando el estilo de vida. El concepto de prescripción toma su definición a partir de las bases de la terapéutica razonada aplicada a las áreas de la salud (74). La PE, de acuerdo con la American College of Sports Medicine (ACSM), se define como la integración efectiva de las ciencias del ejercicio y las estrategias de comportamiento, de manera sistemática y personalizada, con el fin de alinearse con los objetivos de cada persona. Esto incluye la capacidad de implementar un programa de ejercicio prolongado, teniendo en cuenta y cuantificando variables que determinan la dosis de ejercicio, tales como el tipo de ejercicio, frecuencia, duración e intensidad (75).

La PE toma importancia por varias razones: a) permitir a los individuos a incrementar su nivel de actividad física habitual, generando un cambio sustancial en su estilo de vida donde puedan ser más activos; b) prevenir la mortalidad generada por ECNT, el deterioro cognitivo, la ansiedad y la depresión (76); c) facilitar el mejoramiento o el mantenimiento de los componentes de la condición física y; d) favorecer los procesos de rehabilitación. Por estas razones es que los profesionales de la salud que realizan prevención primaria, por medio de la PE, pueden influir en los pacientes con algún riesgo, a incrementar el nivel de AF como estrategia de promoción de la salud.

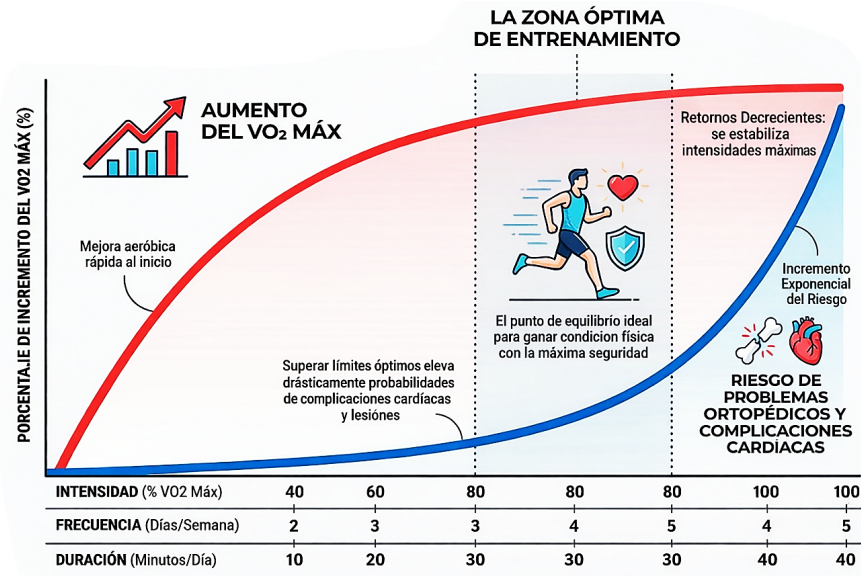
En la PE existe siempre la inquietud sobre cuál es la dosis apropiada de ejercicio para provocar una respuesta adecuada. Es una situación similar al que sucede cuando el médico debe establecer el tipo y cantidad de medicamento, así como también el tiempo de consumo necesario para curar la enfermedad. Las dosificaciones varían, no es lo mismo la dosificación para un dolor de cabeza que para un dolor muscular, así mismo, la dosis de ejercicio físico necesario para alcanzar un nivel alto de rendimiento es diferente que el necesario para obtener resultados que impacten la salud.

La PE debe describir de manera clara descripciones sobre los parámetros de las actividades que se deben realizar con el fin de lograr beneficios propuestos de acuerdo con los objetivos de los individuos y profesionales en la salud. Estos parámetros son la frecuencia, la intensidad, tipo de ejercicio y duración.

Parámetros de la Prescripción del Ejercicio

- **Frecuencia:** se refiere a las veces por semana. Este parámetro depende del individuo que va desde un sedentario hasta un deportista de alto rendimiento. Un individuo sedentario requiere un proceso de adaptación, por tal motivo, para iniciar, se recomienda una frecuencia de tres veces por semana; mientras que un deportista de alto rendimiento, su condición deportiva requiere estímulos constantes que le permitan estar en constante disposición atlética, con frecuencia que van desde 5-7 veces por semana, de acuerdo con el tipo de deporte, competencia o instancia de la competición. Las veces por semana hace referencia a las sesiones de ejercicio programada a las que estará sometido el individuo para la aplicación del programa de ejercicio. Las pautas recomendadas por organismos expertos en recomendaciones de ejercicio físico establecen para personas convencionales, siguieren garantizar 30 minutos diarios de ejercicio de intensidad moderada de 3-5 veces a la semana(77). La frecuencia del ejercicio es mayor en ejercicio de intensidad moderada (≥ 5 días/semana) que para ejercicios de alta intensidad (≥ 3 días/semana), esto se da por cumplir el objetivo de llegar a alcanzar el volumen de ejercicio recomendado. Las mejoras de la Salud Cardiorrespiratoria aumentan con la frecuencia de las sesiones de ejercicio, siendo así, se recomienda como mínimo 2 sesiones, y las ganancias de la Salud Cardiorrespiratoria se nivelan después de 3 a 4 sesiones por semana, sin embargo, la intensidad debe ser mayor que la impuesta en un programa de 3 sesiones por semana. Cuando se realice un ejercicio de alta intensidad que incluye 3 o 4 sesiones por semana, se debe incluir un día de descanso entre sesiones (63).

Figura 7. Efectos del aumento de la frecuencia, duración e intensidad del ejercicio sobre el aumento del VO₂máx en un programa de entrenamiento



Fuente: Tomado y adaptado de Powers & Howley(63)

- Tipo/Modo de Ejercicio:** se refiere a las características de las actividades a realizar, de naturaleza aeróbica o anaeróbica. El tipo de actividad que se prescribe se basa en el nivel de condición física y los intereses del individuo(78). De acuerdo con esto, se torna importante garantizar la adherencia al ejercicio por medio de actividades que sumado a los beneficios que trae consigo su práctica, el individuo pueda disfrutar y sentir placer al realizarlo, buscando aumentar la probabilidad de que se convierta en una práctica regular. Se recomienda actividades o ejercicios aeróbicos que incluyan la ejecución de movimientos de amplio rango que involucre la participación de grandes grupos musculares, como son caminata de largas distancias o el ciclismo. Las actividades anaeróbicas requieren de adaptaciones superiores, las cuales implican una ejecución de movimientos donde se desarrolle fuerza en menor unidad de tiempo. Para fomentar alteraciones en la composición corporal y mejorar la resistencia ósea, se sugiere emplear diversos tipos de entrenamiento. Para alcanzar cambios en la composición corporal, es importante combinar el ejercicio aeróbico, que ayuda a reducir la grasa corporal, con ejercicios de resistencia, que favorecen el desarrollo muscular y la fortaleza ósea (79).

Tabla 6. Tipos de modos de entrenamiento y ejercicio para mejorar los componentes de la aptitud física

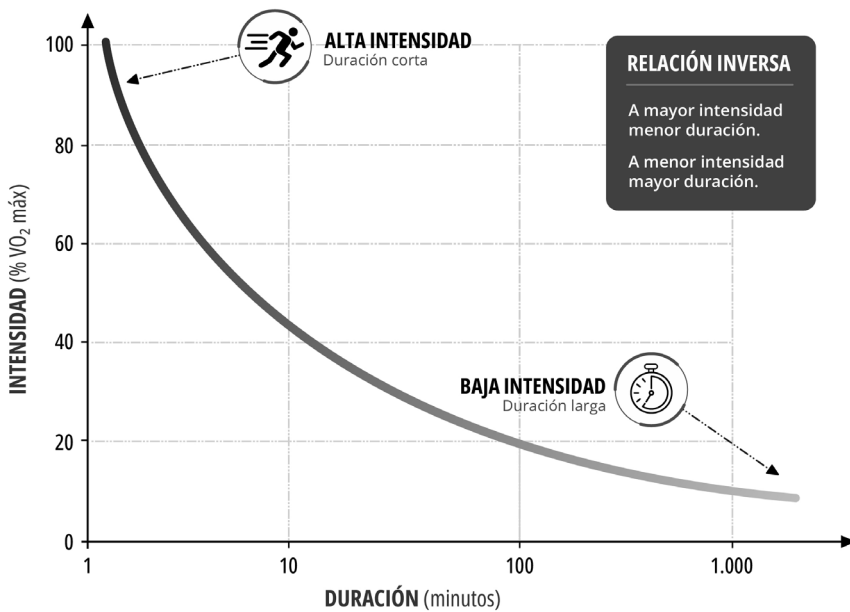
Componente de la Aptitud Física	Tipo de Entrenamiento	Modos de Ejercicio
Resistencia Cardiorrespiratoria	Ejercicio Aeróbico	Caminata, trote, ciclismo, remo, escalinata, esquí de fondo, danza aeróbica y actividad elíptica.
Fuerza y Resistencia Muscular	Ejercicio de resistencia	Peso libre, ejercicio en maquina y ejercicios con cintas.
Resistencia Ósea	Ejercicio Aeróbico y ejercicio de resistencia con tolerancia al peso	Caminata, trote, danza aeróbica, peso libre y ejercicios en máquina.
Composición Corporal	Ejercicio Aeróbico y ejercicio de Resistencia	Los mismos modelos referidos para la resistencia cardiorrespiratoria se aplican también a la fuerza muscular.
Flexibilidad	Ejercicio de Estiramiento	Estiramiento estático, estiramiento con FNP, yoga, tai chi y pilates.

Fuente: Tomado y Modificado de Heyward & Gibson(79)

- **Intensidad:** (carga de trabajo) hace referencia al porcentaje (%) del ejercicio ejecutado y a la presión fisiológica a la que se somete el individuo al realizar el ejercicio(80), incluye la cantidad de resistencia, la complejidad y la velocidad del ejercicio(77). La intensidad de ejercicio se basa fundamentalmente en el % de frecuencia Cardiaca Máxima (FcMax) del ejercicio durante un tiempo de 60 minutos. Se convierte en el método común para determinar la intensidad del ejercicio. La intensidad describe la sobrecarga del sistema cardiovascular necesaria para lograr el efecto del entrenamiento. No debería sorprender que el umbral de intensidad para un efecto de entrenamiento Cardiopulmonar sea menor para los menos en forma y mayor para los más en forma(63, 81). El cálculo de la frecuencia cardiaca de entrenamiento (FcE) se basa en la FcMax teórica, obtenido por la formula $FcMax=220-edad$. Por ejemplo, para determinar la FcE de un individuo de 38 años se aplica de la siguiente manera: $FcMax=220-38$, esto da como resultado 182 latidos por minuto (lpm) lo que es equivalente al 100% o FcMax. La FcE se determina, según recomendaciones, en un rango del 40 al 80% de ese 100% obtenido. Supongamos un paciente de 38 años, la FcE se va a estimar con un 55% de intensidad con base en su FcMax, que es de 100lpm. Es decir, que, durante la duración del ejercicio, lo ideal es que el individuo mantenga su frecuencia cardiaca en 100lpm.

Se debe tener en cuenta que este parámetro guarda relación inversa con la duración del ejercicio, es decir, a mayor intensidad de ejercicio, menor duración (Figura 8). Esta relación permite regular las cargas de acuerdo con las fuentes energéticas y permite el reabastecimiento energético y las adaptaciones a los estímulos dados, considerando que, la intensidad del ejercicio determina los cambios fisiológicos y metabólicos en el organismo, los cuales son determinados por el objetivo del individuo, la edad, la estratificación del riesgo y la condición física. La intensidad del ejercicio debe generar una tensión fisiológica adecuada sin exceder la capacidad del sistema cardiopulmonar ni del sistema musculoesquelético. Por esta razón, debe ser calculada de manera individual, requiere un monitoreo constante y se inicia en menor proporción en individuos sedentarios o pacientes con afecciones.

Figura 8. Relación inversa entre la intensidad y la duración del ejercicio



- **Duración:** Se refiere al tiempo que se realiza una sesión de ejercicio o un ejercicio específico. La duración del ejercicio no solo está influenciada por la intensidad, sino también por la salud del individuo, su nivel de condición física inicial, su capacidad funcional y los objetivos del programa (82, 79). Las sesiones de ejercicio tienen un rango de duración que van desde los

30 a los 60 minutos. El ACSM recomienda que cada individuo acumule semanalmente al menos 150 min de ejercicio aeróbico de intensidad moderada o 75 min/semana de ejercicio aeróbico de alta intensidad(79). Este tiempo permite garantizar cambios en el metabolismo y la homeostasis del organismo, si bien se realiza con intensidades moderadas en cuanto a la duración del ejercicio específico, este va a depender de la intensidad prescrita. Las duraciones pueden tener variaciones desde actividades continuas o intermitentes, que teniendo en cuenta su dinámica, pueden durar segundos, minutos u horas(81).

La PE requiere un proceso riguroso e idóneo por parte de profesionales de la salud que cuenten con herramientas adecuadas para objetivar lo subjetivo. Este proceso incluye los siguientes pasos:

Figura 9. Algoritmo de la Prescripción del Ejercicio



Fuente: Tomado y Ajustado de Pinzón(74) y editado por NotebookLM

Pasos para la Prescripción del Ejercicio

Primer paso: Tamizaje/Estratificación del Riesgo. Los profesionales de la salud, encargados de prescribir ejercicio, deben hacerse dos preguntas clave ¿El paciente puede hacer ejercicio? ¿El paciente requiere supervisión? Plantearse estas preguntas requiere entender la importancia de crear un escenario de seguridad al paciente. Para tal fin y, debido a que no a todos los pacientes se les puede realizar una evaluación médica, el ACSM junto con la Asociación Americana del Corazón (AHA), consensuaron la necesidad de determinar la

forma identificar que pacientes pueden y cuales no adherirse a un programa de ejercicio sin el requerimiento de una evaluación médica exhaustiva, para lo cual, se han planteado tres ítems de observación:

- **Escala NYHA (New York Heart Association):** Es una escala que valora la funcionalidad cardiaca de los individuos y clasifica cuatro clases basándose en las limitaciones para la actividad física del paciente, originados por los síntomas cardiacos.

Tabla 7. Clasificación funcional de la insuficiencia cardiaca según la NYHA

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL NYHA	
Clase I	En este contexto, no hay limitaciones para la actividad física. Las actividades ordinarias no producen fatiga excesiva, palpitaciones, disnea o dolor anginoso, lo que sugiere que la persona puede realizar dichas actividades sin riesgo significativo para su salud.
Clase II	En este caso, existe una ligera limitación de la actividad física. Aunque la persona se siente cómoda en reposo, las actividades ordinarias pueden provocar síntomas como fatiga, palpitaciones, disnea o dolor anginoso, lo que indica que se debe tener precaución al realizar cualquier esfuerzo físico.
Clase III	Marcada limitación de la actividad física, la persona se encuentra cómoda en reposo, pero cualquier actividad física que sea menor que la ordinaria puede causar síntomas significativos como fatiga, palpitaciones, disnea o dolor anginoso. Esto indica una necesidad de monitoreo cuidadoso y posiblemente la intervención de un profesional de la salud antes de realizar cualquier esfuerzo físico.
Clase IV	En esta situación, hay una incapacidad para realizar cualquier actividad física sin experimentar disconfort. Los síntomas relacionados con la insuficiencia cardíaca o el síndrome anginoso son evidentes incluso en reposo, lo que indica un estado crítico de salud. La realización de cualquier actividad física, por mínima que sea, provoca un aumento del disconfort, lo que sugiere una condición médica grave que requiere atención médica inmediata y posiblemente restricciones estrictas en la actividad física.

Fuente. Tomado y adaptado de Ramos & Cols(83)

- **Cuestionario PAR-Q (Physical Activity Readiness Questionnaire):** Es un cuestionario que permite la detección de posibles afecciones cardiovasculares en personas aparentemente sanas que requieren iniciar un programa de ejercicio físico. Se aplica a personas entre 15 y 65 años, con la intención de identificar si requieren una valoración médica rigurosa. El cuestionario consta de 7 preguntas con opción dicotómica de respuesta (Si/No). Al aplicar el cuestionario al paciente y, esta contesta afirmativamente a una o más preguntas, se debe sugerir una evaluación médica rigurosa y poder realimentar sobre la importancia de las preguntas sobre su salud. En este sentido, el paciente no debe iniciar aun el programa de ejercicio

físico hasta no tener resultados objetivos médicos. Si, por el contrario, el paciente responde de manera negativa a todas las preguntas formuladas, este podrá iniciar el programa de ejercicio físico progresivo y supervisado.

Tabla 8. Cuestionario PARQ & YOU

Preguntas	SI	NO
¿Le ha dicho alguna vez su médico que tiene usted problemas cardíacos y que no debe hacer ejercicios sin consultarlo con un médico?		
¿La actividad física le ocasiona dolores en el pecho?		
En el último mes ¿ha sentido dolor en el pecho cuando ha realizado algún esfuerzo?		
¿Siente mareos que le hacen perder el equilibrio o el conocimiento?		
¿Tiene algún problema óseo o articular que pudiera agravarse con el ejercicio físico propuesto?		
¿Le receta su médico medicamentos contra la hipertensión o la insuficiencia cardíaca (por ejemplo, diuréticos)?		
¿Su experiencia personal o el asesoramiento médico le hacen pensar que no debería hacer ejercicio físico sin prescripción médica?		

Tomado y Adaptado de Heyward & Gidson(84)

Segundo paso: Evaluación de la Aptitud de Riesgo. En este paso se establece una historia clínica para identificar factores de riesgo del individuo, los cuales, pueden brindar informacional profesional sobre la posible vulnerabilidad. Este proceso requiere de una experticia por parte del profesional, en indagar o investigar a partir de datos de historia clínica y de entrevista con el paciente, para hallar posibles afecciones o deficiencias que puedan prohibir o modificar la participación del paciente en un programa de ejercicio físico.

Tercer paso: Evaluación de la Aptitud Física(85). O evaluación objetiva de la condición física es fundamental para iniciar la prescripción de ejercicios. Para llevar a cabo una adecuada valoración de la aptitud física, es necesario identificar y considerar cuatro componentes esenciales: la composición corporal, la capacidad aeróbica, la fuerza muscular y la flexibilidad.

- **Composición Corporal:** Se refiere a las cantidades relativas de tejido en el cuerpo, definidas como cantidades relativas de:
- **Masa Magra:** todo tejido corporal que no es graso como la masa ósea, masa proteica, visceral y muscular.
- **Masa Grasa:** todo tejido corporal graso.

La medición de la composición corporal se realiza para determinar estados nutricionales o riesgos de ECNT. Las evaluaciones se realizan principalmente, a partir de las siguientes estrategias:

- **Peso:** es el resultado de la interacción entre la masa de un cuerpo y la acción de la gravedad. El peso se puede medir, términos de antropometría, en kilogramos (Kg) o Libras (lb). Se evalúa por medio de una báscula y con el paciente en posición bípedo.
- **Talla:** es la medida tomada desde el vértex a la planta de los pies. Esta media se toma en centímetros (cm) o metros (m), por medio de un tallímetro y con el paciente en posición bípedo.
- **IMC:** conocido también como índice de Quetelet, es la medida de asociación entre el peso y la altura del paciente. Se obtiene dividiendo el peso en Kg, sobre la Talla en metros al cuadrado [Peso (Kg)/Talla(m)2].

Tabla 9. Clasificación del riesgo de enfermedad según el índice de masa corporal y la circunferencia de la cintura

		Riesgo de enfermedad en relación con el peso y la circunferencia de la cintura normales	
	IMC= Kg/Mt2	Hombres 102 cm Mujeres 88 cm	Hombres 102 cm Mujeres 88 cm
Bajo Peso	>18.5	----	----
Peso Normal	18.5 – 24.9	----	----
Sobrepeso	25 – 29.9	Incremento	Alto
Obesidad			
Obesidad tipo I	30 – 34.9	Alto	Muy Alto
Obesidad tipo II	35 – 39.9	Muy Alto	Muy Alto
Obesidad tipo III	≥40	Extremadamente Alto	Extremadamente Alto

Fuente: Tomado y Modificado de ACSM (86)

- **Porcentaje de Grasa:** es una medida que indica la cantidad de grasa corporal. La medición se puede realizar a partir de ecuaciones que requieren datos de pliegues cutáneos o, por medio de bioimpedancia. Los valores de grasa mínimos, promedio y de obesidad varían según la edad, el sexo y el estado de actividad (87).

Tabla 10. Estándares de porcentaje de grasa corporal para adultos, niños y adultos físicamente activos

No Recomendado		Niveles de %Grasa Corporal recomendados para adultos y niños			
Hombres		Bajo	Medio	Alto	Obesidad
6-17 años	<5	5-10	11-25	26-31	>31
18-34 años	<8	8	13	22	>22
35-55 años	<10	10	18	25	>25
55+ años	<10	10	16	23	>23
Mujeres					
6-17 años	<12	12-15	16-30	31-36	>36
18-34 años	<20	20	28	35	>35
35-55 años	<25	25	32	38	>38
55+ años	<25	25	30	35	>35
Niveles de %Grasa Corporal recomendados para adultos físicamente activos					
Hombres		Bajo	Medio	Superior	
18-34 años		5	10	15	
35-55 años		7	11	18	
55+ años		9	12	18	
Mujeres					
18-34 años		16	23	28	
35-55 años		20	27	33	
55+ años		20	27	33	

Fuente: Tomado y Modificado de Heyward & Gibson(87)

- **Somatotipo:** Es una medida que clasifica el físico a partir del concepto de forma o conformación exterior del cuerpo. Se evalúa por medio del Método Heath-Carter, el cual proporciona una clasificación de tres somatotipos:

- **Endomorfo:** Gordura relativa o adiposidad relativa.
 - **Mesomorfo:** Robustes musculoesquelética relativa.
 - **Ectomorfo:** Linealidad o delgadas relativa.
- **Relación Cintura/Cadera:** Es una evaluación que calcula la proporción entre la circunferencia de la cintura y la de la cadera, sirviendo como un indicador de cómo se distribuye la grasa en el cuerpo. Una relación cintura/cadera elevada puede señalar la presencia de obesidad visceral, lo que, a su vez, incrementa el riesgo de desarrollar hipertensión, diabetes tipo 2, hiperlipidemia y enfermedades cardiovasculares(88). La obesidad de la parte superior del cuerpo, o adiposidad central determinada por la Relación C/C se relacionado moderadamente con factores riesgos asociados con ECV y metabólicas en hombres y mujeres. Los adultos jóvenes con valores de Relación C/C superiores a 0,94 para hombres y 0,82 para las mujeres tienen un alto riesgo de sufrir consecuencias adversas para la salud(87). Para determinar la Relación C/C, se debe dividir la medida del perímetro de la cintura en centímetros por la medida del perímetro de la cadera también en centímetros. Se sugiere que la medición de la cintura se realice en el punto medio entre el borde inferior de las costillas y la cresta iliaca, mientras que la medida de la cadera debe tomarse en referencia a los trocánteres mayores.

Tabla 11. Normas de relación de circunferencia cintura-cadera
para hombres y mujeres

		Riesgo			
Sexo	Edad	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto
Hombres	20-29	<0.83	0.83 - 0.88	0.89 – 0.94	>0.94
	30-39	<0.84	0.84 - 0.91	0.92 – 0.96	>0.96
	40-49	<0.88	0.88 - 0.95	0.96 – 1.00	>1.00
	50-59	<0.90	0.90 - 0.96	0.97 – 1.02	>1.02
	60-69	<0.91	0.91 – 0.98	0.99 – 1.03	>1.03
Mujeres	20-29	<0.71	0.71 – 0.77	0.78 – 0.82	>0.82
	30-39	<0.72	0.72 – 0.78	0.79 – 0.84	>0.84
	40-49	<0.73	0.73 – 0.79	0.80 – 0.87	>0.87
	50-59	<0.74	0.74 – 0.81	0.82 – 0.88	>0.88
	60-69	<0.76	0.76 – 0.83	0.84 – 0.90	>0.90

Fuente: Tomado y Modificado de Heyward & Gibson(87)

- **Flexibilidad:** es un componente de la aptitud física, que permite mover una articulación o una serie de articulaciones con fluidez a través de la amplitud de movimiento completa sin presentar daños, limitaciones o molestias. La flexibilidad está determinada por la longitud muscular, la integridad de las articulaciones y la extensibilidad de los tejidos. En este componente distinguimos dos clases de flexibilidad: la **Flexibilidad Estática** es una medida del arco de movilidad total de la articulación y está determinada por la extensibilidad de la unidad musculotendinosa, este tipo de flexibilidad es evaluada por medio del goniómetro y es totalmente pasiva como cuando los músculos agonistas se relajan mientras el segmento se mueve a través de un rango de movimiento por una fuerza externa, como otra persona y objeto (rango de movimiento pasivo); y la **Flexibilidad Dinámica**, la cual es una medida de tasa de torsión o resistencia desarrollada durante el estiramiento a lo largo del arco de movilidad, la cual puede evaluarse por diferentes métodos como la prueba de Sit and Reach, pruebas específicas como la de Ely (ideal para el músculo recto femoral) o la prueba de Thomas (ideal para el músculo Psoas Iliaco), entre otras. Esto se puede obtener de forma activa mediante alguna contracción voluntaria de un agonista que crea el movimiento articular (rango de movimiento activo)(89). En general, la flexibilidad sufre unas limitaciones fisiológicas dadas por tejidos adyacentes como son la capsula articular en un 47%, los músculos y fascias en un 41%, los tendones y ligamentos en un 10% y la piel en un 2%(90).

Imagen 1. Evaluación de la Flexibilidad Estática por medio de la goniometría



Fuente: Tomado y modificado de Heyward & Gibson (87). Imagen mejorada digitalmente utilizando [ChatGpt]

Imagen 2. Evaluación de la Flexibilidad Dinámica por medio del Sit and Reach



Fuente: Tomado y modificado de Heyward & Gibson (87). Imagen mejorada digitalmente utilizando [ChatGpt]

- **Aptitud Muscular:** en este componente se destacan dos elementos importantes que son la fuerza y la resistencia muscular. Esta aptitud es importante en la supervivencia del individuo, debido a que unos mínimos niveles de aptitud muscular son necesarios para responder a las exigencias de la vida diaria, mantener una independencia funcional a medida de un envejecimiento contante, lo que nos permite participar de manera activa sin que aparezca la fatiga. De acuerdo con lo anterior, la Fuerza Muscular es la capacidad de un musculo o grupo muscular de producir tensión contráctil máxima al activarse en contra de una resistencia externa o interna, a través de una contracción isométrica o isotónica(91, 92). La Resistencia Muscular es la capacidad de un grupo de músculos para ejercer una fuerza submáxima durante tiempos prolongados. Estos dos componentes de la aptitud muscular pueden evaluarse a través de contracciones estáticas (Isométrica) o dinámicas (Isotónica). Si al realizar la evaluación la resistencia a la que se somete el musculo es fija, el tipo de contracción desarrollado por el musculo es isométrica (“iso”, igual; “métrica”, longitud) y no existe movimiento. Por el contrario, si al realizar la evaluación muscular, la resistencia se mueve, el

tipo de contracción muscular es isotónica (“iso”, igual; “tónica”, tensión), e involucra tanto a una contracción concéntrica o una acción excéntrica. En este sentido, si la resistencia es menor a la fuerza producida por el grupo muscular, permitiendo que el musculo se acorte a medida que produce tensión, entonces la contracción es concéntrica. Cuando la resistencia impuesta al grupo muscular es mayor a la fuerza producida por el grupo muscular, generando una acción de frenado para amortiguar la carga, provocando un aumento de tensión se alarga, se habla de una acción excéntrica (91, 93).

Imagen 3. Evaluación Muscular Estática o Isométrica por medio de la Dinamometría



Fuente: Tomado y modificado de Heyward & Gibson (87). Imagen mejorada digitalmente utilizando [ChatGpt]

Imagen 4. Evaluación Muscular Dinámica o Isotónica



Fuente: Tomado y modificado de Heyward & Gibson (87). Imagen mejorada digitalmente utilizando [ChatGpt]

- **Aptitud Cardiorrespiratoria:** o aptitud cardiorrespiratoria, es la capacidad del corazón, los pulmones y el sistema circulatorio para suministrar oxígeno y nutrientes de manera eficiente a los músculos que, permitiendo el desarrollo de las actividades que implican la participación de grandes grupos musculares durante periodos prolongados de tiempo. Se debe tener en cuenta que lo que se mide es el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) o lo que es la tasa de utilización de oxígeno en los músculos durante el ejercicio. La evaluación de la Aptitud Cardiorrespiratoria debe incluir una prueba de función durante el reposo y en el ejercicio. Se evalúan por medio de pruebas directas (*medición directa de gases*) o pruebas indirectas (*estimación por ecuaciones*) como la prueba de Cooper, Harvard, Rockport, Course Navette, Bruce, entre otros (94).

Imagen 5. Evaluación de la Aptitud Cardiorrespiratoria de modo directo



Fuente: Tomado y modificado de Heyward & Gibson (87). Imagen mejorada digitalmente utilizando [ChatGpt]

Imagen 6. Evaluación de la Aptitud Cardiorrespiratoria de modo indirecto



Fuente: Tomado y modificado de Heyward & Gibson (87). Imagen mejorada digitalmente utilizando [ChatGpt]

Cuarto paso: Plan de Ejercicio. De acuerdo con los resultados obtenidos en los pasos anteriores y, en la evaluación de la aptitud física, se deben identificar sobre las necesidades del individuo. Estos resultados sirven de base para determinar, crear el plan de ejercicio, el cual debe perseguir objetivos claros, debe ser realista. Se debe tener en cuenta los parámetros descritos anteriormente en la prescripción del ejercicio (Tipo de ejercicio, frecuencia, intensidad y duración). Cada sesión de ejercicio debe incluir las fases de:

- Calentamiento (5 - 10min)
- Fase Central o de Acondicionamiento (20 – 60 min)
- Enfriamiento o Vuelta a la Calma (5 – 10 min)
- Estiramiento (≥ 10 min)

El calentamiento tiene como objetivo incrementar el flujo sanguíneo hacia los músculos cardíacos y esqueléticos, elevar la temperatura corporal y reducir la viscosidad de los tejidos, lo que facilita una mayor movilidad. Debe ser de manera progresiva de tal manera que el cuerpo se vaya adaptando a la exigencia física y poder responder adecuadamente a la fase central. Se caracteriza por ejercicios aeróbicos de baja intensidad, progresando a intensidad

moderada. Dependiendo de la condición del individuo, se aceptan periodos de calentamiento de hasta 20 minutos teniendo en cuenta el componente progresivo. La fase Central o de Acondicionamiento, el ejercicio prescrito se debe aplicar teniendo en cuenta el principio FITT-VP (Frecuencia, Intensidad, Tiempo/Duración, Tipo/Modo de ejercicio, volumen y progresión). Esta fase suele durar entre 20 a 60 minutos y depende exclusivamente de la condición del individuo y de la intensidad del ejercicio prescrito, recordando la regla inversa entre la intensidad y duración. En esta fase se expone a organismo a un cambio metabólico y a una alteración de la homeostasis celular, que lleven al individuo a generar cambios en los componentes de la aptitud física. Una vez culminada la fase de central o de acondicionamiento, buscamos garantizar un retorno progresivo a los estados metabólicos normales por medio de la fase de Enfriamiento, con esto se busca evitar complicaciones metabólicas por la interrupción repentina del ejercicio. Al contrario de la fase de calentamiento, en el enfriamiento, la actividad progresiva es de mayor a menor intensidad durante un tiempo de 5 – 10 minutos, buscando que la frecuencia cardiaca y la presión arterial vuelvan a niveles basales y que la acción continua de bombeo muscular ayude al retorno venoso, acelerando el proceso de recuperación. Por último, la fase de Estiramiento, con una duración de 5 – 10 minutos, busca disminuir la tensión muscular acumulada producto de la fase central o de acondicionamiento, favoreciendo la flexibilidad muscular. Generalmente se estiran los grupos musculares más usados durante el ejercicio, realizando un estiramiento con umbral de tensión (es decir, sin dolor) sostenido durante un tiempo de 20 a 30 segundos con dos o más series por grupo muscular.

Quinto paso: Ejecución del Plan. El último paso, determina ajustes y replanteamiento de los objetivos de acuerdo con los cambios, progresiones y adaptaciones determinadas por nuevas evaluaciones que se realizan periódicamente. Las progresiones permiten aumentar niveles de dificultad, aumentos de velocidad, movimientos simétricos y asimétricos, bases estables o inestables con gran variedad de ejercicios, con el cual, el paciente, en medio del dinamismo, pueda disfrutar del programa.

Deporte

Por más barreras y diferencias locativas, geográficas, culturales o tecnológicas que existen actualmente, cualquier individuo del planeta ha podido ser testigo o participe de alguna actividad deportiva. Los últimos años, el mundo entero se ha podido sumergir en un universo invadido por el fenómeno del deporte, incluyendo aspectos sociales y culturales en la vida diaria. Esto es gracias a

que, es inherente todo un contexto espectacular impulsado por la tecnología, la publicidad y su propia práctica, conllevando a que se convierta en algunos países un patrimonio cultural, a partir de un fenómeno social que crece a gran velocidad en poco tiempo.

Se ha hablado en el capítulo sobre la importancia de moverse y, moverse desde diferentes perspectivas: actividad física y ejercicio físico. Esta vez, el deporte nos trae un contexto donde coexiste y mantiene los mismos componentes de estos conceptos ya nombrados, con la diferencia que el deporte incluye aspectos de competencia, reglamento y en la dimensión de alto rendimiento, implica un rol ocupacional para sus participantes(95).

El concepto del deporte ha evolucionado conforme se estructura en su rol de fenómeno social y cultural, con base en la instituciones y organizaciones deportivas que lo administran.

El deporte como concepto se ha investigado por muchos estudiosos, generando diferentes definiciones, algunas controversiales por simple contradicción de autores, llevando a otorgar características relacionadas con su desarrollo como juego, diversión, competición, recreación, entre otros. Sin embargo, es hiperactivo que el deporte, para ir acercándonos a un concepto, manifieste aspectos como la competencia, la reglamentación, la institucionalización y actividades motrices.

Con el objetivo de conceptualizar el deporte, se citan al Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (DEL) y a la Carta Europea del Deporte:

- De acuerdo con el DEL, el deporte se define como una actividad física realizada en forma de juego o competición, que requiere entrenamiento y debe seguir ciertas normas(96).
- La UNESCO describe el deporte como una actividad física que tiene un enfoque lúdico y puede manifestarse como un desafío personal o como una competencia contra otros(97).
- Según la Carta Europea del Deporte, se considera deporte cualquier actividad física que, a través de una participación organizada o de otra índole, busque promover o mejorar la condición física y mental, favorecer las relaciones sociales o alcanzar resultados en competencias de diversos niveles(98).

En circunstancia a esto, existen aquellas actividades de tiempo y al aire libre, con características de no institucionalidad que son incluidas en el concepto

de deporte. Esto nos lleva a comprender que existen niveles de deporte que son el Deporte Pedagógico o Educativo, El Deporte para todos y el Deporte de Competición.

Deporte Educativo o Pedagógico: Este concepto indica que el deporte no tiene un carácter educativo por sí mismo, sino que se utiliza como herramienta dentro de la Educación Física para facilitar el desarrollo integral del individuo(99). El deporte como estrategia de la Educación Física, aporta al desarrollo físico y fisiológico para el esfuerzo, permitiendo mantener un balance psíquico, propugnando por la construcción de la voluntad, el carácter y la adaptación social(97).

Deporte Formativo: Este tipo de deporte, al igual que el anterior, comprende la necesidad de favorecer el desarrollo del individuo, sin embargo, identifica procesos de iniciación, fundamentación y perfeccionamiento deportivo. Hace parte de programas de los sectores educativos formales e informales(100).

Deporte para Todos: también llamado deporte de ocio o deporte para la salud. Este concepto se inicia a utilizar desde 1956 en Europa, y se utiliza enfáticamente como derecho de los ciudadanos para la práctica deportiva a finales de los años sesenta y, no es hasta 1975, que el Consejo de Europa, a través de la Carta del Deporte para Todos, promueve un concepto que se difunde a nivel mundial e incluye tanto actividades recreativas como deportes de alto rendimiento(101).

Deporte Competitivo: Se trata de una serie de competencias, eventos y torneos que buscan alcanzar un nivel técnico adecuado, siendo la gestión de estos responsabilidad de las entidades que forman parte de la estructura del deporte(100).

Deporte de Alto Rendimiento: Es la práctica deportiva de alto nivel y organización, que abarca procesos integrales enfocados en mejorar las habilidades y capacidades físico-técnicas de los atletas, haciendo uso de avances tecnológicos y científicos(100).

Deporte Adaptado: Es aquel deporte que es practicado por aquellos individuos que presentan alguna discapacidad. Para llevar a cabo ello, es preciso realizar unas modificaciones y adaptaciones de todos los elementos necesarios para su ejecución como son las reglas o los materiales(102).

Adicional a estas clasificaciones, los deportes también se pueden clasificar de acuerdo con la función del participación en deportes individuales, colectivos y de adversarios y, en función del medio en que se realizan, se encuentran los deportes de tierra, agua y aire. En cuanto al esfuerzo físico, los deportes se clasifican también en:

Deportes Acíclicos/Cíclicos: Los deportes acíclicos permiten la ejecución del gesto con variabilidad o modificaciones en su dirección o intensidad como el baloncesto, el fútbol americano o el voleibol. Los deportes cíclicos por su parte permiten una ejecución del gesto de manera continua, permite un inicio y un final del gesto y ejecutado de manera continua como sucede en el ciclismo, el atletismo o el levantamiento de pesas.

Deporte de Fondo/Velocidad: Los deportes de fondo o de largas distancias, son aquellos que exigen una carga de resistencia submáxima, caracterizados por un trabajo aeróbico como son las maratones de 42 kilómetros, media maratones de 21 kilómetros o carreras de 10 o 5 kilometro, así como en la natación con pruebas de medio fondo que involucran entre 100 y 400 metros, así como pruebas de fondo que abarcan desde 500 hasta 1,500 metros. Por otro lado, los deportes de velocidad son aquellos que exigen un trabajo máximo de predominio anaeróbico, el cual, los deportistas deben recorrer distancias entre 100 hasta los 400 metros.

Deportes Con Riesgo/Sin Riesgo: En este apartado nos referimos a aquellos deportes que presentan para el deportista un riesgo de colisión, sin embargo, es de saberse que todos los deportes incluyen un riesgo, algunos de acuerdo con su naturaleza, expresan un tipo de riesgo para el deportista. En aquellos que implican un riesgo como las caídas o colisiones tenemos aquellos que puedan provocar un contacto con otro competidor o algún objeto, además de acciones como caerse o chocar como son el fútbol, el baloncesto, el rugby, entre otros. Aquellos deportes que no generan un riesgo de contacto o colisión como son la arquería, bolos, natación, entre otros(103).

Cada una de las subclases del deporte exigen a su participante capacidades físico-deportivas adecuadas, que van desde un acondicionamiento óptimo de las cualidades físicas como aquellas que alimentan el rendimiento deportivo como son los aspectos biomecánicos, fisiológicos, técnicos, tácticos y psicológicos que, en últimas son aquellas capacidades que desarrolla un deportista bajo entrenamiento planificado para poner en marcha todos sus recursos bajo unas condiciones determinadas.

Beneficios del Deporte

Las diferentes participaciones deportivas ayudan al individuo a desarrollar habilidades importantes para la vida. Actualmente existen muchas estrategias para que las personas integren el deporte desde escuela de formación hasta llegar al deporte de alto rendimiento, permitiendo, que en cualquier nivel

elegido, el individuo desarrolle habilidades que impactaran positivamente su vida (cambios físicos, sociales, conductuales e intelectuales), su familia y su entorno social.

Beneficios Sociales: El deporte permite al individuo a desarrollar habilidades sociales, lo que les permitirá generar una sociedad de trabajo grupal, comunicación y receptividad, lo que a su vez, permitirá integrar programas comunitarios o empresariales. El deporte fomenta un desarrollo de habilidades de trabajo en equipo, lo que conlleva una organización laboral importante para que el equipo cumpla sus objetivos planteados. Esto se da debido a que cada integrante del equipo ha desarrollado habilidades que sirven de eje para complementar un adecuado trabajo con responsabilidades específicas, por tal motivo que existen los puestos con funciones que van desde la defensa, los que desarrollan el juego hasta la ofensiva. Esas habilidades se empiezan a cultivar desde la escuela de formación y van teniendo un punto de madurez progresivo conforme crece y su contexto cambia, beneficiando cada proceso desde lo deportivo, lo social, lo familiar y lo laboral. Desde los beneficios sociales y parte importante de ello es que el individuo va generando un papel importante en un grupo específico de trabajo, llegando a aceptar responsabilidades tanto individuales como colectivos, identificar defectos y de acuerdo con ello, hacer lo mejor para ser más efectivo.

La competencia está a la orden del deporte y de la vida, por tal motivo, la humildad ante el éxito y la derrota debe prevalecer en cada participante, lo que trae consigo una comprensión y respeto por las reglas, la autoridad y las diferentes personas involucradas(104, 105).

Beneficios Conductuales: La comunicación ha sido parte fundamental en la evolución histórica del hombre, trascender a través del tiempo es el producto de muchos factores, sin embargo, la comunicación como elemento de transmisión de información ha permitido continuar legados, investigación, opiniones y demás. El deporte en este contexto permite que los deportista aprendan a través del ejercicio deportivo a difundir información de manera asertiva y a su vez a interpretar con precisión la información del equipo. La comunicación no se trata solo de emitir información, sino también recibirla y codificarla para a partir de ella, actuar con base el contexto lo requiera. El desarrollo de la comunicación bidireccional permite una mejor interacción del individuo con su familia, sociedad y el deporte.

Dentro de los elementos requeridos para la práctica deportiva esta la disciplina, la motivación, dedicación y sacrificio. Esto requiere asistir preceptivamente a la instrucción, prácticas y asesorías organizadas, lo que incluye reglas de entrenamiento y su cumplimiento.

La disciplina se engrana con la motivación, lo que propugna al deportista a desarrollar habilidades con el fin de mejorar continuamente. Esto conlleva a que el deportista se dedique y tenga mayor compromiso con el deporte y consigo mismo. No obstante, estas virtudes de comportamiento no se logran efectuar sin sacrificio, lo cual, conlleva a que los deportistas dediquen tiempo para lograr objetivos. Tiempo que normalmente en un proceso de formación se dispone para actividades más sociales o lúdicas que a un proceso de formación deportivo, fortaleciendo el comportamiento que le permitirá a afrontar desafíos familiares, laborales y de la vida, siendo como producto final más ético en sus acciones.

Otro aspecto importante que va de la mano de la comunicación es el desarrollo de la habilidad para dirigir, orientar, motivar e inspirar a un grupo de personas con el fin de lograr una cooperación en la consecución de algún objetivo, lo que se conoce como liderazgo. Aunque no todos desarrollan las mismas habilidades y competencias de liderazgo, la experiencia juega un papel importante, porque permite un acumulo de experiencias, con las cuales la toma de decisiones y acciones de liderazgo tomar un papel importante. Lo sustancial dentro del desarrollo de habilidades de liderazgo, es que sus acciones conlleven a situaciones positivas del grupo(105, 104).

Beneficios Intelectuales: El deporte requiere de situaciones estratégicas que se alimentan de la táctica y a su vez de la técnica del deportista. Las situaciones de juego generan problemas que afectan los resultados, los cuales se deben afrontar en equipo o de manera individual con el objetivo de solucionar y lograr la meta. El deportista debe aprender a analizar cada situación y con base a la materia prima; jugadores, habilidades deportivas, contexto, tomar adecuadas decisiones estratégicas de manera rápida. Para lo cual, el deportista requiere de la atención, concentración y confianza, habilidades importantes para percibir el contexto de la situación, codificarla y encontrar una solución. Lo que permite evolucionar en el momento, realizar cambios y ajustes necesarios(105).

Beneficios en la Salud: El deporte lleva implícito un nivel de actividad física vigorosa, lo cual podrá tener beneficios importantes en la salud, con la diferencia fundamental en la competencia, lo que implica acciones biomecánicas importantes, en la forma en que un deportista controla y

compensa los patrones de movimiento durante la ejecución de cada acciones deportiva(106). En este sentido, el entrenamiento deportivo, necesario para afrontar las situaciones deportivas, generan cambios importantes al sistema musculoesquelético, cardiopulmonar y nervioso, lo que conlleva a mantener un estado salud optimo que se reflejara en una buena salud, importante para afrontar el ejercicio regular y continuo, acompañado de dietas saludables.

Adicionalmente, los deportistas aprenderán a manejar el estrés, al estar familiarizado al estrés de la competencia, el lugar en el equipo, los resultados obtenidos o incluso una lesión deportiva, les da la capacidad de manejar la presión y el estrés. Los deportistas antes de serlo son humanos, acompañados de emociones, cómplices emocionalmente de situación externas al deporte, por lo que lo que salen a flote los estados de ánimo. No obstante, el control de las emociones permite al deportista a tener estilos de vida saludables. Esto es importante fundamentar en los procesos iniciales de formación deportiva y no de manera tardía(105).

No esta demás comprender que la naturaleza competitiva del deporte conlleva al deportista a exponerse a eventos que desencadenan una lesión deportiva. En algunas ocasiones, el evento que provoca una lesión puede ser controlada pero otras no. Es caso de una lesión deportiva producto de un choque inesperado con un objeto o un contrincante, provocando la retirada tanto de la competencia con de un entrenamiento, situación que es difícil de controlar. Por otro lado, esta n aquellas lesiones producto de un esfuerzo por encima de la capacidad del deportista, una fuerza que sobrepasa la resistencia de los tejidos orgánicos del deportista, un entrenamiento mal programado o un proceso de recuperación inadecuado, los cuales se pueden controlar actualmente por medio de monitoreo continuo con el objetivo de proteger al deportista.

Hay que recordar que el deportista profesional o de alto rendimiento, dedica su tiempo a un trabajo que es el deporte. Una lesión deportiva implica la ausencia de una competencia, una clasificación o incluso un entrenamiento. Momentos importantes en la carrera del deportista.

Se ha demostrado que las lesiones deportivas pueden llegar a tener grandes consecuencia, que no solo afectan la salud sino también su bienestar psicológico y emocional. En su proceso de rehabilitación perciben dolor, además de sentimientos de ira, frustración, ansiedad, depresión o miedo de volver a lesionarse. Las afectaciones psicológicas y emocionales pueden comprometer de manera negativa el proceso de rehabilitación, el tiempo de recuperación e incentivar una nueva lesión. Aquí es donde es importante que alrededor del

deportista actúa un equipo idóneo de profesionales encargados de garantizar un retorno al juego en el menor tiempo posible y de la mejor calidad posible. Equipo idóneo de profesionales, denominado equipo multidisciplinario, concentra sus competencias transdisciplinarias en la rehabilitación deportiva, aportando desde cada disciplina el conocimiento y la actuación necesaria para que el deportista retorne al deporte competitivo sin riesgo de sufrir una lesión por lo menos en un largo plazo.

La mención de los riesgos de un estilo de vida hipocinético se encuentra bien referenciados en la literatura y en este capítulo. La participación de los individuos en actividades deportivas se asocia con muchos beneficios que impactan desde la infancia y la adolescencia, como son la mejora de la capacidad aeróbica, la aptitud muscular y la salud ósea, la mejoría en la actividad motora, así como disminuir síntomas de depresión, ansiedad y estrés, mejorando de esta manera la calidad de vida, el bienestar subjetivo y la vitalidad(107).

El deporte se ha visto como un espacio para desarrollar habilidades como la disciplina, la confianza y el liderazgo, así como principios como la tolerancia, la cooperación y el respeto. Esto convierte al deporte en una herramienta esencial para fortalecer las bases comunitarias, sociales y familiares, y para promover el bienestar de los atletas. (108). En adición, propende un desafío continuo en las acciones de los profesionales que rodean al deportista, garantizando su desarrollo deportivo y ante todo, poner su salud por encima de todo.

La comprensión de contexto del deportista, desde el campo de la salud es fundamental para poder desempeñar un rol preponderante en el deporte. El profesional que hace parte de un equipo multidisciplinario debe capacitarse y estar a la vanguardia de las diferentes estrategias que permitan garantizar la salud del deportista.

El Deporte como Herramienta de Paz y Bienestar Colectivo

Por más barreras y diferencias que separen a las personas (idiomáticas, étnicas, económicas o sociales), el deporte ha demostrado ser uno de los pocos fenómenos humanos capaz de trascender esas fronteras y convocar a individuos en torno a valores compartidos. Esta capacidad de unión no es fortuita: cuando dos personas practican actividad física juntas, activan mecanismos neurobiológicos de sincronización como las neuronas espejo, que generan empatía y sentido de pertenencia colectiva (109). Esta base neurológica explica por qué el deporte ha sido reconocido en el plano internacional como una herramienta de construcción de paz; programas

como “Sport for Development and Peace” de Naciones Unidas han demostrado que la práctica deportiva estructurada reduce estereotipos y promueve el diálogo intercultural incluso en contextos de conflicto activo (110). En el contexto colombiano esta realidad tiene nombre propio: el programa “Goles por la Paz” evidenció que la práctica deportiva entre jóvenes de comunidades en situación de conflicto disminuyó significativamente los indicadores de violencia y mejoró la cohesión social (111), recordando que el deporte no es solo escenario de rendimiento sino también un laboratorio de convivencia.

La contribución de la actividad física a la construcción de paz opera simultáneamente en dos planos que se complementan. En el plano individual, el ejercicio habitual regula el eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal, reduciendo los niveles de cortisol y promoviendo estados emocionales positivos que favorecen la resolución pacífica de conflictos (112); la regularidad, el respeto por el contrario y el aprendizaje de la derrota son lecciones que el deporte transfiere directamente a la vida social. En el plano comunitario, los espacios deportivos compartidos generan capital social (confianza y reciprocidad) que contribuye al tejido básico de la convivencia. Algunos estudios han señalado que las intervenciones basadas en actividad física en zonas de posconflicto reducen conductas agresivas, mejoran la autoestima y fortalecen la identidad colectiva positiva (113). Colombia provee evidencia concreta de este efecto: el programa “Semilleros de Convivencia” en Medellín demostró que la práctica sistemática de deportes colectivos en barrios con alta prevalencia de violencia redujo en un 30% los indicadores de conducta antisocial en adolescentes varones tras dieciocho meses de intervención (114).

El deporte facilita la inclusión cuando se diseña con intencionalidad pedagógica: adaptando sus reglas a las capacidades de cada participante, eliminando barreras de acceso económico y garantizando la representación de grupos históricamente marginados (115). En contextos de reconciliación posconflicto (Ruanda, Irlanda del Norte y Colombia), el deporte ha servido como escenario de encuentro entre actores que comparten el mismo campo de juego antes de poder compartir la misma mesa de diálogo (116). Esta dimensión formativa del deporte exige que entrenadores, fisioterapeutas, psicólogos deportivos, entre otras profesiones y especialidades afines, articulen sus intervenciones en torno a valores compartidos. El modelo de Desarrollo Positivo Juvenil a través del deporte (PYD por sus siglas en inglés) propone que las competencias personales y sociales, como la honestidad, la empatía, el liderazgo ético y la resiliencia, deben ser objetivos explícitos de la planificación deportiva, tan importantes como la técnica y la táctica (117);

los errores deben abordarse como oportunidades de aprendizaje, y la cultura del equipo debe validar explícitamente el respeto al adversario, al árbitro y al propio cuerpo.

La dimensión colectiva de la salud subraya que el bienestar individual no es un logro privado: es una contribución pública. Cada persona que mantiene hábitos de vida activa reduce su carga para los sistemas de salud, mejora su capacidad de participación comunitaria y genera externalidades positivas para toda la sociedad (118). Desde la inmunología, el ejercicio moderado y regular actúa como uno de los inmunomoduladores más potentes y accesibles: reduce los marcadores inflamatorios sistémicos, potencia la respuesta inmune celular y aumenta la capacidad antioxidante endógena (119). La pandemia de COVID-19 visibilizó de manera contundente esta interrelación, al evidenciar que las personas con comorbilidades asociadas al sedentarismo presentaron mayor severidad de enfermedad y mayor demanda de recursos sanitarios críticos (120). Adoptar hábitos de vida activa no es únicamente una decisión personal de bienestar: es un acto de solidaridad con quienes comparten los mismos sistemas de salud, y una agenda de justicia social que requiere tanto compromiso individual como políticas públicas que garanticen condiciones equitativas de acceso.

En este marco, el mensaje que se ha construido a lo largo de este capítulo adquiere una dimensión adicional: cuidar el cuerpo (mediante el movimiento como acto de dignidad y autocuidado, escuchando sus señales con respeto en lugar de silenciarlas con exigencia desmedida) es el punto de partida del cual es posible relacionarse de manera más respetuosa con los demás en el contexto deportivo y en la vida cotidiana (121). El profesional que acompaña al deportista tiene, en consecuencia, una responsabilidad ética que supera el ámbito clínico: educar con propósito transformador, usando el lenguaje técnico para incluir y empoderar, y asumiendo que cada interacción clínica, cada sesión de entrenamiento y cada espacio comunitario de actividad física es una oportunidad de construcción de paz desde el cuerpo, la mente y el lenguaje (122).

Conclusiones

Este capítulo resalta la importancia de la actividad y el ejercicio físicos como pilares fundamentales para la salud y el bienestar de los individuos. La actividad física regular no solo mejora la condición física, sino que también tiene un impacto positivo en la salud mental y social, fomentando habilidades

interpersonales y un sentido de comunidad. La prescripción del ejercicio se presenta como una herramienta esencial para guiar a los individuos hacia un estilo de vida más activo, adaptando las recomendaciones a las necesidades y capacidades específicas de cada persona. Esto es crucial para asegurar que la actividad física se realice de manera segura y efectiva, maximizando sus beneficios.

Para los grupos multidisciplinarios en los procesos de rehabilitación deportiva, la integración de la actividad física y el ejercicio es vital. En particular, el papel del fisioterapeuta deportivo es fundamental, ya que este profesional no solo se encarga de la rehabilitación de lesiones, sino que también promueve la prevención de futuras lesiones a través de programas de ejercicio bien diseñados. La colaboración entre fisioterapeutas, entrenadores y otros profesionales de la salud permite un enfoque holístico que considera tanto los aspectos físicos como los psicológicos del deportista.

La importancia de estas prácticas radica en que, al fomentar un estilo de vida activo y saludable, se contribuye a la mejora de la calidad de vida de los individuos y se reduce el riesgo de enfermedades crónicas. Además, el deporte y la actividad física pueden ser herramientas poderosas para la rehabilitación, ayudando a los individuos a recuperar su funcionalidad y a reintegrarse en sus actividades cotidianas y deportivas. En resumen, la promoción de la actividad física y el ejercicio, junto con una adecuada prescripción y un enfoque multidisciplinario, son esenciales para la salud y el bienestar de los individuos, así como para el éxito en los procesos de rehabilitación deportiva.

Finalmente, comprender el movimiento, el ejercicio y el deporte como dimensiones interdependientes de la salud física conduce inevitablemente a una conclusión de mayor alcance: la salud no es un logro individual sino un fenómeno colectivo. Cada persona que incorpora la actividad física como parte de su cotidianidad no solo transforma su propia condición biológica, psicológica y social, sino que contribuye al bienestar de las comunidades que habita, reduciendo la carga sobre los sistemas de salud, fortaleciendo el tejido social y participando activamente en la construcción de una cultura de paz. El deporte, en particular, trasciende el rendimiento para convertirse en un lenguaje de encuentro: con uno mismo, con el adversario y con la comunidad, y es precisamente en esa capacidad de encuentro donde reside su mayor potencial transformador.

Para el profesional de la salud que acompaña este proceso, esta comprensión amplía su responsabilidad más allá del consultorio o del campo deportivo: lo convierte en un educador comprometido en la

promoción de estilos de vida activos, equitativos e inclusivos, conscientes de que su práctica clínica y pedagógica es, en última instancia, un aporte concreto al bienestar colectivo

Referencias

1. Cordain L, Gotshall R, Boyd Eaton S, Boyd Eaton III S. Physical Activity, Energy Expenditure and Fitness: An Evolutionary Perspective. *Int. J. Sports Med.* 1998, Vol. 19, pp.328-335.
2. Eaton S, Eaton III, S. An evolutionary perspective on human physical activity: implications for health. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology.* 2003: Vol. 136 (1); Pages 153-159
3. Cavalcanti-de-Albuquerque J, Donato J. Rolling out physical exercise and energy homeostasis: Focus on hypothalamic circuitries. *Frontiers in Neuroendocrinology.* 2021; Vol. 63: <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2021.100944>
4. Carbone S, Ozemek C, Lavie C. Sedentary Behaviors, Physical Inactivity, and Cardiovascular Health: We Better Start Moving! *Mayo Clin Proc Inn Qual Out.* 2020;4(6):627-629 <https://doi.org/10.1016/j.mayocpiqo.2020.09.013>
5. Klein R. *The Human Career. Human Biological and Cultural Origins.* University Chicago Press. 1999.
6. Rahman E, Islam S, Bishwas S, Moonajilin S, Gozal D. Physical inactivity, and sedentary behaviors in the Bangladeshi population during the COVID-19 pandemic: An online cross-sectional survey. *Heliyon.* 2020: Vol. 6(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05392>
7. Dogra S, Copeland J, Altenburg T, Heyland D, Owen N, Dunstan D. Start with reducing sedentary behavior: A stepwise approach to physical activity counseling in clinical practice. *Patient Education and Counselling.* 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pec.2021.09.019>
8. Fessler L, Maltagliati S, Sieber S, Cullati S, Tessitore E, Craviari C, et al. Physical activity matters for everyone's health, but individuals with multimorbidity benefit more. *Preventive Medicine Reports.* 2023; vol 34; <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2023.102265>

9. Szabo A, Boros S, Bősze J, Are There Differences in Life-Satisfaction, Optimism, Pessimism and Perceived Stress between Therapeutic and Mastery Exercisers? A Preliminary Investigation. *Baltic journal of sport & health sciences*. 2019; Vol. 3(114): pag. 24-32. DOI: 10.33607/bjshs.v3i114.807
10. Kemp M, Gunga H. Chapter 3. Exercise physiology. En: *Human Physiology in Extreme Environments*. Edit. Academic Press. 2021. Pag. 81-122
11. Katzmazyk P, Ross R, Blair S, Després J. Should we target increased physical activity or less sedentary behavior in the battle against cardiovascular disease risk development? *Atherosclerosis*. 2020; Vol. 311; pág. 107-115
12. Ridout A, Reid H, Varney J, Pringle A, Nykjaer C, Marino K, Vishnubala D. Physical Activity. En: Eastwood D, Vishnubala D. *Sports and Exercise Medicine an Essential Guide*. CRC Press. 2023. Pag. 235-251
13. Adamuz F, Nerin M. El fisioterapeuta en la prevención de lesiones del deporte. *REV FISIOTER (GUADALUPE)*. 2006; 5 (2): 31 - 36
14. Ocampo M, Sánchez-Arias M, Ramos D, Bonilla J, Maldonado M, Escalante J. Reflexiones del desempeño profesional del fisioterapeuta en el campo de la actividad física. *Rev. Cienc. Salud*. 2012; 10 (2): 243-252
15. FC, Al-Ansari SS, Biddle S, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour *British Journal of Sports Medicine* 2020;54:1451-1462.
16. Kallio P, Pakkala K, Heinonen O, Tammelin T, Pälve K, Hirvensalo M, Juonola M, Loo B, Magnussen C, Rovio S, Helajärvi H, Laitinen T, Jokinen E, Tossavainen P, Hutri-Kähönen N, Viikari J, Raitakari O. Physical inactivity from youth to adulthood and adult cardiometabolic risk profile. *Preventive Medicine*. 2021; Vol. 145: <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2021.106433>
17. Durstine J, Gordon B, Wang Z, Luo X. Chronic disease, and the link to physical activity. *J. Sport Heal. Sci*. 2013; 2, pp. 3-11
18. Miia L, Maarit K, Jari J, Mika V, Eeva V, Pirjo H, Sirkka K, Raija K. Association between accelerometer-measured physical activity, glucose metabolism, and waist circumference in older adults. *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2021; Vol.178; <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2021.108937>
19. Sandoval V, Pedroza A, Alpala D, Patiño B, Calero-Saa P. Riesgo cardiovascular y factores asociados en docentes de una institución universitaria. *Rehabilitación*. 2021; Vol. 55: pag. 111-117

20. Zorrilla-López, C., Ceballos-Santacruz, J. D., Ramírez-Giraldo, C. D., Patiño-Palma, B. E., Calero-Saa, P. Factors Associated with Cardiovascular Risk in High School Students of a Public School in the City of Santiago de Cali, Colombia. *Rev. Cienc Salud*. 2020;18(1):24-36. Doi: [Http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/revsalud/a.8741](http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/revsalud/a.8741)
21. Bisbicuth J, Quintero A, Vargas A, Patiño B, Calero-Saa P. Estilos de vida relacionados al riesgo cardiovascular en estudiantes universitarios en tiempos de COVID-19. *Rev. Salud Uninorte*. 2023; vol.39(2): pag. 551-564 <https://dx.doi.org/10.14482/sun.39.02.419.007>
22. Organización Mundial de la Salud. Enfermedades no transmisibles. WHO. WorldHealthOrganization. [consultada 22Ago2019]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases> 2018
23. Muñoz O, Rodríguez N, Ruiz Á, Rondón M. Validación de los modelos de predicción de Framingham y PRO-CAM como estimadores del riesgo cardiovascular en una población colombiana. *Rev Colomb Cardiol*. 2014; 21:202---12, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rccar.2014.02.001>
24. Lesmes M. Situación de salud en Santiago de Cali. Santiago de Cali: Observatorio de Políticas Públicas. Universidad ICESI.;2008
25. Ramírez-López LX, Calero-Saa PA, Arias-Holguín GJ, Quincos-Echeverry DC, Tipazoca-Nontién LA, Monroy-Díaz ÁL. Síndrome metabólico en conductores de transporte intermunicipal de Tunja, Boyacá. *Rev Cienc Salud*. 2019;17(2):188-200. Doi: <http://dx.doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/revsalud/a.7923>
26. Costa O, Rodríguez R, Patrocínio C, Doimo L, dosSantos P, Camaroti M, et al. Risk factors for cardiovascular disease in professors from a public university. *Investig y Educ en enfermería*. 2014; 32:280---90, <http://dx.doi.org/10.17533/udea.iee.v32n2a11>.
27. Abraham W, Blanco G, Coloma G, Cristaldi A, Gutiérrez N, Sureda L, et al. Es ERICA Estudio de los factores de riesgo cardiovascular en adolescentes. *Rev Fed Arg Cardiol*. *Rev Fed ArgCardiol*. 2013; 42:29---34
28. Barone B, Hergenroeder an Katzmarzyk P, LeeI, Jakicic J. Definition, Measurement, and Health Risks Associated with Sedentary Behavior. *Med Sci Sports Exerc*. 2015 June; 47(6): 1295–1300. doi:10.1249/MSS.0000000000000517.

29. Mansoubi M, Pearson N, Biddle S, Clemes S. The relationship between sedentary behaviour and physical activity in adults: A systematic review. *Preventive Medicine* 69 (2014) 28–35
30. Bellettiere J, Healy G, LaMonte M, Kerr J, Evenson K, Rillamas-Sun E, Di C, Buchner D, Hovell M, LaCroix A. Sedentary Behavior and Prevalent Diabetes in 6,166 Older Women: The Objective Physical Activity and Cardiovascular Health Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2019; Vol. 74 (3): 387-395.
31. Raichlen D, Pontzer H, Zderic T, Harris J, Mabulla A, Hamilton M, Wood B. Sitting, squatting, and the evolutionary biology of human inactivity. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2020; Vol. 117 (13): p. 7115-7121.
32. Ku, P, Steptoe a Liao Y, Hsueh M, Chen L. A cut-off of daily sedentary time and all-cause mortality in adults: a meta-regression analysis involving more than 1 million participants. *BMC Med*. 2018; Vol. 16: pp. 1-9
33. Dogra S, Good J, Buman M, Gardiner P, Stickland M, Copelnad J. Movement behaviours are associated with lung function in middle-aged and older adults: a cross-sectional analysis of the Canadian longitudinal study on aging. *BMC Public Health*. 2018; Vol. 18: p. 818 <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5739-4>
34. Falck R, Davis J, Ambrose L. What is the association between sedentary behaviour and cognitive function? A systematic review. *Br J Sports Med*. 2017; Vol. 51: p. 800-811 doi:10.1136/bjsports-2015-095551
35. Dunlop D, Jing S, Arnston E, Semanik P, Lee J, Chang R, Hootman J. Sedentary time in US older adults associated with disability in activities of daily living independent of physical activity. *J Phys Act Health*. 2015; Vol.12(1): P.93-101. doi: 10.1123/jpah.2013-0311.
36. Bakrania K, Edwardson C, Bodicoat D, Esliger D, Gill J, Kazi A, Velayudhan L, Sinclair A, Sattar N, Biddle S, Khunti K, Davies M, Yates T. Associations of mutually exclusive categories of physical activity and sedentary time with markers of cardiometabolic health in English adults: a cross-sectional analysis of the Health Survey for England. *BMC Public Health*. 2015; Vol. 16 (25): p. 25DOI 10.1186/s12889-016-2694-9
37. Colley R, Garriguet D, Janssen I, Craig C, Clarke J, Tremblay M. Physical activity of Canadian adults: accelerometer results from the 2007 to 2009 Canadian Health Measures Survey. 2011; Vol. 22(1): p. 1-9

38. Physical Activity Guidelines Advisory Committee Scientific Report. U.S. Department of Health and Human Services, Washington, D.C. (2018), p. 779. Disponible en https://health.gov/sites/default/files/2019-09/PAG_Advisory_Committee_Report.pdf
39. Bolnick H, Bui A, Bulchis A, Chen C, Chapin A, Lomsadze L. Healthcare spending attributable to modifiable risk factors in the USA: an economic attribution analysis. *Lancet Public Health*. 2020; Vol. 5; pp. 525-535
40. Rubio S, Chamorro M. Lesiones del deporte. *Arbor* CLXV, 650 (febrero 2000), 203-225 pp.
41. Shur N, Creedon L, Skirrow S, Atherton P, MacDonald I, Lund J, Greenhaff P. Age-related changes in muscle architecture and metabolism in humans: The contribution of physical inactivity to age-related functional decline. *Ageing Research Reviews*. 2021; Vol. 68 <https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101344>
42. Wheeler M, Dempsey A, Gracia M, Ellis K, Gardiner P, Verde D, Dunstan D. Sedentary behavior as a risk factor for cognitive decline? A focus on the influence of glycemic control in brain health *Alzheimer's & Dementia: Translational Research & Clinical Interventions* Volume 3, Issue 3, September 2017, Pages 291-300
43. Warburton D, Bredin S. Health benefits of physical activity: a systematic review of current systematic reviews. *Curr Opin Cardiol*. 2017; Vol. 32: pp. 541-556
44. Salmon J, Owen N, Crawford D, Bauman A, Sallis J. Physical activity, and sedentary behavior: a population-based study of barriers, enjoyment, and preference. *Health Psychol*. 2003; Vol. 22: pp. 178-188
45. Nicholson S, Sniehotta F, Wijk F, Greig C, Johnston M, McMurdo M, Dennis M, Mead G. A systematic review of perceived barriers and motivators to physical activity after stroke. *Int J Stroke*. 2013; Vol. 8; pp. 357-364
46. Pierre N, Appriou Z, Gratas-Delamarche A, Derbré F. From physical inactivity to immobilization: Dissecting the role of oxidative stress in skeletal muscle insulin resistance and atrophy. *Free Radical Biology and Medicine*. 2016; Vol. 98: p. 197-207
47. Blair SN. Physical inactivity: the biggest public health problem of the 21st century. *British Journal of Sports Medicine* 2009; Vol. 43: pag. 1-2. Disponible en <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://bjsm.bmj.com/content/bjsports/43/1/1.full.pdf>

48. Heyward V, Gibson A. Physical Activity, Health, and Chronic Disease. En. Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription. 7th Edition. Edit. Human Kinetics. 2014: pag. 1-21
49. Vella S, Sutcliffe J, Fernandez D, Liddelow C, Aidman E, Teychenne M, et al. Context matters: A review of reviews examining the effects of contextual factors in physical activity interventions on mental health and wellbeing. *Mental Health and Physical Activity*. 2023; Vol.25; <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2023.100520>
50. Padilha C, Figueiredo C, Guerra L, Chimin P, Demince R, Krüger K, Rosa-Neto J, Santos F. Immunometabolic responses according to physical fitness status and lifelong exercise during aging: new roads for exercise immunology. *Ageing Research Reviews*. 2021; Vol. 68 <https://doi.org/10.1016/j.arr.2021.101341>
51. Kawai T, Autieri MV, Scalia R. Adipose tissue inflammation and metabolic dysfunction in obesity. *Am J Physiol Cell Physiol* 2021; 320(3):C375-C391. doi: 10.1152/ajpcell.00379.2020.
52. Fernández-Sánchez A, Madrigal-Santillán E, Bautista M, et al. Inflammation, oxidative stress, and obesity. *Int J Mol Sci* 2011; 12(5):3117-3132. doi: 10.3390/ijms12053117.
53. You T, Arsenis NC, Disanzo BL, et al. Effects of exercise training on chronic inflammation in obesity: current evidence and potential mechanisms. *Sports Med* 2013; 43(4):243-256. doi: 10.1007/s40279-013-0023-3
54. Sakurai T, Ogasawara J, Shirato K, et al. Exercise Training Attenuates the Dysregulated Expression of Adipokines and Oxidative Stress in White Adipose Tissue. *Oxid Med Cell Longev* 2017; 2017:9410954. doi: 10.1155/2017/9410954.
55. Strasser B, Arvandi M, Siebert U. Resistance training, visceral obesity and inflammatory response: a review of the evidence. *Obes Rev* 2012; 13(7):578-591. doi: 10.1111/j.1467789X.2012.00988.x.
56. Ding Y, Xu X. Dose-response relationship between leisure-time physical activity and biomarkers of inflammation and oxidative stress in overweight/obese populations. *Journal of Science and medicine in sport*. 2023; <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2023.09.010>
57. Powell KE, King AC, Buchner DM, Campbell WW, DiPietro L, Erickson KI, Hillman CH, Jakicic JM, Janz KF, Katzmarzyk PT, Kraus WE, Macko RF, Marquez DX, McTiernan A, Pate RR, Pescatello LS, Whitt-Glover

- MC. The Scientific Foundation for the Physical Activity Guidelines for Americans, 2nd Edition. *J Phys Act Health*. 2018 Dec 17;1-11. doi: 10.1123/jpah.2018-0618.
58. Dietz W, Baur L, Hall K, Puhl R, Taveras E, Uauy R, Kopelman P. Management of obesity: improvement of health-care training and systems for prevention and care. *Lancet*. 2015; Vol. 385: p. 2521-2533
59. Varela A, Pratt M, Lecy J, Salvo D, Brownson R, Hallal P. Mapping the historical development of physical activity and health research: a structured literature review and citation network análisis. *Prev. Med*. 2018; Vol. 111: p. 466-472
60. Dobbs R, Sawers C, Thompson F, Manyika J, Woetzel J, Child P, McKenna S, Spatharou A. Overcoming Obesity: An Initial Economic Analysis. McKinsey Global Institute. 2014. Disponible en chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.mckinsey.com%2F~%2Fmedia%2Fmckinsey%2Fbusiness%2520functions%2Feconomic%2520studies%2520temp%2Four%2520insights%2Fhow%2520the%2520world%2520could%2520better%2520fight%2520obesity%2Fmgi_overcoming_obesity_full_report.ashx&cld=2113148&chunk=true (2014)
61. De la Vega R, Almendros L, Barquin R, Boros S, Demetrovics Z, Szabo A. Exercise Addiction During the COVID-19 Pandemic: an International Study Confirming the Need for Considering Passion and Perfectionism. *International Journal of Mental Health and Addiction*. 2022; Vol. 20: pag. 1159-1170. <https://doi.org/10.1007/s11469-020-00433-7>
62. Cañizares J, Carbonero C. Principios de Sistemática del Ejercicio Físico y Elementos Estructurales del Movimiento. En: *El Ejercicio Físico: Conoce los sistemas tradicionales y actuales*. Edit Wanceulen. 2017. Pag. 9-13
63. Powers S, Howley E. Exercise Prescriptions for Health and Fitness. En: *Exercise Physiology; Theory and Application to fitness and Performance*. 10th Edition. Edit. Mc Graw Hill. 2018. Pag. 367-385
64. Aznar S, Wedster T. Conceptos Importantes en Materia de Actividad Física y Condición Física. En: *Actividad física y Salud en la Infancia y la Adolescencia. Guía para todas las personas que participan en su educación*. Ministerio de Educación. España. 2009. P. 11-19

65. Escalante Y. Actividad Física, Ejercicio Físico y Condición Física en el Ámbito de La Salud Pública. *Rev Esp Salud Pública*. 2011; Vol. 85 (4): p. 325-328
66. Córdova A. Bases Fisiológicas del ejercicio Físico. En: *Fisiología Deportiva*. Editorial Síntesis. 2013. P. 17-29
67. Pancorbo A. Metabolismo y suministro de energía durante el ejercicio. *Fisiología del músculo*. En: *Medicina y Ciencias del Deporte y Actividad Física*. Edit. Ergon. 2008. P. 17-34
68. Wang Q, Zhou W. Roles, and molecular mechanisms of physical exercise in cancer prevention and treatment. *Journal of Sport and Health Science*. 2021; Vol. 10: p.201-210
69. Rhodes R, Hausenblas H, Rebar A. Introduction to the Psychology of Physical Activity. En: *Psychology of Physical Activity and Sedentary Behavior*. 2nd Edition. Edit. Jones & Bartlett Learning. 2024.
70. Deuster P. Basics in Exercise Physiology. En: O'Connor F. *ACSM's Sports Medicine a Comprehensive Review*. Lippincott Williams & Wilkins. 2012. P. 66-76
71. Buratovich M. Exercise Training. En: *Principles of Sports Medicine & Exercise Science*. Edit. Grey House Publishing. 2022. Pag. 167-198
72. Codella R. Mitochondrial and Non-mitochondrial Studies of ATP Synthesis. En: Luzi L. *Cellular Physiology and Metabolism of Physical Exercise*. 2nd Edition. Edit. Springer. 2023. pag. 33-44
73. Steinach M, Gunga H. Chapter 3. Exercise physiology. En: *Human Physiology in Extreme Environments*. Edit. Academic Press. 2021. Pag. 81-122
74. Pinzón I. Rol del Fisioterapeuta en la prescripción del Ejercicio. *Arch Med*. 2014; 14(1):129-43.
75. American College of sport Medicine. Principios Generales de la Prescripción del Ejercicio. En: *Manual ACSM para la valoración y prescripción del Ejercicio*. Edit. Paidotribo. 2007 pag. 189-198
76. Subirats E, Subirats G, Soteras I. Prescripción de ejercicio físico: indicaciones, posología y efectos adversos. *Med Clin (Barc)*. 2012;138(1):18-24

77. Dunleavy K, Kubo A. Exercise Prescription. Selection of Exercise type and parameters. En: Therapeutic Exercise Prescription. Edit. Elsevier - Health Sciences Division. 2020. Pag. 122-154
78. Burnett D, Stephens M. Exercise Prescription. En: O'Connor F. ACSM's Sports Medicine a Comprehensive Review. Edit. Lippincott Williams & Wilkins. 2012. Pag. 77-87
79. Heyward V, Gibson A. Principles of Assessment, Prescription, and Exercise Program Adherence En: Advanced Fitness Assessment Exercise Prescription. 7th edition. Edit. Human Kinetics. 2014. Pag. 47-78
80. Garcés-Carracedo J, Soto-Rodríguez A. Bases Generales para la Prescripción del Ejercicio. Revista de la Facultad de Cultura Física de Granma. 2010; Vol. 7(26): pag. 14-21
81. Keteyian S. Exercise Prescription. En: Ehrman J, Gordon P, Visich P, Keteyian S. Clinical Exercise Physiology. Exercise Management for chronic diseases and special populations. 5th Edition. Edit. Human Kinetics. 2023. Pag. 73-83
82. Holtgreffe K. Principles of Aerobic Exercise. En: Kisner C, Colby L. Therapeutic Exercise Foundations and Techniques. 6th Edition. Edit. Davis Company. 2012. Pag. 241-259
83. Ramos B, Figueroa C, Alcoger L, Rincón S. Validación del Cuestionario de Calidad de Vida Relacionada con la Salud en Pacientes con Insuficiencia Cardíaca. EN-CLAVES del pensamiento. 2011; Vol. 5(10): pp. 173-189.
84. Appendix A.1: Physical Activity Readiness Questionnaire. En: Heyward v, Gidson A. Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription. Edit. Human Kinetics. 2018. Pag. 364
85. Appendix A.1: Physical Activity Readiness Questionnaire. En: Heyward v, Gidson A. Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription. Edit. Human Kinetics. 2018. Pag. 364
86. American College of Sports Medicine. Health-Related Physical Fitness Testing and Interpretation. En: ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 10th Edition. Edit. Wolters Kluwer. 2017. pag. 128-184
87. Heyward V, Gibson A. Assessing Body Composition. En: Advanced Fitness Assessment Exercise Prescription. 7th edition. Edit. Human Kinetics. 2014. P. 219-265

88. American College of Sports Medicine. Body Composition Assessment. En: ACSM's Exercise Testing and Prescription. Edit. Wolters Kluwer. 2018.
89. Hamill J, Knutzen K, Derrick T. Neurologic Considerations for Movement. En: Biomechanical Basis of Human Movement. 4th Edition. Edit. Wolters Kluwer. 2015. Pag. 99-128
90. Heyward V, Gibson A. Assessing Flexibility. En: Advanced Fitness Assessment Exercise Prescription. 7th edition. Edit. Human Kinetics. 2014. Pag. 305-324
91. Heyward V, Gibson A. Assessing Muscular Fitness. En: Advanced Fitness Assessment Exercise Prescription. 7th edition. Edit. Human Kinetics. 2014. Pag. 153-180
92. Caputo J. Physiology of Physical Activity. En: Hoffman S, Knudson D. Introduction to Kinesiology. Studyin Physical Activity. 5th Edition. Edit. Human Kinetics. 2018. Pag. 459-504
93. Anatomy and Physiology of Muscle Tissue. En: Muscolino J. Kinesiology The Skeletal System and Muscle Function. 3rd Edition. Edit. Elsevier. 2017. pag. 457-487
94. Heyward V, Gibson A. Assessing Cardiorespiratory Fitness. En: Advanced Fitness Assessment Exercise Prescription. 7th edition. Edit. Human Kinetics. 2014. Pag. 79-119
95. Vidarte J, Vélez C, Sandoval C, Alfonso M. Actividad Física: Estrategia de Promoción de la Salud. Hacia la Promoción de la Salud. 2011; Vol. 16 (1): págs. 202 - 218
96. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., [versión 23.4 en línea]. <https://dle.rae.es> [27 de octubre de 2021]
97. Comisión de Legislación Deportiva del Consejo Internacional de Educación Física y Deportes de la UNESCO. Manifiesto Sobre el Deporte. Citius, Altius, Fortius. 2015; Vol. 8 (2): pp.51-73. <http://dx.doi.org/10.15366/citius2015.8.2.004>
98. Carta Europea del Deporte. [Internet]. Disponible en: <http://femp.femp.es/files/566-69-archivo/CARTA%20EUROPEA%20DEL%20DEPORTE.pdf>
99. García S. Origen del Concepto “Deporte”. AULA. 1994; Vol.6: P. 61-66

100. Martínez J, García A. El deporte, otras vertientes y la diversidad de sus clasificaciones. *Lúdica pedagóg.* [Internet]. 2000 [citado 21 de junio de 2023];(4). Disponible en: <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/LP/article/view/2747>
101. Valderrama R, Solis-Espallargas C, Trigueros G, Manjon J, Limón D. El Deporte para Todos como Propuesta Educativa para la Inclusión y Sustentabilidad Social. *Revista Fuentes*. 2015; Vol. 16: pp. 199-222. D.O.I.: <http://dx.doi.org/10.12795/revistafuentes.2015.il6.09>
102. Fuentes-Guerra F. Concepto y Clasificaciones del Deporte. En: *El Deporte en el Marco de la Educación Física*. Edit. Wanceulen. 2003 pag. 17-28
103. Travert M, Maïano C, Griffet J. Understanding injuries in sports: Self-reported injury and perceived risk of injury among adolescents. *European Review of Applied Psychology*. 2017; Vol. 67 (6); pag. 291-298
104. Buratovich M. Sports in General. En: *Principles of Sports Medicine & Exercise Science*. Edit. Grey House Publishing. 2022. Pag. 503-706
105. Szabo A, Demetrovics Z. Sports and exercise for healthy living. En: *Passion and Addiction in Sports and Exercise*. Edit. Routledge. 2022. Pag. 1-16
106. Aritan S. Biomechanical Measurement Methods to Analyze the Mechanisms of Sport Injuries. En: Doral M, Tandoğan R, Mann G, Verdonk R. *Sports Injuries. Prevention, Diagnosis, Treatment and Rehabilitation*. Edit. Springer. 2012. pag. 19-27
107. McKay C, Cumming S, Blake T. ¿Youth sport: Friend or Foe? Best Practice & Research Clinical Rheumatology. 2019; Vol. 33 (1): Pág. 141-157
108. Camargo D, Gómez E, Ovalle J, Rubiano R. La Cultura Física y el Deporte: Fenómenos Sociales. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*. 2013; Vol. 31 (1): S116-S125.
109. Rizzolatti G, Craighero L. The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci*. 2004;27:169-192. doi:10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230
110. Organización de las Naciones Unidas. Sport as a tool for development and peace: towards achieving the United Nations Millennium Development Goals. Ginebra: UN; 2003.
111. Coalter F. Sport for development: what game are we playing? London: Routledge; 2013.

112. Salmon P. Effects of physical exercise on anxiety, depression, and sensitivity to stress: a unifying theory. *Clin Psychol Rev.* 2001;21(1):33-61. doi:10.1016/S0272-7358(99)00032-X
113. Koss MP, Bhuwaneshwar S. A systematic review of sport-based peace programs in post-conflict regions. *J Sport Soc Issues.* 2015;39(4):307-334.
114. Alcaldía de Medellín. Informe de evaluación del programa Semilleros de Convivencia 2010-2012. Medellín: Secretaría de Educación; 2013.
115. Bailey R. Physical education and sport in schools: a review of benefits and outcomes. *J Sch Health.* 2006;76(8):397-401. doi:10.1111/j.1746-1561.2006.00132.x
116. Sugden J, Bairner A. Sport, sectarianism and society in a divided Ireland. Leicester: Leicester University Press; 1993.
117. Holt NL, editor. Positive youth development through sport. 2nd ed. London: Routledge; 2016.
118. Pratt M, Macera CA, Wang G. Higher direct medical costs associated with physical inactivity. *Phys Sportsmed.* 2000;28(10):63-70. doi:10.3810/psm.2000.10.1237
119. Nieman DC. Exercise immunology: practical applications. *Int J Sports Med.* 1997;18(Suppl 1):S91-100. doi:10.1055/s-2007-972705
120. Lighter J, Phillips M, Hochman S, Sterling S, Johnson D, Francois F, et al. Obesity in patients younger than 60 years is a risk factor for COVID-19 hospital admission. *Clin Infect Dis.* 2020;71(15):896-897. doi:10.1093/cid/ciaa415
121. Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *Br J Sports Med.* 2005;39(6):324-329. doi:10.1136/bjsm.2005.018341
122. Freire P. Pedagogía del oprimido. 2a ed. Buenos Aires: Siglo XXI; 1970.

CAPÍTULO 2

La Actividad Física y sus Tendencias: Salud y Terapéutica, Educación y Cultura, y Entrenamiento Deportivo

Physical Activity and Trends:

Health and Therapeutics, Education and Culture, and Sports Training

José Armando Vidarte Claros

Universidad Autónoma de Manizales

© <https://orcid.org/0000-0002-7982-3848>

✉ jovida@autonoma.edu.co

Resumen

El presente capítulo tiene como objetivo el analizar las tendencias actuales en la actividad física y su impacto en diferentes ámbitos, como la salud, la terapéutica, la educación, la cultura y el entrenamiento deportivo. Se reconoce que la actividad física es un pilar fundamental para promover estilos de vida saludables, prevenir enfermedades y mejorar el bienestar social. La metodología utilizada incluyó una revisión exhaustiva de la literatura científica, estudios históricos y análisis de programas de intervención que muestran como las prácticas físicas se han modificado y adaptado en respuesta a los avances tecnológicos y culturales. También se examinan las estrategias y enfoques que han surgido para incentivar la participación activa en la población, teniendo en cuenta las particularidades sociales, culturales y fisiológicas de diferentes grupos.

Las conclusiones destacan que la tendencia en el campo de la actividad física se orienta hacia una integración multidisciplinaria que combina salud, educación y deporte, promoviendo un cambio cultural hacia la adopción de estilos de

Cita este capítulo / Cite this chapter

Vidarte Claros JA. La actividad física y sus tendencias: salud y terapéutica, educación y cultura, y entrenamiento deportivo. En: Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria*. Tomo I: fundamentos de la salud física y la actividad deportiva. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 83-108. <https://doi.org/10.35985/9786287914155.2>

vida activos. Se enfatiza que los programas de intervención y políticas públicas deben ser innovadores y adaptativos, promoviendo la inclusión y el acceso a la práctica de actividades físicas para todos los segmentos de la población. Además, resalta la importancia de la educación en promover una cultura del ejercicio y el bienestar, apoyándose en avances tecnológicos y científicos para fortalecer estas prácticas a largo plazo.

Palabras Clave: Actividad Física, Educación y Entrenamiento Físico, Terapéutica.

Abstract

This chapter aims to analyze current trends in physical activity and their impact on various fields, including health, therapeutics, education, culture, and sports training. Physical activity is recognized as a fundamental pillar for promoting healthy lifestyles, preventing disease, and improving social well-being. The methodology used included a comprehensive review of the scientific literature, historical studies, and analysis of intervention programs that show how physical practices have changed and adapted in response to technological and cultural advances. It also examines the strategies and approaches that have emerged to encourage active participation among the population, taking into account the social, cultural, and physiological characteristics of different groups.

The conclusions highlight that the trend in the field of physical activity is oriented toward a multidisciplinary integration that combines health, education, and sports, promoting a cultural shift toward the adoption of active lifestyles. It emphasizes that intervention programs and public policies must be innovative and adaptive, promoting inclusion and access to physical activity for all segments of the population. It also highlights the importance of education in promoting a culture of exercise and well-being, supported by technological and scientific advances to strengthen these practices in the long term.

Keywords: Physical activity, Physical Education and Training, Therapeutics.

Introducción

Que otros se jacten
de las páginas que han escrito,
a mí me enorgullecen las que he leído

—Jorge Luis Borges

El siguiente capítulo se estructura a partir de la continua reflexión teórica y conceptual y de los diferentes procesos investigativos que sobre la temática de la Actividad Física se ha venido desarrollando desde el grupo de Investigación Cuerpo-Movimiento de la universidad Autónoma de Manizales, en la línea de Actividad física y deporte, la cual ha permitido la construcción de varios procesos académicos y formativos tanto a nivel de pregrado como de posgrado, buscando la construcción de aspectos teóricos que ayuden a ampliar la mirada de la temática en el contexto local regional y nacional y por ende el abordaje a las problemáticas de la actividad física y el deporte y posibilite desarrollos epistemológicos y metodológicos desde la producción de conocimiento científico.

El propósito de este capítulo es la toma de posición conceptual sobre la Actividad Física, desde los resultados encontrados en los diferentes momentos investigativos, asumiendo para ello referentes contextuados que posibiliten un abordaje desde lineamientos de política pública que facilitan procesos de fomento de la actividad física como estrategia de promoción de la salud, desde procesos educativos, culturales y de entrenamiento deportivo.

En esta perspectiva el abordaje del capítulo ha definido dos líneas de desarrollo, una primera que da cuenta de la actividad física como referente macro conceptual que se entrecruza entre el movimiento y la salud de los sujetos y desde los cuales se establecen unas tendencias de la actividad física las cuales son determinantes en su abordaje y una segunda línea donde el entrenamiento deportivo como tendencia de la Actividad Física se convierte en elemento de potenciación de las capacidades del sujeto y de la salud en una perspectiva deportiva.

Actividad Física

Abordar el concepto de actividad física implica realizar una mirada profunda al concepto de movimiento y sus diferentes modelos, los cuales hoy han posibilitado el fortalecimiento conceptual y han servido de base y sustento

teórico para la comprensión de las relaciones entre el movimiento y sus variadas interacciones. Conceptuar acerca del movimiento como objeto de estudio ha sido referido por muchos autores, quienes han reflexionado sobre la temática desde elementos epistemológicos, metodológicos y teóricos que ha movilizado el desarrollo del conocimiento aportando avances al movimiento humano en áreas como la neuropsicología, la psicología, la sociología y la biología, entre otras. Maturana y Varela (1) demuestran la fundamental e íntima codependencia entre fenómenos vitales y cognición, entre los principios fundamentales de organización del ser vivo y la naturaleza del conocimiento desde la biología y el lenguaje (1).

Además los fundamentos epistemológicos se han asociado a la racionalidad, la objetividad y la conciencia humana como elementos que han permitido un abordaje del movimiento y del sujeto desde una perspectiva de integralidad y complejidad, donde la dualidad cuerpo- mente, ha sido superada por la mirada holística de integración y articulación desde las diferentes posibilidades de subjetividad, objetividad, sin desconocer la mirada conceptual que sobre cuerpo se tenga, donde lo que se busca es la recuperación del sujeto en una perspectiva biopsicosocial, donde lo corporal y la corporeidad tengan asiento, de tal manera que se pueda comprender al ser humano y el mundo que habita, desde la diferencia, el reconocimiento del otro, el diálogo y el contexto social e histórico (2, 3).

El movimiento humano implica una mirada desde concepciones filosóficas, físicas y anatómicas, cognitivas, del lenguaje entre otros los cuales permiten ser develados en la actividad física. Desde las concepciones filosóficas, físicas y anatómicas, es Aristóteles (4), quien hace énfasis en términos como *metabolé*, el cual significa cambio y *Kinesis*, que hace referencia al movimiento (potencialidad del acto que está en potencia), Heráclito y Parménides (4, 5), proponen la movilidad como constante *devoir* (término francés), es decir, los cuerpos están en un movimiento constante que es imposible asimilarlo. Copérnico, (6) posibilitó un avance en el movimiento desde las teorías de la astronomía; Así mismo Kepler (7), introdujo las tres leyes del movimiento estelar, con las cuales impuso el movimiento elíptico de los planetas, lo mismo que la distancia de ellos al sol.

Es Galileo (8), quien impuso la observación como fuente de todo conocimiento, y con ello negó la mayoría de las tesis aristotélicas, no sólo sobre el movimiento, sino en física general. Descartes impone el criterio de cuerpo con la res-extensa, Newton, propone, además, la ley de la inercia. Posteriormente, Einstein (9), con la teoría de la Relatividad, demuestra que todo en el universo está en movimiento. En esa misma época, se gestó la Teoría Cuántica, la cual se conoce como la mecánica ondulatoria. Más tarde, Heisenberg (9), propone la ley de la incertidumbre, es

decir, toda observación es indeterminada. Más tarde Bohr (10), complementan aún más esta teoría, argumentando que tanto la naturaleza como el movimiento, y con él el tiempo, no pueden ser efectos por una causa natural; o como se ha venido diciendo, no pueden ser determinados por el hombre, ellos son casuales, y segundo, que la observación perturba de tal forma lo observado, que cambia de un observador a otro.

Movimiento como palabra proviene del griego *Kinema*, y es desde allí que se han propiciado diferentes situaciones de abordaje que implica una mirada más amplia en el sentido no solo objetivo sin también subjetivo del concepto, lo que indica una mirada de presencia, de ser, de estar, de hacer en el mundo. Lo anterior permite asumir el movimiento como sinónimo de vida. Cuando se dice vida, se hace referencia a ese inevitable ciclo vital que empieza a fenecer en el mismo instante que se nace, la vida es una constante transformación de materia en energía a través de movimiento mismo.

Desde esta perspectiva entonces, se puede mencionar que el movimiento como resultado de la evolución del hombre se manifiesta desde el aspecto cultural en el trabajo y el deporte y desde el aspecto cognitivo en el lenguaje. Pero además el movimiento representa un placentero medio de expresión y comunicación como evidencia de esa energía que posee el sujeto, donde exterioriza todas sus potencialidades (biológicas, cognitivas y sociales). El movimiento también debe ser asumido como forma de expresión social histórico- cultural y en un auténtico lenguaje en el que están íntimamente ligados la capacidad motora, la acción motora, la actividad motriz, el comportamiento motor y el contexto.

El movimiento ha sido definido desde múltiples perspectivas que van desde las definiciones más biológicas hasta las que contemplan el aspecto social, psicológico, cultural entre otras. De acuerdo con lo expresado por diferentes autores contemporáneos (12 - 15), en las muchas conceptualizaciones que se encuentran, el movimiento abarca desde un cambio de posición y una serie de contracciones musculares, hasta ser contemplado como un medio que le permite al individuo conocer su entorno. Y para otros el movimiento es sinónimo de vida (2). Es decir, que el movimiento representa no solo la motilidad del sujeto sino también, el placer de expresión y comunicación visibiliza la capacidad y potenciación de esfuerzo y energía dejando ver de manera objetiva las capacidades motrices del sujeto. El movimiento es el resultado de la situaciones mecanizadas y continuas que surgen de la contracción muscular; se constituye en una forma de expresión social, histórico-cultural y en un auténtico lenguaje en el que están íntimamente ligados lo orgánico y lo vivido en relación con el entorno (2).

Además el movimiento permite a las personas conocer el medio que lo rodea y poder interactuar con él, de esta forma lo tipifica, lo hace único dentro de una colectividad, pues, el movimiento está impregnado de las características propias de cada sujeto; posibilita al sujeto adquirir habilidades y destrezas, para desenvolverse en la sociedad para la cual interactúa y de esta forma poder relacionarse y comunicarse con otros; es una fuente inagotable de experiencias, origen de conocimientos y afectos que al ser exteriorizados se convierten primero en lenguaje de la expresión del hombre, lenguaje que conforme se va perfeccionando y enriqueciendo se va constituyendo en la mejor vía de relación entre el sujeto como corporalidades (entendiendo por corporalidad no solo como todo lo que tiene extensión, sino, como la presencialidad del sujeto en un ahí y en un ahora espacio-temporal) en el mundo, convirtiéndose en manifestación de aspectos culturales y sociales (2).

Es de resaltar además que sobre el movimiento se han establecido diferentes referentes teóricos entre ellos la teoría de la patokinesiología (16); del movimiento como continuo (17), que se caracteriza por la ampliación del enfoque más allá de la dimensión biológica y por elevar las posibilidades de acción del de profesiones como la fisioterapia en otros escenarios, por medio de intervenciones sobre una noción ampliada de la salud; del movimiento como sistema complejo (2), que se refiere al movimiento como una posibilidad desde lo analítico y comprensivo y el análisis del movimiento en general, es decir, desde los parámetros de “normalidad” y los asociados al fenómeno de la discapacidad. Hoy se plantean las teorías enactivas o dinámicas (18 - 20), como constructo acuñado en el campo de la ciencia cognitiva que postula que los procesos mentales están corporeizados en la actividad sensoriomotora del organismo en interacción con el ambiente.

En coherencia con lo planteado hasta el momento, se pudiera entonces asumir que el movimiento humano es la macro categoría conceptual desde la cual se deriva la Actividad física, para ello entonces, inicio planteando como la actividad física a lo largo de la historia ha tenido diferentes conceptualizaciones las cuales han sido asumidos desde distintos contextos, como salud, educación, cultura y deporte entre otros. Sin embargo y para continuar en la línea establecida en el desarrollo de este capítulo, la actividad física alberga subcategorías como el deporte y el ejercicio físico y cuyos productos finales son el fitness o salud, la condición y la preparación física y el entrenamiento deportivo. En el siguiente diagrama se intenta dar mayor explicación al respecto:

Figura 10. Componentes del Movimiento Corporal Humano



En este sentido, las conceptualizaciones de la actividad física han seguido una línea similar por los diferentes autores y sus actualizaciones se han realizado a partir de las interacciones de la actividad física con los sujetos y el contexto (21- 23). Actualmente se viene planteando la actividad física como “Cualquier movimiento intencional, realizado con los músculos esqueléticos, que resulta en un gasto de energía y en una experiencia personal y nos permite interactuar con los seres y el ambiente que nos rodea” (25), sin embargo se observa como esta definición se centra en el tipo de movimiento del sujeto, tiene en cuenta el propósito y el contexto en el que se encuentra vinculada la persona, siempre en una perspectiva de aspectos fisiológicos, biológicos, sociales y culturales que ha articulado procesos cognitivos, desde las dimensiones personal y socio cultural.

Actualmente se plantea sobre actividad física una definición nueva que en perspectiva recoge elementos de las conceptualizaciones anteriores y las articula a las tendencias establecidas por Vidarte et al. (26), pero también a los aportes que desde el grupo de investigación Cuerpo Movimiento se han establecido no solo de actividad física sino también del movimiento (2), mostrando una dinámica más amplia y compleja frente a su conceptualización, pero también a su campo de acción. En este sentido, este nuevo concepto propuesto por Pigging (27) plantea los siguientes elementos:

1. Prioriza el movimiento de las personas sobre el movimiento de los músculos, e incluye aspectos biomecánicos y fisiológicos de la actividad. Es la persona el eje central en la actividad física y enfatiza en la interacción de este con el medio

ambiente teniendo como base su experiencia. Es decir, adapta los procesos cognitivos, afectivos y situados de la actividad física mediante la complejidad del movimiento (28) e incluye, además contextos sociales y culturales que dan cuenta de las oportunidades y limitaciones para su práctica.

2. Con la praxis de la actividad física se derivan procesos de actuación y desempeño que privilegian un potencial productivo y creativo, donde se crea mucho más (no solo actividades deportivas sino también artísticas por ejemplo y experiencias emocionales y memorables) reconociendo y apreciando otras manifestaciones que hacen que la persona sea activa.
3. Al enfatizar la inclusión, la complejidad y lo holístico, permite al lector alejarse del discurso del “cuerpo como máquina” e incorporar ideas sobre el “cuerpo como yo” (29).
4. Presentar una definición nueva y más amplia podría ser útil para replantear las intervenciones políticas, más allá del riesgo de enfermedad como justificación. Esto implica una mirada de actividad física más completa en términos de nuevas formas de pensar sobre lugar y significados de las personas y la sociedad que amplíe el panorama de la investigación científica (30)
5. El movimiento está influenciado por una variedad única de intereses, emociones, ideas, instrucciones y relaciones, presentes antes, durante y después de la actividad física y la mirada no puede ser solamente en gasto de energía.

En la actualidad el Ministerio de deporte nacional apoyado en los planteamientos establecidos por el gobierno nacional plantea, para sus diferentes programas que la actividad física *“Es un comportamiento humano y social que involucra cualquier movimiento corporal voluntario que genere un gasto energético mayor que el reposo; ocurre en los contextos físicos, sociales, culturales y políticos donde las personas viven, se transportan, trabajan, estudian y ocupan su tiempo libre. Esta influenciada por intereses, ideas, valores, creencias, emociones y relaciones y pueden generar beneficios sociales y para la salud”*. (31)

Por último, desde 2010 desde los diferentes procesos investigativos que he realizado han posibilitado visibilizar a partir del recorrido conceptual como la actividad física se ha determinado mediante las siguientes tendencias: i) Tendencia de la salud y la terapéutica; ii) tendencia desde la educación y la cultura, y iii) tendencia desde el entrenamiento deportivo. A continuación, se hace una referencia con relación a cada una de dichas tendencias (26):

Tendencia 1: La Actividad Física desde la Salud y la Terapéutica

Para abordar esta primera tendencia es relevante retomar algunos elementos concernientes a salud y salud pública. Abordar la salud en esta tendencia conlleva a tener una mirada más amplia, es decir, una mirada de lo individual a lo colectivo y donde el entorno juega papel relevante. De esta forma, no solo el componente biológico influencia la salud del hombre, sino que la realidad social y cultural también tiene una participación importante y condiciona los procesos de crecimiento y desarrollo del hombre y su desarrollo se da en la potenciación del sujeto mediante el abordaje y entrenamiento de las capacidades físicas condicionales y coordinativas del sujeto (26).

En este orden de ideas, la actividad física como factor de salud tiene unas repercusiones positivas sobre la salud del sujeto, los beneficios de la actividad física para la salud desde sus beneficios para los diferentes sistemas orgánicos, pero también en la perspectiva de aspectos preventivos, de rehabilitación y terapéutica, y es en este sentido el abordaje de la actividad física se define como *estrategia de promoción de la salud*, donde sea asumida como política pública y el proceso práctico cobre importancia a la hora de comprender las relaciones entre actividad física y salud (32).

Para desarrollar el proceso de promoción de la actividad física se hace necesaria la participación de diferentes actores y sectores de la comunidad que le brinden sostenibilidad a las acciones desarrolladas en torno de la actividad física con el propósito de superar dificultades y suplir las necesidades que afecten a los pobladores de un determinado territorio orientando los esfuerzos hacia una mejor condición posible teniendo en cuenta las dimensiones y las variables que generan los problemas (33). La actividad física se convierte en una estrategia que promueve la salud, debido a que es una fuente de experiencias de vida al ser capaz de movilizar recursos, así como por los beneficios que trae consigo y por su posibilidad de modificar hábitos y comportamientos sociales lo cual lleva a mejorar la percepción de vida de los individuos y las comunidades (34).

En Colombia as diferentes legislaciones en torno a la salud se llevan a cabo procurando invitar a la población a no quedarse con los mínimos establecidos por la OMS en cuanto la práctica de la actividad física, procurando que los diferentes planes de acción de los diferentes entes gubernamentales siempre estén en consonancia en torno a aumentar la prevalencia de la realización de actividad física. Este aumento de la prevalencia de actividad física mínima en los diferentes grupos poblacionales (niños, jóvenes, adultos y adultos mayores), esto principalmente conociendo los beneficios que trae consigo la práctica de

esta y los riesgos que acarrea para la salud el sedentarismo (35). Sumado a lo anterior, se hace relevante reconocer las diversas formas de entender el papel que juega la actividad física con relación a la salud, como un elemento educador, terapéutico, preventivo y de bienestar (36).

Desde los planteamientos de Devís (36) el papel educador de la actividad física consiste en generar conocimientos relacionados con los beneficios, contraindicaciones, ámbitos de la práctica, mal uso o abuso de esta, todo ello con miras en promocionar la salud a partir de la realización de cualquier tipo de actividad física. Un individuo sano realiza actividad física para mejorar su bienestar y prevenir algunas enfermedades (36) y esto se coherente con el papel terapéutico de la actividad física

La interacción entre actividad física y salud se pone de manifiesto frente a características e indicadores de frecuencia de práctica, intensidad de práctica, volumen, densidad control, medio y ritmo de ejecución aspectos que favorecen o desfavorecen la relación entre estas y a la vez se convierten en factores de riesgo – beneficio notándose que los mayores beneficios se establecen a partir de la ejecución de ejercicios adecuados y estímulos propicios que favorezcan la obtención de beneficios donde cobra papel relevante el diagnóstico de la condición física como elemento determinante para el desarrollo de programas de entrenamiento deportivo, acondicionamiento físico o prescripción del ejercicio físico.

Tendencia 2: La Actividad Física desde La Educación y la Cultura

Como se mencionó anteriormente el papel educador de la actividad física consiste en generar conocimientos relacionados con los beneficios, contraindicaciones, ámbitos de la práctica, mal uso o abuso de esta (36). Por tanto, en esta tendencia la actividad física es abordada a partir del movimiento humano como objeto de estudio afín a diferentes profesiones, lo que hace pensar que, al compartir dicho objeto de estudio, se requiere de una mutua colaboración en todos los procesos realizados desde sus campos de acción y áreas de intervención, los cuales tienen como propósito elementos similares que facilitan la salud de las personas y una adecuada convivencia social y cultural que media por los hábitos y estilos de vida de las mismas.

Para abordar el enfoque de la actividad física desde la cultura y la educación, es necesario retomar todos los componentes que desde la educación han facilitado los procesos de formación de las personas y como aspectos axiológicos y de valores y normas se constituyen en relevantes para determinar elementos

de alienación y/o emancipación de los sujetos. Es decir, que la educación con sus componentes didácticos, pedagógicos y sociales posibilitan cambios influenciados por lo social, lo psíquico y lo cultural.

Los procesos pedagógicos desarrollados en esta tendencia influyen en la formación de los sujetos, donde el ejercicio físico deja de ser un fin para convertirse en un medio más de formación; la actividad física se pone a disposición de las posibilidades del individuo, conociendo y atendiendo sus motivaciones y necesidades. Sumado a lo anterior aspectos culturales como el proceso axiológico determinan en gran medida el desarrollo de los aspectos educativos que ayudan en el desarrollo de la actividad física de los sujetos (26).

La Educación Física se convierte en herramienta valiosa para el logro de adecuados comportamientos y la adquisición de normas y valores que determinan el comportamiento de los sujetos y en este sentido en estrategia clave para todos los profesionales de la salud que de una u otra manera buscan en las personas mejorar su calidad y sus condiciones de vida, y desde la salud pública la vida es un elemento básico y colectivo que puede generar un cambio importante en lo que actualmente está sucediendo con las enfermedades producto de los estilos de vida inadecuados y de conductas y comportamientos poco saludables (26).

La cultura física no se refiere exclusivamente a los deportes, la danza o los ejercicios aeróbicos, sino además al valor filosófico e ideológico implícito en dichas prácticas, las normas que lo regulan, las instituciones que la representan, los bienes materiales que la posibilitan y las actitudes asumidas en su ejecución (26). Es básico plantear como en la actividad física y el deporte se aprenden normas, reglas y demás que permiten adecuadas convivencias y determinan en gran medida formas de comportamiento de los sujetos.

Por tanto, es necesario tener claridad que, frente a la constante evolución y transformación de los valores y modos de vida, la actividad física y el deporte se convierten en herramienta básica para mejorar procesos de convivencia social, para la adquisición de normas y valores y para determinar comportamientos de las personas teniendo presente la contextualización y cambio permanente de los procesos tecnológicos, aspectos que de una u otra forma ayudan a poner en juego la función del valor social, cultural, ético, político, cognitivo, imaginativo creativo, estético y motriz, lo cual articulado a aspectos de movimiento y motricidad constituyen la realidad del sujeto (37- 41).

Tendencia 3: la Actividad Física desde el Entrenamiento Deportivo

Como se mencionó anteriormente el entrenamiento deportivo es otra tendencia donde se potencia la actividad física y la salud de los sujetos. El objetivo principal del entrenamiento deportivo es mejorar el funcionamiento de los sistemas orgánicos y el desempeño de habilidades para la práctica de cualquier disciplina deportiva teniendo como prioridad el rendimiento en la misma. Tanto la práctica deportiva como la recreativa o de alto rendimiento dirigida y organizada científicamente, facilitan la promoción de la salud en la medida en que interactúan con el entorno y proyectan conocimientos y experiencias (26). De otro lado, el entrenamiento de alto rendimiento deportivo persigue logros y marcas, que, en muchas ocasiones, a pesar de estar dirigido y organizado científicamente, repercute negativamente en la salud de los deportistas, debido a las exigencias requeridas (42).

El entrenamiento deportivo es el resultado de la teoría y la práctica de las ciencias del deporte. Su estudio permite conocer métodos para el desarrollo de las capacidades motrices, condicionales y coordinativas, para el aprendizaje, perfeccionamiento de la técnica y la táctica deportiva, la preparación psicológica, así como para todo el proceso de planificación y del entrenamiento deportivo. Es “el conjunto de tareas que aseguran una buena salud, educación, desarrollo físico armónico, dominio técnico, táctico y alto nivel de desarrollo de las cualidades físicas” (42, 43) y determina transformaciones morfológicas funcionales y biológicas generales, diferentes a la capacidad. Este mismo autor considera que la preparación física es el sistema de entrenamiento deportivo que está destinado a desarrollar las capacidades físicas de acuerdo con las exigencias deportivas.

Por lo anterior “El entrenamiento deportivo es un proceso sistemático con el fin de mejorar la forma física para cierta actividad elegida. Es un proceso a largo plazo, que es progresivo y reconoce las necesidades y capacidades del individuo. Los programas de entrenamiento usan los ejercicios para desarrollar las habilidades necesarias de una disciplina” (43-46). El “entrenamiento deportivo por naturaleza es una actividad motriz específica, sistemática, dirigida a la formación y educación completa del atleta en este campo: adquisición de múltiples y variados conocimientos especiales, de habilidades motoras y capacidades deportivas, aumento de la capacidad condicional de rendimiento del organismo y control de la técnica deportiva y de la forma de comportarse en competición (táctica)” (44 - 46).

Los contenidos del entrenamiento son la estructuración concreta del entrenamiento enfocada hacia el objetivo planteado. Dado que, en el proceso de entrenamiento, el ejercicio constituye la forma de trabajo primordial para

desarrollar la capacidad de rendimiento deportivo, las formas de ejercicio se sitúan en un primer plano a la hora de configurar los contenidos del entrenamiento deportivo. De su correcta elección depende el grado y la rapidez de la mejora en cuanto a la capacidad de rendimiento deportivo. La elección de las diferentes formas de ejercicio tiene lugar de acuerdo con los principios de idoneidad, de economía y de eficacia (47, 48), aspectos que se encuentran también mediados por la participación de los principios del entrenamiento deportivo los cuales son pedagógicos y biológicos los cuales tienen gran validez para alcanzar los diferentes objetivos propuestos.

Los principios del entrenamiento deportivo pueden ser agrupados en los principios de carga, organización cíclica, especialización y proporcionalidad. A continuación, se presentan los principios pedagógicos y biológicos del entrenamiento deportivo (48-51, 45); como elementos básicos para el desarrollo y potenciación en procura del rendimiento deportivo.

Los principios pedagógicos del entrenamiento deportivo se centran en el proceso de enseñanza-aprendizaje, para que se logre sacar el mayor rendimiento de la habilidad, tarea o gesto-forma deportiva necesaria. Son indicados para el aprendizaje y automatización de la tarea deportiva, la motivación, la progresión y la estabilización de los resultados. Son muy adecuados en la iniciación deportiva y en la adquisición de patrones de motrices nuevos. En este sentido se debe planificar un programa de entrenamiento acorde a los objetivos propuestos por el deportista (51). Lo anterior significa que, el entrenado debe conocer su proceso de entrenamiento, y si se encuentra aprendiendo una nueva habilidad, esta se enfocará en el dominio adecuado para alcanzar su eficacia y para alcanzar el debido rendimiento deberá conocer la influencia que un ejercicio o actividad puede tener sobre el aprendizaje, desarrollo y rendimiento de otra actividad o tarea y su capacidad para adaptarse a cada una de las exigencias solicitadas (48-51).

Los principios biológicos del entrenamiento deportivo dan cuenta en primera instancia del principio de la unidad funcional que refiere los diferentes sistemas (muscular, esquelético, respiratorio, digestivo, etc.), que componen de manera integral al sujeto y como este sistema funciona como un todo, donde todos están presentes en cada actividad solicitada. Por tanto, cada persona es un conjunto de subsistemas que responde como propio, y que independientemente del tipo de estimulación que recibe, tiene una respuesta de tipo general. Es a partir de este principio que se debe tener en cuenta los demás principios biológicos al momento de establecer el proceso de entrenamiento deportivo. A continuación, se menciona cada uno de ellos.

Principio de la sobrecarga: Este principio posibilita tener presente los umbrales de condición física necesarios para estimular y alcanzar efectos de adaptación. Es decir, estímulos óptimos entre volumen, la intensidad y los descansos, para producir los fenómenos de adaptación (48-51). Lo anterior implica que una vez el músculo ha aceptado la carga se hacen necesario volver a aumentar para que se vuelva a adaptar.

Principio de la individualización: El entrenamiento se adecúa a las características particulares de los deportistas y el sujeto. Es decir, el entrenamiento es individualizado, por tanto, no se pueden ni deben aplicar entrenamientos estándar para todos los deportistas y repetir modelos de entrenamiento que han dado buenos resultados con otros deportistas. “No existen dos personas iguales”.

Principio de la multilateralidad: su intencionalidad radica en la necesidad de desarrollar todas las capacidades, todos los órganos y todas sus funciones, no sólo aquellas que son relevantes en la disciplina deportiva. (interdependencia de los sistemas orgánicos), esto obliga a realizar preparaciones multifacéticas con la intención de formar mayor número de conductas motrices (49, 50) para alcanzar futuros resultados deportivos.

Principio de la continuidad: en los programas de entrenamiento la perseverancia es factor primordial, la persona debe ser constante en su práctica diaria y/o semanal, y en la frecuencia del estímulo. La experiencia y la fisiología del ejercicio han demostrado que todo esfuerzo que se interrumpe por un periodo prolongado, o es realizado sin continuidad, ni crea hábito ni produce entrenamiento (48, 51).

Principio de la progresión: se fundamenta en el incremento de la carga de entrenamiento que estimula el umbral del deportista para que vuelva a producir efectos en el organismo (52, 53). Es decir que después de un entrenamiento efectivo hay una adaptación y por tanto el siguiente entrenamiento deberá tener una mayor estimulación. La carga puede aplicarse a través de la combinación de sus tres componentes, el volumen (cantidad de trabajo), la intensidad (calidad del trabajo) y la especificidad deportiva.

Principio del incremento de la carga: Se debe aumentar la carga de entrenamiento o el estímulo, y esto se consigue con la combinación de los componentes de volumen, la intensidad, especificidad deportiva y tiempo de recuperación (50).

Principio de la variedad de la carga: Este principio argumenta que se debe variar las actividades en las sesiones de entrenamiento evitando situaciones monótonas y aburridoras en las sesiones de entrenamiento. Es necesario cambiar la metodología y las didácticas del entrenamiento de tal forma que se utilicen actividades motivantes en cada una de las fases.

Principio de la alternancia de la carga: Este principio apunta a la relación, no sólo entre los períodos de trabajo y descanso en el propio entrenamiento, sino también entre las distintas áreas, tipos, vías o planos de entrenamiento (48, 46, 43). Es decir, en una sesión de entrenamiento se debe contemplar la alternancia de cargas de trabajo de los grupos musculares, de forma genérica y de forma específica. La combinación de ejercicios entre grupos musculares diferentes permite la recuperación de unos mientras otros están trabajando (alternancia trabajo/descanso).

Principio de la especificidad: Este principio se fundamenta en la realización de un trabajo concreto y de intensidad similar al que será solicitado cuando el organismo esté llevando a cabo la actividad requerida. Los entrenamientos deben planificarse de lo más general a lo más específico, incluso en la misma sesión de entrenamiento. Así se trabajará en relación con los diferentes tipos de ejercicios (genéricos, específicos y especiales), a los grupos musculares, (genéricos, principales y específicos) y a los diferentes métodos de entrenamiento específicos, ya que cada método provocará una mejora en las capacidades demandadas y, por tanto, producirá adaptaciones específicas en el organismo (48).

Existen en el proceso de entrenamiento deportivo dos tipos de planificación, la tradicional y contemporánea, las cuales son opuestas y a la vez complementarias, con metodologías inversas, pero con objetivos comunes dentro de un programa de entrenamiento deportivo. De esta manera, la planificación tradicional es muy efectiva y necesaria en las primeras etapas de la preparación deportiva con un aumento progresivo de las cargas (50). En cambio, el método contemporáneo (periodización inversa) es dirigido a los máximos logros o los atletas de alto rendimiento, que busca un objetivo en tiempos más cortos durante un microciclo o mesociclo, es decir, va dirigida para los atletas de alto rendimiento (54,55).

Los modelos de entrenamiento utilizados en las planificaciones son propuestas teóricas, y solo puede observarse su efectividad una vez aplicados a un caso en particular. La organización del entrenamiento está entonces condicionada, por cómo se consideren: las características del individuo; su estado de forma; las

demandas del deporte; la orientación y carga de entrenamiento; el calendario de competición y todo el entorno que rodea al deporte (56). Existen diferentes modelos de entrenamiento deportivo que se utilizan para gestionar la fatiga y la recuperación. Entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

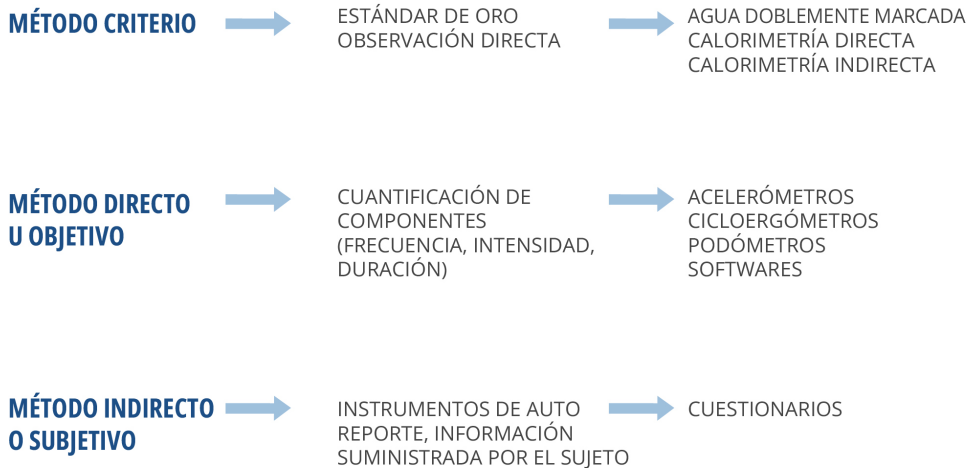
- Modelo de periodización, que consiste en dividir el entrenamiento en diferentes fases con diferentes objetivos y cargas de entrenamiento (57). Las fases de entrenamiento deben alternar períodos de alta intensidad con períodos de baja intensidad para permitir la recuperación y prevenir la fatiga.
- Modelo de entrenamiento polarizado, que se basa en la distribución de la carga de entrenamiento en tres zonas: baja intensidad, alta intensidad y muy alta intensidad (58). Según este modelo, la mayoría del entrenamiento debe realizarse en la zona de baja intensidad, con un menor porcentaje de entrenamiento en las zonas de alta y muy alta intensidad.
- Modelo de entrenamiento concurrente, que combina diferentes tipos de entrenamiento, como el entrenamiento de fuerza y el entrenamiento aeróbico (59), el entrenamiento concurrente puede mejorar tanto la fuerza como la resistencia, pero también puede aumentar la fatiga y afectar la recuperación.
- Modelo de entrenamiento de alta intensidad intermitente, que se basa en la realización de intervalos de alta intensidad con períodos de recuperación activa (60), se puede mejorar tanto la resistencia como la capacidad anaeróbica.
- Modelo de entrenamiento de sobrecarga progresiva, que se basa en el aumento gradual de la carga de entrenamiento para estimular la adaptación del cuerpo (61), el cuerpo se adapta al estrés del entrenamiento y se vuelve más resistente a la fatiga.
- Modelo de entrenamiento de microciclos, que se basa en la división del entrenamiento en ciclos más cortos, generalmente de una semana (62), los microciclos deben alternar períodos de alta intensidad con períodos de baja intensidad para permitir la recuperación y prevenir la fatiga.

Sumado a todo lo anterior se hace necesario tener claridad que para iniciar cualquier proceso de entrenamiento deportivo, acondicionamiento físico o prescripción del ejercicio los procesos de evaluación de la actividad física se convierten en factor fundamental para tener una referencia absoluta sobre los programas a desarrollar. En este sentido Vanhees (63) plantea tres formas de

evaluación de la actividad física y el deporte las cuales son el método criterio, los métodos directos u objetivos y los métodos indirectos y subjetivos.

Los métodos criterio, son aquellos definidos en investigación como “estándar de oro”, siendo la observación directa de los comportamientos motrices el principal método en esta categoría (64), cabe mencionar que estos métodos son muy costosos y poco prácticos. Los métodos directos u objetivos son reconocidos por su calidad y gran precisión al momento de recolectar la información y se realiza a partir de la cuantificación de componentes de la Actividad Física (intensidad, frecuencia, y duración), siendo parte de estos métodos los acelerómetros, podómetros, el monitoreo de la frecuencia cardíaca y la combinación de dispositivos (65) y los métodos indirectos o subjetivos, pueden ayudar a determinar el gasto energético proveniente de información suministrada por el sujeto evaluado, mediante ecuaciones de predicción en los cuales se realiza un recuento de actividades física y los instrumentos de auto reporte (66 – 68). En el siguiente esquema se sintetizan los métodos de evaluación de la actividad física y el deporte.

Figura 11. Métodos de Evaluación de la Actividad física y el Deporte

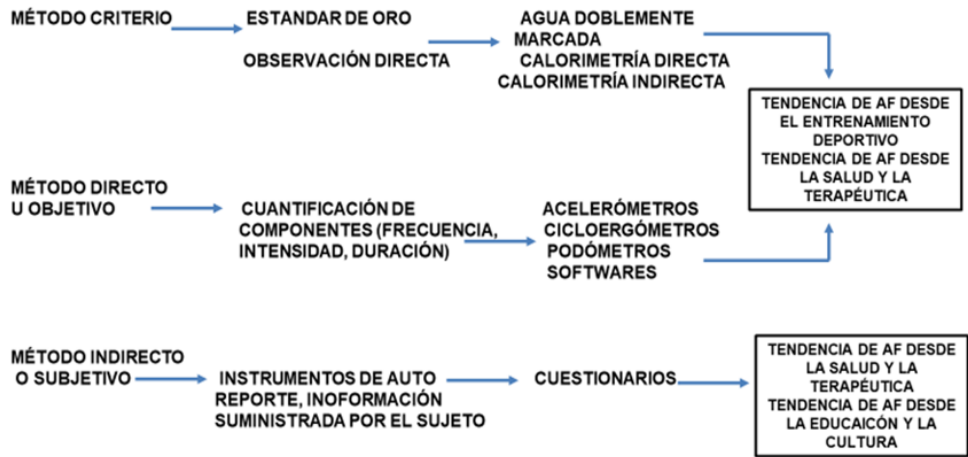


El proceso de evaluación de la actividad física y el deporte se hace teniendo en cuenta los métodos de evaluación de actividad física y deporte propuestos según ciclo vital y grupos poblacionales y las tendencias de la Actividad física y el deporte abordados anteriormente.

Es así como para la tendencia de la Actividad Física desde la terapéutica y salud se pueden retomar los autoinformes (Cuestionarios, entrevistas y encuestas), las agendas registros (diarios de campo), pruebas directas, objetivas y fisiológicas (Condición física, VO₂, calorímetro, sensores de movimiento, podómetro, acelerómetros) y la observación directa de las conductas de la Actividad Física (Sofit-soplay).

Para la tendencia de la Actividad Física desde el entrenamiento deportivo todas aquellas baterías que posibilitan la valoración de la condición física tanto atlética como saludable (Baterías Alpha Fitness, Fitnessgram, de Aptitud física, Cofisa, Afisal, Senior Fitness, los cuales se pueden aplicar a diversos grupos poblacionales niños, jóvenes, adultos y adultos mayores. Y para la tendencia de la Actividad Física desde la cultura y educación todos aquellos instrumentos de auto reporte (Sofit, Soplay, hábitos y conductas físico-deportivas, mediciones cognitivas y psicosociales autoinformadas pertinentes a la Actividad Física). Lo anteriormente planteado se puede explicar en la siguiente ilustración.

Figura 12. Métodos de Evaluación de la Actividad física y el Deporte según tendencias



El proceso de evaluación se establece según el ciclo vital estipulado por la OMS (2010), donde se tienen presente las diferentes formas de según el ciclo vital. En el ciclo de niños y adolescentes (0- 17 años), además de todas las baterías y test establecidos para la evaluación de la actividad física desde el desarrollo motor (habilidades motrices, patrones de movimiento, motricidad, capacidades físicas condicionales y coordinativas) y mediadas por técnicas

como la psicomotricidad, se utilizan como base las baterías definidas para la valoración de la condición física saludable como Alpha Fitness, fitnessgram, Cofisa y de actitud física. Baterías que están siendo utilizadas para establecer el comportamiento de la condición física saludable en los escolares en países desarrollados y actualmente se han vinculado a los procesos educativos en nuestro país.

En el desarrollo de estas baterías y para la evaluación de la actividad física en niños se pueden utilizar además métodos directos u objetivos como acelerómetros, podómetros, agua doblemente marcada, calorimetría, pulseras de actividad y desde los métodos indirectos o subjetivos los cuestionarios, diarios de campo y actividades de observación

Para el ciclo de jóvenes (17 – 28 años), se trabaja estableciendo parámetros desde la condición física atlética con la batería Cofisa, Actitud física, test de coordinación motriz y todos los test que den cuenta de la valoración de las capacidades físicas condicionales y coordinativas. Es claro que en la búsqueda de evaluaciones en este ciclo vital es poca la información referida y esto permite la articulación y adaptación de diferentes pruebas de capacidades físicas condicionales y coordinativas desde la perspectiva del entrenamiento deportivo o la condición física atlética.

Para el ciclo vital de Adultos (27 – 60 años), se trabaja desde procesos de confición física saludable con la Batería Afisal INEF. Es decir, los procesos a tener en cuenta para este ciclo vital hacen mayor énfasis en la condición física saludable y es esta batería la más utilizada con adecuados niveles de confiabilidad y validez y por último para los adultos mayores > de 60 años, esta evaluación se realiza utilizando la batería senior fitness, la cual hoy es la de mayor utilización en esta población y la cual cuenta con procesos de estandarización y validez tanto internacionales como nacionales.

Conclusiones

El capítulo evidencia la importancia fundamental de la actividad física en la promoción de la salud, la prevención de enfermedades y el mejoramiento de la calidad de vida. Se destaca que las tendencias actuales apuntan hacia una integración cada vez más evidente de la actividad física dentro de diferentes contextos sociales, educativas y terapéuticos, reconociendo su papel clave tanto en la formación cultural como en el entrenamiento deportivo.

Además, la revisión de las diferentes metodologías y enfoques para fomentar la actividad física resalta la necesidad de diseñar programas personalizados que consideren las características individuales y culturales de los participantes, garantizando así una mayor adherencia y efectividad. La implementación de políticas públicas y estrategias educativas orientadas a incentivar el ejercicio debe ser una prioridad para fortalecer la salud colectiva y construir una cultura del movimiento sostenible.

Finalmente, la convergencia entre la salud, la educación y el deporte en el ámbito de la actividad física abre nuevas oportunidades para el desarrollo de intervenciones multidisciplinarias que contribuyan a la formación integral de las personas, promoviendo no solo el bienestar físico sino también aspectos emocionales y sociales ligados al movimiento corporal.

Referencias

1. Maturana H., y Varela, F. De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo. Buenos Aires: Lumen. 2004
2. Agamez J, Arenas B, Giraldo JE, Restrepo H, Vidarte JA. Cuerpo - Movimiento: perspectiva Funcional y Fenomenológica. Manizales: Universidad Autónoma de Manizales; 2002.
3. Vanegas García JH, Gil Obando L. La discapacidad, una mirada desde la teoría de sistemas y el modelo biopsicosocial Revista Hacia la Promoción de la Salud, vol. 12, 2007; enero-diciembre, pp. 51-61 Universidad de Caldas.
4. Aristóteles. Retórica. Ramírez A, traductor. México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2002. .
5. Heráclito. Fragmentos. En: Mondolfo R. Heráclito. México: Siglo XXI Editores; 1981. p. 28-47..
6. Parménides. El poema acerca de la naturaleza. En: Escuela de Elea. Muíñez JA, traductor. Buenos Aires: Aguilar; 1981. p. 45-57.
7. Kepler, J. Conversación con el mensajero de las estrellas. En: El mensaje y el mensajero sideral. Madrid: Alianza Editorial. 1990
8. Galilei G. Historia y demostraciones de las manchas solares. In: Galilei G, Kepler J, editors. El mensaje y el mensajero sideral. Madrid: Alianza Editorial; 1990.

9. Einstein, A. Relativity, the special and general theory, Methuen & Co, 1920
10. Heisenberg, W. La imagen de la naturaleza en la física actual, Ed. Planeta, p. 20. 1993
11. Bohr, N. On the Constitution of Atoms and Molecules. Philosophical Magazine; 1913, 26 (1): pp. 476.
12. Lora, J. La educación corporal. Lima, Perú: Amauta. 2000
13. Wallon, H. Importance du mouvement dans le developpement psychologique de l'enfant. Enfance, 1984; 9, 1-14
14. Rigal, R. Educación motriz y educación psicomotriz en Preescolar y Primaria. Barcelona: Inde, 2006
15. Fonseca, V da. Estudio y génesis de la psicomotricidad. Barcelona: Inde. 1996
16. Hislop H. The not-so impossible dream. Physical Therapy.; 1975; 55 (10), 1069-1080
17. Cott C, Finch E. Invited commentary on the Movement continuum special series. Phys Ther 2007; 87(7):925-926.
18. Rossi, A., Grasso-Cladera, A., Luarte, N., Riillo, A. y Parada, F. J. The brain/body-in-the-world system is cognitive science's study object for the twenty-first century. Studies in Psychology, 2019; 40(2), 363-395. <https://doi.org/10.1080/02109395.2019.1596704>
19. Di Paolo E. El enactivismo y la naturaleza de la mente. En: Nueva ciencia cognitiva: hacia una teoría integral de la mente. Plaza y Valdes Editores. 2013
20. Masciotra, D., Roth, W.-M. y Morel, D. Enaction: Apprendre et enseigner en situation (Trad. Groupe De Boeck). Bruxelles: De Boeck. (Trabajo original publicado en 2008).
21. Caspersen, C. Powell, K. Christensen, G. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. Public Health Reports, 100:126-131.
22. Howley, ET. Tipo de actividad: resistencia, aeróbica y de ocio frente a actividad física ocupacional. Med.Sci. Sports Exerc. 2016; 33 (ssupl.), S364 – S369. doi 10.1097/00005768-200106001-00005

23. Organización Mundial de la Salud (OMS). Más personas activas para un mundo más saludable, Plan de acción mundial sobre actividad física, 2018-2030. Ginebra, Reino Unido: Organización Mundial de la Salud. 2018
24. Buscemi J, Kong A, Fitzgibbon ML, Bustamante EE, Davis CL, Pate RR, Wilson DK. Society of Behavioral Medicine position statement: elementary school-based physical activity supports academic achievement. *Translational Behavioral Medicine*, 2014; 4 (4), 436-438. doi: 10.1007/s13142-014-0279-7
25. Devís J. Actividad física, deporte y salud. Barcelona: INDE. 2000
26. Vidarte-Claros JA, Vélez Álvarez C, Sandoval Cuellar C, & Alfonso Mora ML. Actividad física como estrategia de promoción de la salud. *Revista Hacia la promoción de la salud*, 2011; 16 (1). 202-218
27. Piggin J. Diseñado para moverse? El lobby de la actividad física y la política, y la política de la productividad. *Health Educ. J.* 2015; 74, 16-27, doi 10.1177/0017896913517385
28. Pronger B. Fascismo corporal. La salvación en la tecnología de la aptitud física. Toronto, ON:2002, University of Toronto Press
29. Whitehead, M. El concepto de alfabetización física. *Eur. J. Phys, Ed.* 2001; 127-138, doi:10.1080/1740898010060205
30. Piggin J. ¿Qué es la actividad física? Una definición holística para profesores investigadores y responsables de políticas. *Front. Sports Act. Living* 2: 72, 2020 doi: 103389/fspor.2020.00072
31. Colombia. Ministerio de Educación Nacional. Ley 181 de Enero 18 de 1995. Por la cual se dictan disposiciones para el fomento del deporte, la recreación, el aprovechamiento del tiempo libre y la Educación Física y se crea el Sistema Nacional del Deporte https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-85919_archivo_pdf.pdf
32. ACSM. Exercise and Physical Activity for Older Adults. *Medicine & Science in Sports Exercise*, 2009; 41(8), 1510-1530.
33. CDC. Promoción de la actividad física: la mejor inversión en salud pública. *Human Kinetics* 1999:8-35.
34. Correa J. Documento marco que sustenta la relación del grupo de investigación en actividad física y desarrollo humano con los currículos de programas de pregrado de rehabilitación de la escuela de Medicina y Ciencias de la Salud. Bogotá: Universidad del Rosario; 2010.

35. Colombia. Presidencia de la República. Decreto No 3039 agosto 10. Plan Nacional de Salud Pública (PNSP) para el cuatrienio 2007-2010. Bogotá: Imprenta Nacional; 2007.
36. Devís J, y Peiró C. Exercise and health in the Spanish PE curriculum: a modified programme of 'The exercise challenge'. En T. Williams, L. Almond y A. Sparkes (eds.) Sport and Physical Activity. Moving Towards Excellence 1992; 418-428). Londres: E. and F.N. Spon.
37. Parlebas JP. Juego, deporte y sociedad. Léxico de praxeología motriz. Edición I. Paidotribo. Barcelona España, 2007
38. Trigo, E. Nueva Sociedad, Nuevo Paradigma, Nuevo Hombre... ¿viejo Deporte? In W. y. S. Wey Moreira, R. (Ed.), Fenômeno Esportivo no Início de um Novo Milênio (1ª ed., Vol. 1, pp. 157-176). Piracicaba-Brasil: Unimep. 2002.
39. Murcia N, Ospina HF. Motricidad Humana y globalización. En: Revista Hologramática, facultad de ciencias sociales, UNLZ, año 4 No. 6. 2007, 3-23. Buenos Aires.
40. Hurtado DR. Corporeidad y motricidad, una forma de mirar los saberes del cuerpo. Educ. Soc., Campinas, vol. 29, n. 102, p. 119-136, jan./abr. 2008. <http://www.cedes.unicamp.br>
41. Sérgio M, Trigo E, Genú M, & Toro S. Motricidad Humana, una mirada retrospectiva (1ª ed. Vol. Léeme-2). Colombia-España: Instituto Internacional del Saber. 2010
41. Platonov, V. El entrenamiento deportivo: Teoría y Metodología. Barcelona: Paidotribo, 1998
42. Verhoshanski, YV. Entrenamiento deportivo, planificación y programación. Barcelona: Martínez Roca, 1998
43. León JA. Teoría y práctica del entrenamiento deportivo. Bloque común para técnicos deportivos. Nivel I. Sevilla: Editorial Deportiva Wanceulen. 2006
44. Naclerio, F. (2011). Entrenamiento deportivo. Fundamentos y aplicaciones en diferentes deportes. Madrid: Ed. Médica Panamericana.
45. Naranjo, J., & Centeno, RA. (2000). Bases fisiológicas del entrenamiento deportivo. Sevilla: Editorial Deportiva Wanceulen.
46. Campos, J., y Ramón, V. (2003). Teoría y planificación del entrenamiento deportivo. Barcelona: Editorial Paidotribo.

47. García-Manso JM, Navarro-Valdivieso M, y Ruiz-Caballero JA. Bases teóricas del entrenamiento deportivo. Principios y aplicaciones. Madrid: Gymnos, 1996
48. Navarro-Valdivieso, F., Oca, A., & Rivas, A. (2010). Planificación del entrenamiento y su control. Sevilla: Cultiva Libros SL.
49. Vasconcelos, A. (2000). Planificación y Organización del Entrenamiento Deportivo. Barcelona: Paidotribo
50. Grosser, M. Entrenamiento de la velocidad. Barcelona: Editorial Martínez Roca. 1992
51. López-Chicharro, J. y Fernández, A. Fisiología del ejercicio. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 2006
52. Martín, E., García-Manso, J., Salum, E., Sposito, C., & Gomes, C. Aplicabilidad de los modelos de periodización del entrenamiento deportivo. Una revisión sistemática. Revista Internacional de Ciencias Del Deporte, 2010; 20, 231-241.
53. Molliner, D., Legaz, A., Munguía, D., & Medina, R. Características de la planificación del entrenamiento en los deportes de equipo españoles de élite. Apunts Educació Física y Deportes, 2010 (102), 62-69.
54. Reverter Masià J., Deltell CJ., Fonseca T., Navarro Eroles E. Análisis de la planificación del entrenaimeinto en los deportes de equipo. Movimiento humano.2012;3,79-98.)
55. Bompa TO. Periodization: Theory and methodology of training. Human Kinetics, 2019
56. Seiler S & Tønnessen E. Intervals, thresholds, and long slow distance: the role of intensity and duration in endurance training. Sportsscience, 2009 13(1), 32-53.
57. Kraemer WJ, & Ratamess, NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2004; 36(4), 674-688.
58. Buchheit M, & Laursen, PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. Sports Medicine, 2013; 43(5), 313- 338.

58. Stone MH., Stone, M., Sands, WA., Sands, W, & Pierce, KC Principles and practice of resistance training. Human Kinetics. 2007
59. Issurin VB. New horizons for the methodology and physiology of trainingperiodization. Sports Medicine, 2010; 40(3), 189-206. <https://doi.org/10.2165/11319760-000000000-00000>.
60. Bartlett D, Willis L, Slentz C, Hoselton A, Kelly L, Huebner J, ... Huffman K. Ten weeks of high-intensity interval walk training is associated with reduced disease activity and improved innate immune function in older adults with rheumatoid arthritis: A pilot study. Arthritis Research and Therapy, 2018; 20(1), 1–15. doi: <https://doi.org/10.1186/s13075-018-1624-x>
61. Mangine GT., Serafini PR, Stratton MT, Olmos AA, VanDusseldorp TA, y Feito Y. Effect of the Repetitions-In-Reserve Resistance Training Strategy on Bench Press Performance, Perceived Effort, and Recovery in Trained Men. Journal of strength and conditioning research, 2022; 36(1), 1–9. <https://doi.org/10.1519/JSC>.
62. McQuilliam SJ, Clark DR, Erskine RM, y Brownlee TE. Free-Weight Resistance Training in Youth Athletes: A Narrative Review. Sports medicine (Auckland, N.Z.), 2020; 50(9), 1567–1580. <https://bit.ly/Entrenamientoderesistenciaconpesolibre>
63. Vanhees, L., Lefevre, J., Philippaerts, R., Martens, M., Huygens, W., Troosters, T., & Beunen, G. How to assess physical activity? How to assess physical fitness? European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation, 2005; 12(2),102-114
64. Arias J. Confiabilidad y validez para evaluar los instrumentos de medición. Perú: Universidad Nacional Faustino Sánchez Carrión. 2013.
65. Sallis JF. Measuring physical activity: practical approaches for program evaluation in Native American communities. Journal of Public Health Management Practice, 2010; 16(5),404-410
66. Maddison R, Ni Mhurchu C, Jiang Y, Vander Hoorn S, Rodgers A, Lawes C M, & Rush E. International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) and New Zealand Physical Activity Questionnaire (NZPAQ): a doubly labelled water validation. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2007; 4, 62.

67. Medina C, Barquera S, & Janssen I. Validity and reliability of the International Physical Activity Questionnaire among adults in Mexico. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 2013; 34(1), 21-28
68. Santos DA, Silva AM, Matias CN, Magalhaes JP, Fields DA, Minderico CS, Ekelund U, & Sardinha LB. Validity of a combined heart rate and motion sensor for the measurement of free-living energy expenditure in very active individuals. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2013

CAPÍTULO 3

Alfabetización Física y sus Procesos Vinculantes

Physical Literacy and its Binding Processes

José Armando Vidarte Claros

Universidad Autónoma de Manizales

© <https://orcid.org/0000-0002-7982-3848>

✉ jovida@autonoma.edu.co

Brayan Esneider Patiño Palma

Fundación Universitaria del Área Andina

© <https://orcid.org/0000-0002-6932-0980>

✉ bpatino3@areandina.edu.co

Resumen

En el presente capítulo se hace un abordaje sobre el concepto de “Alfabetización física”, el cual es nuevo en nuestro contexto y ha sido utilizado en contextos como el educativo de manera indiscriminada desde tiempos atrás como una alternativa a la idea de ser educado físicamente. Además, este concepto ha sido sinonimizado en algunos casos al concepto de Actividad física. Hoy se retoma con gran fuerza en el área de la actividad física y se convierte en un referente teórico que permite otros procesos de mirada en la temática. El concepto se ha desarrollado considerablemente y hoy se plantean diversas propuestas investigativas que propenden por el desarrollo de la Alfabetización física con la intención de crear una base para que alcanzar un mayor reconocimiento que lo convierta en aspecto fundamental en el proceso de aprendizaje del sujeto mediados por áreas como la Educación Física, la Actividad física y afines.

La intencionalidad del documento es propiciar una mirada conceptual de la Alfabetización física de tal manera que como ya se hace en otros países

Cita este capítulo / Cite this chapter

Vidarte Claros JA, Patiño Palma BE. Alfabetización Física y sus Procesos Vinculantes. En: Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria*. Tomo I: fundamentos de la salud física y la actividad deportiva. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 109-126. <https://doi.org/10.35985/9786287914155.3>

Colombia también se involucre de manera inmediata en los procesos educativos y formativos que desde la alfabetización física posibiliten el establecimiento de parámetros para su evaluación desde los instrumentos planteados originalmente, lo que permite de igual manera ampliar la mirada conceptual del instrumento de evaluación propuesto.

Palabras Clave: Alfabetización en Salud, Actividad física, Motivación.

Abstract

This chapter addresses the concept of “Physical Literacy,” which is new in our context and has long been used indiscriminately in educational settings as an alternative to the idea of being physically educated. Furthermore, this concept has sometimes been synonymized with the concept of Physical Activity. Today, it is being revived with great force in the field of physical activity and has become a theoretical reference that allows for other perspectives on the subject. The concept has developed considerably, and various research proposals are currently being put forward that promote the development of Physical Literacy with the intention of creating a basis for achieving greater recognition that will make it a fundamental aspect of the learning process mediated by areas such as Physical Education, Physical Activity, and related fields. The intention of the document is to promote a conceptual view of Physical Literacy in such a way that, as is already done in other countries, Colombia also immediately becomes involved in the educational and training processes that, from Physical Literacy, enable the establishment of parameters for its evaluation from the originally proposed instruments, which also allows to broaden the conceptual view of the proposed evaluation instrument.

Keywords: Health Literacy, Physical activity, Motivation.

Alfabetización Física

La mente no está en la cabeza

—Francisco Varela

El término de Alfabetización física inicialmente se plantea en el siglo XIX (1), pero fue en el siglo XXI donde tiene mayor presencia y difusión (2, 3), siendo en este periodo que Whitehead plantea elementos teóricos y filosóficos al concepto (4, 5). En los últimos años, ha surgido un creciente interés en la alfabetización física (PL por sus siglas en inglés), un concepto ampliado de la

actividad física, que ha captado la atención de la comunidad investigadora, especialmente en países como Australia, Canadá y el Reino Unido (6), y, aunque las definiciones pueden variar ligeramente, se argumenta tanto desde un enfoque teórico (7-9) como empírico (10-13) the level of physical fitness (PF que la alfabetización física es un requisito fundamental para la participación en la actividad física. Esta perspectiva la convierte en un aspecto esencial en el diseño y evaluación de intervenciones relacionadas con la actividad física.

En la tabla 12 se muestran los avances respecto a la definición del concepto de Alfabetización física:

Tabla 12. Avances conceptuales de la definición de Alfabetización Física
(Whitehead, 2001)

Referencia	Definición
Whitehead (2007, p. 287)	La "motivación, confianza, competencia física, comprensión y Conocimientos para mantener la actividad física a un nivel individualmente apropiado, durante toda la vida. (...) La alfabetización física puede describirse como la capacidad y la motivación para capitalizar nuestro potencial móvil y hacer una contribución significativa a la calidad de vida".
Whitehead (2010a, pp. 11 y 12)	"Según corresponda a la dotación de cada individuo, la alfabetización física puede describirse como una disposición a capitalizar nuestras capacidades". capacidad encarnada humana, en la que el individuo tiene: motivación, confianza, competencia física, conocimiento y comprensión para mantener la actividad física a lo largo de la vida".
Whitehead (2013a, p. 28)	"Según corresponda a la dotación de cada individuo, la alfabetización física puede describirse como una disposición a capitalizar nuestra capacidad humana encarnada, en la que el individuo tiene: la motivación, la confianza, la competencia física, conocimiento y comprensión para valorar y asumir la responsabilidad de mantener actividades/actividades físicas con propósito a lo largo del curso de la vida"
Whitehead (2019b, p. 8)	"Según corresponda a cada individuo, la alfabetización física puede describirse como la motivación, la confianza y la capacidad física. competencia, conocimiento y comprensión para valorar y asumir la responsabilidad de realizar actividad física de por vida"

De hecho, se ha evidenciado que las personas con un nivel adecuado de alfabetización física suelen cumplir a cabalidad con las recomendaciones de actividad física limitando su comportamiento sedentario, adoptando un estilo de vida activo de manera sostenible (14). Por lo tanto, mejorar la alfabetización física de los individuos puede considerarse una oportunidad clave para fomentar una mayor y constante participación en los diferentes programas de AF, con el objetivo de mantener adecuados hábitos y estilos de vida saludable.

En la actualidad, se evidencia que en la literatura prevalece un enfoque investigativo centrado en la creación de instrumentos de evaluación que permitan analizar y desglosar los distintos aspectos de la alfabetización física (15–22) in preliminary analyses ceiling effects were noted among 183 older children. The purposes of this study were to assess the validity of a modified CAPL designed for older children (CAPL 789, a pesar de que se ha tratado de establecer conceptualmente la relación entre la alfabetización física, la actividad física y salud (23) environmental context, and broader social and affective learning processes. To date, limited consideration has been given to the role PL plays in promoting positive health behaviours. There is no clear conceptual framework based on existing empirical evidence that links PL to health, nor has an evidence-informed case been made for such a position. The purpose of this paper is to (1, resulta de suma importancia comprender en detalle el alcance y la profundidad de la evidencia empírica disponible. Esto es esencial para respaldar la toma de decisiones basada en la evidencia en el ámbito de la salud, ya que una comprensión más completa de estas interrelaciones puede guiar de manera más efectiva las políticas públicas, los programas de promoción de la salud y las estrategias de prevención de enfermedades crónicas no transmisibles.

Por lo tanto, no es descabellado pensar que la mejora de la alfabetización física en los individuos puede llegar a ser vista como una oportunidad crucial para fomentar una participación más constante y efectiva en programas de actividad física. En vista a que se ha observado que las personas que poseen un nivel adecuado de alfabetización física tienden a cumplir con mayor diligencia las recomendaciones de actividad física, lo que se traduce en una reducción del comportamiento sedentario y adopción de un estilo de vida activo (9). Este enfoque resulta especialmente pertinente en el contexto actual, la prioridad de la salud pública se enfoca en una adecuada y permanente relación entre salud y bienestar físico (24).

No obstante, para evaluar la efectividad de las intervenciones destinadas a mejorar la alfabetización física (PL) en los niños, es esencial disponer de herramientas de evaluación válidas y confiables. La implementación sistemática de este tipo de mediciones a nivel nacional o internacional no solo beneficiará a los investigadores, sino también a los financiadores, formuladores de políticas y profesionales, brindándoles una comprensión más profunda sobre qué proyectos, enfoques pedagógicos y políticas son más eficaces para fomentar la alfabetización física en los niños (25).

Diferentes autores determinan que, entre las diferentes herramientas de medición revisadas, la Evaluación Canadiense de Alfabetización Física en su

segunda versión (CAPL-2) destaca por sus sólidas propiedades psicométricas (23, 26, 27). Esta herramienta se desarrolló y perfeccionó entre el 2009 y 2015 y se validó a partir de la evaluación de más de 10.000 niños en Canadá (21). El CAPL-2 mide los cuatro dominios que componen la alfabetización física a través de cuestionarios, medidas del comportamiento diario, pruebas físicas y cognitivas (22). Cada dominio consta de dos a doce subpruebas o ítems, que otorgan una puntuación máxima de 100 puntos. Estos puntos se dividen en cuatro categorías progresivas: Insuficiente, en progreso, suficiente y sobresaliente (26).

El sistema de medición se desarrolló a través de un proceso Delphi que involucró a expertos internacionales de diversos campos, representando los cuatro dominios que conforman el CAPL-2 (27). Los dominios de Competencia Física y Comportamiento Diario, cada uno con un máximo de 32 puntos, tienen una ponderación más alta que los dominios de Conocimiento y Comprensión, y Motivación y Confianza, ambos con un máximo de 18 puntos. Esta ponderación se debe a que los primeros dominios son más susceptibles de ser evaluados objetivamente (27, 28).

El CAPL-2 ha sido traducido a varios idiomas y se ha utilizado en estudios de investigación en España (20), así como en China (19), Grecia (29), Portugal (18) y Dinamarca (30). Sin embargo, en América Latina, en la actualidad no hay ningún estudio que evalúe de manera objetiva la alfabetización física ni ningún proceso de validación de una herramienta de medición para este fin.

Esta ausencia de evaluaciones formales de alfabetización física es especialmente preocupante en países como Colombia, reconocidos por su diversidad cultural y social. La disponibilidad de herramientas validadas y adaptadas a la realidad local es fundamental en contextos tan diversos, dado que facilita una evaluación más precisa de la aptitud física y habilidades relacionadas en la población infantil (31). Además, esta escasez no solo afecta la capacidad del país para evaluar y mejorar las intervenciones destinadas a fomentar un estilo de vida activo entre los niños, sino que también obstaculiza la comparación de datos y dificulta la identificación de áreas prioritarias para nuevas investigaciones y políticas públicas en materia de salud.

La Alfabetización Física (PL por sus siglas en inglés) son todas aquellas habilidades y atributos individuales que se desarrollan y muestran a través del movimiento y AF a lo largo de la vida sin importar el nivel de condición física de las personas (8). Este es un concepto multifacético compuesto por dominios motivacional-afectivo, físicos, cognitivos y conductuales dándole a este

concepto un enfoque holístico que considera los procesos sociales asociados con el aprendizaje permanente (8). A continuación, se presentan de manera sintética los diferentes dominios que evalúa el PL:

El dominio motivacional-afectivo; busca comprender la motivación y la confianza de las personas que realizan actividad física (8, 32). El dominio físico, evalúa la competencia de una persona, es decir, la capacidad de realizar diferentes movimientos y actividades de manera efectiva. Esta competencia física es fundamental para participar activamente en actividades físico-deportivas, lo que, a su vez, contribuye a llevar una vida más saludable (33).

El dominio cognitivo valora el conocimiento y la comprensión de las personas en relación con la actividad física y su importancia para la salud y el bienestar. (34).Y, por último, pero no menos importante, la alfabetización física también considera los aspectos conductuales. Lo anterior, es de suma importancia debido a que el fomento de la participación activa promueve un estilo de vida saludable y activo con beneficios significativos para la salud física y mental (35).

Por lo tanto, la PL no solo implica adquirir conocimientos teóricos sobre la actividad física, sino también desarrollar habilidades prácticas y competencias para llevar una vida físicamente activa. En este contexto, Filho et al. (36) en el año 2022 desarrollaron un estudio con el objetivo de determinar si esta intervención de alfabetización física modificaba el desarrollo de habilidades motoras. Este ensayo controlado y aleatorizado se realizó en quince guarderías con un total de 520 niños con una edad promedio de 4,3 años +/- 0,4. Los resultados concluyeron que una intervención de alfabetización física dirigida por educadores de cuidado infantil puede alcanzar mejorías significativas en las habilidades motoras gruesas y finas de los niños.

Teniendo en cuenta lo anterior plantea un cambio de enfoque en la educación física escolar, alejándose de la mera adquisición de habilidades específicas y la aptitud física inmediata. En lugar de ello, se aboga por desarrollar y mantener la competencia corporal integral, acompañada de actitudes positivas hacia esta dimensión fundamental de la actividad humana. Este cambio en el paradigma no solo busca la mejora de habilidades motrices, sino también la cultivación de aspectos emocionales y cognitivos relacionados con la actividad física.

Las nociones whiteheadianas de alfabetización física se basan en tres conceptos filosóficos: el monismo, el existencialismo y la fenomenología (9,37,38). Se considera esencial comprender las raíces filosóficas de la PL para saber cómo se pueden aplicar estos principios filosóficos dentro de las

políticas y la práctica (9,37,38). El monismo se basa en considerar a la mente y el cuerpo de manera interdependientes e indivisibles (10,37). La postura monista rechaza la perspectiva dualista cartesiana que separa el cuerpo y la mente, así como al sujeto y su entorno. Aunque el monismo admite la existencia de diversas dimensiones en la condición humana, sostiene que estas no deben concebirse de manera aislada. Por ejemplo, las facultades de pensar, sentir, moverse y hablar(8).

Por otra parte, el existencialismo, postula que cada individuo es el producto de sus interacciones y experiencias (37,38). La premisa inicial destaca que las relaciones e intersubjetividades con el entorno moldean la identidad individual. Esta segunda base fundamental reside en la noción de que las personas se crean a sí mismos, lo que implica que, a través de sus elecciones y acciones, las personas contribuyen activamente a la construcción de su propio ser y significado en la existencia. Por consiguiente, los individuos interactúan con el mundo de diversas maneras. Cuantas más interacciones ricas y variadas experimenten, más plenamente podrán realizar su potencial humano (39).

Esta visión está estrechamente relacionada con la visión monista de la condición humana. Esto significa que las acciones nunca pueden entenderse (aprenderse/enseñarse) sin tener en cuenta al entorno en el que se realizan. Como tal, interactuar con el mundo es un fenómeno que cambia continuamente, ya que no hay dos contextos iguales. Cada interacción con el entorno se estructura sobre la base de la intencionalidad (40).

Finalmente, la fenomenología propone que todos somos producto de nuestras experiencias y sugiere que la percepción, a través de nuestra naturaleza encarnada, forma perspectivas únicas sobre cómo los individuos ven el mundo (10,37,38). Un elemento central de la fenomenología es la visión de que cada persona experimenta el mundo desde una perspectiva única, ya que cada sujeto tiene su propio conjunto único de experiencias y posibilidades (10).

Esto significa que cada percepción y experiencia cambiará al igual que la comprensión y apreciación del mundo por parte de las personas. Los fenomenólogos sostienen que no existe una percepción objetiva, ya que la percepción está siempre en el ojo del espectador. De acuerdo con este pensamiento, las interacciones con el mundo también serán exclusivas del individuo. Los fenomenólogos destacan que nuestra dimensión encarnada debe entenderse como una facilidad percepto-motora que permite al individuo recopilar información e iniciar acciones (40).

Basándonos en estos principios, la alfabetización física se presenta como un concepto holístico e inclusivo, manifestando un viaje singular para cada individuo. En este contexto, se reconoce la interconexión de aspectos físicos, emocionales y cognitivos en el desarrollo integral de la persona. Este enfoque no solo abarca la adquisición de habilidades físicas, sino también promueve la comprensión de la importancia del bienestar general. Cada individuo emprende un camino personalizado, donde la alfabetización física no solo se trata de destrezas motoras, sino también de cultivar una conexión más profunda con el cuerpo (41).

La evaluación canadiense de la alfabetización física (CAPL2), es un protocolo integral el cual posibilita una evaluación precisa confiable y válida de una amplia gama de habilidades y capacidades condicionales que facilitan y caracterizan el nivel de alfabetización física de los niños y adolescentes (26). Se resalta que la alfabetización física va más allá de la simple aptitud o habilidad motora. El CAPL-2 es importante por su diferenciación en la evaluación no solamente de aspectos físicos, sino también cognitivos y motivacionales que la hacen diferente de otros procesos evaluativos.

La segunda versión del protocolo, el CAPL-2, fue construido mediante el consenso de diversos autores según los 4 dominios de la PL (28) y fue validado usando para ello la participación de más de 10,000 niños canadienses (21). Las actualizaciones realizadas al protocolo permiten garantizar que sus resultados reflejen de manera precisa y confiable el nivel actual de alfabetización física de los niños, considerando las particularidades y cambios en el entorno sociocultural y educativo.

En la figura 1 se presentan los dominios del CAL-2, los cuales permiten evaluar diferentes dimensiones del sujeto: la motivación y la confianza, el conocimiento y la comprensión, la competencia física, y el comportamiento diario en relación con la actividad física, y es el dominio del comportamiento diario que se determina a partir de los otros dominios. Por ejemplo, el conocimiento en un niño le posibilita entender que tan importante es la actividad física, lo que le facilita estar motivado y confía en sus capacidades y habilidades físicas y ello el permite establecer un mejor y adecuado estilo de vida de manera más activa y saludable (42). Este protocolo ha sido diseñado para niños de 8 a 12 años y es en este rango de edad donde la mayoría de los niños pueden desarrollar satisfactoriamente las actividades de evaluación. Cada dominio del CAPL-2 puede ser administrado, calificado e interpretado tanto manera independiente como de manera global, lo que brinda una evaluación detallada.

Figura 13. Dominios del CAPL-2



Fuente: Adaptado de “Canadian Assessment of Physical Literacy. Manual for Test Administration” (32, 42).

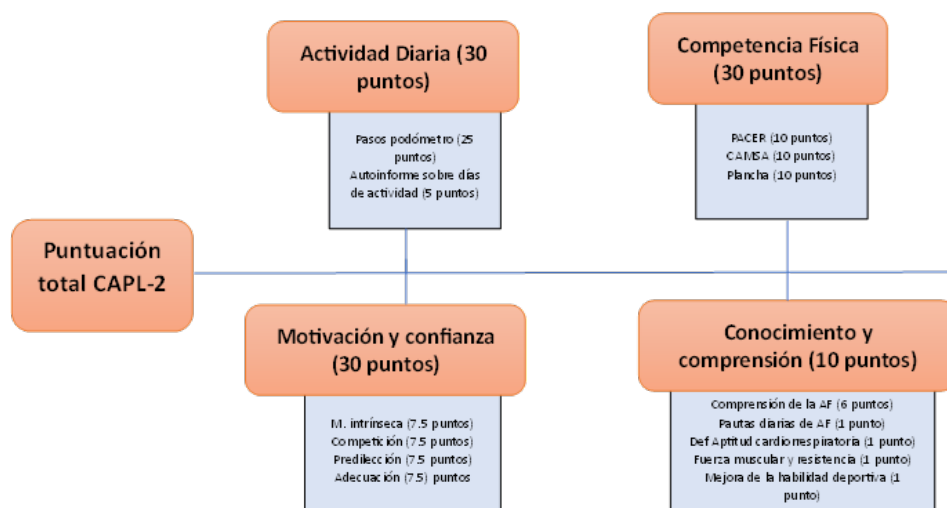
La administración del CAPL-2 tiene una duración entre 30 y 40 minutos al realizarse de manera individual, pero también puede realizarse en grupo una vez se tenga mayor número de evaluadores. En este caso, un equipo de 3 evaluadores puede evaluar a un grupo de 25 niños en 90 minutos, aunque este tiempo no abarca los siete días completos de la evaluación, recordando que para ello se requiere un podómetro para medir el comportamiento diario de la actividad física. Las pruebas pueden desarrollarse de manera completa en una sola sesión o distribuirse a lo largo de varios días. El tiempo necesario para cada componente de evaluación del CAPL-2 cambia, desde aproximadamente 1 minuto para la plancha, hasta 20 minutos para el desarrollo del cuestionario de conocimiento, dependiendo de la edad y la capacidad de lectura del participante.

Las puntuaciones del CAPL-2 se asignan en cuatro niveles: insuficiente, en progreso, suficiente y sobresaliente. Los dos primeros niveles corresponden a niños que aún no han alcanzado el nivel óptimo de alfabetización física. El nivel “suficiente” identifica a aquellos que han alcanzado un nivel adecuado de alfabetización física, mientras que el nivel “sobresaliente” indica un alto nivel de alfabetización física. Además, de las puntuaciones, se pueden plantear comentarios interpretativos y recomendaciones para tres grupos de interés:

el niño, los padres/tutores/cuidadores y los evaluadores del CAPL-2. Dichos comentarios ayudan a reorientar y dar manejo a la mejora continua de los resultados obtenidos. Es importante recordar que, independientemente del nivel asignado, siempre hay margen para mejorar, ya que la alfabetización física es un viaje de toda la vida. Los resultados del CAPL-2, brindan una instantánea de la alfabetización física del niño participante.

Es importante tener en cuenta que los datos de confiabilidad y validez del CAPL-2 se aplican a nivel de población, lo que significa que puede haber variaciones significativas a nivel individual. Por lo tanto, es crucial considerar el contexto y las circunstancias individuales al interpretar los resultados de la evaluación. En la figura 2 se plantean los niveles de dicha confiabilidad.

Figura 14. Niveles de confiabilidad de la puntuación



Nota: CAMSA Canadian Agility and Movement Skill Assessment.

PACER Progressive Aerobic Cardiovascular Endurance Run.

Fuente: Adaptado de "Canadian Assessment of Physical Literacy.
Manual for Test Administration" (22, 42)

La interpretación del CAPL-2 según el grupo de interés plantea aspectos que pueden ser de interés para cada actor de tal manera que sus calificaciones posibilitan un proceso de retroalimentación permanente y de esta manera cada uno de ellos puede tomar decisiones de mejora y dar continuidad a los procesos prácticos de la actividad física que puede realizar el niño.

Tremblay et al (21). recopilaron datos de 11 regiones diferentes de Canadá, lo que resultó en una muestra de 10,034 participantes, de los cuales 5,030 eran niñas. Se dispone de un amplio conjunto de evidencia que respalda la validez de la segunda versión (CAPL-2) (15–20,29,30,41). Además, se ha encontrado evidencia sólida en relación con el contenido de las pruebas que evalúan el componente físico (CAMSA) (17), así como en los cuestionarios que miden el dominio de motivación y confianza (42).

La evidencia sobre la estructura interna ofrece un respaldo de manera general, aunque los valores de consistencia interna muestran resultados mixtos cuando se analiza de manera independiente cada uno de sus componentes (43), sin embargo, un estudio danés reportó valores de confiabilidad sólidos para los dominios de motivación y confianza ($\alpha = 0.90$) (30). De manera similar, un estudio de validez chino también reveló una buena consistencia interna para la motivación y la confianza ($\alpha = 0.82$), mientras que el dominio de conocimiento y comprensión mostró un desempeño menos satisfactorio ($\alpha = 0.52$) (17).

La confiabilidad test-retest para CAMSA puede considerarse parcialmente respaldada, según valores reportados (ICC = 0,99). Sin embargo, se evidenció que los valores de confiabilidad para la puntuación de habilidades motrices disminuyeron según el tiempo de reevaluación. Se registra un ICC de 0,46 en un intervalo de entre 2 y 4 días y un ICC de 0,74 durante un intervalo más largo (44).

Se ha informado evidencia sobre la estructura factorial de los dominios de motivación y confianza (42), así como sobre la estructura factorial de las puntuaciones CAPL y la contribución de cada dominio a la puntuación general de alfabetización física (44). Estudios posteriores realizados en Dinamarca (30) y China (19) también han reportado ajustes de modelos y cargas factoriales aceptables.

Se han establecido diversas relaciones entre el resultado general del CAPL-2 y otras variables. Por ejemplo, se ha reportado que las habilidades motoras en niños canadienses muestran una relación con el aumento de la edad y, especialmente, con el sexo masculino (17). Estas tendencias también se han observado en poblaciones griegas (30) y chinas (20). Además, un estudio danés examinó las relaciones con otras variables y encontró que la puntuación de la versión 2 del CAPL explica el 31.4% de la varianza en las calificaciones de los estudiantes (30). Por otra parte, también se reportan adaptaciones en el CAPL-2 (es decir adaptación de los protocolos para CAMSA y cuestionarios de conocimiento y comprensión) para su uso con adolescentes (de 12 a 16 años) en los grados 7 a 9 identificando

relaciones con diferentes variables tales como con la condición física, la edad y el sexo (15). En la muestra croata, el dominio de conocimiento y comprensión no mostró diferencias con ninguna variable (44, 45).

En conclusión, hoy es relevante en estos procesos de actualización y modernización tener una calidad de vida que propicie unos adecuados hábitos y estilos de vida saludable que propicien desde la actividad física y específicamente la Alfabetización física elementos conducentes a procesos de evaluación de esta en los sujetos, por tanto, se hace relevante realizar una mirada crítica frente a este concepto y las diversas formas de evaluación que se han propuesto desde sus inicios. Es un llamado de atención para hacer de las tendencias de la actividad física en los diferentes contextos pueden facilitar o no los acercamientos hacia la salud de los sujetos en aspectos que faciliten una mejor estructuración en los aspectos relacionados con la actividad física desde una nueva mirada que es la Alfabetización física y cómo podemos llevarla a contextos educativos y de salud en procura de un buen desarrollo psicosocial del sujeto.

Concluyendo se pudiera establecer que si se fomenta la alfabetización física como opción de promoción de una educación adecuada que posibilite la disminución de la brecha que existe hoy sobre la práctica habitual de las actividades físicas que permiten la adquisición de conceptos y habilidades deportivas fundamentales para que el niño las utilice en todas las situaciones que se presentan en la cotidianidad que involucra al niño sus padres y la comunidad, donde se involucren aspectos como competencia, dominio y aplicación de actividades deportivas y de movimientos y donde la motivación y confianza para realizar estas actividades de manera habitual que ayudarán a mejorar su calidad de vida por iniciativa propia.

Procurar mantener en el niño una forma física saludable a través del movimiento que le faciliten mantener buena salud y en este sentido mejores hábitos y estilos de vida mediados por tener una buena alfabetización que lo motiven a mantener una conducta personal y social, donde aspectos como la autoestima, y la confianza en sí mismo, concrete en el niño buenos factores de socialización y se establezca el propósito de Alfabetización Física en la sociedad actual, que es la capacidad para educar al individuo en cuanto a reconocer e identificar las formas de prepararse y capacitarse para la realización y prescripción de buenas prácticas del ejercicio corporal (46).

Conclusiones

Este capítulo resalta la importancia de entender la alfabetización física no solo como el desarrollo de habilidades motrices, sino como un proceso integral que abarca aspectos cognitivos, emocionales y sociales relacionados con el movimiento humano. Se evidencia que la alfabetización física es un pilar fundamental para fomentar una vida activa y saludable desde la infancia hasta la edad adulta, facilitando la apropiación consciente y crítica de la práctica corporal en distintos contextos.

Subraya además, el papel de los procesos vinculantes, que permitan conectar el aprendizaje motor con la motivación personal, la autoconfianza y la interacción social, factores esenciales para el mantenimiento de estilos de vida activos a largo plazo. La inclusión de estos procesos en los programas educativos y en las prácticas de promoción de la actividad física es clave para potenciar el desarrollo integral de las personas.

Por último, el capítulo concluye que fortalecer la alfabetización física requiere un enfoque multidisciplinario y colaborativo entre educadores, profesionales de la salud, entrenadores y comunidades, promoviendo entornos ricos en oportunidades para el movimiento, el juego y el aprendizaje motor efectivo, con el objetivo de formar individuos competentes, autónomos y comprometidos con su salud física y bienestar general.

Referencias

1. Cairney, J., Dudley, D., Kwan, M., Bulten, R., & Kriellaars, D. Physical Literacy, Physical Activity and Health: Toward an Evidence-Informed Conceptual Model. *Sports Med*, 49(3), 2019; 371-383. doi:10.1007/s40279-019-01063-3
2. Bailey, R. Defining physical literacy: making sense of a promiscuous concept. *Sport in Society*, 2022; 25(1), 163-180. doi:10.1080/17430437.2020.1777104
3. Cairney, J., Kiez, T., Roetert, E. P., & Kriellaars, D. A 20th-Century Narrative on the Origins of the Physical Literacy Construct. *Journal of Teaching in Physical Education*, 2019; 38(2), 79-83. doi:10.1123/jtpe.2018-0072
4. Whitehead, M. Aspects of Physical Literacy. Clarification and discussion with particular reference to the physical domain. In M. Whitehead (Ed.),

Physical Literacy 2023, Across the World (pp. 19-31). London: Routledge Studies in Physical Education and Youth Sport

5. Whitehead, M. Definition of Physical Literacy. Developments and Issues. In M. Whitehead (Ed.), *Physical Literacy Across the World 2019*, (pp. 8-18). London: Routledge Studies in Physical Education and Youth Sport
6. Mendoza-Muñoz M, Carlos-Vivas J, Castillo-Paredes A, Parraca JA, Raimundo A, Alegrate J, et al. Portuguese translation and validation of the questionnaires from the Canadian Physical Literacy Assessment-2: a pilot study. *Front Psychol.* 2023;14.
7. González SA, Sarmiento OL, Cifuentes SJ. 4o Reporte de calificaciones Actividad física en niños, niñas y adolescentes colombianos 2022;1-28.
8. González SA, Sarmiento OL, Cohen DD, Camargo DM, Correa JE, Páez DC, et al. Results from Colombia's 2014 Report Card on Physical Activity for Children and Youth. *J Phys Act Heal.* 2014;11:S33-44.
9. González SA, Triana CA, Abaunza C, Aldana L, Arias-Gómez LF, Bermúdez J, et al. Results from Colombia's 2018 report card on physical activity for children and youth. *J Phys Act Heal.* el 2 de enero de 2018;15(2):S335-7.
10. Longmuir PE, Boyer C, Lloyd M, Yang Y, Boiarskaia E, Zhu W, et al. The Canadian Assessment of Physical Literacy: Methods for children in grades 4 to 6 (8 to 12 years). *BMC Public Health.* el 11 de agosto de 2015;15(1).
11. Longmuir PE. Understanding the physical literacy journey of children: the Canadian assessment of physical literacy. *J Sport Sci Phys Educ.* 2013;65(12.1).
12. Longmuir PE, Boyer C, Lloyd M, Borghese MM, Knight E, Saunders TJ, et al. Canadian Agility and Movement Skill Assessment (CAMSA): Validity, objectivity, and reliability evidence for children 8-12 years of age. *J Sport Heal Sci.* el 1 de junio de 2017;6(2):231-40.
13. Lloyd M, Colley RC, Tremblay MS. Advancing the debate on "fitness testing" for children: Perhaps we're riding the wrong animal. Vol. 22, *Pediatric Exercise Science.* Human Kinetics, Inc.; 2010. p. 176-82.
14. Whitehead, M. Physical Literacy: Philosophical Considerations in Relation to Developing a Sense of Self, Universality and Propositional Knowledge. *Sport, Ethics and Philosophy*, 2007; 1(3), 281-298. doi:10.1080/17511320701676916

15. Whitehead, M. The concept of Physical Literacy In M. Whitehead (Ed.), *Physical literacy: Throughout the lifecourse* 2010; (pp. 10-20).
16. Whitehead, M. Definition of physical literacy and clarification of related issues. ICSSPE Bulletin No 65. *Journal of Sport Science and Physical Education* 2013; (65), 29-34.
17. Whitehead, M. Definition of Physical Literacy. *Developments and Issues*. In M. Whitehead (Ed.), *Physical Literacy Across the World* (pp. 8-18). 2019; London: Routledge Studies in Physical Education and Youth Sport
18. Francis CE, Longmuir PE, Boyer C, Andersen LB, Barnes JD, Boiarskaia E, et al. The Canadian Assessment of Physical literacy: Development of a model of children's capacity for a healthy, active lifestyle through a Delphi process. *J Phys Act Heal*. 2016;13(2):214-22.
19. Longmuir PE, Boyer C, Lloyd M, Yang Y, Boiarskaia E, Zhu W, et al. The Canadian Assessment of Physical Literacy: Methods for children in grades 4 to 6 (8 to 12 years). *BMC Public Health*. 2015;15(1):1-11.
20. Gunnell KE, Longmuir PE, Barnes JD, Belanger K, Tremblay MS. Refining the Canadian Assessment of Physical Literacy based on theory and factor analyses. *BMC Public Health*. el 2 de octubre de 2018;18(Suppl 2).
21. Valadi S, Cairney J. The Canadian assessment of physical literacy: a valid tool in determining the Iranian children capacity for an active and healthy lifestyle. *Sport Sci Health*. 2023;19(2):637-47.
22. Pastor-Cisneros R, Carlos-Vivas J, Adsuar JC, Barrios-Fernández S, Rojo-Ramos J, Vega-Muñoz A, et al. Spanish Translation and Cultural Adaptation of the Canadian Assessment of Physical Literacy-2 (CAPL-2) Questionnaires. *Int J Environ Res Public Health*. el 21 de julio de 2022;19(14):8850.
23. Vuletic PR, Kesic MG, Gilic B, Pehar M, Uzicanin E, Idrizovic K, et al. Evaluation of Physical Literacy in 9- to 11-Year-Old Children: Reliability and Validity of Two Measurement Tools in Three Southeastern European Countries. *Children*. 2023;10(11):1722.
24. Knisel E, Bremer M, Nałęcz H, Wascher L, Laudańska-Krzemińska I. Validation of the Canadian Assessment of Physical Literacy - CAPL-2 Questionnaire for German and Polish School Children. *Phys Cult Sport Stud Res*. 2024.

25. Barnett LM, Jerebine A, Keegan R, Watson-Mackie K, Arundell L, Ridgers ND, et al. Validity, Reliability, and Feasibility of Physical Literacy Assessments Designed for School Children: A Systematic Review. Vol. 53, Sports Medicine. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2023. p. 1905–29.
26. Guthold R, Stevens GA, Riley LM, Bull FC. Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1·9 million participants. *Lancet Glob Heal.* el 1 de octubre de 2018;6(10):e1077–86.
27. Guthold R, Stevens GA, Riley LM, Bull FC. Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1·9 million participants. *Lancet Glob Heal.* el 1 de octubre de 2018;6(10):e1077–86.
28. Phelps NH, Singleton RK, Zhou B, Heap RA, Mishra A, Bennett JE, et al. Worldwide trends in underweight and obesity from 1990 to 2022: a pooled analysis of 3663 population-representative studies with 222 million children, adolescents, and adults. *Lancet.* 2024;403(10431):1027–50.
29. World Health Organization. WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour: at a glance [Internet]. World Health Organization. World Health Organization; 2020 [citado el 25 de enero de 2024]. 535 p. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK566046/>
30. Steene-Johannessen J, Anderssen SA, Kolle E, Hansen BH, Bratteteig M, Dalhaug EM, et al. Temporal trends in physical activity levels across more than a decade – a national physical activity surveillance system among Norwegian children and adolescents. *Int J Behav Nutr Phys Act.* el 1 de diciembre de 2021;18(1):1–11.
31. Strömmer S, Shaw S, Jenner S, Vogel C, Lawrence W, Woods-Townsend K, et al. How do we harness adolescent values in designing health behaviour change interventions? A qualitative study. *Br J Health Psychol.* el 1 de noviembre de 2021;26(4):1176–93.
32. Cornish K, Fox G, Fyfe T, Koopmans E, Pousette A, Pelletier CA. Understanding physical literacy in the context of health: a rapid scoping review. *BMC Public Health* [Internet]. el 1 de diciembre de 2020 [citado el 18 de noviembre de 2023];20(1):1–19. Disponible en: <https://bmcpublichealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-020-09583-8>

33. Edwards LC, Bryant AS, Keegan RJ, Morgan K, Jones AM. Definitions, Foundations and Associations of Physical Literacy: A Systematic Review. Vol. 47, Sports Medicine. Springer International Publishing; 2017. p. 113–26.
34. Pot N, Whitehead ME, Durden-Myers EJ. Physical literacy from philosophy to practice. J Teach Phys Educ. el 1 de julio de 2018;37(3):246–51.
35. Gomez R. La enseñanza de la Educación Física en el nivel inicial y el primer ciclo de EGB. stadium, editor. Buenos aires; 2002.
36. Keegan RJ, Barnett LM, Dudley DA, Telford RD, Lubans DR, Bryant AS, et al. Defining physical literacy for application in Australia: A modified delphi method. J Teach Phys Educ. 2019;38(2):105–18.
37. Organizacion Mundial de la Salud OMS. Inactividad física: un problema de salud pública mundial [Internet]. Who. World Health Organization; 2013 [citado el 5 de septiembre de 2018]. Disponible en: http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_inactivity/es/
38. Keegan RJ, Barnett LM, Dudley DA, Telford RD, Lubans DR, Bryant AS, et al. Defining physical literacy for application in Australia: A modified delphi method. J Teach Phys Educ. 2019;38(2):105–18.
39. Filho VCB, Pereira WMG, Farias B de O, Moreira TMM, Guerra PH, Queiroz ACM, et al. Scoping review on interventions for physical activity and physical literacy components in brazilian school-aged children and adolescents. Vol. 18, International Journal of Environmental Research and Public Health. Int J Environ Res Public Health; 2021.
40. Contreras-Zapata K, Roa-Quintero T, Vásquez-Muñoz C, Castillo-Retamal F, Castillo-Retamal M. Aproximación a la implementación de la alfabetización física en Chile: una revisión narrativa. Retos. 2022;47:96–102.
41. UN General Assembly. Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development | Department of Economic and Social Affairs [Internet]. United Nations. 2015. Disponible en: <https://sdgs.un.org/2030agenda>
42. Colombia. Ministerio de Ciencia Tecnología e innovación, Departamento Nacional de planeación. Políticas orientadas por misiones para la solución de grandes desafíos del país. 2022 [citado el 26 de junio de 2023];8. Disponible en: <https://minciencias.gov.co/content/politicas-orientadas-por-misiones-para-solucion-grandes-desafios-del-pais>

43. Colombia, Ministerio de Salud. Resolución 8430 de 1993. octubre 4. Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/lists/bibliotecadigital/ride/de/dij/resolucion-8430-de-1993.pdf>
44. Colombia. Ministerio de Ciencia Tecnología e innovación. Documento No. 1501 Política de ética, bioética e integridad científica [Internet]. Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación 2017 p. 1-67. Disponible en: <http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/noticias/politica-etica.pdf>
45. Caspersen CJ. Physical activity epidemiology: concepts, methods, and applications to exercise science. Vol. 17, Exercise and sport sciences reviews. 1989. p. 423-73.
46. Sánchez, A. Plan de Alfabetización Física para el desarrollo de la competencia axiológica corporal en los estudiantes de básica secundaria de la institución educativa Carmen Teresiano Rubio. 2022; (Trabajo de Posgrado). Universidad Pedagógica Experimental Libertador Instituto Pedagógico Rural Gervasio Rubio) <https://espacio-digital.upel.edu.ve/index.php/TGM/article/view/403/390>

CAPÍTULO 4

Medicina Deportiva: Contexto, Retos y Perspectivas

Sports Medicine: Context, Challenges and Perspectives

Luis Piragauta Ardila

Universidad de Boyacá

© <https://orcid.org/0000-0003-3929-1186>

✉ luipiragauta@uniboyaca.edu.co

Catalina Piraquive Fandiño

Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud

© <https://orcid.org/0009-0007-0202-2480>

✉ cypiraquive@fucsalud.edu.co

Andrés Felipe Porto

Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud

© <https://orcid.org/0009-0007-2016-5653>

✉ afporto@fucsalud.edu.co

Resumen

Este capítulo está dirigido a médicos y cualquier lector interesado en comprender la labor de los especialistas en medicina de la actividad física y del deporte. Su propósito es ampliar el entendimiento de que esta especialidad no se limita a la gestión de deportistas de alto rendimiento, sino que también abarca la evaluación de la condición física en diversas poblaciones y los efectos morfofuncionales del ejercicio. A través de una revisión detallada de la literatura científica y la experiencia clínica, se exploran las diferentes áreas de la especialidad. Se describen métodos de prescripción de ejercicio físico comparables a la dosificación de medicamentos, ajustados a las necesidades específicas de cada paciente, considerando tanto sus condiciones de salud como posibles riesgos. Se presentan evidencias sobre los beneficios del ejercicio

Cita este capítulo / Cite this chapter

Piragauta Ardila L, Piraquive Fandiño C, Felipe Porto A. Medicina Deportiva: Contexto, Retos y Perspectivas. En: Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria*. Tomo I: fundamentos de la salud física y la actividad deportiva. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 127-150. <https://doi.org/10.35985/9786287914155.4>

regular en la salud física y mental, así como recomendaciones específicas para la prescripción de ejercicio en diferentes poblaciones, incluyendo pacientes con patologías como hipoglucemia y enfermedades coronarias. El capítulo destaca la importancia de la promoción y prevención en salud, subrayando que la medicina de la actividad física es una especialidad emergente que necesita mayor difusión y reconocimiento. Se espera que este libro sirva como un recurso valioso tanto para médicos generales como para especialistas, fomentando una mayor integración de esta disciplina en la práctica médica.

Palabras clave: Medicina deportiva, Rol del Médico, Traumatismos en Atletas

Abstract

This chapter is aimed at doctors and anyone interested in understanding the work of specialists in physical activity and sports medicine. Its purpose is to broaden the understanding that this specialty is not limited to managing high-performance athletes but also encompasses the assessment of physical condition in various populations and the morphofunctional changes resulting from exercise. Through a detailed review of scientific literature and clinical experience, different areas of the specialty are explored. Exercise prescription methods are described, comparable to medication dosing, tailored to the specific needs of each patient, considering both health conditions and potential risks. Evidence is presented on the benefits of regular exercise for physical and mental health, as well as specific recommendations for prescribing exercise in different populations, including patients with conditions such as hypoglycemia and coronary heart disease. The chapter emphasizes the importance of health promotion and prevention, highlighting that physical activity medicine is an emerging specialty that needs greater dissemination and recognition. It is hoped that this book will serve as a valuable resource for both general practitioners and specialists, fostering greater integration of this discipline into medical practice.

Keywords: Sports Medicine, Physician's Role, Athletic Injuries

Introducción

“Todo fluye, nada permanece”

—Heráclito de Éfeso

Este libro ha sido escrito para un amplio espectro de lectores, desde médicos hasta cualquier persona interesada en comprender el papel de los especialistas en medicina de la actividad física y del deporte. Es crucial entender que nuestra labor no se limita al manejo de deportistas de alto rendimiento. También abordamos la evaluación de la condición física en diferentes poblaciones y analizamos los cambios morfofuncionales que resultan del ejercicio, tanto en individuos activos como en aquellos con patologías subyacentes (1).

Nuestra especialidad implica la prescripción precisa de actividad física, ejercicio o deporte, similar a cómo un médico determina la dosis óptima de un medicamento. Prescribimos una “dosis” de ejercicio adaptada a las características y condiciones de salud de cada paciente. Aunque el ejercicio es esencial para la salud, su mal manejo o exceso puede generar efectos adversos (2). Por ejemplo, en un paciente con hipoglucemia, es fundamental considerar si puede realizar ejercicio de manera regular, a qué intensidad, y qué riesgos existen, como la posibilidad de inducir una hipoglucemia severa. De igual modo, en pacientes con enfermedad coronaria, es necesario discernir en qué casos el ejercicio es beneficioso y en cuáles no lo es (3). Estas preguntas, entre otras, son fundamentales en la práctica de nuestra especialidad.

Además, abogamos por la promoción de la salud y la prevención de enfermedades. Esta especialidad, relativamente nueva, aún es desconocida para muchos médicos, en parte porque no se enseña de manera uniforme en todas las universidades. En este libro se incluyen conceptos básicos, evidencia científica sobre los beneficios del ejercicio regular en la salud mental y física (4), y guías para la prescripción de ejercicio en diferentes poblaciones (5). También abordamos las escalas de clasificación de riesgo (6) y otros aspectos relevantes, como la nutrición y la medicación. Creemos que este libro servirá de guía y referencia tanto para la medicina general como para otras especialidades médicas, y contribuirá a una mayor integración de nuestra disciplina en la práctica clínica.

Historia de Medicina de la Actividad Física y del Deporte

Cuando hablamos del campo de la medicina, nos podemos estar refiriendo a una ciencia muy amplia por toda la gran variedad de campos, disciplinas, especialidades médicas y médico quirúrgicas que abarca. Cabe resaltar que en los últimos años y posterior a la pandemia de la covid-19 ha tomado una gran importancia la medicina deportiva, esta especialidad no solo se limita a la valoración y tratamiento de pacientes de alto rendimiento o padecimientos solo relacionados con el ejercicio, sino que también tiene relación con el campo de la medicina en general. Esta rama es independiente de la ortopedia y traumatología; los médicos que la practican tienen un gran conocimiento de enfermedades crónicas, metabólicas, cardiovasculares, pulmonares y, además, énfasis en promoción y prevención de la enfermedad (7), sin dejar de lado el manejo de los atletas profesionales, de alto rendimiento, de deportistas aficionados y de los que realizan actividad física o ejercicio de manera cotidiana. También cuentan con conocimiento de gran parte de la semiología en ortopedia y traumatología, como la integración de la nutrición, su esfera psicológica y social (8). Cabe resaltar que esta especialidad no es moderna, ni del siglo XXI, tiene sus raíces en los asiáticos en el 800 a. n. e. Además de los hindúes, los chinos y los griegos, en su mayor propagación se dio gracias a las trayectorias y trabajos de Galeno(9). Hace al menos unos 5000 años los monjes taoístas en China realizaban ejercicios para lograr la purificación de su alma y cuerpo por medio de la combinación de ejercicios coordinados con la respiración, lo que en su momento, fue denominado “gimnasia sueca”, la cual ya era conocida por la dinastía Huang Ti en el 2.500 a. n. e. (10), Se iniciaron grandes registros en la antigua Grecia para las olimpiadas, donde esta no era practicada por médicos, ya que aún faltaba mucho para que estos surgieran, sino que era dirigida por entrenadores e instructores, los cuales creaban manuales para la práctica deportiva y la prevención de lesiones según el deporte. El surgimiento de los médicos se dio hasta el siglo II d. C. en el Imperio Romano, donde los deportistas eran los gladiadores que recibían toda la atención médica; a pesar de ser parte de la esclavitud, se encontraban en su mejor estado de salud y en forma física para competir. El primer médico deportivo fue el Dr. Claudio Galeno de Pérgamo (131 a 201 a. n. e.) médico y profesor de educación física, siendo el que dio atención médica a los gladiadores, dando la importancia de la opinión médica en todas las actividades deportivas y dedicando gran parte de su vida al estudio de la medicina deportiva, le dio mucha credibilidad al masaje deportivo, pero, en el momento en que se derrota al imperio Romano con el también esta especialidad fue sepultada.

El resurgimiento de la medicina deportiva ocurrió en el siglo XX, específicamente durante los Juegos Olímpicos de Invierno de 1928 en St. Moritz, donde se realizaron investigaciones pioneras por los profesores Buytendijk y Kohlrausch (11). En este contexto, el médico alemán Ernst Jokl (1907-1997) se dedicó a investigar y desarrollar esta disciplina con una visión innovadora, primero en Berlín y luego como expatriado en Sudáfrica y más tarde en Estados Unidos. Jokl fue uno de los fundadores del American College of Sports Medicine, la principal organización de medicina deportiva en EE. UU. (12).

Por otro lado, el Dr. Augustus Thorndike (1896-1986), profesor en la Universidad de Harvard, también realizó importantes contribuciones a la Medicina del Deporte. Promovió políticas para el deporte competitivo que requerían la presencia de un médico en eventos de contacto, quien debía evaluar si un atleta lesionado podía seguir compitiendo. Además, participó en el desarrollo de indumentaria protectora para futbolistas y defendió el uso de cascos en jugadores de hockey, estableciendo así un enfoque en la higiene y la salud de los deportistas. (13)

En el siglo XXI, la medicina deportiva se centra en mejorar la salud en general a través de un enfoque especializado que incluye ejercicios, planes nutricionales adecuados, y terapias para la regeneración muscular y ósea, facilitando así la recuperación de lesiones y patologías en diversas etapas del deporte. También se ocupa de prevenir el impacto negativo en el rendimiento físico de los atletas, tanto a corto como a largo plazo (14). El médico lleva a cabo un análisis exhaustivo de las lesiones y realiza un examen físico detallado, considerando los factores de riesgo implicados. A partir de ahí, determina el tratamiento más adecuado y sugiere ajustes en los hábitos diarios para acelerar la recuperación. Uno de los objetivos clave es prevenir lesiones o traumas que puedan surgir durante la práctica deportiva. Además, se investiga cómo la falta de ejercicio afecta la salud, con el propósito de ofrecer soluciones en términos de prevención, tratamiento y rehabilitación (15).

En Colombia, en 1980, se revitalizó la división médica de Coldeportes, designando al Dr. Carlos Efraín Sánchez como jefe de la medicina deportiva, seguido del nombramiento del Dr. Hernando Plata Luque. Durante la undécima edición de los Juegos Nacionales en la capital del Huila, diferentes regiones del país se preparaban para mostrar los resultados de sus programas de entrenamiento en las diversas modalidades deportivas. Como era habitual, Valle, Bogotá y Antioquia se preparaban para demostrar su liderazgo en el ámbito nacional (16).

Cada delegación departamental designó a uno o varios médicos para brindar atención a sus deportistas en temas de salud y asesoría médica. Los médicos asistentes se reunieron en varias ocasiones para discutir la planificación del apoyo médico en los eventos deportivos, revisar conceptos bioquímicos relacionados con el doping y compartir ideas sobre distintos aspectos de la medicina deportiva.

Además de las lesiones traumáticas que suelen ocurrir en el deporte, se reportaron numerosos casos de faringitis viral y, con frecuencia, trastornos de hidratación, algunos provocados por la sudoración excesiva y otros derivados de problemas gastrointestinales. La diarrea aguda fue probablemente la molestia más común entre los competidores y el personal visitante, atribuida a varias causas como cambios en la alimentación, contaminación de bebidas e infecciones virales. Las medidas terapéuticas básicas fueron efectivas para controlar el brote, y solo en contadas ocasiones se requirió la administración de líquidos por vía intravenosa.

El Dr. Elkin Martínez presentó una evaluación exhaustiva de las acciones del grupo médico deportivo nacional del sistema Coldeportes y de la FMD-COLOMBIA. Posteriormente, se reflexionó sobre el futuro más adecuado para la agremiación y se acordó de manera unánime la creación de una nueva Junta Directiva que representará a ambas organizaciones, ahora unidas en ACOMEDF (Asociación Colombiana de Medicina del Deporte y la Educación Física).

La Asamblea dio la bienvenida a todos los miembros de la recién formada Federación Médico-Deportiva de Colombia, con el propósito principal de consolidar los esfuerzos en una única entidad. Esta nueva organización se comprometerá a mantener los principios establecidos por ACOMEDF, promoviendo el desarrollo de la Medicina Deportiva en Colombia y velando por el bienestar de los profesionales dedicados a la actividad física (17).

Un médico especializado en actividad física y deporte en Colombia se adentra en conocimientos específicos que se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Disciplinas básicas:** fisiología, anatomía y biomecánica del ejercicio.
- **Disciplinas clínicas:** prevención, tratamiento y rehabilitación de lesiones deportivas y enfermedades.
- **Ciencias aplicadas al deporte:** psicología, nutrición, cineantropometría y entrenamiento deportivo.

Este profesional entiende las capacidades físicas necesarias para cada deporte y cómo se pueden desarrollar. Además, puede establecer protocolos de prevención de lesiones, apoyándose en su formación en entrenamiento deportivo y fisiología (18). También tiene la capacidad de prescribir ejercicio como una herramienta tanto preventiva como terapéutica para personas con sobrepeso, obesidad, diabetes y otras condiciones que afectan su calidad de vida, utilizando la actividad física como un complemento para mejorar su salud (19,20).

Funciones

- **Tratamiento de enfermedades y lesiones deportivas:** Esta es la razón principal por la que los pacientes buscan médicos especializados en deporte. Actualmente, el uso de diversas técnicas y equipos para ejercitarse en casa sin la supervisión de un entrenador ha incrementado la frecuencia de lesiones (21,22)
- **Evaluación médica:** Incluye la valoración de la capacidad funcional y metabólica, lo cual es fundamental, especialmente para los atletas profesionales (23).
- **Evaluación nutricional:** La alimentación desempeña un papel crucial en el deporte, ya que una dieta inadecuada puede aumentar la predisposición a lesiones y otros problemas de salud (24, 25)
- **Desarrollo de capacidades y adaptaciones en el entrenamiento** (26).
- **Supervisión médica del entrenamiento.**
- **Fisiología del ejercicio** (27).
- **Investigación en medicina deportiva.**
- **Acciones educativas para la población:** La medicina del deporte no solo se centra en los atletas, sino que también busca impactar a la población general.
- **Prevención y rehabilitación de patologías, traumas y lesiones asociadas al deporte y ejercicio.**
- **Tratamiento a través de la actividad física** (5,28).
- **Prevención del dopaje en el deporte.**

En Colombia la especialización de medicina de la actividad física y del deporte, tiene una formación durante 3 años, encontrándose en 6 seis universidades:

- Universidad de Antioquia - Jefe de programa Doctor Jorge Alberto Osorio Ciro, siendo pioneros en Colombia.
- Universidad del Bosque - Jefe de programa Doctor Juan Manuel Sarmiento Castañeda. Siendo los pioneros en la ciudad de Bogotá.
- Universidad de ciencias de la salud, FUCS - Jefe de programa y fundador del Programa Doctor Juan Carlos Galvis.
- Universidad Nacional - fundador del programa Doctor Serrato. jefe Dr Camilo Poveda
- Universidad Pontificia Bolivariana, jefe del servicio Dr. Javier Mario Jiménez
- Universidad de Boyacá - Fundador del programa Doctor Camilo Camargo, actual Jefe Dr. Mojica. Calificado desde el año 2019, siendo el programa más reciente.

La medicina del deporte es, al menos en Colombia, una especialidad médica con un enfoque clínico no quirúrgico. Sus intervenciones no son invasivas ni quirúrgicas, centrándose en el manejo médico y procedimientos mínimamente invasivos. Esta disciplina se dedica al estudio de los cambios fisiológicos que ocurren en el ser humano en relación con la actividad física, el ejercicio y el deporte, tanto de manera aguda como crónica. A partir de este análisis fisiológico, se adoptan estrategias de intervención basadas en aspectos neuromotores, nutricionales y mentales, con el objetivo de mejorar el bienestar físico, social y emocional. Estas intervenciones se aplican tanto a deportistas que buscan optimizar su rendimiento deportivo, como a personas sanas con metas personales, así como a individuos con patologías que pueden beneficiarse de esta especialidad médica.

A lo largo de la historia se han visto múltiples beneficios del ejercicio en el ser humano, y es acá donde interviene un médico con formación en medicina deportiva, pues tiene dos áreas grandes en su práctica clínica: la atención a la población deportista y a la no deportista, y la intervención mediante el ejercicio y la actividad física. Para abordar este capítulo, vamos a hablar de ambas con un poco más de profundidad en el ámbito deportivo por el enfoque general del libro.

Para iniciar, veremos la población no deportista, la cual abarca a todas las personas que no practican ejercicio con fines de competencia y no son remuneradas económicamente por eso. De esta gran población podemos tener una primera subdivisión, que sería la población que realiza ejercicio por algún tipo específico de patología o las personas sanas que realizan ejercicio con objetivos específicos individuales que no tienen patologías.

La población con algún tipo de patología se puede atender en el ámbito hospitalario, ya sea por interconsulta de forma intrahospitalaria o en internación, o por consulta externa, ya sea en una institución hospitalaria, consultorio médico-privado, gimnasios, etc. En el modelo hospitalario el deportólogo es quien idea, elabora y ejecuta programas de prevención y promoción de la salud para lograr objetivos con impactos positivos en la salud de los pacientes mediante la prescripción del ejercicio individualizado. Es así como se elaboran programas de atención e intervención de pacientes con estancia hospitalaria mayor de 48 horas y hasta su egreso de la institución, por síndrome de desacondicionamiento físico, sarcopenia, inmovilidad, sedentarismo, y todas aquellas condiciones desencadenadas por la disminución marcada de la contracción muscular esquelética o la abolición completa y consciente por parte del paciente y médicos tratantes. Dentro de las patologías más importantes a impactar con ejercicio se encuentran las de origen cardíaco y pulmonar, que están hemodinámicamente estables, pues múltiples estudios han mostrado los múltiples beneficios de la contracción del músculo esquelético en estos pacientes, logrando mejoría física, emocional y social del paciente (19,29).

De los Programas

Ahora bien, la pregunta sería: ¿cómo idear estos programas de prevención y promoción de la salud? Y lo primero que habría que hacer es caracterizar la población de la institución prestadora de servicios de salud en la cual quiero proponer un programa de salud mediante el ejercicio, ejemplos de esto serían: instituciones con énfasis en pacientes pediátricos, con patologías cardíacas, pulmonares, unidades renales, geriátricos, instituciones con énfasis materno-fetal, psiquiátricos, unidades de cuidados intensivos, del paciente quemado, amputados, oncológicos, etc.; después de tener el foco en la población, debe ser más específico y determinar las patologías más prevalentes entendidas en la institución, y de esta manera lograre establecer unos objetivos específicos y generales según las personas a intervenir, cuales son mis objetivos generales en dicha población, ¿quiero impactar en la morbilidad? ¿Quiero impactar

en el desacondicionamiento físico? ¿Quiero disminuir los síntomas de la quimioterapia? ¿Quiero mejorar mis niveles de glucemia? Etc.

Después de esto ya tendré la población caracterizada, con las patologías más prevalentes y los objetivos generales a lograr. Sin embargo, falta la intervención que es el acto más importante de un deportólogo, la prescripción del ejercicio, y para lograrlo de la mejor manera debo realizar el programa de rehabilitación individualizado del paciente que incluye tres esferas grandes: la mental, física y la social, por lo cual como rehabilitador de la institución hará:

1. Evaluación mental y social, inicial mediante encuestas validadas para dicho fin, y así establecer la necesidad de valoración por un especialista en el área, sea psicólogo o psiquiatra según los hallazgos.
2. Evaluación física que incluye:
 - Respuesta a interconsulta
 - Historia clínica médico deportiva del paciente
 - Batería de pruebas físicas adaptadas a las características del paciente y la institución donde se esté prestando el servicio.
 - Evaluación de independencia del paciente
 - Determinar los objetivos específicos que me llevarán al objetivo general según el caso y/o patología de cada paciente.
3. La Prescripción del Ejercicio con todo lo anterior, esta debe ser individualizada sin olvidar los objetivos generales del programa diseñado.

Del Papel de Rehabilitador - Coordinador

La medicina de la actividad física, con énfasis tanto en el ámbito deportivo como en el clínico, permite profundizar en conocimientos orientados a la rehabilitación de sistemas clave, como el cardiovascular, pulmonar y osteomuscular. Este último adquiere especial relevancia en la rehabilitación de lesiones deportivas.

En el área clínica, la rehabilitación dirigida es un recurso indispensable para el éxito de los tratamientos en diversas especialidades médico-quirúrgicas, como ortopedia, cirugía general, cirugía cardiovascular, medicina interna, cardiología y neumología, entre otras. La intervención abarca desde pacientes hospitalizados hasta aquellos en unidades de cuidados intensivos e intermedios.

Las herramientas adquiridas permiten la estratificación del riesgo asociado a la intervención física, identificando limitaciones y determinando el momento adecuado para iniciar el proceso, según la patología. Esto abarca desde el acondicionamiento físico hasta la recuperación funcional de los sistemas mencionados, a través de la rehabilitación.

En el ámbito deportivo, el médico especializado en medicina de la actividad física y del deporte diagnostica y comprende los mecanismos de lesión en diversas disciplinas, corrigiendo desbalances musculares y alteraciones de la fuerza(30). Además, utiliza protocolos de rehabilitación para asegurar la pronta recuperación y el retorno al deporte. En este contexto, el especialista lidera el proceso de rehabilitación clínica y deportiva, aplicando sus conocimientos para optimizar los resultados. Es crucial destacar la importancia del trabajo conjunto de las diversas áreas de la rehabilitación física y el equipo profesional que integra esta unidad, como la terapia física, la terapia ocupacional y la fonoaudiología. Este equipo interdisciplinario, cuando está liderado de manera coordinada y eficiente, tiene el potencial de influir de manera decisiva en los resultados de los procesos de rehabilitación.

La sinergia entre estos profesionales permite una atención integral al paciente, abordando no sólo los aspectos físicos de la recuperación, sino también las habilidades funcionales y comunicativas, esenciales para una rehabilitación completa. La terapia física se enfoca en restaurar la movilidad y la fuerza, mientras que la terapia ocupacional trabaja en la reintegración del paciente a las actividades de la vida diaria. Por su parte, la fonoaudiología interviene en la recuperación de las funciones de comunicación y deglución, aspectos críticos en muchos procesos de rehabilitación, especialmente en pacientes con afecciones neurológicas o postquirúrgicas.

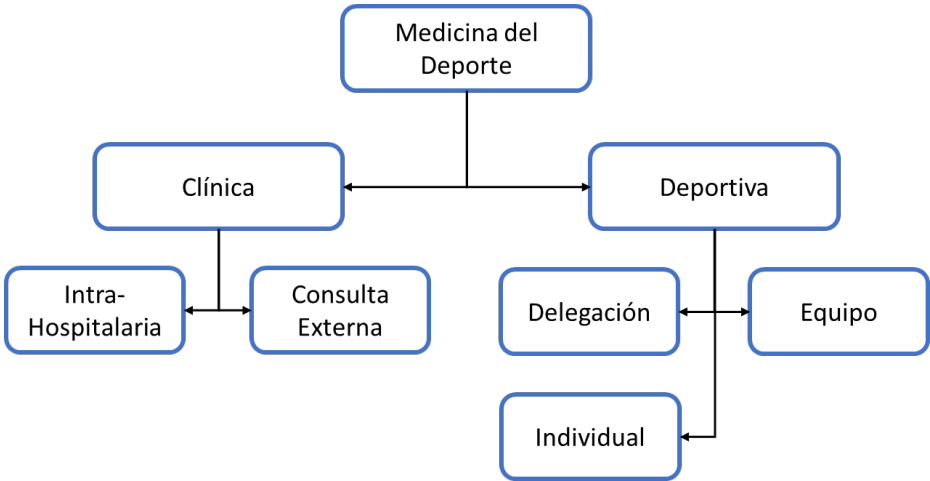
La unificación de criterios y la colaboración constante entre estas disciplinas permiten la creación de planes de tratamiento personalizados y ajustados a las necesidades específicas de cada paciente.

En conclusión, el liderazgo cohesionado de un equipo interdisciplinario de rehabilitación física es fundamental para lograr una intervención exitosa y holística, que impacte positivamente tanto en el bienestar del paciente como en la eficiencia del proceso clínico. Este enfoque integral no solo mejora los resultados clínicos, sino que también optimiza los tiempos de recuperación y disminuye el riesgo de complicaciones. Además, al coordinarse eficientemente, se garantiza una utilización más efectiva de los recursos, lo que contribuye a la sostenibilidad del sistema de salud y a la reducción de costos asociados al tratamiento prolongado(31,32).

De la Gerencia

Los médicos del deporte también se han visto en la necesidad de abarcar tareas y áreas administrativas, dentro de las cuales está gerenciar, administrar o coordinar consultorios, instituciones prestadoras de salud o departamentos médicos, y esto ha surgido naturalmente debido a su experiencia y experticia en el ámbito deportivo como en prevención y promoción de salud mediante actividad física y ejercicio, lo que les otorga una opinión importante frente a las otras áreas de la salud. por lo cual no es extraño o por lo menos en Colombia médicos deportólogos creando IPS, propuestas de programas a hospitales y clínicas, y liderando todo el proceso administrativo y gerencial que esto conlleva para otorgar a deportistas, y pacientes los mejores beneficios del ejercicio físico.

Figura 15. Perfiles de la medicina deportiva



Intervenciones Médicas y Procedimientos Aplicados por el Especialista en Medicina del Deporte

En los últimos años, el uso y la aplicación de intervenciones mínimamente invasivas, junto con procedimientos no invasivos, como pruebas de laboratorio, se han consolidado como herramientas fundamentales en el diagnóstico, tratamiento y seguimiento de diversas patologías. Estas técnicas no solo han mejorado la precisión clínica, sino que también han reducido los tiempos de recuperación y los riesgos asociados a procedimientos más

invasivos. Su implementación ha sido notable tanto en la medicina general como en el ámbito deportivo, donde el rendimiento y la recuperación rápida son esenciales(33, 34).

El conocimiento acumulado en este campo, junto con el creciente avance tecnológico, ha permitido a los profesionales de la salud implementar de manera efectiva estos métodos. Dentro de las intervenciones mínimamente invasivas y procedimientos no invasivos se destacan las siguientes modalidades:

1. Modalidades Mecánicas:

- **Terapia con Dispositivos de Oscilación Profunda (Ondas de choque):** Esta técnica se basa en la aplicación de ondas acústicas de alta energía para estimular la regeneración tisular, reducir el dolor y mejorar la funcionalidad. Se utiliza en el tratamiento de tendinopatías crónicas, calcificaciones óseas, fascitis plantar, entre otras patologías. La evidencia científica ha demostrado su eficacia en la mejora de la cicatrización y la reducción del dolor a largo plazo. Además, su uso se ha extendido en el ámbito deportivo para la recuperación de lesiones crónicas y la mejora del rendimiento muscular (35–39)
- **Terapia de Compresión Neumática Intermitente:** Es efectiva en el tratamiento del linfedema, la prevención de trombosis venosa profunda, y la recuperación postejercicio en atletas. Ayuda a mejorar el retorno venoso, reducir el edema y acelerar la recuperación muscular. (40)
- **Terapia de Ultrasonido:** Es usada en el tratamiento de lesiones musculares, tendinitis, bursitis, y otras afecciones que involucran tejidos blandos. Además, puede utilizarse para promover la curación de fracturas óseas en algunos casos. (38)
- **Terapia de Vibración de Cuerpo Entero:** Se usa para mejorar la fuerza muscular, la densidad ósea, la circulación sanguínea y la flexibilidad. Es común en la rehabilitación, el entrenamiento deportivo y el tratamiento de osteoporosis.

2. Pruebas y Tecnologías de Evaluación Funcional:

- **Ergoespirometría:** La Ergoespirometría combina la evaluación del consumo de oxígeno (VO₂) y la producción de dióxido de carbono (VCO₂) durante el ejercicio. Este examen es crucial no solo para la valoración de la capacidad cardiovascular, sino también pulmonar, de

forma integrada, logrando también identificar por medio de gráficas umbrales metabólicos y, de esta forma, planificar entrenamientos de acuerdo con el requerimiento individual. En el ámbito clínico, se utiliza para detectar patologías cardiovasculares, respiratorias y metabólicas, mientras que, en el deportivo, permite optimizar el rendimiento (41,42).

- **Cámara Hiperbárica:** Esta tecnología implica la exposición a altas concentraciones de oxígeno en un entorno presurizado. Los beneficios incluyen la aceleración de la cicatrización de heridas, el tratamiento de lesiones por compresión y la reducción de la inflamación. En el deporte, se utiliza para mejorar la recuperación posentrenamiento, reducir el tiempo de curación de lesiones y optimizar la regeneración muscular tras el esfuerzo intenso (43).
- **Baropodometría:** Es una prueba que evalúa la distribución de las presiones plantares durante la marcha y la estática. Este estudio es fundamental en la corrección de alteraciones biomecánicas, tanto en pacientes con patologías del pie como en deportistas que buscan prevenir lesiones. Además, es utilizado para diseñar plantillas ortopédicas personalizadas y mejorar la alineación corporal (44).
- **Antropometría:** La antropometría no solo se limita a la evaluación de dimensiones corporales, sino que también analiza la composición corporal (grasa, masa muscular, densidad ósea). Esta información es clave para el monitoreo del estado nutricional, la evaluación del crecimiento en poblaciones pediátricas y la optimización del rendimiento en atletas de alto nivel. Su integración con otras pruebas permite diseñar planes de entrenamiento y alimentación específicos.

3. Análisis Biomecánico y Antropométrico:

- **Análisis de marcha y carrera:** Este estudio analiza los patrones de movimiento durante la marcha y la carrera, permitiendo la identificación de alteraciones biomecánicas que pueden predisponer a lesiones, como las dismetrías de las extremidades, la pronación o supinación excesiva del pie, y los desequilibrios musculares. Además, se utiliza en la rehabilitación postoperatoria y en la planificación de estrategias de entrenamiento para mejorar la eficiencia del movimiento (45).
- **Bike fitting:** El ajuste de la bicicleta a las características anatómicas del ciclista es esencial para prevenir lesiones, mejorar la comodidad

y optimizar el rendimiento. Un bike fitting adecuado ajusta la altura del sillín, la longitud de las bielas, la posición de las calas y la altura del manillar, teniendo en cuenta la biomecánica del ciclista y sus objetivos deportivos(46,47).

4. Test de Laboratorio:

- **Test de fuerza:** Estas pruebas evalúan la capacidad máxima de los músculos para generar fuerza. Incluyen tanto evaluaciones de fuerza isométrica como dinámica, y son esenciales para diseñar programas de rehabilitación y optimización del rendimiento muscular. Además, permiten detectar desequilibrios musculares y adaptar los entrenamientos para prevenir lesiones(6).
- **Test cardiovasculares:** Estos exámenes incluyen pruebas de esfuerzo, monitorización de la frecuencia cardíaca y análisis de la variabilidad del ritmo cardíaco. Son fundamentales para detectar arritmias, isquemias silenciosas y otras anomalías cardíacas que pueden comprometer la salud del paciente o atleta. Además, proporcionan información valiosa para personalizar la intensidad y duración de los entrenamientos(6,41).
- **Test de coordinación y flexibilidad:** La coordinación y la flexibilidad son componentes críticos de la capacidad física general. Estos test permiten evaluar la agilidad, la rapidez de reacción y la amplitud de movimiento articular, factores clave en la prevención de lesiones y en la mejora del rendimiento atlético(6).

Estas tecnologías y pruebas han demostrado su efectividad a través de la evidencia científica, apoyando su uso en diversas patologías y en la optimización del rendimiento deportivo. Su integración en la práctica clínica y deportiva ha permitido mejorar la precisión diagnóstica, personalizar los tratamientos y acelerar los tiempos de recuperación.

Además de estos procedimientos, existen otras intervenciones mínimamente invasivas que se utilizan en el tratamiento de patologías musculares, de tejidos blandos y articulares. Estas incluyen procedimientos con aguja, como:

- **Infiltraciones articulares:** Las infiltraciones articulares consisten en la inyección anterior, con uso frecuente de los corticosteroides; sin embargo, con la reciente y creciente evidencia, existe una adecuada respuesta clínica con el uso de plasma rico en plaquetas, ácido hialurónico, entre otros anestésicos locales directamente en la articulación afectada.

Este procedimiento es común en el tratamiento de patologías como la osteoartritis, la artritis reumatoide y otras condiciones inflamatorias. La evidencia muestra que las infiltraciones pueden reducir el dolor y mejorar la función articular, aunque su efectividad a largo plazo varía según el tipo de patología y la sustancia utilizada(48,53).

- **Infiltraciones subfasciales:** Este tipo de infiltraciones se realiza debajo de la fascia muscular para tratar puntos gatillo miofasciales, retracciones y otras afecciones relacionadas con el dolor muscular crónico. Las infiltraciones subfasciales se han utilizado con éxito en el tratamiento del síndrome de dolor miofascial y otras condiciones musculoesqueléticas (48).
- **Infiltraciones en la entesis:** La zona donde los tendones y ligamentos se insertan en el hueso. Las infiltraciones en esta área se utilizan para tratar patologías como la entesitis, común en enfermedades reumatológicas como la espondilitis anquilosante. Estas infiltraciones pueden reducir la inflamación y el dolor, mejorando la calidad de vida del paciente(48, 49, 54).

Dentro de estas intervenciones, la **viscosuplementación** ha emergido como una práctica prometedora en el manejo de patologías articulares degenerativas, particularmente la osteoartritis. Este tratamiento implica la inyección de ácido hialurónico en la articulación, lo que mejora la lubricación, reduce la fricción y alivia el dolor. La evidencia científica ha mostrado que la viscosuplementación junto a la ortobiología como el uso de exosomas, células madre, factores de crecimiento derivados de plaquetas, puede retrasar la necesidad de intervenciones quirúrgicas, como la artroplastia, y mejorar significativamente la calidad de vida en pacientes con osteoartritis. Además, se está explorando su uso en otras articulaciones y patologías con resultados alentadores. Otros procedimientos con creciente es la Electrólisis Percutánea Musculoesquelética (EPM). La EPM es una técnica que consiste en la aplicación de una corriente galvánica (corriente continua) a través de una aguja de acupuntura que se inserta de manera percutánea en el tejido afectado. Esta corriente eléctrica genera una reacción local en los tejidos, provocando un proceso de lisis (destrucción controlada de tejido) en la zona lesionada. Esto desencadena una respuesta inflamatoria controlada que promueve la regeneración y reparación del tejido afectado.

Conclusiones

En conclusión, la medicina deportiva se ha consolidado como una especialidad clave en la implementación de intervenciones mínimamente invasivas y no invasivas, destacándose por su capacidad para diagnosticar, tratar y mejorar el rendimiento en deportistas y pacientes en general. Los avances tecnológicos y el conocimiento acumulado han permitido aplicar de manera precisa y efectiva diversas técnicas, como las modalidades mecánicas, pruebas de evaluación funcional y procedimientos con aguja. Estas intervenciones no solo han optimizado la recuperación y prevención de lesiones, sino que también han mejorado significativamente la calidad de vida de los pacientes al reducir el dolor y restaurar la funcionalidad.

El papel del médico especialista en medicina de la actividad física y el deporte es crucial en el ámbito clínico y deportivo, ya que posee las habilidades y conocimientos necesarios para integrar estas innovaciones en la práctica clínica diaria, garantizando tratamientos personalizados y basados en la evidencia científica. Su experticia en la aplicación de métodos, pruebas de laboratorio y de campo, e intervenciones mínimamente invasivas, le confiere capacidades para la aplicación de diferentes métodos y estudios que permiten su empleo en el diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de diferentes procesos. Lo anterior supone que está capacitado como un referente en la mejora del rendimiento y la salud de los deportistas, así como en el manejo de patologías musculoesqueléticas complejas. Así, la medicina deportiva no solo responde a las demandas del ámbito competitivo, sino que también juega un rol fundamental en la promoción de la salud y el bienestar a través de enfoques terapéuticos avanzados y eficaces.

Referencias

1. Pedersen BK, Saltin B. Exercise as medicine - Evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. *Scand J Med Sci Sports* [Internet]. 2015 Dec 1 [cited 2025 Jun 3];25:1-72. Available from: /doi/pdf/10.1111/sms.12581
2. Thompson PD, Arena R, Riebe D, Pescatello LS. ACSM's new preparticipation health screening recommendations from ACSM's guidelines for exercise testing and prescription, ninth edition. *Curr Sports Med Rep* [Internet]. 2013 Jul [cited 2025 Jun 3];12(4):215-7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23851406/>

3. Gielen S, Laughlin MH, O'Conner C, Duncker DJ. Exercise Training in Patients with Heart Disease: Review of Beneficial Effects and Clinical Recommendations. *Prog Cardiovasc Dis* [Internet]. 2015 Jan 1 [cited 2025 Jun 3];57(4):347–55. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25459973/>
4. Warburton DER, Bredin SSD. Health benefits of physical activity: A systematic review of current systematic reviews. *Curr Opin Cardiol* [Internet]. 2017 Sep 1 [cited 2025 Jun 3];32(5):541–56. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28708630/>
5. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, et al. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2011 Jul [cited 2025 Jun 3];43(7):1334–59. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21694556/>
6. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription - ACSM [Internet]. [cited 2025 Jun 3]. Available from: <https://acsm.org/education-resources/books/guidelines-exercise-testing-prescription/>
7. Kujala UM. Evidence on the effects of exercise therapy in the treatment of chronic disease. *Br J Sports Med* [Internet]. 2009 [cited 2025 Jun 3];43(8):550–5. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19406731/>
8. Miller MD, Thompson SR. DeLee, Drez and Miller's orthopaedic sports medicine : principles and practice. Philadelphia, PA: Saunders. 2014 May 20;2155–9.
9. Tipton CM. The history of “Exercise Is Medicine” in ancient civilizations. *Adv Physiol Educ* [Internet]. 2014 [cited 2025 Jun 3];38(2):109. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4056176/>
10. Wang XQ, Pi YL, Chen PJ, Liu Y, Wang R, Li X, et al. Traditional chinese exercise for cardiovascular diseases: Systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Am Heart Assoc* [Internet]. 2015 [cited 2025 Jun 3];5(3). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26961239/>
11. O FG, Sallis R, Wilder R, St Pierre P. Sports Medicine: McGraw-Hill Examination and Board Review.

12. About - ACSM [Internet]. [cited 2025 Jun 3]. Available from: <https://acsm.org/about/>
13. Thorndike A. Serious recurrent injuries of athletes; contraindications to further competitive participation. *N Engl J Med* [Internet]. 1952 Oct 9 [cited 2025 Jun 3];247(15):554–6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12993269/>
14. Defina LF, Radford NB, Barlow CE, Willis BL, Leonard D, Haskell WL, et al. Association of All-Cause and Cardiovascular Mortality with High Levels of Physical Activity and Concurrent Coronary Artery Calcification. *JAMA Cardiol* [Internet]. 2019 Feb 1 [cited 2025 Jun 3];4(2):174–81. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30698608/>
15. Booth FW, Roberts CK, Laye MJ. Lack of exercise is a major cause of chronic diseases. *Compr Physiol* [Internet]. 2012 Apr [cited 2025 Jun 3];2(2):1143–211. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23798298/>
16. Colombia. Ministerio del Deporte [Internet]. [cited 2025 Jun 3]. Available from: <https://www.mindeporte.gov.co/mindeporte>
17. Colombia. Ministro de Salud. Resolución 13437 de 1991. Por la cual se constituyen los comités de Ética Hospitalaria y se adoptan el Decálogo de los Derechos de los Pacientes. 1991
18. Asociación de Medicina del Deporte Colombia AMEDCO. Colombia [Internet]. [cited 2025 Jun 3]. Available from: <https://www.amedco.org.co/>
19. Global action plan on physical activity 2018-20230. More active people for a healthier world.
20. Kohl HW, Craig CL, Lambert EV, Inoue S, Alkandari JR, Leetongin G, et al. The pandemic of physical inactivity: Global action for public health. *The Lancet* [Internet]. 2012 [cited 2025 Jun 3];380(9838):294–305. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22818941/>
21. Page Phillip, Frank CC., Lardner Robert. Assessment and Treatment of Muscle Imbalance: The Janda Approach. *J Can Chiropr Assoc* [Internet]. 2012 [cited 2025 Jun 3];56(2):158. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3364069/>

22. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of Resistance Training: Progression and Exercise Prescription. *Med Sci Sports Exerc* [Internet]. 2004 Apr [cited 2025 Jun 3];36(4):674–88. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15064596/>
23. Halson SL. Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine* [Internet]. 2014 Nov 1 [cited 2025 Jun 3];44(Suppl 2):139–47. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25200666/>
24. Gunzer W, Konrad M, Pail E. Exercise-Induced Immunodepression in Endurance Athletes and Nutritional Intervention with Carbohydrate, Protein and Fat—What Is Possible, What Is Not? *Nutrients* [Internet]. 2012 [cited 2025 Jun 3];4(9):1187. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3475230/>
25. Koutedakis Yiannis, Sharp NCCraig, Boreham Colin. The fit and healthy dancer. 1999 [cited 2025 Jun 3];344. Available from: <https://www.wiley.com/en-us/The+Fit+and+Healthy+Dancer-p-9780471975281>
26. McGuigan Mike. Monitoring training and performance in athletes. 2017;253.
27. Akenhead R, Nassis GP. Training load and player monitoring in high-level football: Current practice and perceptions. *Int J Sports Physiol Perform* [Internet]. 2016 Jul 1 [cited 2025 Jun 3];11(5):587–93. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26456711/>
28. Spruit MA, Singh SJ, Garvey C, Zu Wallack R, Nici L, Rochester C, et al. An official American thoracic society/European respiratory society statement: Key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med* [Internet]. 2013 Oct 15 [cited 2025 Jun 3];188(8). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24127811/>
29. Thompson PD, Franklin BA, Balady GJ, Blair SN, Corrado D, Estes NAM, et al. Exercise and acute cardiovascular events: Placing the risks into perspective a scientific statement from the American Heart Association Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism and the Council on Clinical Cardiology. *Circulation* [Internet]. 2007 May [cited 2025 Jun 3];115(17):2358–68. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17468391/>

30. Heath GW, Parra DC, Sarmiento OL, Andersen LB, Owen N, Goenka S, et al. Evidence-based intervention in physical activity: Lessons from around the world. *The Lancet* [Internet]. 2012 [cited 2025 Jun 3];380(9838):272–81. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22818939/>
31. Soligard T, Schweltnus M, Alonso JM, Bahr R, Clarsen B, Dijkstra HP, et al. How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *Br J Sports Med* [Internet]. 2016 Sep 1 [cited 2025 Jun 3];50(17):1030–41. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27535989/>
32. Jacobson JA. *Fundamentals of Musculoskeletal Ultrasound (Fundamentals of Radiology)*. 2018;472.
33. Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *Br J Sports Med* [Internet]. 2005 Jun 1 [cited 2025 Jun 3];39(6):324–9. Available from: <https://bjsm.bmj.com/content/39/6/324>
34. Sánchez M, Anitua E, Azofra J, Andía I, Padilla S, Mujika I. Comparison of surgically repaired Achilles tendon tears using platelet-rich fibrin matrices. *American Journal of Sports Medicine* [Internet]. 2007 Feb [cited 2025 Jun 3];35(2):245–51. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17099241/>
35. De la Corte-Rodríguez H, Román-Belmonte JM, Rodríguez-Damiani BA, Vázquez-Sasot A, Rodríguez-Merchán EC. Extracorporeal Shock Wave Therapy for the Treatment of Musculoskeletal Pain: A Narrative Review. *Healthcare (Switzerland)* [Internet]. 2023 Nov 1 [cited 2025 Jun 3];11(21). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37957975/>
36. Mazin Y, Lemos C, Paiva C, Amaral Oliveira L, Borges A, Lopes T. The Role of Extracorporeal Shock Wave Therapy in the Treatment of Muscle Injuries: A Systematic Review. *Cureus* [Internet]. 2023 Aug 27 [cited 2025 Jun 3];15(8). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37767244/>
37. Tognolo L, Giordani F, Biz C, Bernini A, Ruggieri P, Stecco C, et al. Myofascial points treatment with focused extracorporeal shock wave therapy (f-ESWT) for plantar fasciitis: an open label randomized clinical trial. *Eur J Phys Rehabil Med* [Internet]. 2022 Feb 1 [cited 2025 Jun 3];58(1):85–93. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34786906/>

38. Cochrane Library Cochrane Database of Systematic Reviews Ultrasound and shockwave therapy for acute fractures in adults (Review). 2023 [cited 2025 Jun 3]; Available from: www.cochranelibrary.com
39. Xue X, Song Q, Yang X, Kuati A, Fu H, Cui G. Effect of extracorporeal shockwave therapy for rotator cuff tendinopathy: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord* [Internet]. 2024 Dec 1 [cited 2025 Jun 3];25(1). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38704572/>
40. Bisciotti GN, Chamari K, Cena E, Garcia GR, Vuckovic Z, Bisciotti A, et al. The conservative treatment of longstanding adductor-related groin pain syndrome: A critical and systematic review. *Biol Sport* [Internet]. 2021 [cited 2025 Jun 3];38(1):45–63. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33795914/>
41. Tessler J, Ahmed I, Bordoni B. Cardiac Rehabilitation. *StatPearls* [Internet]. 2025 Mar 28 [cited 2025 Jun 3]; Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537196/>
42. Wasserman & Whipp's Principles of Exercise Testing ... [Internet]. [cited 2025 Jun 3]. Available from: <https://shop.lww.com/Wasserman---Whipp-s-Principles-of-Exercise-Testing-and-Interpretation/p/9781975136437?srsltid=AfmBOooB4QU0PzQcqUDj7QTV2L538O3cAbsoqeocpAsfDkSCYyWdyeB->
43. Li H, Xiao M, Yang F, Zhao Z, A L. Hyperbaric oxygen treatment promotes tendon–bone interface healing in a rabbit model of rotator cuff tears. *Med Gas Res* [Internet]. 2024 Mar 31 [cited 2025 Jun 3];15(1). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39217428/>
44. Rosário JLP. A review of the utilization of baropodometry in postural assessment. *J Bodyw Mov Ther* [Internet]. 2014 [cited 2025 Jun 3];18(2):215–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24725789/>
45. Xu Y, Yuan P, Wang R, Wang D, Liu J, Zhou H. Effects of Foot Strike Techniques on Running Biomechanics: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Health* [Internet]. 2020 Jan 1 [cited 2025 Jun 3];13(1):71. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7734358/>
46. Holliday W, Swart J. A Dynamic Approach to Cycling Biomechanics. *Phys Med Rehabil Clin N Am* [Internet]. 2022 Feb 1 [cited 2025 Jun 3];33(1):1–13. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34798992/>

47. Swart J, Holliday W. Cycling Biomechanics Optimization - The (R) Evolution of Bicycle Fitting. *Curr Sports Med Rep* [Internet]. 2019 Dec 1 [cited 2025 Jun 3];18(12):490–6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31834181/>
48. Asensio-Olea L, Leirós-Rodríguez R, Marqués-Sánchez MP, de Carvalho FO, Maciel LYS. Efficacy of percutaneous electrolysis for the treatment of tendinopathies: A systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil* [Internet]. 2023 Jun 1 [cited 2025 Jun 3];37(6):747–59. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36583575/>
49. Augustyn D, Paez A. The effectiveness of intratissue percutaneous electrolysis for the treatment of tendinopathy: A systematic review. *South African Journal of Sports Medicine* [Internet]. 2022 [cited 2025 Jun 3];34(1). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36815929/>
50. Familiari F, Ammendolia A, Rupp MC, Russo R, Pujia A, Montalcini T, et al. Efficacy of intra-articular injections of hyaluronic acid in patients with glenohumeral joint osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Orthopaedic Research* [Internet]. 2023 Nov 1 [cited 2025 Jun 3];41(11):2345–58. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37314198/>
51. Liu W zhao, Ma Z jun, Li J ru, Kang X wen. Mesenchymal stem cell-derived exosomes: therapeutic opportunities and challenges for spinal cord injury. *Stem Cell Research & Therapy* 2021 12:1 [Internet]. 2021 Feb 3 [cited 2025 Jun 3];12(1):1–15. Available from: <https://stemcellres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13287-021-02153-8>
52. Wei P, Bao R. Intra-Articular Mesenchymal Stem Cell Injection for Knee Osteoarthritis: Mechanisms and Clinical Evidence. *Int J Mol Sci* [Internet]. 2023 Jan 1 [cited 2025 Jun 3];24(1). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36613502/>
53. Xiong Y, Gong C, Peng X, Liu X, Su X, Tao X, et al. Efficacy and safety of platelet-rich plasma injections for the treatment of osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Med (Lausanne)* [Internet]. 2023 [cited 2025 Jun 3];10. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37441691/>

54. Bosco F, Giai Via R, Giustra F, Ghirri A, Cacciola G, Massè A. Platelet-rich plasma for jumper's knee: a comprehensive review of efficacy, protocols, and future directions. *European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology* [Internet]. 2024 Jan 1 [cited 2025 Jun 3];34(1):91–6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37668753/>
55. Quezada DL, López CL, Montini FC, Skarmeta NP. Effectiveness of intra-articular infiltration of platelet concentrates for the treatment of painful joint disorders in the temporomandibular joint: a systematic review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* [Internet]. 2024 May 1 [cited 2025 Jun 3];29(3):e297–304. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38615254/>

CAPÍTULO 5

Bases Teóricas y Retos de la Fisioterapia Deportiva

Theoretical Bases and Challenges of Sports Physiotherapy

Elisa Andrea Cobo Mejía

Universidad de Boyacá

© <https://orcid.org/0000-0002-5739-4325>

✉ elisaandrea88@hotmail.com

Brayan Esneider Patiño Palma

Fundación Universitaria del Área Andina

© <https://orcid.org/0000-0002-4476-0867>

✉ bpatino3@areandina.edu.co

Pedro Antonio Calero Saa

Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte

© <https://orcid.org/0000-0002-9978-7944>

✉ pcalero22@gmail.com

Resumen

El capítulo analiza la evolución y el marco normativo de la fisioterapia deportiva en Colombia, enfocándose en el papel del fisioterapeuta en el Movimiento Corporal Humano (MCH) dentro del ámbito deportivo. Como objetivo, se busca describir la consolidación de esta especialidad y sus competencias profesionales en el país. Para ello, se realizó una revisión documental que incluye leyes nacionales como la Ley 528 de 1999, documentos internacionales de organizaciones como World Physiotherapy e IFSPT, y literatura científica relevante. Los resultados evidencian que la fisioterapia en Colombia se institucionalizó desde 1952 y la formación universitaria formal se fortaleció con normativas posteriores. La fisioterapia deportiva se ha consolidado como una especialización reconocida internacionalmente desde los años 2000, orientada a la prevención, tratamiento

Cita este capítulo / Cite this chapter

Cobo Mejía EA, Patiño Palma BE, Calero Saa PA. Bases Teóricas y Retos de la Fisioterapia Deportiva. En: Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria*. Tomo I: fundamentos de la salud física y la actividad deportiva. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 151-174. <https://doi.org/10.35985/9786287914155.5>

y rehabilitación de lesiones derivadas del deporte, además de la optimización del rendimiento atlético. El fisioterapeuta deportivo también desempeña funciones de líder, asesor y promotor de normativas antidopaje, con competencias que incluyen evaluación, rehabilitación y prevención basadas en evidencia. Entre los desafíos actuales se identifican la actualización continua de conocimientos, la prevención del intrusismo profesional y la mejora del trabajo interdisciplinario. En conclusión, la fisioterapia deportiva en Colombia es una disciplina clave dentro de las ciencias de la salud, que contribuye a mantener y recuperar la funcionalidad del deportista con un ejercicio profesional ético y fundamentado. Se destaca la importancia de seguir fortaleciendo la formación posgradual y las alianzas interprofesionales para un mejor abordaje integral del deporte de alto rendimiento.

Palabras clave: Especialidad de Fisioterapia, Modalidades de Fisioterapia, Rol Profesional.

Abstract

This chapter analyzes the evolution and regulatory framework of sports physiotherapy in Colombia, focusing on the role of the physiotherapist in Human Body Movement (HBM) within the sports field. The objective is to describe the consolidation of this specialty and its professional competencies in the country. To this end, a documentary review was conducted, including national laws such as Law 528 of 1999, international documents from organizations such as World Physiotherapy and IFSPT, and relevant scientific literature. The results show that physiotherapy in Colombia was institutionalized in 1952, and formal university training was strengthened with subsequent regulations. Sports physiotherapy has established itself as an internationally recognized specialization since the 2000s, focused on the prevention, treatment, and rehabilitation of sports-related injuries, as well as the optimization of athletic performance. Sports physiotherapists also serve as leaders, advisors, and promoters of anti-doping regulations, with competencies that include evidence-based assessment, rehabilitation, and prevention. Current challenges include continuously updating knowledge, preventing professional intrusion, and improving interdisciplinary work. In conclusion, sports physiotherapy in Colombia is a key discipline within the health sciences, contributing to maintaining and restoring athletes' functionality through ethical and well-founded professional practice. The importance of continuing to strengthen postgraduate training and interprofessional partnerships for a better comprehensive approach in high-performance sports is highlighted.

Keywords: Physical Therapy Specialty, Physical Therapy Modalities, Professional Role.

Fisioterapia en Colombia

*“Making the impossible possible,
the possible easy and the easy elegant.”*

—Moshé Feldenkraise

La Fisioterapia en Colombia se institucionaliza para su enseñanza en 1952 a partir de la creación de la Escuela Nacional de Fisioterapia, siendo este el primer centro educativo que se enfocó en la formación de técnicas en Terapia Física. Esta profesión se reglamentó oficialmente con el Decreto 1056 de 1954, seguido por la Ley 9 de 1976, en donde se le asignó un carácter universitario. En la actualidad la Fisioterapia se rige por la Ley 528 de 1999, que tiene como objeto de estudio del Movimiento Corporal Humano (MCH)(1).

Esta última ley, precisa la Fisioterapia como una “profesión liberal, del área de la salud, con formación universitaria, cuyos sujetos de atención son el individuo, la familia y la comunidad en el ambiente en donde se desenvuelven”. Su objetivo es el estudio, comprensión y manejo del movimiento corporal humano, como elemento esencial de la salud y el bienestar del hombre. Orienta sus acciones al mantenimiento, optimización o potencialización del movimiento, así como a la prevención y recuperación de sus alteraciones y a la habilitación y rehabilitación integral de las personas, con el fin de optimizar su calidad de vida y contribuir al desarrollo social” (2). Esta definición, establece acciones de intervención para el fisioterapeuta en prevención, promoción, recuperación, habilitación y rehabilitación, lo cual amplía el perfil profesional y ocupacional de acuerdo con el análisis de las necesidades del individuo o de la comunidad para este caso, deportiva (3), además, se rige tanto por los principios generales del comportamiento profesional formulados por la World Confederation Physical Therapy (WCPT) hoy World Physiotherapy como por los principios expresados en la Ley 528 de 1999.

Figura 16. Principios de comportamiento profesional



Fuente: Tomado y adaptado de WCPT 2007 (4)

La World Physiotherapy menciona, que los fisioterapeutas brindan servicios a individuos y colectivos con el objetivo de restaurar, mantener y desarrollar la capacidad funcional y el máximo de movimiento a través del ciclo de vital humano, desde esta perspectiva, la práctica de los fisioterapeutas incluye la provisión de servicios para potencializar la función (4, 5). A partir de este contexto, la rehabilitación es una de las áreas de desempeño profesional reconocida históricamente por focalizarse desde sus inicios en la disfunción del movimiento asociada a lesiones de los sistemas músculo-esquelético y neuromuscular (6).

En complemento, la American Physical Therapy Association (APTA) expone que para la realización del movimiento son esenciales, además, los sistemas tegumentario, cardiovascular y pulmonar (7) sumado a una mirada interdisciplinar de la rehabilitación que favorezca la interacción con los

diferentes actores identificando necesidades y objetivos de intervención en diversos entornos como gimnasios, spas, centros, clubes deportivos, entre otros (5). Por tal razón, la Fisioterapia se presenta como una profesión dinámica con una base científica y teórica establecida a partir de aplicaciones clínicas generalizadas para la restauración, mantenimiento y promoción de la función física óptima ayudando a mantener, restituir y mejorar el movimiento, por medio de la actividad y el funcionamiento adecuado del cuerpo humano. De esta manera, se favorece la salud, el bienestar y la calidad de vida de las personas, dado que minimiza o elimina deficiencias en las funciones corporales y sus estructuras, aportando a reducir las limitaciones en la actividad y las restricciones en la participación (7, 8).

Sumado a lo anterior, la Ley 528 expresa que la Fisioterapia, entre otras actividades, desarrolla el “diseño, ejecución, dirección y control de programas de intervención fisioterapéutica para: la promoción de la salud y el bienestar cinético, la prevención de las deficiencias, limitaciones funcionales, discapacidades y cambios en la condición física en individuos y comunidades en riesgo, la recuperación de los sistemas esenciales para el movimiento humano y la participación en procesos interdisciplinarios de habilitación y rehabilitación integral” (2), reconociendo así, diferentes áreas de actuación y acciones en salud. Organizaciones internacionales tales como la WCPT, la APTA, la Asociación Canadiense de Fisioterapia (ACP), la Asociación Australiana de Fisioterapia (APA) entre otras, han definido como campos ocupacionales el área clínica, educativa, laboral y deportiva, además, determinan áreas de desempeño entre las cuales se encuentran la musculoesquelética, neuromuscular, cardiovascular-pulmonar y tegumentaria (4,9,10).

La visión general del quehacer del fisioterapeuta en el ámbito nacional enmarca como se mencionaba, un sinnúmero de acciones centradas en el área clínica-asistencial, desde un enfoque patocinesiológico que enfatiza las anomalías del movimiento como resultado de un estado patológico incidiendo en los componentes del movimiento, que generan limitaciones funcionales. Sin embargo, en la actualidad se han venido expandiendo las competencias transversales de la profesión, arrojando como resultado la cifra de un 10% de profesionales que realizan su actividad laboral en una institución de actividad física y/o deporte, a cierre del 2015. Asimismo, para este periodo se identifican programas de especialización y maestría en deporte y actividad física, lo que evidencia el interés de la profesión por el área de desempeño relacionada con el ejercicio y el entrenamiento físico (11,12).

Continuando, se busca integrar y consolidar el perfil del fisioterapeuta del deporte bajo un planteamiento científico que cohesione paradigmas y métodos que amplíen el campo del saber, con el fin de analizar la condición cinética y cinemática del atleta, bajo los parámetros de corporalidad, como la esencia del quehacer profesional; desempeñando de esta manera un papel fundamental en el estudio del MCH, lo cual incide positivamente en la condición física del atleta, desde una visión reflexiva y dialéctica entre cuerpo, funcionalidad y productividad (13).

En la Unión Europea se identifica el desarrollo de la Especialización en Fisioterapia deportiva en 1999 con los países integrantes del Comité Permanente de Enlace de los Fisioterapeutas de la Unión Europea (CPLK/SICP) (14), entonces, el reconocimiento de la Fisioterapia deportiva como una especialización data del año 2000, consolidada por la International Federation of Sports Physical Therapy (IFSPT) en 2004 (15), quienes ahondaron en el trabajo con individuos con lesiones resultado de actividades deportivas, definiendo al fisioterapeuta en deporte como “un profesional que demuestra competencias avanzadas en la promoción de la participación segura de la actividad física, la provisión de asesoramiento y adaptación de intervenciones de rehabilitación y entrenamiento, con el propósito de prevenir lesiones, restablecer el funcionamiento óptimo y contribuir al mejoramiento del rendimiento deportivo en atletas de todas las edades y habilidades, al tiempo que se garantiza un alto nivel de práctica profesional y ética” (16).

Así, la Fisioterapia es considerada como la piedra angular del tratamiento, desde la perspectiva deportiva, la cual se complementa con otras aportaciones terapéuticas que se encaminan al tratamiento integral del deportista, donde el objeto de la rehabilitación es la reincorporación rápida y segura a la actividad (17). Uno de los principales objetivos de la fisioterapia es la optimización o rehabilitación del MCH, entendiendo este no solo desde una perspectiva biológica o mecánica, sino desde la mirada psicológica, social y cultural, en pro de impactar en el bienestar y la calidad de vida de los individuos y comunidades (18-20).

Una de las estrategias para intervenir el MCH es la actividad física y el ejercicio físico terapéutico, tanto en individuos atletas o en aquellos que no lo son (21,22) avalada por la Confederación Mundial de Terapia Física (WCPT, en el caso de los primeros, la Fisioterapia en la actividad física y el deporte, se entiende como la parte de la fisioterapia general que centra sus objetivos en el ámbito de la actividad física y deportiva, es decir, es el conjunto de métodos, técnicas y actuaciones que, mediante el uso y la aplicación de agentes físicos, previenen, recuperan y readaptan a personas con disfunciones del aparato locomotor, producidas por la práctica del deporte o ejercicio físico en sus

diferentes niveles, además, mediante el ejercicio físico, como expresión de la cinesiterapia también se actúa sobre la prevención de lesiones, enfermedades y discapacidades; por tal razón, se hace necesario el conocimiento de ciertas competencias específicas para el buen desarrollo profesional (23).

Competencias del Fisioterapeuta Deportivo

Las habilidades requeridas por un profesional incluyen la definición de competencias y estándares; las primeras en mención describen los comportamientos profesionales efectivos que integran conocimientos, habilidades y actitudes específicas en un contexto particular; por otra parte, los estándares son los criterios de rendimiento; estos describen el nivel mínimo de capacidad en el que se espera que trabaje un profesional (24). Después de un proceso riguroso y una revisión de la literatura, Bulley y Donaghy proponen una lista de 11 competencias divididas en 7 roles profesionales para el fisioterapeuta deportivo (16). En la figura 2 se resume el modelo de las áreas de competencia de la fisioterapia deportiva, resultado de una amplia discusión de diferentes expertos, dando aspectos únicos a esta que la distinguen de la práctica general de la fisioterapia. Es importante señalar que las competencias están orientadas al quehacer del fisioterapeuta en todos los niveles y habilidades de la práctica del deporte, es decir, aplica para el quehacer profesional en niveles competitivos o recreativos y/o desde la práctica del ejercicio y la actividad física moderada.

Figura 17. Esquemas de las competencias del Fisioterapeuta Deportivo



Fuente: Tomado y adaptado de Bulley y Donaghy (16) y Calero PA(25)

Estándares de la Fisioterapia Deportiva

Como se mencionó las competencias describen comportamientos que integran conocimientos y actitudes específicos, en cambio, los estándares indican el nivel en el que estas competencias deben demostrarse, es así, que los estándares complementan la descripción de cada una de las competencias de la fisioterapia deportiva describiendo las habilidades y los comportamientos específicos que indican el nivel mínimo de cada competencia del fisioterapeuta del deporte en un contexto definido (24). En consonancia, los estándares se describen como componentes de un proceso (el cual es ilustrado en la figura 3) donde el conocimiento fundamental está sujeto a la evaluación y crítica del profesional, el cual sintetiza este conocimiento y selecciona la información adecuada. Los hallazgos se integran con conocimientos específicos a través del razonamiento clínico. Como resultado, se selecciona, implementa, evalúa y modifica la intervención apropiada basada en la evidencia según sea necesario, entonces, los estándares están contruidos y estructurados para reflejar este proceso en relación con cada una de las once competencias.

Figura 18. Estructura de los Estándares de la Fisioterapia del Deporte



Fuente: Tomado de Bulley y Donaghy (24) Imagen mejorada digitalmente utilizando [NotebookLM].

A continuación, se presentan los estándares para las competencias que describen al Gestor del paciente/cliente, líder profesional, innovador, Innovación/líder profesional, innovador/asesor y **líder profesional /asesor (24)**, tanto las competencias como los estándares incorporan flexibilidad para la variación internacional. Se proporciona un espacio dentro de cada competencia y sus estándares relacionados para permitir cualquier declaración relevante respecto a interpretaciones nacionales específicas.

Rol del Gestor Paciente / Cliente

Los fisioterapeutas deportivos están implicados en el manejo diario de clientes y/o pacientes involucrando cuatro competencias específicas, las dos primeras son la prevención de lesiones y la intervención aguda de lesión, la tercera aborda el período entre una lesión relacionada con el deporte y el regreso seguro a la función, la participación y el rendimiento óptimo en la actividad física, el ejercicio y el deporte. Finalmente, está la competencia desde la mejora del rendimiento que describe la contribución de un fisioterapeuta deportivo al equipo multidisciplinario en relación con la mejora de las condiciones para la potencialización del rendimiento físico-deportivo del atleta así, desde:

1. *Prevención de lesiones*, esta competencia se fundamenta en el reconocimiento de factores de riesgo para lesiones en el contexto del deporte específico para ello, desde una perspectiva multidisciplinar llevan a cabo acciones como: evaluación de capacidades y rendimiento físico y psicológico, reconocimiento de factores de riesgo intrínsecos y extrínsecos incluidos los biomecánicos y fisiopatológicos. Esta competencia favorece una mayor eficiencia en el movimiento, desde la intervención promueve el acondicionamiento físico, el uso de vendajes y de modalidades térmicas y a partir de la evaluación y modificación se busca reconocer la efectividad de la intervención con la disminución de lesiones y la realimentación de la intervención considerando los resultados de la evaluación.
2. *Intervención aguda*, desde esta competencia en caso de lesión, el fisioterapeuta debe establecer conductas comenzando con el reconocimiento de signos y síntomas sumado a establecer el diagnóstico y gravedad de la lesión como base de la intervención, este, debe predecir los efectos de la lesión aguda y las mejores prácticas, para lo cual emplea la intervención basada en la evidencia. Entonces, la intervención está en la capacidad de iniciar soporte vital, competencia en primeros auxilios y respuesta deportiva de emergencia, para, por último, realizar seguimiento a la condición del atleta comenzando con la evaluación y la modificación.

3. **Rehabilitación**, esta competencia se fundamenta en el análisis de la lesión y procesos subyacentes según características del deporte específico para reconocer los procesos físicos, psicológicos y las influencias sociales de los diferentes contextos deportivos. Para ello, diseña e implementa programas de rehabilitación individual, sumado a reconocer el progreso y el momento oportuno para volver a la práctica deportiva, soportados en técnicas y protocolos de evaluación relacionados con el rendimiento. A partir de la intervención, se puede derivar a otros profesionales, reconocer métodos para el afrontamiento del dolor y entrenamiento para mantener la condición física y funcional. En complemento, hay que considerar pruebas clínicas y de rendimiento según la etapa de la rehabilitación.
4. **Mejora del rendimiento**: en esta competencia se busca mejorar el rendimiento del atleta, teniendo en cuenta la evaluación del rendimiento físico y deportivo. Para esto, se diseñan estrategias para maximizar este y minimizar el riesgo de lesiones.

Todas estas competencias involucran la práctica basada en la evidencia, el análisis crítico y la síntesis de nueva información que conllevan a juicios respecto a la aplicación adecuada de la evidencia en la práctica.

Rol de Asesor

El rol del fisioterapeuta deportivo como asesor está vinculado con su rol como gestor del Paciente / Cliente y se relaciona con la provisión de orientación, consejo y estímulo profesional. Esto puede ocurrir en interacciones directas con los pacientes, o puede usarse para educar e influir en las prácticas o el desarrollo de políticas a nivel organizacional, nacional e incluso internacional. La siguiente competencia ha sido diseñada para describir los requisitos de un fisioterapeuta deportivo en su función de asesor:

1. **Promoción de un estilo de vida activo y seguro**, que busca la seguridad en la realización de las diferentes actividades y deportes; para ello promueve la actividad en la vida diaria con progresión según el contexto y los grupos específicos donde se ubican los individuos. Así, el fisioterapeuta debe tener la capacidad para reconocer las conductas de ejercicio, la epidemiología relacionada a la actividad física, reconocer beneficios y necesidades según individuos e identificar contraindicaciones.

Rol de Líder Profesional

En su rol de Líderes Profesionales, los fisioterapeutas deportivos son responsables de promover la excelencia dentro de su profesión, además, de moldear su

propio desarrollo como profesionales autónomos y potencializar la calidad de sus servicios, también están en condiciones de influir en las actitudes de los deportistas, el equipo multidisciplinario y otros fisioterapeutas deportivos en relación con las interacciones éticas y óptimas. Las competencias de este rol describen: a) Aprendizaje permanente: en esta competencia es importante la continuidad desde procesos críticos, reflexivos y fundamentados en la evidencia desde la autonomía y la multidisciplinariedad y b) Profesionalismo y gestión: esta se focaliza en la gestión de diversos recursos desde el profesionalismo y la ética en diferentes contextos, además incluye procedimientos de evaluación de riesgos y las normas de salud y seguridad.

Rol de Innovador

El fisioterapeuta deportivo es responsable de lograr mayor experticia en su práctica profesional, por tanto, la innovación continua en la búsqueda de una práctica basada en la evidencia y el desarrollo de la Fisioterapia deportiva es indispensable en la profesión. El fisioterapeuta deportivo ejerce su profesión a nivel de posgrado, por tanto, debe tener la capacidad obtener y revisar críticamente los hallazgos de la investigación y, posteriormente, utilizar nuevos conocimientos para modificar su práctica profesional. Los fisioterapeutas deportivos deben involucrarse en procesos de investigación, ya sea de manera individual o en colaboración, en esta competencia, se trabaja sobre la evidencia científica desde el reconocimiento de vacíos y la resolución de estos, desde el entrenamiento y epidemiología del riesgo de lesiones, para ello se focaliza en la investigación.

Rol de Innovador / Líder Profesional

El fisioterapeuta deportivo participa en actividades que tienen como objetivo difundir nueva información relacionada con las mejores prácticas y formas innovadoras de trabajar. Esto requiere una actitud dinámica hacia la promoción y el desarrollo de la fisioterapia deportiva desde nuevos conocimientos e innovaciones, el estándar a partir del cual se lleva a cabo es la difusión de las mejores prácticas.

Rol de Innovador / Asesor

El fisioterapeuta deportivo asesora a los deportistas, a otros profesionales y al público en general, en una variedad de contextos. Son los responsables de integrar los nuevos conocimientos relacionados con la fisioterapia deportiva, asegurando así una práctica basada en la evidencia y la difusión de las mejores prácticas a través de la innovación, el estándar a partir del cual se lleva a cabo es la difusión de las mejores prácticas.

Rol de Profesional Líder / Asesor

El fisioterapeuta deportivo influye en diferentes procesos mediante los cuales se desarrollan pautas, políticas y normativas en el ámbito del deporte y la actividad física. Comunican nuevas regulaciones y pautas a sus colegas, otros profesionales y atletas, utilizando su influencia para fomentar la adherencia al Código de conducta internacional de Fisioterapia deportiva sobre el dopaje. En esta se promueve el juego limpio y las prácticas antidopaje.

Continuando, la Fisioterapia deportiva en Colombia desde la formación y retomando a la Escuela Colombiana de Rehabilitación (ECR), es considerada una especialidad que *“previene y trata lesiones, enfermedades y trastornos a través de métodos físicos, en donde cada uno de los tratamientos tienen por objetivo mantener o devolver el mayor grado de movilidad física y la independencia que pudieron haber perdido las personas”* que tiene por objeto tratar las lesiones resultado de la actividad física o la práctica deportiva desde: menores tiempos de recuperación, adaptación corporal al entrenamiento, disminución de factores de riesgo, evaluación de la situación y prevención de lesiones (26). Asimismo, la Corporación Universitaria Iberoamericana, destaca las siguientes funciones: evaluación y tratamiento de lesiones, diseño de programas de rehabilitación e implementación de técnicas (27).

Desde la Escuela Nacional del Deporte, la Fisioterapia se plantea la recuperación y la readaptación funcional, resaltando la importancia de la optimización deportiva desde la prevención y recuperación (28) en esta línea, la Fundación Universitaria María Cano reconoce la Fisioterapia del deporte desde el *“desarrollo de competencias que permitan la solución de problemas o el análisis de situaciones particulares relacionados con la práctica deportiva”*(29), a nivel internacional se resalta la importancia de esta especialidad para el desempeño profesional y su remuneración (30).

Estos intereses desde los programas de especialización no desconocen la formación desde el pregrado en ejercicio y actividad física del fisioterapeuta, lo cual está en correspondencia con lo expuesto por la World Physiotherapy, que considera que los fisioterapeutas al ser expertos en el movimiento y el ejercicio con conocimientos necesarios para gestionar lo referente al ejercicio y la actividad física, donde estos *“promueven el bienestar y la forma física y son factores importantes que contribuyen a la prevención y el tratamiento de enfermedades crónicas. Son intervenciones poderosas para la mejora de la fuerza, la potencia, la resistencia, la flexibilidad, el equilibrio, la relajación, el bienestar mental y la corrección de la fisiopatología, el dolor, las deficiencias, las limitaciones de la*

actividad y las restricciones de la participación. Los fisioterapeutas desempeñan un papel vital en la orientación y la progresión de una actividad física y un ejercicio seguros y eficaces para las personas con enfermedades de larga duración, comorbilidades y aquellas que empiezan a aumentar sus niveles de actividad física y ejercicio” (31).

Consideraciones Éticas

La ética es definida como el conjunto de conceptos, costumbres, principios y leyes que determinan la obligación moral que tienen las personas de un comportamiento adecuado frente a una comunidad. Por lo anterior, surge la necesidad de proteger aquellas personas que se encuentran en una posición relativamente vulnerable, como un paciente o cliente en un entorno de atención médica, así, al igual que otros profesionales, el fisioterapeuta deportivo debe considerarse un profesional integro, por tanto, se encuentra en la obligación ética de tener una conducta profesional inescrutable (32,33).

Lamentablemente, los conflictos éticos no siempre presentan una clara y objetiva solución; por lo tanto, existen órganos rectores que han codificado principios de conducta con el fin de solucionar dilemas éticos y promover un comportamiento profesional apropiado. El Código de Ética de la Asociación Británica de Rehabilitadores y Entrenadores Deportivos (34), propone entre otras el reconocimiento de la legislación, de planes ilegales de intervención, la confidencialidad, que son ejemplo de lo anterior.

En el área de la salud, el campo de la ética establece estándares apropiados y aceptables para proteger al público de los daños ocasionados por profesionales sin escrúpulos o incompetentes y los efectos nocivos de intervenciones diagnósticas o terapéuticas injustificadas o peligrosas. El respeto por la dignidad de los seres humanos es lo más importante y la práctica de la salud debe adaptarse a este alto estándar. Sin embargo, en el deporte hay situaciones específicas donde el actuar ético debe prevalecer aun por encima de las decisiones propias del paciente o usuario, algunas de estas son:

- Decisiones sobre el regreso a la actividad deportiva con una lesión persistente.
- Participación de los niños, especialmente en deportes de alto riesgo
- Intercambio de información médica confidencial de los deportistas entre profesionales o entre profesionales y representantes públicos, como la prensa.
- Ayudas ergogénicas, como esteroides anabólicos u otras “Dopaje”.

De todo lo anterior, tratar la información médica de un atleta con confidencialidad probablemente sea lo más difícil y es la más frecuentemente comprometida Salkeld (33), establece varios desafíos y situaciones en el deporte que pueden llegar a crear dilemas éticos, algunos de estos son la proximidad de un jugador lesionado a otros jugadores y/o entrenadores cuando es examinado, la visibilidad pública de una lesión, los intereses del club deportivo y el deseo del entrenador. Además, existen desafíos éticos contemporáneos para los profesionales del área del deporte que incluyen el consentimiento informado para la atención, el manejo inadecuado de la prescripción de medicamentos o suplementos nutricionales y el uso de tecnologías innovadoras o emergentes (32).

La forma más adecuada para que el profesional en fisioterapia deportiva maneje situaciones éticas potencialmente difíciles es llevar a cabalidad y diligentemente un código ético preferiblemente aprobado a nivel nacional mediante el cual se puede llegar a decidir cómo se manejarán los dilemas éticos individuales. Las consecuencias de las infracciones son graves y han dado lugar a la revocación de licencias, registros y certificaciones profesionales poniendo fin a las carreras de diferentes fisioterapeutas.

A propósito de lo anterior las organizaciones gremiales que rigen la Fisioterapia en Colombia: Colegio Colombiano de Fisioterapeutas-COLFI, Asociación Colombiana de Fisioterapia-ASCOFI, Asociación Colombiana de Facultades de Fisioterapia-ASCOFAFI y la Asociación Colombiana de Estudiantes de Fisioterapia-ACEFIT, radicaron el 22 de julio de 2021 ante el senado colombiano el proyecto de ley: Código de Ética para el Ejercicio de la Fisioterapia en Colombia, el cual define un marco regulatorio claro, suficiente y armónico del ejercicio ético de la profesión de Fisioterapia en el que se destaca la creación de los tribunales de ética y la implementación de un procedimiento ético disciplinario, este proyecto de Ley fue presentado en el Senado de la República en abril de 2025 (35).

Por último, Phillips (36, 37) refuerza que desde la fisioterapia se debe tener presente la medición de las intervenciones realizadas, ya sea desde la prevención o la recuperación de lesiones, y el trabajo en el rendimiento, siempre basado en la evidencia. Sin embargo, retomando a Muñoz Luna et al (38), se reconoce el énfasis del rol del fisioterapeuta en la rehabilitación de lesiones y acompañamiento a los entrenamientos y las competencias, otro elemento importante es el desconocimiento por parte de estos, de los modelos teóricos y evidencia científica del área.

Con relación a este último punto, se invita a una reflexión considerando que la fisioterapia tiene como objeto de análisis el MCH y retomando a Mantilla, es determinante el estudio de la relación del cuerpo humano con el ejercicio físico así “la Fisioterapia se ha convertido en una de las áreas de estudio en ciencias de la salud que garantiza la adaptación y recuperación del movimiento corporal humano en el área deportiva” (39) para ello realiza actividades como: planificación de procesos de rehabilitación deportiva, programas de prevención de lesiones, recuperación funcional del deportista y rehabilitación funcional en el deporte. Esto lo ratifica Luna (40), reconociendo como retos de la Fisioterapia deportiva la actualización de la formación, ya sea continua o posgradual, estar contra el intrusismo profesional y mejorar la interdisciplinarietà sin desconocer competencias y perfiles.

Actualización 2025 de las Competencias Internacionales del Fisioterapeuta Deportivo: el Proyecto SportsComp

Las once competencias descritas por Bulley y Donaghy y adoptadas en la Asamblea General de la IFSPT en 2004 rigieron durante dos décadas la formación y el ejercicio profesional del fisioterapeuta deportivo a nivel internacional (16,24). Sin embargo, el panorama del deporte, la práctica clínica y la educación superior en Ciencias de la Salud se ha transformado sustancialmente desde 2005, lo que llevó a la International Sports and Exercise Physiotherapy Association (ISEPA), antes IFSPT, a plantear la necesidad de revisar y actualizar dicho marco de competencias (41,42).

Esta actualización se materializó a través del proyecto SportsComp (Higher Education to Improve Competency in Sports Physiotherapy), una alianza cooperativa financiada con 400 000 euros del programa Erasmus+ de la Comisión Europea, implementada entre septiembre de 2023 y agosto de 2026. El consorcio estuvo integrado por la ISEPA y cuatro universidades europeas: JAMK University of Applied Sciences (Finlandia), Vrije Universiteit Brussel (Bélgica), University of Thessaly (Grecia) y University of Tartu (Estonia), y se organizó en cinco paquetes de trabajo, entre los que destaca el Paquete de Trabajo 2 (WP2), responsable directo de la actualización de las competencias y los estándares (43,44).

Metodología de actualización: un proceso de tres fases

La actualización siguió un proceso riguroso de tres fases consecutivas. En la Fase 1 se desarrolló un estudio Delphi de tres rondas en el que participaron 143 fisioterapeutas deportivos de 38 países —frente a los 11 países consultados en el proceso original de 2005—, lo que amplió de manera considerable la

representatividad internacional del consenso (45,46). La Fase 2 correspondió a un estudio cualitativo con 26 participantes, distribuido en tres grupos focales internacionales (deportistas, personal de apoyo al deportista y directivos de organizaciones deportivas) y ocho entrevistas semiestructuradas a líderes de organizaciones deportivas internacionales y comisiones médicas. Finalmente, en la Fase 3 se realizó una reunión de consenso presencial en Bruselas (Bélgica), con la participación de doce fisioterapeutas expertos, investigadores y académicos de distintos países, quienes integraron los hallazgos de las fases previas para definir el conjunto final de competencias (41).

Figura 19. Fases del proyecto SportsComp para la actualización de las Competencias Internacionales de Fisioterapia Deportiva



Fuente: adaptado de Constantinou et al. (41) Imagen mejorada digitalmente utilizando [NotebookLM].

Hallazgos Principales

Los resultados de la Fase 1 confirmaron la vigencia de los pilares conceptuales de 2005: la colaboración interdisciplinaria, el abordaje centrado en el deportista, la práctica basada en la evidencia, la evaluación integral y el aprendizaje continuo (41). No obstante, la Fase 2 permitió identificar temas emergentes que no estaban explícitos en el marco original: la importancia de que el fisioterapeuta deportivo pueda diagnosticar lesiones y realizar exámenes clínicos, particularmente cuando no hay un médico presente; la comprensión profunda del proceso de retorno al juego (return-to-play) y el trabajo articulado con equipos multidisciplinares; y la relevancia de habilidades blandas como la

comunicación efectiva, la competencia cultural y cualidades personales como la empatía, la adaptabilidad y el liderazgo.

Las Competencias Internacionales de Fisioterapia Deportiva 2025

El resultado final mantuvo el número de once competencias, con modificaciones menores en las Competencias 1 a 10 y un cambio significativo en la Competencia 11 (41). La Tabla 13 resume la comparación entre la versión de 2005 y la actualización de 2025.

Tabla 13. Comparación entre las Competencias Internacionales de Fisioterapia Deportiva 2005 y 2025

Nº	Competencia 2005	Competencia 2025	Principal cambio
1	Prevención de lesiones	Prevención de lesiones	Sin cambios en la denominación; ediciones menores en comportamientos y estándares
2	Intervención aguda	Intervención aguda	Se enfatiza la toma de decisiones rápida, el reconocimiento de límites profesionales y la confidencialidad en la atención de campo
3	Rehabilitación	Rehabilitación	Se refuerza la atención centrada en el deportista y la colaboración interdisciplinaria
4	Mejora del rendimiento	Mejora del rendimiento	Se resalta el reconocimiento de los límites profesionales propios
5	Promoción de un estilo de vida activo y seguro	Promoción de un estilo de vida activo y seguro	Se añade una definición explícita de “deportista” y el rol en salud pública frente al sedentarismo
6	Aprendizaje permanente	Aprendizaje permanente y práctica	Cambio de nombre para enfatizar la actualización continua del conocimiento y las habilidades clínicas
7	Profesionalismo y gestión	Profesionalismo y gestión	Se ajusta el nivel exigido: gestión y reporte básicos, no el diseño íntegro de planes de negocio
8	Investigación (participación en investigación)	Investigación	Se elimina el término “participación” para dar flexibilidad: diseñar, participar, interpretar o aplicar evidencia son formas válidas de cumplirla
9	Difusión de las mejores prácticas	Difusión de las mejores prácticas	Sin cambios mayores
10	Extensión de la práctica mediante la innovación	Extensión de la práctica mediante la innovación	Se incorpora explícitamente el uso creciente de tecnologías digitales en salud
11	Promoción del juego limpio y las prácticas antidopaje	Práctica ética, legal y cultural	Cambio más significativo: se amplía a diversidad, inclusión y competencia cultural, conservando los estándares de juego limpio y antidopaje

Fuente: elaboración propia, adaptado de Constantinou et al. (41)

El cambio más relevante corresponde a la Competencia 11, que pasó de denominarse “Promoción del juego limpio y las prácticas antidopaje” a “Práctica ética, legal y cultural”, con una descripción ampliada: los fisioterapeutas deportivos participan y promueven prácticas deportivas profesionales, éticas y legales, comprometidos con el juego limpio y su deber de cuidado hacia el deportista, respetando todas las culturas (41). Los comportamientos y estándares de esta competencia incorporaron los principios de diversidad, inclusión y competencia cultural identificados durante el proceso, sin renunciar a los estándares de juego limpio y antidopaje ya existentes. La Competencia 6 sumó a su nombre el componente de “práctica” para enfatizar la actualización continua de las habilidades clínicas, y la Competencia 8 eliminó el término “participación” de su título, reconociendo que el compromiso del fisioterapeuta deportivo con la investigación puede expresarse de formas diversas: diseñar o conducir estudios, participar en un club de revista, o interpretar y aplicar hallazgos de investigación en la práctica basada en la evidencia (41).

Figura 20. Reunión de consenso de expertos del proyecto SportsComp

Fisioterapia Deportiva 2025: Nuevos Estándares Globales



Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [NotebooLM].

Como parte del Paquete de Trabajo 3 del proyecto, se diseñaron tres cursos e-learning de nivel EQF7 (Marco Europeo de Cualificaciones, equivalente a nivel de maestría), cada uno con una carga de 5 créditos ECTS: “Inclusión y diversidad en el deporte” (basado en la Competencia 11), “Toma de decisiones en prevención de lesiones y retorno al deporte” (Competencias 1,

3 y 4) y “De la investigación a la innovación en la práctica de la fisioterapia deportiva” (Competencias 3, 4, 8 y 10). Dos de estos cursos fueron pilotados entre septiembre y diciembre de 2025 con retroalimentación positiva de participantes y tutores, y se encuentran disponibles a través de la ISEPA y las instituciones del consorcio (41).

Para el contexto colombiano, esta actualización reafirma —desde una perspectiva internacional y con evidencia de 38 países— los planteamientos ya expuestos en este capítulo sobre la importancia de la formación posgradual, el trabajo interdisciplinario y el ejercicio ético del fisioterapeuta deportivo. La incorporación explícita de la competencia cultural y la inclusión en la Competencia 11 resulta particularmente pertinente en un país con amplia diversidad étnica y regional, y constituye un referente actualizado para orientar los procesos de formación posgradual y el reconocimiento profesional del fisioterapeuta deportivo en Colombia.

Conclusiones

En conclusión, el fisioterapeuta deportivo debe reconocer la importancia vital de la formación posgradual para consolidar su identidad profesional y ejercer con el nivel de especialización que requiere esta disciplina. La fisioterapia deportiva no se limita a la aplicación básica de técnicas, sino que exige un profundo conocimiento teórico y práctico, basado en evidencia científica actualizada, que solo se adquiere mediante estudios avanzados y especialización continua. Esta formación posgradual capacita al profesional para desarrollar competencias clave que incluyen la prevención de lesiones mediante la evaluación de factores de riesgo, la intervención aguda en situaciones traumáticas deportivas, la rehabilitación personalizada que considera aspectos físicos, psicológicos y sociales del atleta, así como la mejora del rendimiento a través de estrategias específicas para optimizar las capacidades físicas y disminuir riesgos.

Además, estos profesionales asumen roles como innovadores, capaces de integrar y difundir nuevos conocimientos basados en la evidencia para la mejora constante de la práctica; líderes que influyen en la creación y aplicación de pautas, políticas y normativas en el ámbito deportivo, promoviendo también el cumplimiento de códigos éticos y antidopaje; y asesores que orientan a deportistas y equipos multidisciplinarios en la adopción de mejores prácticas. En el contexto colombiano, las organizaciones gremiales como el Colegio Colombiano de Fisioterapeutas (COLFI), la Asociación Colombiana de Fisioterapia (ASCOFI), la Asociación Colombiana de Facultades de Fisioterapia

(ASCOFAFI) y la Asociación Colombiana de Estudiantes de Fisioterapia (ACEFIT) han promovido la consolidación de un marco regulatorio claro para el ejercicio ético de la fisioterapia deportiva. En particular, el proyecto de ley presentado en el senado colombiano establece un Código de Ética que incorpora tribunales especializados y procedimientos disciplinarios, reforzando así la responsabilidad profesional y protegiendo a los pacientes y usuarios.

Esta regulación es fundamental para garantizar que el ejercicio de la fisioterapia deportiva se desarrolle bajo principios éticos estrictos, protegiendo la confidencialidad médica, evitando el dopaje y manejando adecuadamente el consentimiento informado, aspectos que representan desafíos contemporáneos en la práctica. De esta manera, la formación posgradual junto con un marco ético y normativo robusto no solo asegura la calidad y seguridad en la atención, sino que legitima y fortalece el reconocimiento profesional de aquellos que se especializan en fisioterapia deportiva, siendo indispensables para afrontar las exigencias de un campo complejo y en constante evolución.

Referencias

1. Cobo Mejía EA. Repensando los periodos de la fisioterapia en Colombia. *Rev Salud, Hist Y Sanid.* 2013 Feb 15;6(1). Disponible en: <https://agenf.org/ojs/index.php/shs/article/view/92>
2. Congreso de la República de Colombia. Ley 528 de 1999. Por la cual se reglamenta el ejercicio de la profesión de fisioterapia, se dictan normas en materia de ética profesional y otras disposiciones. p. 1-11. Disponible en: https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-105013_archivo_pdf.pdf
3. Neira Tolosa, N. A., Campos, A., Moreno Collazos, J. E., Mena Bejarano, B., & Quiceno Noguera, C. Lineamientos de política pública en ciencias del deporte en fisioterapia. Bogotá: COLDEPORTES. 2015. p. 35-121
4. World Confederation for Physical Therapy (WCPT). Guidelines for physical therapist for professional entry level education. 2007.
5. World Physiotherapy. Descripción de la Fisioterapia. Declaración de política. London, UK. 2023. Disponible en: <https://world.physio/sites/default/files/2024-06/PS2023-Description-es.pdf>
6. Carr J. Reflections on physiotherapy and the emerging science of movement rehabilitation. *Aust J Physiother.* 1994;40:39-47. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0004-9514\(14\)60622-X](https://doi.org/10.1016/S0004-9514(14)60622-X)

7. American Physical Therapy Association (APTA). Guide to Physical Therapist Practice 3.0. 2014.
8. American Physical Therapy Association (APTA). Guide to Physical Therapist Practice 4.0. 2020.
9. Canadian Physiotherapy Association (CPA). Essential competency profile for physiotherapists in canada. 2004.
10. World Confederation for Physical Therapy (WCPT). Declarations of positions and statements. 2007.
11. Colfi, Ascofi, Ascofafi, Acefit. Perfil profesional y competencias del fisioterapeuta en Colombia. 2015. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/bibliotecadigital/RIDE/VS/TH/Perfil-profesional-competencias-Fisioterapeuta-Colombia.pdf>
12. Gómez, E. P. M., Silva, V. A., & David, J. A. F. Perfil profesional y ocupacional de los fisioterapeutas en Colombia. CES Movimiento y salud. 2015. 3(1), 35-43. Disponible en: <https://revistas.ces.edu.co/index.php/movimientosalud/article/view/3463>
13. Sarmiento M, Cruz I, Molina V, Martinez A. Fisioterapia en Colombia historia y perspectiva. Rev Asoc Colomb Fisioter. 1993;7-10.
14. Martín Urrialde, J. A. La fisioterapia deportiva en Europa. VII Jornadas Nacionales de Fisioterapia en el Deporte. 1999. Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/10898/CC%2051%20art%201.pdf>
15. López, L. E. G., Serrano, A. M., Montenegro, L. M. M., & Granados, J. O. Análisis documental de las competencias profesionales del fisioterapeuta deportivo. Revista Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación. 2017. 27(1), 16-24. DOI: <https://doi.org/10.28957/rcmfr.v27n1a1>
16. Bulley C, Donaghy M. Sports physiotherapy competencies: The first step towards a common platform for specialist professional recognition. Phys Ther Sport. 2005;6(2):103-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pts.2005.02.002>
17. Olmo Navas, J. (2000). La rehabilitación en el deporte. Arbor. 2000. 165(650), 227-248. DOI: <https://doi.org/10.3989/arbor.2000.i650.967>
18. Nicholls DA, Gibson BE. The body and physiotherapy. Physiother Theory Pract. 2010.26(8):497-509. DOI: <https://doi.org/10.3109/09593981003710316>

19. Cott CA, Finch E, Gasner D, Yoshida K, Thomas SG, Verrier MC (Molly). The movement continuum theory of physical therapy. *Physiother Canada*. 1995;47(2):87-95.
20. Jorgensen P. Concepts of body and health in physiotherapy: The meaning of the social/cultural aspects of life. *Physiother Theory Pract*. 2000 Jan 10;16(2):105-15. DOI: <https://doi.org/10.1080/095939800407295>
21. Pinzón I. Rol del Fisioterapeuta en la prescripción del ejercicio. *Arch Med*. 2014;14(1):129-143.
22. Ocampo M, Sánchez M d, Ramos D, Bonilla J, Maldonado M, Escalante J. Reflexiones del desempeño profesional del fisioterapeuta en el campo de la actividad física. *Rev Ciencias la Salud*. 2012;10(2):243-252. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-72732012000200006&script=sci_arttext
23. Martín Urrialde, J A Fisioterapia en la actividad física: Una nueva apuesta de la AEF. *Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología*. 2008 Jan 1;11(1):1-2.
24. Bulley C, Donaghy M. Sports physiotherapy standards: A minimum threshold of performance. *Phys Ther Sport*. 2005;6(4):201-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2005.07.003>
25. Calero-Saa P. Modelos teóricos en fisioterapia deportiva y actividad física. In: Universidad Santiago de Cali, editor. *Modelos teóricos para fisioterapia*. 2020. p. 77-113.
26. Escuela Colombiana de Rehabilitación (ECR). ¿Qué es y para qué sirve la Fisioterapia deportiva? Septiembre de 2022. Disponible en: <https://ecr.edu.co/fisioterapia-deportiva/>
27. Corporación Universitaria Iberoamericana. Fisioterapia deportiva: cómo mejorar el rendimiento y prevenir lesiones. Enero de 2025. Disponible en: <https://www.iberu.edu.co/blog/articulos/fisioterapia-deportiva-mejora-tu-rendimiento-y-preven-lesiones-ibero>
28. Escuela Nacional del Deporte. Especialización en Fisioterapia del Deporte. Disponible en: <https://endeporte.edu.co/publicaciones/2537/especializacion-en-fisioterapia-del-deporte/>
29. Fundación Universitaria María Cano. Especialización en Fisioterapia del Deporte. Disponible en: <https://www.fumc.edu.co/especializacion-en-fisioterapia-del-deporte/>

30. Universidad Alfonso X El Sabio. ¿Qué hay que estudiar para ser fisioterapeuta deportivo? Disponible en: <https://www.uax.com/blog/salud/estudiar-ser-fisioterapeuta-deportivo>
31. World Physiotherapy. Policy statement: Physiotherapists as exercise and physical activity experts across the life span. London, UK: World Physiotherapy; 2023. Disponible en: <https://world.physio/policy/ps-exercise-experts>
32. Dunn, WR, George, M S., Churchill, L., & Spindler, K. P. Ethics in sports medicine. The American journal of sports medicine. 2007. 35(5), 840-844. DOI: <https://doi.org/10.1177/0363546506295177>
33. Salkeld, L. R. Ethics and the pitchside physician. Journal of medical ethics. 2008. 34(6), 456-457. DOI: <https://doi.org/10.1136/jme.2007.021840>
34. The British Association of Sport Rehabilitators and Trainers. The British Association of Sport Rehabilitators and Trainers Role Delineation of the Sport Rehabilitator [Internet]. BASRaT. 2016. Disponible en: www.basrat.org
35. Colegio Colombiano de Fisioterapeutas-COLFI. Texto aprobado en primer debate por la comisión sexta del Senado de la República, en sesión realizada el día 16 de noviembre de 2021, del Proyecto de Ley no. 052 de 2021 Senado. Disponible en: <https://www.colfi.co/proyecto-de-ley-para-reglamentar-el-codigo-del-ejercicio-profesional-de-fisioterapia-en-colombia/>
36. Phillips, N. Measuring physiotherapy intervention in high performance sport. Physical therapy in sport: official journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine; 2013. 15(1), 1-2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2013.08.006>
37. Phillips, N. Postgraduate specialisation in sports physiotherapy-Academic or clinical expertise? Physical Therapy in Sport; 2009. 10(3), 83. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ptsp.2009.05.003>
38. Muñoz Luna, J. A., Álvarez Pantoja, S. J. & Portilla Matacea, Y. L. Caracterización del perfil profesional y rol del fisioterapeuta del área deportiva en Cauca y Nariño. Movimiento Científico. 2021. 15 (2),13-23. Disponible en:<https://revmovimientocientifico.iberu.edu.co/article/view/2331>
39. Mantilla, J. I. A. Fisioterapia y su rol en el alto rendimiento: una revisión sistemática de la literatura. Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad física y el deporte. 2018. 7(1), 1-12. DOI: <https://doi.org/10.24310/riccafd.2018.v7i1.4853>

40. Luna, J. A. M. (2024). Fisioterapia deportiva: historia, competencias, actualidad y retos. *Boletín Informativo CEI*. 2024. 11(2), 66-69. Disponible en: <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/BoletinInformativoCEI/article/view/4261/4351>
41. Constantinou M, Ramponi C, Tassignon B, Dick E, Lathouwers E, Arend M, et al. The International Sports Physiotherapy Competencies and Standards 2025: The SportsComp Project on Higher Education to Improve Competency in Sports Physiotherapy. *Int J Sports Phys Ther*. 2026;21(5):575–581. DOI: <https://doi.org/10.26603/001c.159762>
42. Verschueren J, Constantinou M. Do the International Competencies of the sports physical therapist need updating? *Int J Sports Phys Ther*. 2023;18(6):1257–1260. DOI: <https://doi.org/10.26603/001c.89666>
43. Tassignon B, Ramponi C, Hirvonen A, Arend M, Kapreli E, Verschueren J. The SportsComp Erasmus+ project. An initial WP2 protocol overview: The international and multidisciplinary delphi and qualitative study. *Int J Sports Phys Ther*. 2024;19(5):510–512. DOI: <https://doi.org/10.26603/001c.116582>
44. Ramponi C, Hirvonen A, Arend M, Kapreli E, Verschueren J. The SportsComp Erasmus+ Project: Higher education to improve competency in sports physiotherapy. *Int J Sports Phys Ther*. 2024;19(2). DOI: <https://doi.org/10.26603/001c.92319>
45. Mendonça LDM, Dick E, Tassignon B, Ramponi C, Arend M, Kapreli E, et al. Sports Physical Therapy Competencies update: Study protocol for an international consensus statement. *J Orthop Sports Phys Ther Meth*. 2025;1(3):90–95. DOI: <https://doi.org/10.2519/josptmethods.2025.0008>
46. Tassignon B, Dick E, Verschueren J, Ramponi C, Arend M, Kapreli E, et al. Updating the 300 standards of the International Sports Physiotherapy Competencies and Standards from 11 countries in 2005 to 38 countries in 2025: An international delphi study. *Phys Ther Sport*. 2026;77:62–69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2025.12.001>

CAPÍTULO 6

El Músculo: un Tejido Especializado en Generar Movimiento

Muscle: A Specialized Tissue for Generating Movement

Pedro Antonio Calero Saa

Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte

© <https://orcid.org/0000-0002-9978-7944>

✉ pcalero22@gmail.com

Resumen

El documento “El músculo: un tejido especializado en generar movimiento” se centra en la contextualización del músculo esquelético, destacando sus características fundamentales y las principales patologías asociadas. El objetivo es proporcionar una comprensión integral del tejido muscular, su función en el movimiento y las lesiones que pueden afectar su rendimiento.

La metodología empleada para este capítulo incluyó una revisión exhaustiva de la literatura científica, que abarca desde los aspectos anatómicos y fisiológicos del músculo esquelético hasta las patologías más comunes que lo afectan, como desgarros y distensiones. Se analizan las características del tejido muscular, como su estructura, capacidad de contracción y su interconexión con el sistema esquelético, lo que permite una locomoción eficiente.

El capítulo culmina con una recopilación de las clasificaciones de lesiones musculares, comenzando con el sistema propuesto por O’Donoghue en 1962, que sentó las bases para la evaluación de la gravedad de las lesiones. A lo largo de los años, se han desarrollado diversas clasificaciones, incluyendo las propuestas por Takebayashi, Peetrans, y más recientemente, el sistema del FC

Cita este capítulo / Cite this chapter

Calero Saa PA. El Músculo: un Tejido Especializado en Generar Movimiento. En: Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria*. Tomo I: fundamentos de la salud física y la actividad deportiva. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 175-256. <https://doi.org/10.35985/9786287914155.6>

Barcelona-Aspetar-Duke en 2015. Estas clasificaciones reflejan la evolución del conocimiento sobre las lesiones musculares y su diagnóstico, incorporando avances tecnológicos en imagenología.

En conclusión, el capítulo proporciona una visión completa del tejido muscular esquelético, sus patologías y la evolución de las clasificaciones de lesiones, subrayando la importancia de un enfoque basado en la evidencia para mejorar la prevención y el tratamiento de estas lesiones.

Palabras clave: Músculos, Músculo Estriado, Contracción Muscular, Fuerza Muscular.

Abstract

The document “Muscle: A Specialized Tissue for Generating Movement” focuses on the contextualization of skeletal muscle, highlighting its fundamental characteristics and the main associated pathologies. The objective is to provide a comprehensive understanding of muscle tissue, its role in movement, and the injuries that can affect its performance.

The methodology employed for this chapter includes a thorough review of the scientific literature, covering everything from the anatomical and physiological aspects of skeletal muscle to the most common pathologies affecting it, such as tears and strains. The characteristics of muscle tissue are analyzed, including its structure, contraction capacity, and its interconnection with the skeletal system, which allows for efficient locomotion.

The chapter culminates in a compilation of classifications of muscle injuries, starting with the system proposed by O’Donoghue in 1962, which laid the groundwork for assessing the severity of injuries. Over the years, various classifications have been developed, including those proposed by Takebayashi, Peetrons, and more recently, the FC Barcelona-Aspetar-Duke system in 2015. These classifications reflect the evolution of knowledge regarding muscle injuries and their diagnosis, incorporating technological advancements in imaging.

In conclusion, the chapter provides a comprehensive view of skeletal muscle tissue, its pathologies, and the evolution of injury classifications, emphasizing the importance of an evidence-based approach to improve the prevention and treatment of these injuries.

Keywords: Muscles, Muscle, Striated, Muscle Contraction, Muscle Strength.

Introducción

“Si confías solo en tus ojos,
tus otros sentidos se debilitan”

—Frank Helbert

El músculo es un tejido fundamental en el cuerpo humano, especializado en la generación de movimiento y en la realización de diversas funciones vitales. Su capacidad para contraerse y relajarse permite no solo la locomoción, sino también la realización de actividades cotidianas y expresiones faciales. Existen diferentes tipos de tejido muscular, cada uno con características y funciones específicas que se adaptan a las necesidades del organismo. Desde el músculo esquelético, que opera bajo control voluntario y se adhiere a los huesos, hasta el músculo liso y el músculo cardíaco, que funcionan de manera involuntaria, el sistema muscular es esencial para mantener la postura, facilitar el movimiento y contribuir a la homeostasis del cuerpo. Este documento explora la estructura, función y clasificación del tejido muscular, así como su papel crucial en la biomecánica del movimiento humano.

El Tejido Muscular

El movimiento del cuerpo humano, su locomoción, es un proceso que se da gracias a las propiedades que posee el tejido muscular. Es un tejido que contiene células musculares que son excitables, es decir, estas células responden a un estímulo; es un tejido contráctil, lo que quiere decir es que tiene la capacidad para acortarse y producir una fuerza de tensión. Cuando el músculo, por medio de un estímulo, produce tensión, esa fuerza de tensión es transmitida al hueso por medio del tendón, de esta manera, provoca que los segmentos óseos se acerquen, provocando un movimiento. Este ejemplo está dado en solo un segmento corporal, no obstante, es un proceso que abarca todo el cuerpo, para generar el movimiento corporal humano. El movimiento posee dos clases: una es aquella que es voluntaria, donde el individuo tiene consciencia del movimiento que está realizando, como el abrir una puerta; otra, por su parte, es el movimiento involuntario, donde el individuo no tiene control sobre él, como el que se da en la dilatación de la pupila para que pueda entrar luz en un espacio oscuro.

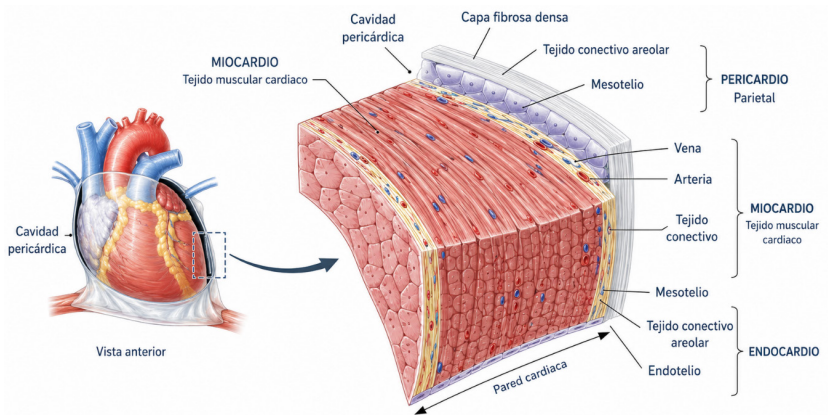
El tejido muscular se clasifica en tres tipos de acuerdo con su función y morfología:

Músculo Cardíaco

Este tejido conforma las paredes del corazón y tienen la capacidad contráctil. Sus células principales son los cardiomiocitos y posee estrías. Los cardiomiocitos son células individuales que poseen un solo núcleo central, son cortos y gruesos. Se ramifican ligeramente, permitiendo una unión de extremo a extremo con otros cardiomiocitos (1). Estas células se contraen de acuerdo con sus propios ritmos intrínsecos sin ningún estímulo externo. Se unen entre sí por medio de uniones celulares especializadas llamadas discos intercalados. Estos discos poseen uniones de anclaje y uniones de separación. Las células adheridas forman fibras musculares cardíacas largas y ramificadas que son fundamentalmente un sincitio mecánico y electroquímico que permite a las células sincronizar sus acciones. Su retículo sarcoplásmico es menos desarrollado que el músculo esquelético, sin embargo, sus túbulos T son más grandes y admiten Ca^{2+} del líquido extracelular. Cuando el músculo cardíaco se daña, su reparación se da por medio de la fibrosis; no tiene células satélite y, a pesar de que se ha identificado una mitosis limitada en los cardiomiocitos tras un infarto cardíaco, no es suficiente la producción de músculo funcional. El tejido muscular cardíaco por medio de su contracción involuntaria permite que el corazón bombee sangre por medio de la red vascular (arterias y venas) (2). En ese orden de ideas, el músculo cardíaco posee las siguientes propiedades: A) se contrae a un ritmo regular; B) funciona incluso durante el sueño y la vigilia, sin necesidad de atención consciente; C) es resistente a la fatiga; D) los cardiomiocitos de una cámara cardíaca se contraen al unísono para que la cámara pueda expulsar la sangre de manera efectiva; y E) cada contracción dura un tiempo suficiente (200 a 250 ms) para expulsar la sangre(1).

Las paredes del corazón se integran de tres capas que son el epicardio, que es la capa más externa, el miocardio, que se compone de músculo cardíaco y es la capa media del corazón, y el endocardio, que es la capa más íntima o interna(3).

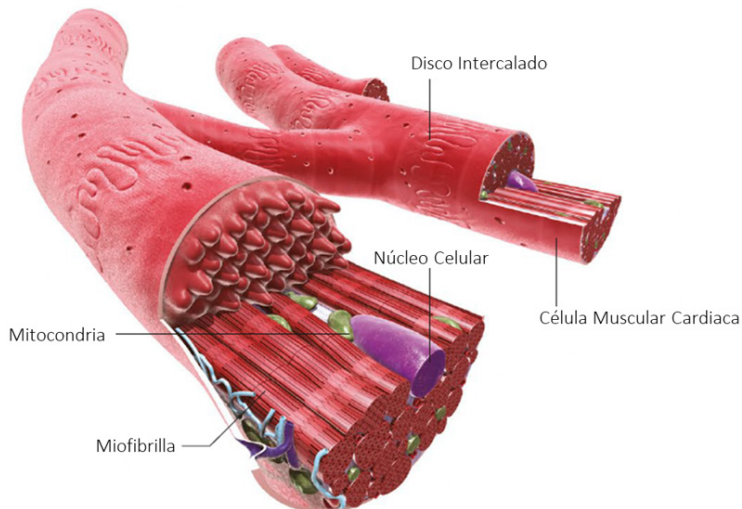
Imagen 7. Capas del Corazón



Fuente: Tomado y Modificado de Weinhaus(3)

El músculo cardíaco posee un marcapasos que activa de manera rítmica una onda de excitación eléctrica, que atraviesa el músculo y desencadena la contracción de las cavidades del corazón. La energía se obtiene casi exclusivamente de la respiración aeróbica, es muy rica en mioglobina y glucógeno, y posee mitocondrias grandes que llenan alrededor del 25% de la célula. El músculo cardíaco es muy vulnerable a las interrupciones del suministro de oxígeno debido a que no utiliza energía anaeróbica, es muy resistente a la fatiga(1).

Imagen 8. Estructura del Músculo Cardíaco

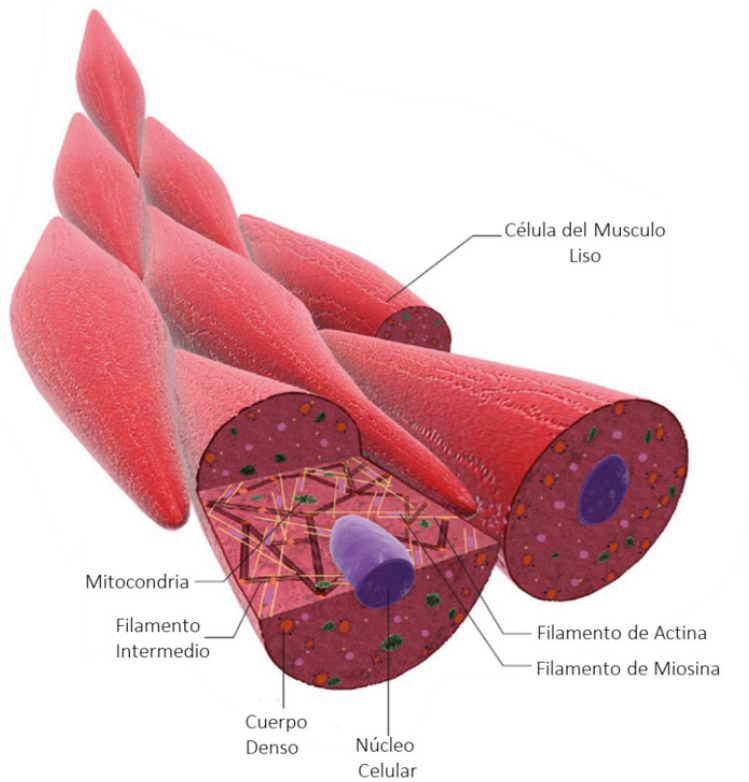


Fuente: Tomado y Modificado de Roberts(4)

Musculo Liso

No posee estriaciones, sus miocitos son pequeños, lo que permite al tejido un control preciso de órganos y tejidos como un solo cabello, el iris del ojo y las arterias más pequeñas. En el embarazo de una mujer, los miocitos del útero crecen lo suficiente para generar contracciones(1). Constituye la capa muscular de las paredes de los vasos sanguíneos y de los órganos huecos como el estómago. Es responsable de los movimientos de los órganos internos, siendo el responsable de las acciones digestivas, urinarias y reproductivas, así como también forma parte de las vías respiratorias(7). Este tipo de musculo no es voluntario, se contrae más lento y con menos fuerza que el esquelético o el cardiaco. No obstante, es capaz de mantener la contracción por más tiempo sin fatiga y con un gasto mínimo de energía(5). El musculo liso no siempre es innervado, sin embargo, cuando lo esta es de tipo autónoma. Las fibras nerviosas autónomas no procuran formar uniones neuromusculares localizadas con precisión con los miocitos, en su lugar, una fibra nerviosa tiene hasta 20.000 inflamaciones denominadas varicosidades en su longitud. Cada varicosidad contiene vesículas sinápticas de las cuales se liberan los neurotransmisores como la norepinefrina de las fibras simpáticas y la acetilcolina de las fibras parasimpáticas. El miocito no contiene una placa terminal motora, sino que tiene receptores para estos neurotransmisores a lo largo de su superficie(1). Este tipo de musculo no forma órganos, forma las capas de las paredes de órganos más grandes como el estómago, los intestinos, el útero y la vejiga urinaria. El esófago y los intestinos tienen una capa externa de musculo liso longitudinal adyacente a una capa interna más profunda de musculo circular. Cuando la capa longitudinal se contrae, acorta y dilata el órgano; cuando la capa circular se contrae, constriñe y alarga el órgano. En el estómago, la vejiga urinaria y el útero, el músculo liso forma tres o más capas con haces de miocitos que se extienden en múltiples direcciones(1).

Imagen 9. Estructura del Musculo Liso



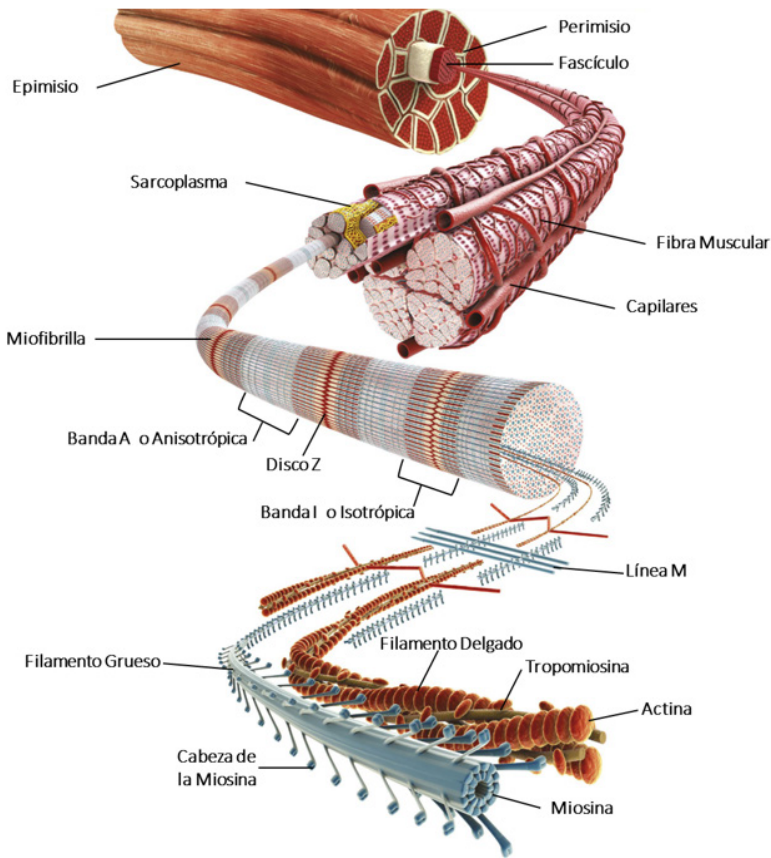
Fuente: Tomado y Modificado de Roberts(4)

Musculo Estriado o Esquelético

Es el único tejido muscular que garantiza el trabajo dinámico y biomecánico del movimiento corporal humano. Tiene la capacidad de convertir la energía bioquímica derivada de los procesos bioquímicos de sus sustratos en energía mecánica. Posee una característica denominada Plasticidad Muscular, la cual le permite adaptarse a las diversas demandas, gracias a su estructura y capacidades funcionales(6).

De acuerdo con lo anterior, ofrecer una descripción de la estructura muscular y los mecanismos que rigen su funcionamiento para derivar en la contracción muscular permitirá comprender y apropiarse de los procesos de adaptación muscular en la actividad física, el ejercicio físico, el entrenamiento, la rehabilitación y el deporte.

Imagen 10. Estructura General del Musculo Esquelético

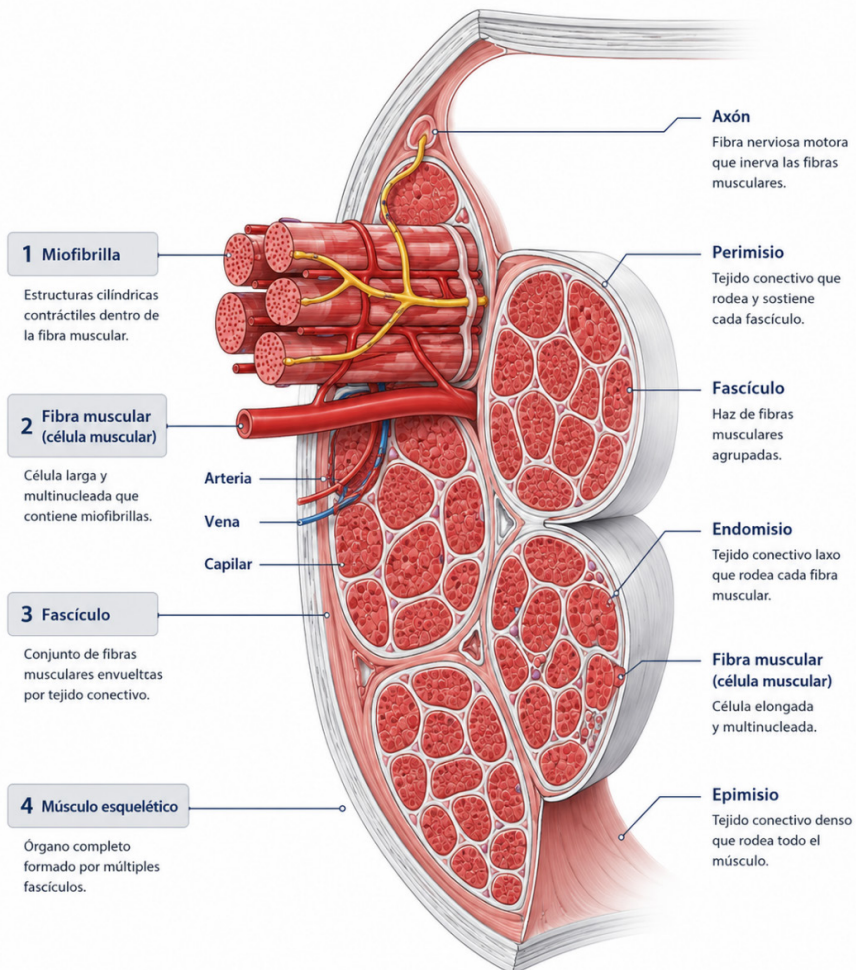


Fuente: Tomado y Modificado de Roberts(4)

El músculo esquelético se adhiere a los huesos y su trabajo principal bajo la contracción muscular relacionado con el movimiento, hace posible la locomoción, las expresiones faciales, la postura y demás movimientos voluntarios que hacen posible el movimiento corporal. Este tejido abarca el 40% de la masa corporal. Es estriado, voluntario porque está sujeto al control consciente y, se une desde y hacia uno o más huesos, desde su origen hacia su inserción. A raíz de su proceso bioquímico interno, el músculo esquelético genera calor lo que permite que exista una homeostasis interna, como producto de la contracción muscular. Aunque el músculo estriado es de carácter voluntario, cuando aparece los escalofríos, el cuerpo experimenta una “tembladera” producto de unas contracciones involuntarias en respuesta a una temperatura corporal percibida más baja de lo normal(7).

En su configuración anatómica se describen de interno a externo las capas del músculo: el Endomisio es la capa que cubre cada miofibrilla; el Perimisio agrupa las miofibrillas en Fascículos y, el Epimisio cubre todo el músculo. Las capas mencionadas están constituidas de tejido fibroso, las cuales se unen con las fibras de colágeno de los tendones, a su vez, los tendones se unen con el colágeno de la matriz ósea, lo que genera una relación íntima entre el músculo, el tendón y el hueso(8). Es por ello por lo que cuando se da una contracción muscular se produce una tensión en el músculo que es transmitida al tendón y, este a su vez al hueso, obteniendo como resultado el movimiento.

Imagen 11. Estructura del Músculo Esquelético



Fuente: Tomado y Modificado de Palastanga(5)

Desde una visión microscópica, la célula muscular presenta bandas transversales claras y oscuras que se alternan y reflejan una disposición de superposición debido a la alternancia habitual de sus proteínas contráctiles internas de actina y miosina junto con las proteínas estructurales que acoplan las proteínas contráctiles de los tejidos conectivos. Adicionalmente, presenta muchos núcleos agrupados a lo largo de las membranas, esto es debido a la fusión de muchos mioblastos que se fusionan para formar cada fibra muscular(1).

Propiedades del Músculo Esquelético

El musculo esquelético posee unas propiedades que lo vuelven muy resistente, lo que le permite estirarse o acortarse a una velocidades altas sin que sufra algún daño. Estas propiedades influyen el rendimiento muscular bajo diferentes cargas y velocidades. estas propiedades son:

Excitabilidad: o capacidad de respuesta, algunas literaturas lo denominan irritabilidad. Es una propiedad que poseen todas las células como las musculares y las neuronas. Aunque las neuronas son más excitables que las células musculares, ambos han desarrollado esta propiedad de manera prodigiosa. Gracias a esta propiedad, en el momento en que las señales químicas estimulan la membrana plasmática, el musculo es capaz de activarse que generar un acortamiento o reclutamiento muy rápido con un control significativo(1).

Contractilidad: con esta propiedad los músculos son capaces de producir tensión y disminuir su longitud por medio del acortamiento al momento de recibir estimulación. El acortamiento de algunos músculos puede ser de un 50% a un 70% de su longitud en reposo. El rango por medio es de 57% de la longitud en reposo para todos los músculos esqueléticos. Es importante mencionar que las células musculares son las únicas en poder acortarse cuando se estimulan, lo que a su vez, permiten transmitir su tensión a los huesos para producir movimiento(9).

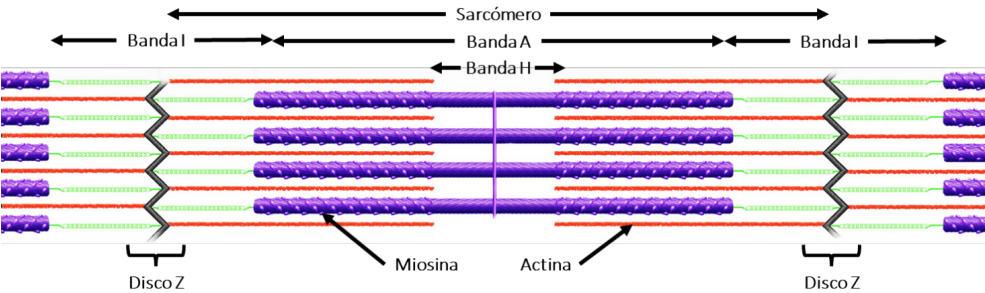
Extensibilidad: es la capacidad del musculo para alargarse o estirarse más allá de la longitud de reposo. Para poder contraerse, una celular muscular debe ser extensible y lograr estirarse entre contracciones. Las células musculares tienen la capacidad de estirarse hasta tres veces su longitud contraída. Para que un musculo pueda generar el alargamiento, este no puede hacerlo voluntariamente, se requiere de otro musculo o fuerza externa para llevar una articulación a través de un rango de movimiento pasivo. La propiedad de extensibilidad se determina por el tejido conectivo que se encuentra dentro y alrededor del musculo(1).

Elasticidad: es la capacidad de un material de poder recuperar sus dimensiones originales al ceder a las fuerzas aplicadas, lo que implica la ausencia de deformación permanente, por el contrario, la plasticidad se refiere a una deformación permanente(10). En este sentido, la elasticidad muscular se refiere a la capacidad de la fibra muscular de regresar a su longitud de reposo posterior a cesión del estiramiento. Las propiedades de elasticidad y extensibilidad son protectivas y, mantienen la integridad y longitud del musculo. De no ser por este retroceso elástico, los músculos en reposo estarían demasiado flojos o flácidos(9). La elasticidad es una propiedad que facilita la producción muscular de fuerza tras un estiramiento(9).

La Fibra Muscular o Miofibrilla

La célula muscular es el miocito, el cual se desarrolla a partir de los mioblastos que a su vez derivan del mesoderma. Una célula de musculo esquelético tiene un diámetro de 100 μm (micra) y 30000 μm (3cm) de largo aproximadamente; algunas tienen 500 μm (0,05cm) de diámetro y 30cm (0,003cm) de largo. Gracias a su gran longitud, las células del musculo esquelético se denominan Fibras Musculares o Miofibrillas. La membrana plasmática (membrana que rodea a las células o a la miofibrillas) de una Miofibrilla se denomina Sarcolema y su citoplasma se denomina Sarcoplasma. Las miofibrillas conforman la identidad histológica del musculo esquelético, dando al musculo su apariencia de estriada, como se mencionó anteriormente. Las proteínas que conforman las miofibrillas se organizan en forma de Sarcómero (Unidad estructural del Musculo esquelético) delimitados por líneas "Z"(6). Desde la periferia del sarcómero hasta su centro, hay una sucesión de Bandas que son: Las Bandas I (claras) que se constituyen por finos filamentos formados por dos cadenas espirales de actina que es la que permite el control de la propiedad contráctil, se denominan también Isotrópicas porque presentan el mismo comportamiento óptico observado por el microscopio y; Las Bandas A (oscuras) que contienen filamentos de actina y de miosina que son el principal elemento contráctil de los músculos, se denominan Anisotrópicas porque presentan un comportamiento óptico diferente según la dirección en la que hace su observación por medio del microscopio. Los sarcómeros se organizan en serie a lo largo de las miofibrillas.

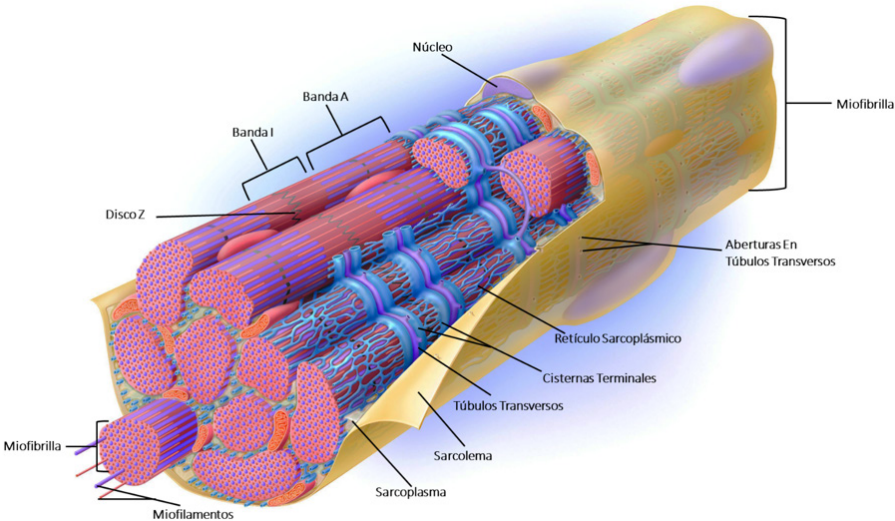
Imagen 12. Estructura de la Miofibrilla



Fuente: Tomado y Modificado de Saladin(1)

En su interior, el glucógeno está presente en gran cantidad y suministra energía a las células durante el ejercicio intenso. El color rojo de la miofibrilla la proporciona la Mioglobina (proteína muscular que transportar y almacenar O_2) que se enlaza al oxígeno y suministra un porcentaje del oxígeno requerido para la actividad muscular. Las Mitocondrias (orgánulos celulares que se encargan de producir energía) se encuentran empaquetados entre las miofibrillas. El Retículo Sarcoplásmico (es una red que se extiende por el citoplasma celular y se encarga de almacenar el calcio) forma una red alrededor de cada miofibrilla y presenta unos sacos dilatados denominados Cisternas Terminales, los cuales atraviesan la miofibrilla. Las miofibrillas contienen muchos núcleos presionados contra el interior del sarcolema.

Imagen 13. Estructura de la Miofibrilla



Fuente: Tomado y Modificado de Saladin(1)

En cuanto al número de núcleos, en un milímetro pueden existir de 30 a 80 núcleos en la miofibrillas de los mamíferos. En una miofibrilla de 3 cm pueden encontrarse un aproximado de 900 a 2400 núcleos(1). La cantidad de núcleos en las miofibrillas tiene una razón importante para la reparación de las lesiones provocadas por el ejercicio físico. Cuando se produce una lesión, las proteínas musculares como la *Dineína*, se encargan de llevar a los núcleos hacia el sitio de la lesión a través de los microtúbulos. Una vez en el sitio de la lesión, los núcleos se agregan a la lesión y por medio de la transcripción y traducción genética, se sintetizan nuevas proteínas para reparar el daño.

Miofilamentos

Las miofibrillas son un haz de proteínas paralelas denominadas filamentos o miofilamentos y existen tres clases:

- I. Miofilamentos Gruesos:** con aproximadamente 15nm de diámetro, están formados por cientos de moléculas de una proteína denominada miosina, la cual, tiene forma de palo de golf, con dos cadenas entrelazadas para formar una cola en forma de eje y una doble cabeza globular que sobresale en ángulo. Las cabezas de la mitad del miofilamento grueso se inclinan hacia la izquierda y la otra mitad hacia la derecha(3).
- II. Miofilamentos Delgados:** con aproximadamente 7nm de diámetro, se componen principalmente por dos hebras entrelazadas de una proteína denominada actina fibrosa. Cada una de ellas guarda el parecido a una collar de cuentas, lo que corresponde a una cadena de subunidades llamada actina globular. Cada actina globular tiene un lugar activo que puede unirse a la cabeza de una molécula de miosina. Un miofilamento delgado contiene alrededor de 60 moléculas de *Tropomiosina*. En el momento que cesa la contracción muscular y se produce la relajación, cada tropomiosina bloquea los sitios activos de seis o siete actinas globulares e impide que la miosina se una a ellos. Cada molécula de tropomiosina tiene a su vez, una proteína que se une al calcio denominada *Troponina*(1).
- III. Miofilamentos Elásticos:** de aproximadamente 1nm de diámetro, están conformados por una gran proteína elástica llamada *Titina*. Los miofilamentos elásticos recorren cada miofilamentos grueso y lo anclan a unas estructuras denominadas *Disco Z* en un extremo y *Línea M* por el otro. La función de la titina es estabilizar el miofilamento grueso, lo centra entre los miofilamentos delgados, evita el estiramiento excesivo y retrocede como un resorte después de que se estira un músculo(3).

Las proteínas contráctiles que permiten el trabajo de acortamiento muscular son la actina y la miosina, mientras que las proteínas reguladoras que actúan como interruptor para determinar cuando la fibra puede contraerse y cuando no son la tropomiosina y la troponina, denominado Complejo Troponina-Tropomiosina.

Tipos de Fibra Muscular

El proceso de contracción muscular genera un consumo de energía y la producción de potencia, resistencia a la fatiga y la velocidad de contracción, dependen especialmente de la naturaleza de las proteínas contráctiles y de los recursos metabólicos de cada miofibrilla. Los mioblastos se convierten en miocitos después la fusión mencionada anteriormente, la cual sucede antes del nacimiento. En este sentido, se continúa un proceso de diferenciación y de crecimiento de las células musculares, convirtiéndose posteriormente en fibras de contracción lenta (Fibras Tipo I) y fibras de contracción rápida (fibras tipo II). Las fibras tipo I y II, se diferencian entre sí por el contenido de proteínas, exigencia energética, y las funciones en las que intervienen(11). Las fuentes energéticas se mencionaron en el capítulo I de este libro.

El cuerpo humano puede realizar una combinación infinita de movimientos, por medio de la participación muscular que permite la postura y acciones como el caminar, correr o saltar. Las miofibrillas poseen variedad de características relacionadas con la función de sus propiedades moleculares, metabólicas, estructurales y contráctiles que permiten clasificarlas en tres grupos:

Fibras Tipo I: se caracterizan por ser rojas, lo que implica una oxidación lenta. Son fibras pequeñas que poseen una gran concentración de mioglobina, permitiendo que incluso en estado de reposo exista una reserva de oxígeno que está disponible para la contracción. Los tejidos que se encuentran conformados por este tipo de fibras son ricos en capilares, lo que garantiza el aporte de sangre al tejido muscular(12). El sarcoplasma de estas fibras posee pocas miofibrillas pero muchas mitocondrias. Se consideran fibras lentas por su velocidad de contracción que es lenta. Las fibras tipo I poseen gran cantidad de mitocondrias que a su vez producen más ATP del que la miosina puede hidrolizar, pero que combinado con la gran reserva de mioglobina son capaces de prevenir la fatiga, siendo así, por estas propiedades este tipo de fibras se encuentran en los músculos posturales, los cuales logran mantener la contracción por largos periodos de tiempo(13,4).

Fibras Tipo II: as fibras musculares de tipo II, también conocidas como fibras de contracción rápida, son fundamentales para actividades que requieren explosividad y potencia, generando de dos a tres veces más fuerza que las fibras de contracción lenta (tipo I). Se dividen en tres subtipos: IIa, IIx y IIb(11). Las fibras tipo IIa son rojas y oxidadas, capaces de producir ATP mediante oxidación, aunque son menos resistentes a la fatiga que las tipo I. Las fibras tipo IIx, en cambio, son blancas y glucolíticas, activándose en actividades anaeróbicas de alta potencia, con un metabolismo predominantemente anaeróbico y resistencia moderada a la fatiga(12). Por último, las fibras tipo IIb son las más rápidas, con un bajo contenido de mitocondrias y capilares, lo que las hace cruciales para deportes que requieren explosividad(11). Estas fibras son más voluminosas que las tipo I debido a un mayor número de miofibrillas, lo que permite una mayor producción de fuerza. Su rápida contracción se debe a una isoforma de miosina que facilita la liberación eficiente de iones de calcio, aunque su dependencia de la respiración anaeróbica y la menor cantidad de mitocondrias las hace menos tolerantes a la fatiga(6, 12). Esto significa que, aunque son ideales para actividades que requieren ráfagas cortas de potencia y velocidad, no pueden mantener contracciones prolongadas. La clasificación de estas fibras se basa en sus propiedades contráctiles y metabólicas, diferenciando entre unidades motoras lentas (tipo I) y rápidas (tipo II), siendo estas últimas subdivididas en fatigables (IIb/IIx) y resistentes (IIa) (13, 4).

Tabla 13. Características de las fibras musculares

Características	Tipo I	Tipo IIa	Tipo IIx	Tipo IIb
Tasa de contracción	Lenta	Rápida	Rápida	Muy rápida
Tiempo de relajación	Lento	Rápido	Rápido	Muy rápido
Diámetro de la neurona motora	Pequeño	Medio	Grande	Muy grande
Resistencia a la fatiga	Alta	Muy alta	Moderada	Baja
Densidad mitocondrial	Muy alta	Alta	Media	Baja
Densidad capilar	Alta	Media	Baja	Baja
Capacidad oxidativa	Alta	Alta	Media	Baja
Capacidad glucolítica	Baja	Alta	Alta	Alta
Fuente de energía almacenada	Triglicéridos	Fosfato de creatina y glucógeno	ATP, fosfato de creatina y glucógeno	ATP y fosfato de creatina
Actividad	Aeróbica	Anaeróbica a largo plazo	Anaeróbica a corto plazo	Anaeróbica a corto plazo
Generación de fuerza	Baja	Moderada	Alta	Muy alta

Características	Tipo I	Tipo IIa	Tipo IIx	Tipo IIb
Eficiencia energética	Alta	Baja	Baja	Muy baja
Velocidad de conducción nerviosa	Lenta	Rápida	Rápida	Muy rápida
Diámetro de fibra muscular	Pequeño	Grande	Grande	Grande
Cantidad de mioglobina	Alta	Alta	Moderada	Baja
Volumen de neurona motora	Pequeño	Grande	Grande	Muy grande
Umbral de neurona motora	Bajo	Alto	Alto	Muy alto
Densidad del retículo sarcoplásmico	Baja	Alta	Alta	Alta
Reservorio de fosfato de creatina	Bajo	Alto	Alto	Alto
Almacenamiento de glucógeno	Alto	Alto	Alto	Alto
Almacenamiento de triglicéridos	Alto	Moderado	Moderado	Bajo
Actividad de ATPasa de miosina	Baja	Alta	Alta	Alta
Actividad de enzimas glucolíticas	Baja	Alta	Alta	Alta
Actividad de enzimas oxidativas	Alta	Alta	Alta	Baja

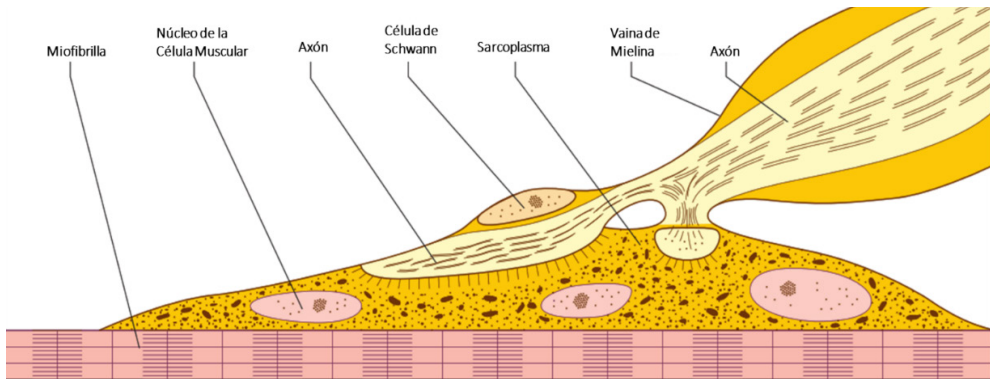
Fuente: Tomado y adaptado de Calik(11)

Relación Neuromuscular

La unión neuromuscular es una sinapsis especializada que une la neurona motora y la fibra muscular del músculo esquelético y es crucial para la conversión de impulsos eléctricos que se originan en la neurona motora en potenciales de acción en la fibra muscular (14,15). Las neuronas motoras somáticas, cuyos cuerpos celulares se encuentran en el sistema nervioso central que son la medula y el encéfalo, son aquellas que envían los impulsos a los músculos para su funcionamiento. Los axones de las neuronas motoras somáticas denominadas fibras motoras somáticas se conectan con los músculos. Cada fibra nerviosa se ramifica en múltiples fibras musculares, sin embargo, cada fibra muscular se inerva por una sola neurona motora. La señal nerviosa viaja por todo el axón y cuando llega al final, esta se reparte por las ramas terminales y estimula todas las fibras musculares que se encuentran inervadas(16). Debido a que las fibras se comportan como una unidad funcional, se establece que las fibras musculares inervadas por una neurona motora se denominan *Unidad Motora (unidad básica de contracción del músculo esquelético)*. Una neurona motora suministra alrededor de 200 fibras musculares que se distribuyen hasta en 100 fascículos. Las unidades motoras pueden ser más pequeñas o grandes que 200 fibras

musculares para cumplir diferentes objetivos(17). Para las actividades que se requiere un control más preciso, se dispone de unidades motoras pequeñas. Por el contrario, en aquellas actividades donde se requiere más desarrollo de fuerza que precisión, se utilizan las unidades motoras grandes(18). Imagínese un musculo que participa en actividades con control motor fino, para estas actividades participan alrededor de 1000 fibras que se encuentran inervadas por 200 a 300 neuronas motoras pequeñas con pequeñas unidades motoras de solo 3 o 5 fibras musculares. La acción muscular cambia conforme se activa o se desactiva las unidades motoras. Posteriormente imagine un musculo que requiera realizar una actividad que demanda mucha fuerza, en este caso, cada 1000 fibras musculares pueden estar inervadas por 1 o 2 neuronas con grandes unidades motoras de 500 a 1000 fibras musculares cada una. En este caso, la activación o desactivación de algunas unidades motoras genera cambios relativamente representativos en la acción muscular con grandes incrementos en la fuerza pero poco control fino.

Imagen 14. Esquema de la Unión Neuromuscular

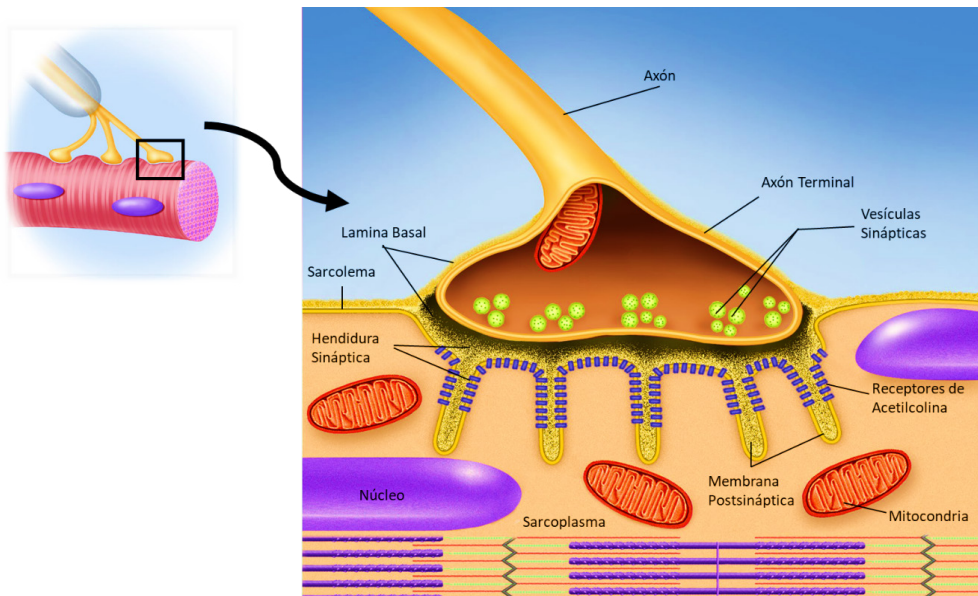


Fuente: Tomado y Modificado Palastanga(5)

La Sinapsis es el punto donde una fibra nerviosa se encuentra con una célula objetivo o diana. Cuando la célula diana es una fibra muscular, la sinapsis se denomina unión neuromuscular o placa terminal motora(2). En cada sinapsis la fibra nerviosa finaliza un abultamiento denominada terminal del axón. Este terminal no toca directamente la fibra muscular, en lugar de ello, se encuentra separado por un espacio estrecho llamado hendidura sináptica de aproximadamente de 60 a 100nm de ancho. La parte terminal del axón posee orgánulos esferoidales apelados vesículas sinápticas, los cuales están llenos de una sustancia química denominada Acetilcolina, la cual, es uno de los numerosos

neurotransmisores que se encuentran en el cuerpo humano. La señal eléctrica o impulso nervioso que viaja por una fibra nerviosa no puede rebasar la hendidura sináptica, por el contrario permite que las vesículas sinápticas experimenten exocitosis, liberando acetilcolina en la hendidura sináptica. En tanto, que la acetilcolina tiene una función como un mensajero químico de la célula nerviosa a la célula muscular. En cada sinapsis hay aproximadamente 50 millones de receptores de acetilcolina y, para potenciar el número de receptores de acetilcolina y además la sensibilidad al neurotransmisor, el sarcolema posee unos pliegues de aproximadamente $1\mu\text{m}$ de profundidad, denominados *Pliegues de la Membrana Postsináptica* que aumentan el área de superficie de la membrana sensible a la acetilcolina(1). Los núcleos musculares que se encuentren bajo la membrana postsináptica tienen como función la síntesis de receptores de acetilcolina y otras proteínas del sarcolema local. Toda la unión neuromuscular se encuentra rodeada por una lámina basal constituida por colágeno y glicoproteína que separa la fibra muscular y las terminaciones nerviosas del tejido conectivo. El sarcolema y la lámina basal contienen *Acetilcolinesterasa*, la cual, es una enzima que descompone la acetilcolina después estimular la célula muscular y, es un proceso necesario para promover la relajación muscular por medio de del cese de la contracción muscular(5, 19).

Imagen 15. Esquema de la Interacción de Orgánulos en la Unión Neuromuscular



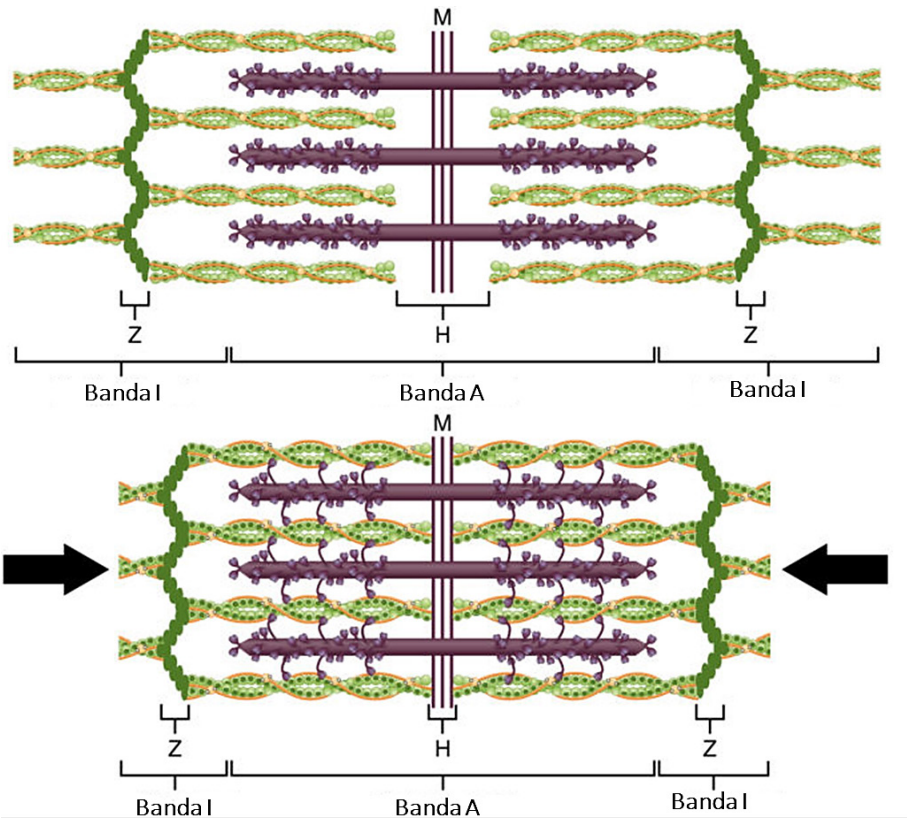
Fuente: Tomado y Modificado de Saladin(1)

Proceso de Excitación, Contracción y Relajación Muscular

Una contracción muscular es el producto de la conversión de la energía química en energía mecánica por medio del deslizamiento de miofilamentos proteicos contráctiles que son la actina y la miosina(20). La energía Química la proporciona la Hidrolisis (*reacción química en donde las moléculas de agua se dividen y forman enlaces químicos con otra sustancia*) del Adenosin Trifosfato (ATP) bajo la influencia de la actividad ATPasa de la cabeza de la miosina. La ATPasa es una clase de enzimas que catalizan la descomposición del ATP en Difosfato de Adenosin (ADP) y un ion fosfato libre (P). El proceso de contracción muscular se produce gracias a la instrucción del sistema nervioso que regula la motricidad a nivel central del organismo(1). El proceso de contracción muscular se da inicio por medio de la excitación en el que los potenciales de acción de la neurona motora somática conducen a los potenciales de acción a la fibra muscular(9). Inicialmente un impulso o señal del sistema nervioso llega al axón y se permite la apertura de canales de calcio, los cuales estimulan a las vesículas sinápticas para que se dé la liberación de la acetilcolina en la hendidura sináptica(5). Un Potencial de Acción (*fenómeno eléctrico que ocurre en las células excitables como las neuronas y las células musculares al recibir un estímulo suficiente para su activación*), provoca una Exocitosis (*liberación de sustancias al exterior de la célula mediante la fusión de vesículas con la membrana plasmática*) o liberación de aproximadamente 60 vesículas y cada una de estas vesículas liberan unas 10.000 moléculas de acetilcolina. Este neurotransmisor viaja a través de la hendidura sináptica para unirse a los receptores presentes en el sarcolema denominados Canales Iónicos, a los que se unen dos moléculas de acetilcolina en cada receptos para abrir el canal. Una vez abierto el canal ingresa el Sodio (Na), aumentando rápidamente el voltaje en el sarcolema a un valor menos negativo cada vez que ingresa el Potasio (K++) para luego volver al potencial de membrana en reposo al cerrarse los canales. Este cambio de voltaje se denomina Potencial de Placa Terminal. En el sarcolema próximo a la placa terminal, existen canales iónicos que dependientes del voltaje que se abren en respuesta al potencial de placa terminal y, algunos son afines al Na permitiendo su entrada y otros al K++ permitiendo su salida(20). Este proceso descrito genera que la fibra muscular este excitada o activada(6).

En el interior de la célula se propaga un potencial de acción generalizado que abren los canales iónicos en los Túbulos T, los cuales están vinculados en los canales de calcio de las cisternas del reticulos sarcoplásmico. Una vez abiertos los canales, el calcio sale del retículo sarcoplásmico para unirse a la troponina en los miofilamentos de actina.

Imagen 16. Proceso de Contracción Muscular en el Sarcómero

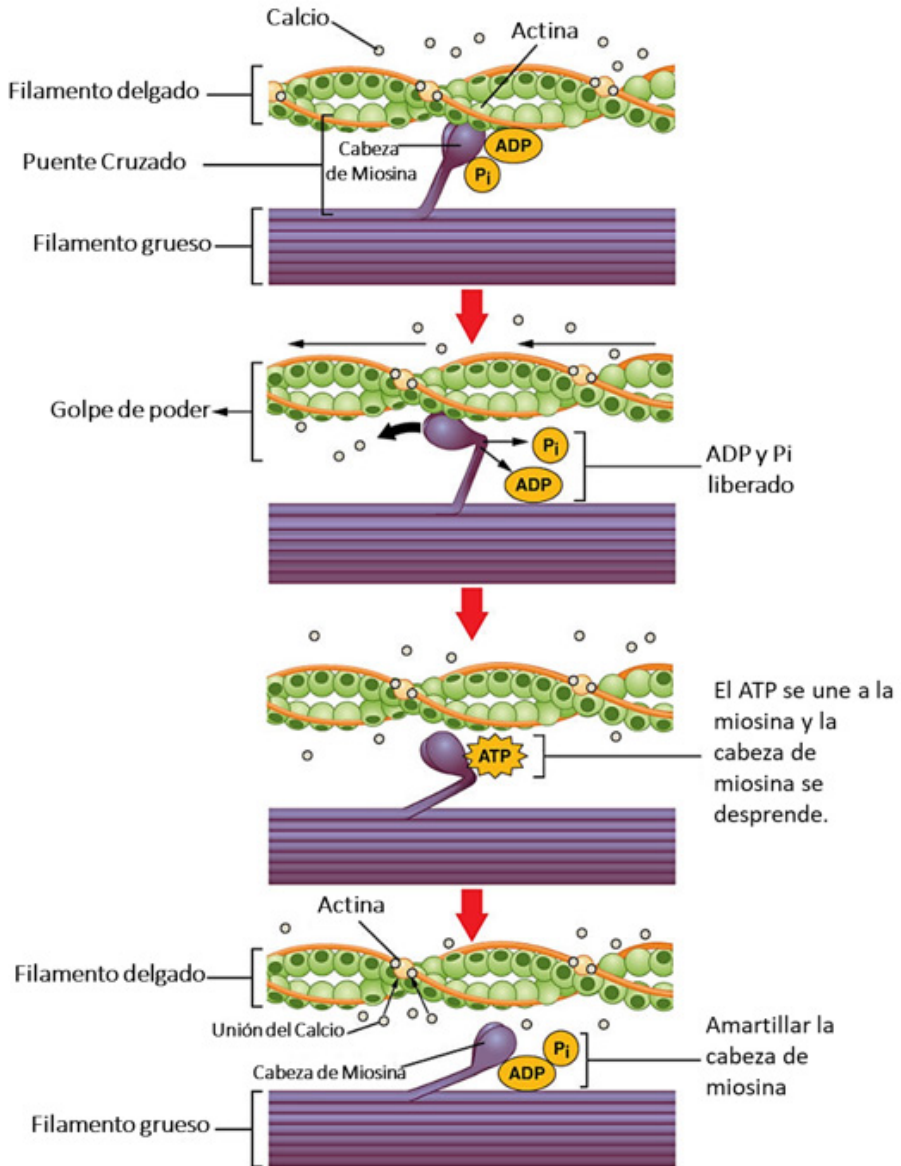


Fuente: Tomado y Modificado de Betts(2)

El complejo troponina-tropomiosina explicado anteriormente, expone los sitios activos de la actina, promoviendo una disposición para la unión de las cabezas(6).

En la cabeza de la miosina hay una molécula de ATP que permite el inicio de la contracción. La ATPasa hidroliza el ATP de la miosina en ADP y P, lo que provoca una liberación de energía que activa la cabeza de la miosina. La miosina se une a un sitio activo de la actina en donde se forma el puente cruzado de la miosina y la actina. La miosina libera el ADP y P flexionándose para arrastrar el filamento de actina, manteniéndose unida hasta que se une un nuevo ATP a la miosina que genera una desestabilización en el enlace miosina y actina, lo que provoca una ruptura del puente cruzado. Se hidroliza el nuevo ATP generando un nuevo proceso en el que la miosina se une a un nuevo sitio para repetir el ciclo(1,6).

Imagen 17. Proceso de Contracción Muscular/puentes cruzados



Fuente: Tomado y Modificado de Betts(2)

La excitación y contracción muscular indican gracias a un impulso nervioso que estimula la fibra muscular. cuando estos impulsos cesan, la liberación de acetilcolina se detiene. Cada vez que la acetilcolina se separando del receptor, la

acetilcolinesterasa lo descompone en fragmentos con el fin de no activar, excitar o estimular la fibra muscular. los fragmentos de acetilcolina son reabsorbidos en el terminal del axón y son reciclados. En el cese del estímulo, el retículo sarcoplásmico cesa la liberación de calcio y se mantiene solo la reabsorción(21).

Tipos de Contracción Muscular

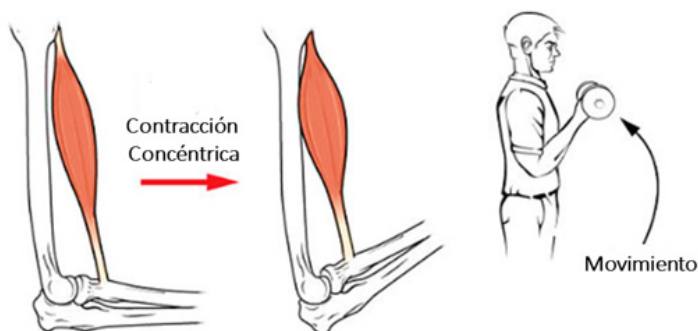
Cuando se da una activación muscular producto de su excitación se genera una tensión muscular interna que ocasiona que los sarcómeros se acorten, dando como resultado la producción de fuerza. La fuerza se produce cuando el musculo se enfrenta a una carga externa o interna. Esa carga puede ser dinámica o estática y raíz de esto, las acciones musculares o sus tipos de contracción se dividen en dos que son la Isotónica y la Isométrica.

Contracciones Isotónicas

en este tipo de contracciones se identifica una producción de tensión muscular constante y la carga a la que se expone el musculo es movida en la medida que la longitud muscular cambia. Las contracciones isotónicas se subdividen en dos que son las contracciones Concéntricas y las contracciones Excéntricas(22).

Contracciones Concéntricas: en este tipo de contracción el musculo se acorta al mover una carga, el ejemplo más claro es cuando tomas tu maletín de un mueble y lo levantas flexionando el codo. Cada que el ángulo de la articulación que permite el movimiento disminuye, el musculo disminuye su longitud y aumenta su tamaño permitiendo en este ejemplo que la mano se acerque al hombro. En este movimiento, en el bíceps braquial se acercan el origen y la inserción del musculo, los sarcómeros se acortan y se forman puentes cruzados(23, 2).

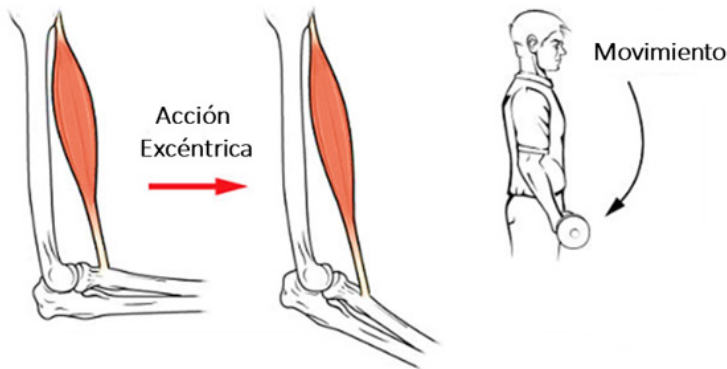
Imagen 18. Contracción Concéntrica



Fuente: Tomado y Modificado de Betts(2)

Contracciones Excéntricas: en las contracciones excéntricas el musculo se alarga bajo tensión de su componente elástico, el ángulo de la articulación involucrada aumenta, su origen y su inserción se alejan permitiendo que el musculo aumente su longitud y disminuya su tamaño. Con el mismo ejemplo anterior, cuando bajas el maletín, el musculo bíceps braquial se alarga bajo tensión, generando un movimiento de desaceleración o amortiguamiento de la carga al descender. Este tipo de contracciones son las que permiten disminuir la velocidad al correr, caminar rápido, o amortiguar un movimiento como cuando bajas gradas (acción excéntrica del cuádriceps)(22, 23, 2). En el capítulo de Herramientas Terapéuticas para la Rehabilitación, se ampliará el concepto de acciones excéntricas.

Imagen 19. Acción Excéntrica

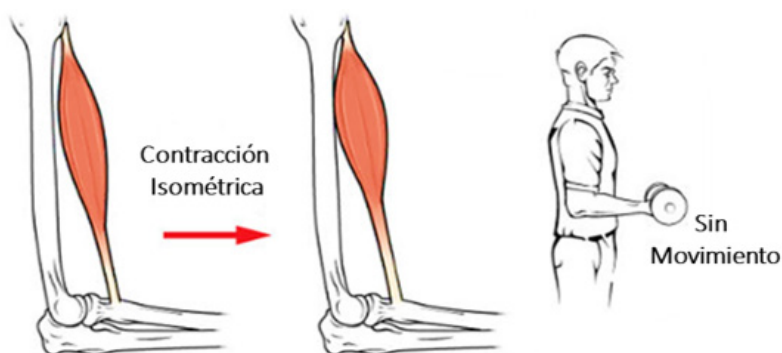


Fuente: Tomado y Modificado de Betts(2)

Contracciones Isométricas

En este tipo de contracciones el musculo produce una tensión muscular sin generar un cambios a su longitud, ángulo articular pero si a su tamaño. Aquí, los sarcómeros se acortan provocando un aumento de la tensión muscular, pero la carga ala que se expone el musculo no es movable o no se puede superar. Un ejemplo de este tipo de acción muscular, con el bíceps braquial, es cuando cargas las bolsas del supermercado sobre los brazos en un ángulo de 90°grados de flexión durante el tiempo que las llesves. Algunos músculos que mantienen esta acción son aquellos que procuran mantener la postura(22, 23, 2).

Imagen 20. Contracción Isométrica



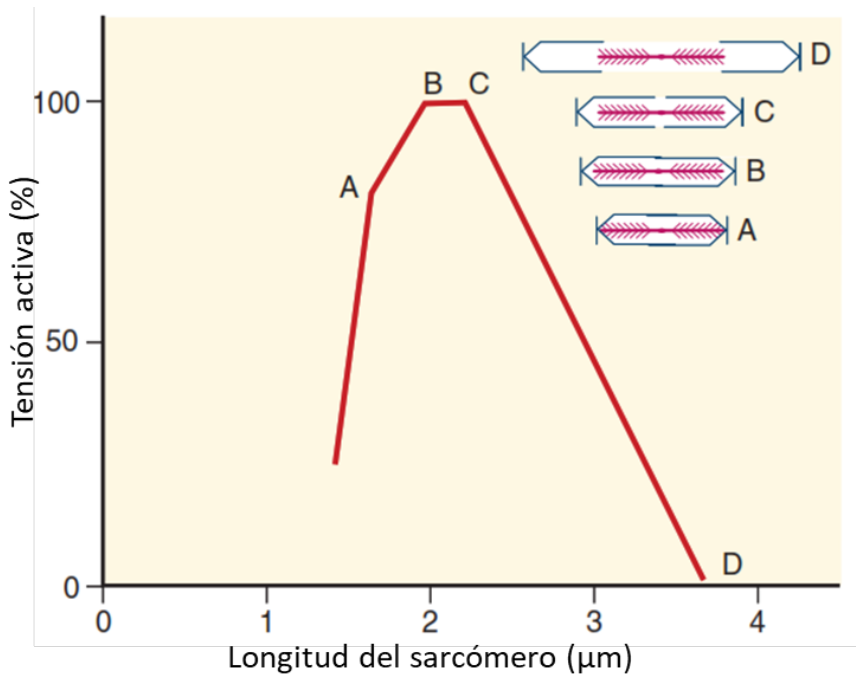
Fuente: Tomado y Modificado de Betts(2)

Las acciones del cuerpo es el resultado de una serie de combinaciones de contracciones tanto isotónicas como isométricas que, en conjunto producen una amplia gama de movimientos.

Curva Tensión-Longitud Activa del Musculo Esquelético

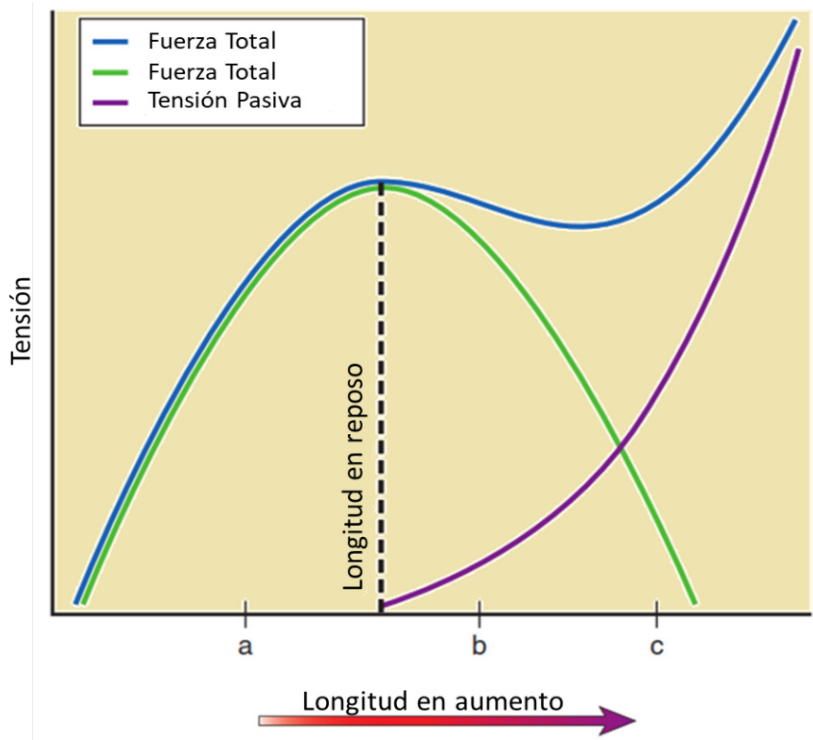
La cantidad de fuerza que produce un musculo en el momento de una contracción guarda relación con la longitud a la que se mantiene el musculo, la cual puede aumentar, disminuir o mantenerse constante durante una contracción dependiendo de las fuerzas externas opuestas(9). El principio de relación tensión-longitud muscular, se da gracias al comportamiento del musculo en su estado inicial de estar contraído o estirado y que supedita la fuerza de contracción muscular(1). La fuerza muscular es producida por una fibra muscular activada que se encuentra siendo estimulada por el sistema nervioso para que logre su contracción; tanto la fuerza activa como la tensión pasiva se transmite a los huesos que componen el complejo articular con el que se relaciona(13). Tomando en cuenta la imagen del sarcómero, cuando una fibra se encuentra muy contraída, los filamentos de miosina estarán muy cerca de los discos Z.

Figura 19. Relación Longitud-Tensión Activa del Musculo



Nota. Curva longitud-tensión activa de un sarcómero para cuatro longitudes especificadas (arriba a la derecha, de A a D). Los filamentos de actina (A) se superponen de modo que se reduce el número de puentes cruzados. En B y C, los filamentos de actina y miosina están colocados para permitir un número óptimo de puentes cruzados. En D, los filamentos de actina se encuentran fuera del alcance de las cabezas de miosina, de modo que no se forman puentes cruzados. Fuente: Tomado y Modificado de Hunter(13)

Figura 20. Curva longitud-tensión total



Nota. Curva longitud-tensión total para un músculo típico. En longitudes más cortas (a), toda la fuerza se genera activamente. A medida que la fibra muscular se estira más allá de su longitud en reposo (b), la tensión pasiva comienza a contribuir a la fuerza total. En (c), el músculo se estira aún más y la tensión pasiva representa la mayor parte de la fuerza total. Fuente: Tomado y Modificado de Hunter(13)

A raíz de esto, la miofibrilla no podrá contraerse mucho más antes de que los miofilamentos de miosina choquen contra los discos Z y se detenerse. Por tal motivo, la contracción muscular sería breve y débil. En lugar de esto, si la miofibrilla se encuentra muy estirada, habría poca superposición entre los filamentos de actina y miosina, lo que conduciría a que las cabezas de miosina no podrían crear los puentes cruzados con los miofilamentos de actina provocando una contracción débil. Existe una longitud de reposo adecuada en la que el musculo puede responder de una mejor manera para producir una mayor fuerza y es donde los sarcómeros miden entre 2.0 y 2.25 μ m (0.0002 y 0.0225cm) de largo.

En un músculo estudiado in situ, estimando su estado natural en el cuerpo vivió, nunca estará tan estirado o contraído como se explicó anteriormente. Esto es debido a que por un lado, las uniones musculares a los huesos y las limitaciones en el movimiento óseo van a restringir la contracción muscular; por otro lado, el sistema nervioso central audita y ajusta todo el tiempo la longitud de los músculos en estado de reposo, manteniendo un estado de contracción parcial denominado Tono Muscular (es un estado de tensión fisiológico que presenta el músculo esquelético de manera constante, con la intención de mantener los músculos activos sin generar movimiento), lo que permite una adecuada longitud del sarcómero y logra que los músculos se encuentren listos para la acción(1).

Receptores en el Músculo

El tejido muscular esquelético contiene dos tipos de receptores especializados que son el órgano tendinoso de Golgi y el huso neuromuscular.

Órgano Tendinoso de Golgi: se forma de múltiples ramas terminales de un axón que se tejen entre las fibras de colágeno del tendón. Cuando un músculo realiza una contracción, las fibras de colágeno del tendón se elongan y se acercan comprimiendo las terminales nerviosas y desencadenan un estímulo. Estos receptores se encargan de controlar el grado de contracción y la fuerza ejercida por el músculo(5, 24).

Huso Neuromuscular: son estructuras muy elaboradas que se encuentran en todo el vientre muscular y se rodean de una capsula fibrosa. Se activa ante los estiramientos fuertes del músculo, mide el grado de estiramiento, el grado de estimulación mecánica y la velocidad con que se aplica el estiramiento, enviando la información al Sistema Nervioso Central(5, 24).

Metabolismo Energético del Músculo Esquelético

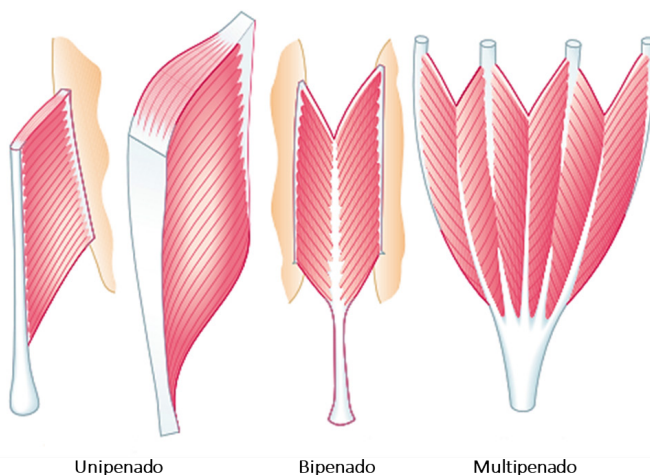
Durante la contracción muscular se consume energía por medio de los motores moleculares, los puentes cruzados las bombas de Calcio (Ca^{2+}) del retículo sarcoplásmico y la cantidad de energía necesitada por los puentes cruzados y por las bombas del retículo sarcoplásmico dependen del tipo de contracción. La célula tiene una reserva de ATP pequeña (5-6mM) y si el músculo se activa completamente, dicha reserva se agotaría en 2 segundos. Por tal motivo se hace necesario que se activen otras vías metabólicas energéticas para evitar el agotamiento de ATP(25).

La contracción muscular no tiene otra fuente de energía diferente al ATP y, su suministro depende de la disponibilidad de oxígeno, la glucosa y los ácidos grasos(26). Comprender el metabolismo energético del músculo, se requiere conocer las dos vías principales de síntesis de ATP que son la vía Anaeróbica, que permite que una célula produzca ATP sin necesidad de oxígeno, pero que su producción es muy limitada y su producto es el ácido láctico, que es tóxico y debe eliminarse del músculo y en el hígado; la vía Aeróbica que produce mucho más ATP y nada de ácido láctico, no obstante, el requerimiento de oxígeno es constante, que permite la oxidación de la glucosa también permite extraer energía de otros compuestos orgánicos(1).

Arquitectura y Morfología Muscular Esquelética

Al hablar de morfología muscular se refiere a la forma de un músculo, los cuales son de diferentes formas que influyen en la función. En la morfología muscular se distinguen dos formas comunes que son la *Fusiforme* (que tiene forma alargada) y la *Penada* (que tiene forma de pluma). Los músculos fusiformes tienen fibras paralelas entre sí y a un tendón central, por su parte, los penados poseen fibras que se acercan oblicuamente a su tendón central. La mayoría de los músculos son penados y se clasifican en Unipenados (bíceps femoral, extensor largo de los dedos, flexor largo del pulgar, semimembranoso y tibial posterior), Bipenados (recto femoral, flexor largo del dedo gordo, gastrocnemio, vasto medial, vasto lateral e infraespinoso) o Multipenados (deltoides y glúteo mayor).

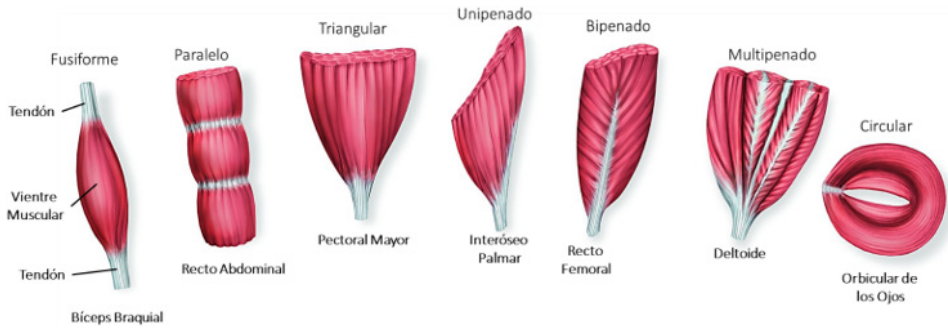
Imagen 21. Morfología Muscular



Fuente: Tomado y Modificado de Hunter(13)

En cuanto a las características arquitectónicas del músculo se distinguen el área de corte transversal o sección transversal y el ángulo de penación, las cuales influyen significativamente en la cantidad de fuerza que se transmite a través del músculo y su propio tendón y, a su vez al hueso. El Área de Corte Transverso o Sección Transversal de un músculo determina el número de proteínas activas que se disponen para generar fuerza activa. Para determinar esta característica muscular se debe realizar un corte transversal al vientre muscular o vientre muscular en su longitud. Al realizar un corte en cualquiera de estas dos opciones, se determina el área en centímetros o milímetros cuadrados (cm^2 o mm^2), lo que representa la suma de las áreas de la sección transversa de todas las fibras musculares en el músculo. esto significa que un músculo que sea más grueso generara más fuerza que un músculo delgado.

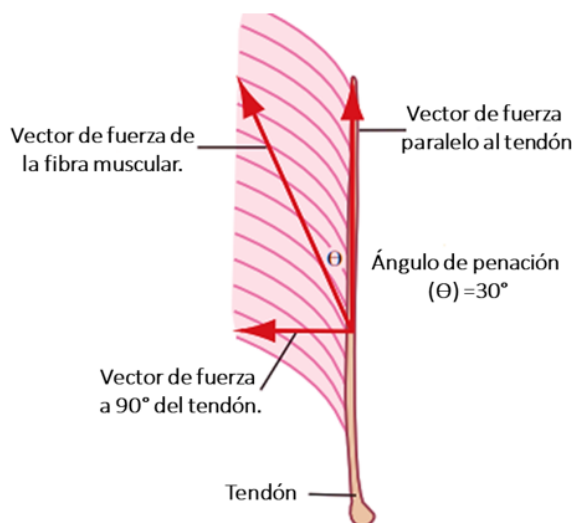
Imagen 22. Formas musculares



Fuente: Tomado y Modificado de Saladin(1)

En cuanto al *Angulo de Penación*, es el ángulo que se forma por los fascículos y la línea de acción del músculo. cuanto mayor es el ángulo de penación, menor es la cantidad de fuerza que se transmite al tendón y, debido a que el ángulo de penación aumenta con la contracción, la producción de fuerza disminuye(9). Si el ángulo de inserción al tendón de las fibras musculares es paralelo, el ángulo de penación es de 0° grados. Si el ángulo es mayor a 0° grados, significa que la fuerza producida por la fibra muscular se transmite longitudinalmente a través del tendón(13). En otro ejemplo, el músculo gastrocnemio medial que ejerce tensión en la articulación del tobillo está en una posición desventajosa cuando la rodilla está a flexión de 90° grados debido a los ángulos de penación de aproximadamente 60° grados, lo que permite aplicar solo la mitad de la fuerza al tendón(9).

Imagen 23. Angulo de Penación



Fuente: Tomado y Modificado de Hunter(13)

Adaptaciones Musculares

Una célula normal se limita a una serie de funciones y estructuras determinadas por su metabolismo, diferenciación y especialización, lo que la predispone a afrontar demandas fisiológicas, manteniendo un funcionamiento normal saludable que es la homeostasis. Las adaptaciones son respuestas funcionales y estructurales reversibles ante cambios fisiológicos y algunos estímulos patológicos, lo que le permite a la célula adaptarse y continuar su funcionamiento(27).

Una respuesta adaptativa que consiste en el aumento del tamaño de las células se denomina **Hipertrofia**, que es lo que ocurre con las células del músculo esquelético y el tejido adiposo y, la actividad funcional y el aumento del número de células se denomina **Hiperplasia**, que es lo que sucede en el crecimiento embrionario e infantil(27, 1).

La producción de fuerza muscular depende de la sección transversa y, el entrenamiento de la fuerza produce un aumento rápido de la sección transversa después de 10 a 15 semanas de entrenamiento. La hipertrofia muscular es el resultado de las modificaciones estructurales del músculo donde se da multiplicación e hipertrofia de miofibrillas y aumento del tejido conectivo. La

hipertrofia muscular se da principalmente en las fibras tipo IIb y se da por la estimulación de las células satélite que se ubican en la periferia de las fibras. Las Células Satélite son precursoras miogénicas (lo que da origen al tejido muscular) situadas entre el sarcolema y la palca basal de las fibras musculares que inducen la proliferación de varios núcleos. Este mecanismo está implícito en la recuperación o curación muscular posterior a una lesión, donde se explica que las microlesiones producto del entrenamiento y que, durante la reparación, facilitan la hipertrofia muscular(6). las células satélite se multiplican y se fusionan entre ellas y con las fibras musculares que ya existen lo que permitirá la regeneración del tejido muscular(28)

Lesión Muscular

Definir una lesión muscular como una pérdida de la función no es adecuada, esto es debido a que la función muscular se puede anular con algunas situaciones como el cansancio o la atrofia, las cuales no guardan relación con el mecanismo lesional. Por tal motivo y, entendiendo que la pérdida de funcionalidad representa una de las principales particularidades de la lesión del musculo , se considera que la mejor definición de lesión muscular no debe eludir el concepto de “daño” hacia la estructura muscular, esto quiere decir que la pérdida de función no puede separarse del concepto de daño estructural(29).

Por lo anterior, Volpi & Bisciotti, sugieren definir la lesión muscular como “la pérdida de funcionalidad del musculo causada por un daño, más o menos grave, a nivel de la estructura muscular o a nivel de los sitios anatómicos asignados a la transmisión de fuerza.”(29).

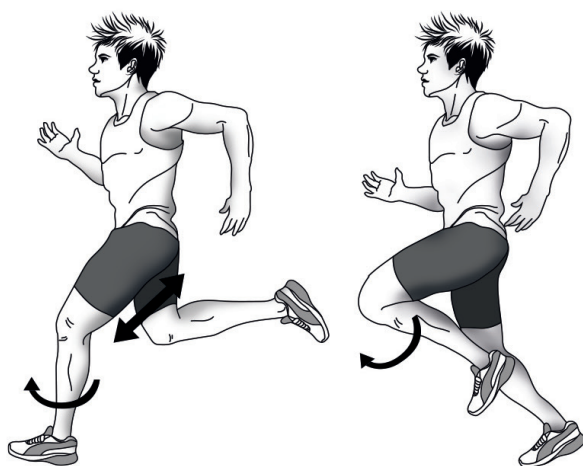
La lesión del tejido muscular ocurre tras la realización de un ejercicio intenso, realizar un ejercicio con un grupo muscular durante un periodo de tiempo prolongado o con un ejercicio excéntrico, produciendo microlesión que es el resultado de una distensión muscular o microdesgarro que se manifiesta con dolor, molestias, hinchazón, deformidad anatómica y alteración de la funcionalidad. Entre los músculos que más riesgo de lesión están los biarticulares como los isquiotibiales, el recto femoral, el gastrocnemio, bíceps braquial, entre otros, los músculos que generan insuficiencia pasiva o que limitan el rango de movimiento al ser antagonista y los que actúan en su mayor tiempo como músculos que amortiguan o desaceleran un movimiento a través de una acción excéntrica(9).

La lesión de los isquiotibiales es el subtipo de lesión más común y representa el 39% de todas las lesiones(30, 31). La distensión de isquiotibiales es una lesión con un mecanismo indirecto que se describe por los mismos

deportistas como una sensación de disparo en la parte posterior del muslo(32) y una sintomatología importante de dolor, con limitación o pérdida de la función(33).

Existen dos mecanismos principales de lesión de los isquiotibiales: el primero se da cuando hay una acción excéntrica (alargamiento por tensión) del musculo isquiotibial, mientras hay una extensión de rodilla tanto en la marcha como en la carrera o sprint (Figura 2); el segundo mecanismo sucede en una contracción concéntrica de los isquiotibiales durante un movimiento de extensión de cadera(34).

Imagen 24. Mecanismo de lesión de isquiotibiales: extensión de rodilla y acción excéntrica de isquiotibiales



Las distensiones de isquiotibiales afectan principalmente las unidades miotendinosas, la aponeurosis y las fibras adyacentes principalmente del bíceps femoral y el semimembranoso(35).

Una distensión muscular de cuádriceps ocurre en respuesta a una carga mayor a la que tolera el tejido o en respuesta a cargas repetidas submáximas sufridas en el transcurso de la competencia o el entrenamiento. La distensión sucede en cualquier parte a lo largo del musculo comprometido o del tendón del cuádriceps, o ambos. Sin embargo, la unión miotendinosa es la zona donde más ocurren estas distensiones(34).

Las distensiones del cuádriceps suceden frecuentemente en la necesidad de una contracción excéntrica forzada y repentina del cuádriceps durante la regulación de la flexión de la rodilla y la extensión de la cadera. Las fuerzas

más altas que atraviesan la unidad miotendinosa por medio de una acción excéntrica, pueden provocar lesiones por distensión. Del componente del cuádriceps, el recto femoral es el músculo que sufre distensiones con más frecuencia(36). Adicionalmente, existen varios factores que predisponen a la lesión del recto femoral y a otros una lesión por distensión, entre los que se encuentran que el músculo sea biarticular o cruce dos articulaciones, músculos con alto porcentaje de fibras tipo II y músculos con arquitectura compleja. Además de fatiga muscular, flexibilidad alterada, lesión previa, desbalance muscular y un calentamiento inadecuado(37).

Imagen 25. Mecanismo de lesión de cuádriceps: flexión bajo acción excéntrica de rodilla y extensión de cadera



Los deportistas en las prácticas deportivas se exponen a cargas de energía como resultado de las exigencias de la misma competencia, reglamento y situaciones del juego. La energía constante mantiene una interacción entre los deportistas y el entorno, generan un riesgo de provocar una lesión cuando su transferencia supera la capacidad del cuerpo para mantener su integridad estructural y/o funcional(38). La reiterada acción del cambio de dirección abrupto, un desbalance muscular y una inestabilidad articular, adicional de un conjunto de factores extrínsecos, son causantes de las deficiencias producidas tanto en un entrenamiento como en la competencia, que causa el abandono de estas entidades, desencadenando una lesión deportiva (39, 40, 41, 42).

A continuación se presentan las lesiones más comunes en el tejido muscular.

Desgarro

También llamado “tirón”, se da debido a que el músculo se somete a una fuerza de tracción excesiva, es decir, el músculo sufre un estiramiento excesivo(43). Como se ha mencionado, el tejido muscular se compone de elementos contráctiles activos y tejido conectivo pasivo no contráctil. En las distensiones del tejido muscular, la fuerza de tracción excesiva provoca ruptura de la fibra muscular, ruptura de la membrana celular y la membrana basal, generando un daño en el tejido conectivo adyacente y daños a los vasos sanguíneos. Las distensiones o desgarros musculares ocurren en la unión miotendinosa distal, que es el lugar donde se concentra y se transfiere la mayor fuerza del músculo esquelético al hueso(44). En términos generales, la distensión muscular sucede cuando el músculo se involucra en una acción excéntrica, donde las fuerzas de tracción opuestas se presentan simultáneamente, provocando en el músculo una sensibilidad al desgarro. Los músculos poliarticulares (*músculos que cruzan dos o más articulaciones*) son los más afectados por la tensión entre los que se encuentran los gastrocnemio, el recto femoral, y los isquiotibiales. Los músculos poliarticulares son susceptibles a las distensión debido a que deben soportar grandes fuerzas internas con grandes cambios en la longitud y el tipo de contracción.

Los músculos poliarticulares están compuestos generalmente de fibras tipo II, lo que establece que el metabolismo influye en las características funcionales, así como en el riesgo de lesiones. La combinación de fatiga producto de un alto porcentaje de fibras de contracción rápida y la acción biarticular provocan una tensión excesiva dentro del músculo en una acción excéntrica, lo que da como resultado un desgarro muscular(45). La dimensión o gravedad de la lesión puede provocar dolor en el momento de una contracción activa y el estiramiento pasivo del músculo, disminución del rango de movimiento a razón de la presencia de un espasmo muscular y la pérdida de función(46). Las características clínicas de las distensiones varían de acuerdo con las manifestaciones dadas por la lesión, sin embargo, teniendo en cuenta que las estructuras principalmente afectadas son los vasos sanguíneos, en una distensión se podrán encontrar desgarros, hemorragias y edemas de la fibra muscular(47). A partir de lo anterior, se han clasificado las distensiones musculares en cinco grados:

Tabla 14. Clasificación de las distensiones musculares

Grado	Características
0	• Trastorno reversible que afecta a un pequeño número de fibras musculares. • Los síntomas son moderados: dolor, contractura muscular y disminución de la producción de fuerza. • La recuperación se da en pocas horas.
1	• Trastorno irreversible que afecta a un pequeño número de fibras musculares y a la integridad de los tejidos conectivos de sostén. • Los síntomas son similares a un grado 0, sin embargo, el dolor y la contractura son más intensos. • La regeneración de las fibras musculares asegura una recuperación completa en un corto tiempo. • Los deportistas pueden volver a realizar actividades deportivas cuando el dolor haya desaparecido.
2	• Trastorno irreversible que afecta a un pequeño número de fibras musculares y lesión moderada de los tejidos conectivos de sostén sin desorganización excesiva. No hay hematoma, ni siquiera en la ecografía. • Los síntomas son dolores intensos que se producen durante un gesto deportivo pero que no produce una interrupción inmediata. El impacto de la funcionalidad depende de la localización. • La evolución clínica es favorable. La reparación se puede dar de 10 a 15 días, pero no de forma íntegra. El regreso al deporte tiene de base pruebas clínicas que incluyen: ausencia de dolor ante una contracción bajo resistencia y el estiramiento.
3	• Lesión que afecta a numerosas fibras musculares con marcada afectación del tejido conectivo de sostén que se desorganiza con formación de un hematoma generalmente localizado. • Los síntomas se caracterizan por presentar dolor agudo durante una actividad deportiva que conlleva a una interrupción inmediata. • Se identifica una marcada impotencia funcional. La recuperación toma tiempo, no obstante, varía de 4 a 6 semanas, incluso 12 semanas, tiempo que dependerá de la severidad del daño como el número de fibras lesionadas, volumen del hematoma, estado de la aponeurosis, y de la intervención recibida.
4	• Ruptura parcial o total del musculo, acompañada de lesión masiva de tejidos conectivos de sostén y formación de un hematoma voluminoso y difuso. • Los síntomas incluyen el dolor severo que desencadena la interrupción inmediata de la actividad deportiva, donde la impotencia funcional es evidente y total. • En la rotura totales se observa un espacio amplio entre los extremos del musculo roto. La pérdida funcional se tolera si el musculo afectado forma parte de un grupo muscular, en donde se puede suplir su función.

Fuente: Tomado y Modificado de Rodineau(48)

Al realizar un examen del deportista con desgarro o distensión muscular, se debe tener en cuenta realizar un proceso riguroso que incluya la inspección, la palpación, indicar una contracción activa, realizar un estiramiento pasivo

y en algunos casos una contracción contra resistencia. Este proceso puede ser suficiente para establecer un diagnóstico y la gravedad de la lesión. No obstante, algunos casos, requiere exámenes complementarios como una ecografía.

Los sistemas de clasificación ofrecen información sobre la gravedad o extensión del daño del tejido muscular, no obstante, el tiempo que abarca la recuperación varía según los factores en individuos con grado similar que influyen en el pronóstico. El avance tecnológico que trae consigo la Resonancia Magnética, la Ecografía y la Ultrasonografía, han permitido clasificar las lesiones de acuerdo con su ubicación anatómica y el tejido involucrado (revisar Clasificación MLG-R). Esto es importante en términos de los desafíos del personal de salud en el cual, modifican sus intervenciones al combinar los hallazgos clínicos y los hallazgos en las ayudas diagnosticas, lo que ha permitido generar nuevos sistemas de clasificación(46).

Los desgarros musculares se dan con mayor asiduidad en o la proximidad a la unión miotendinosa. La revisión anatómica común de la unión miotendinosa, muestra una diferenciación parcialmente clara entre el musculo y el tendón, sin embargo, por medio de los estudio de imágenes y procesos de disección, se ha demostrado que el tejido tendinoso se extiende profundamente hacia el tejido muscular. esto implica que los desgarros musculares que involucran al tejido tendinoso requieren un tiempo de recuperación más prolongado a comparación de los desgarros musculares limpios. Un estudio de cohorte realizado por Comín et al 2013, evaluaron 62 lesiones de isquiotibiales por medio de Resonancia Magnética, encontrando que un 72%(n=45) se afectó el bíceps femoral, un 18%(n=11) el semimembranoso y un 10%(n=6) el semitendinoso. De estas lesiones, se identificó un 45%(n=12) de lesiones del tendón del bíceps femoral y en cuanto a los otros músculos no hubo lesión del tendón. Tres de las lesiones del tendón fueron tratadas quirúrgicamente y conllevaron un tiempo de recuperación de 91 días. En cuanto a los tiempos de recuperación para el resto de las lesiones del bíceps femoral con y sin ruptura del tendón fue de 21 a 72 días respectivamente. El estudio concluye que la rotura del tendón del bíceps femoral sugiere un tiempo de recuperación más largo que aquellas lesiones donde no hay daño del tendón(49).

La fisiopatología de la distensión o desgarro muscular tiene como característica una degradación de las unidades de sarcolema y sarcómero, se da un daño de la membrana, entrada de calcio extracelular en la célula muscular y la destrucción de estas estructuras y progreso del proceso inflamatorio. Las distensiones musculares afectan principalmente la unión miotendinosa y sus componentes como son las miofibrillas, las proteínas y las glicoproteínas que ayudan a la

estabilización y protección muscular, así como la transducción de señales mecánicas a químicas(50). En el proceso de regeneración, las miofibrillas que están cerca de la unión miotendinosa se organizan en anillos concéntricos, los cuales ayudan a prevenir la necrosis muscular y a mantener las funciones musculares durante los estiramientos(45).

Contusión Muscular

En las lesiones musculares se considera una subdivisión que son las contusiones y las laceraciones. La contusión muscular es el producto de una acción de un cuerpo extraño, de superficie no cortante, que impacta sobre la superficie del musculo. Por otro lado, las laceraciones son el producto del impacto de un cuerpo punzante que provoca heridas cortantes o de la penetración de un cuerpo puntiagudo en el musculo(29). La contusión muscular se manifiesta por medio de un sangrado muscular y la formación de un hematoma dentro del musculo y sus vainas de tejido circundante. Una contusión sucede debido a un golpe directo, no penetrante al musculo que frecuentemente afecta la cara anterior y la cara posterior del muslo, la cara posterior de la pierna y la cara posterior del brazo(51). Sin embargo, una contusión la puede sufrir cualquier parte del cuerpo. El golpe es un trauma que es el resultado de una colisión con un objeto externo, un oponente o un compañero deportivo, que se caracterizan por ser duros y con movimiento rápido. En el momento de la contusión, una fuerza de compresión es aplicada al musculo y esta no se dispersa, y el musculo y el tejido subyacente se comprime hacia el hueso. Este evento provoca una ruptura microscópica y daño a las células musculares, defectos macroscópicos en los vientres musculares, sangrado infiltrado e inflamación; el sangrado profundo causa dolor, hinchazón y rigidez(52). El producto de este suceso es la aparición de un hematoma, lo que sugiere una intervención precoz(53). La sangre liberada se coagula y forma un hematoma que inicia una respuesta inflamatoria aguda dispuesta a eliminar el hematoma y el tejido dañado e iniciar respuesta de reparación. Cuando se produce una contusión en el muslo, el músculo se cura mediante un proceso de reparación, no un proceso regenerativo como ocurre en el hueso(53).

Un hematoma se puede dar de dos formas: dentro del musculo (*Intramuscular*), se caracterizan por ser autolimitadas, conforme aumenta la presión el compartimento reduce el flujo sanguíneo, provocando dolor y restricciones funcionales, debido a que la contracción muscular genera aumento de presión en el compartimento y la estimulación de los nociceptores; entre los músculos o dentro de la fascia (*Intermuscular*), que se caracterizan por propagar el

hematoma debido a la rotura de la vaina, permitiendo así que disminuya la presión del compartimento, por tal motivo, los hematomas intermusculares son más visibles hacia los tejidos subcutáneos(46).

Una lesión por contusión muscular se convierte en una condición natural o frecuente en las competencias deportivas, especialmente en deportes de contacto. Pueden ocurrir por la interacción de un deportista del equipo contrario, de un deportista o compañero del mismo equipo en menor frecuencia durante un entrenamiento o en mayor frecuencia durante una competencia.

La presentación clínica de la contusión depende de la gravedad del trauma:

Contusión Benigna: el evento puede pasar desapercibido, haciendo que el deportista pueda continuar con la competencia o entrenamiento. A continuación y de manera progresiva, el deportista puede empezar a percibir molestias dolorosas que conllevan a una identificación retrospectiva del suceso y reconocimiento de los síntomas como el dolor difuso de aparición tardía, dificultad en la localización del dolor que afecta todo el músculo. el deportista puede presentar alteración funcional identificable, especialmente antes del calentamiento, cediendo con el ejercicio y con reapariciones al realizar movimientos forzados o en presencia de fatiga. Los exámenes identifican un compartimento muscular ligeramente tenso acompañado de edema y músculo tenso. La movilidad articular (*pasiva*) por encima y debajo de la lesión no causa dolor a diferencia de una movilización contra resistencia en comparación con el lado sano. Este tipo de lesión permite que los deportistas regresen pronto a la actividad deportiva(48).

Contusión Grave: producto de una patada o traumatismo fuerte que provoca un imprevisto shock (*perdida de suministro suficiente de sangre y oxígeno a los tejidos*). Se provoca un espasmo protector y la característica común es la presencia de un hematoma debido a la rotura de los capilares musculares. La contusión grave se puede asociar a una laceración de un grupo de fibras musculares. La presencia del hematoma puede abarcar la periferia del músculo, formarse subyacente a la aponeurosis o mantenerse dentro del músculo. Posterior al traumatismo el deportista manifiesta un episodio muy álgido acompañado de impotencia funcional inmediata. En la inspección se evidencia un músculo irregularmente rígido y con aumento de volumen. La palpación permite la manifestación de dolor intenso por parte del deportista, acompañado de hinchazón y rigidez dolorosa en el área lesionada. La contracción muscular revela una impotencia toral. El retorno al deporte dependerá de la reabsorción del hematoma, lo cual, transcurre sin problemas adicionales una vez que el hematoma se extienda a los tejidos subcutáneos(48).

La contusión grave puede generar una masa dura palpable en el musculo lesionado, lo puede indicar una miositis osificante. Así como esta afección, es importante no descartar la presencia de síndrome compartimental, lo que conlleva a un control del deportista en la identificación de signos y síntomas(52).

Tabla 15. Clasificación de las contusiones musculares

Presentación	Mecanismo de Lesión	Lesión
Agudo	Indirecto	Distensión de la Unión Miotendinosa
	Directo	Contusión con hemorragia aguda.
		Laceración
	Relacionado con la fascia	Síndrome Compartimental Agudo
Tardía/subaguda	Indirecto	Dolor Muscular de Origen Tardío (DOMS)
	Directo	Hematoma Subagudo
Crónica	Indirecto	Cicatrización desordenada con fibrosis/atrofia
	Directo	hematoma crónico
		Miositis Osificante
	Relacionado con la fascia	Síndrome compartimental crónico de esfuerzo
		Hernia Muscular

Miositis Osificante

Los deportistas sufren contusiones o impactos importantes en sus tejidos blandos y/o articulaciones, al someterse a momentos de colisión o alto impacto. Debido a esto, una complicación asociada al traumatismo muscular es la Miositis Osificante. Un deportista que sufre un traumatismo en la competencia debe ser evaluado con el objetivo de descartar una posible Miositis Osificante. Las molestias constantes postrauma deportivo referidas por el deportista, es una justificación para sospechar una Miositis Osificante, para lo cual, la primera acción a realizar es tomar una radiografía y como resultado de ser positiva la sospecha, se observará una clasificación sobre la fibra muscular(54). Inicialmente, esta patología consiste en una masa pastosa que se endurece progresivamente y es un hallazgo que puede aparecer en pocas horas. La persistencia de síntomas en las próximas 2 o 3 semanas posterior al trauma, junto con el desarrollo de endurecimiento y pérdida de rango de movimiento

en la zona afectada, generalmente afectado el muslo, se debe considera Miositis Osificante(53). La Miositis Osificante se caracteriza por una formación atípica de hueso en el sitio del traumatismo muscular. La osificación del hueso es visto a menudo como el desarrollo óseo dentro del vientre muscular: se produce la calcificación de un hematoma seguido de la osificación del hueso(34), en este sentido, se define como un proceso inflamatorio del musculo que se acompaña de una formación de calcificaciones heterotópicas cicatrizales, siendo así, los traumatismos contusos graves se convierten en la causa más frecuente (55, 56), se trata de un proceso benigno, no neoplásico, generalmente solitario, bien encapsulado y limitado(57).

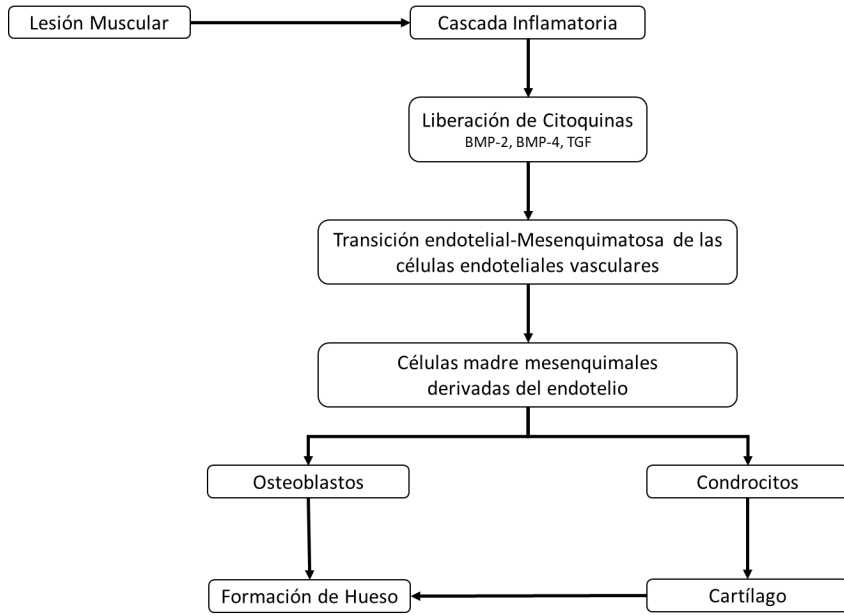
La incidencia de la Miositis Osificante posterior a un traumatismo muscular es del 9% al 17%. La incidencia varía según la gravedad, con un 4% de aparición en contusiones leves y un 18% en contusiones graves(53). Como se mencionó anteriormente, se observa con más frecuencia en músculos esqueléticos, especialmente en el muslo, que es foco de traumatismos en el deporte, sin embargo, también pueden ocurrir en tendones y la grasa subcutánea(58).

En 1924, Noble clasifico la Miositis Osificante en tres subtipos: Tipo I miositis (fibrosa) osificante progresiva; Tipo II Miositis Osificante Traumática y; Tipo III Miositis Osificante Circunscrita sin antecedentes de traumatismo(57).

La fisiopatología no es clara del todo, se considera que sucede a través de una inadecuada diferenciación de fibroblastos en células osteogénicas. Kan et al(59) señalaron que le mecanismo de formación del hueso heterotópico es el resultado de la falta de regulación de las células madre locales en respuesta a la lesión tisular y la subsiguiente inflamación.

Otros estudios han demostrado que la formación de hueso extraesquelético puede depender de un proceso conocido como transición endotelial-mesenquimatosa donde la lesión del músculo desencadena una cascada inflamatoria local, lo que libera citocinas, las cuales actúan sobre las células endoteliales vasculares del músculo y generan una transición endotelial-mesenquimatosa. Estas células madre mesenquimales derivadas del endotelio pueden diferenciarse en condrocitos u osteoblastos cuando se exponen a un entorno rico en inflamación. A raíz de este proceso, los condrocitos se someterán a la formación de hueso endocondral en el tejido extraesqueletico(59).

Figura 21. Mecanismo celular de formación de hueso extraesqueletico en respuesta a una lesión muscular. BMP = Proteína Morfogenética Ósea, TGF = Factor de crecimiento Transformante



Fuente: Tomado y Adaptado Walczak(55)

A nivel clínico, la Miositis Osificante tiene un progreso radiográfico, clínico e histopatológico. La descripción varía de acuerdo con las fuentes, no obstante, se describen tres etapas de evolución superpuestas: temprana, intermedia y madura.

Tabla 16. Etapas de la Miositis Osificante

Etapas	Temprana	Intermedia	Madura
Radiográfica	Calcificaciones Negativas	Borde periférico calcificado con centro luciente	Masa de partes blandas densamente calcificada
Presentación clínica	Disminución del rango de movimiento, eritema, dolor e hinchazón	Masa limitada de partes blandas con aumento de la rigidez articular	Aumenta en el rango de movimiento, dolor e hinchazón. Puede haber una masa palpable.
Histopatológica	Lesión altamente celular con células mesenquimales inmaduras de apariencia benigna	Cartílago de apariencia benigna y formación de hueso inmaduro	Hueso lamelar maduro

Fuente: Tomado y adaptado Walczak(55)

La etapa temprana sucede en las primeras 4 semanas posterior a la lesión, caracterizándose por una cascada inflamatoria que precede la osificación, siendo estas no son visibles radiográficamente; la etapa intermedia abarca aproximadamente de la 4ta a la 8va semana, y se caracteriza porque la clasificación se percibe en la radiografía y; la etapa madura se caracteriza por una profunda formación de hueso periférico, continuando así una maduración durante los próximos meses, culminando en la consolidación(55).

Síndrome Compartimental

Es una condición rara y crítica en el tiempo en la que la movilidad del paciente puede verse amenazada.

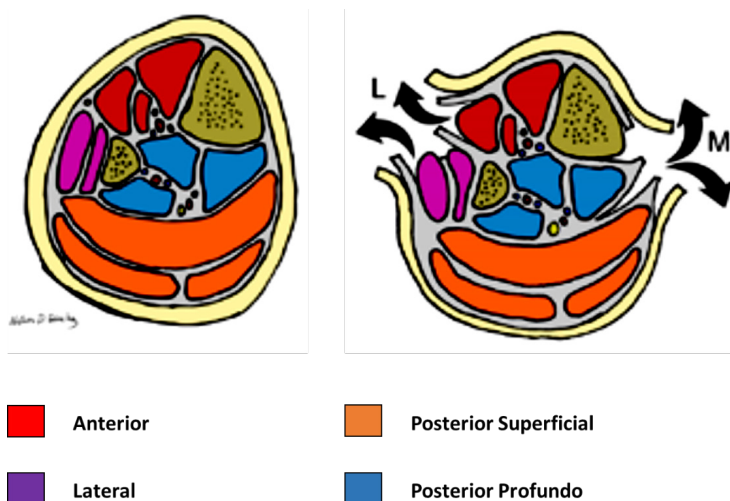
Fue descrito por primera vez por Richard von Volkman en 1881 y, aunque la condición se conoce desde hace 140 años, sigue siendo un diagnóstico difícil de realizar(60).

Esta afección se caracteriza por ser una complicación de un traumatismo u otras condiciones que producen sangrado, edema o que comprometen la perfusión de una extremidad(61), generando un aumento de la presión en uno o más compartimentos musculares de la extremidad, asociado a perfusión celular afectada y disminuida(62). Este síndrome tiene como incidencia en la población occidental de 3,1 por cada 100.000 habitantes, afectando primordialmente a los hombres por encima de las mujeres con una relación 10:1, al igual que en la edad afectando en promedio a la población de 32 años, 30 años en hombres y 44 en mujeres(63).

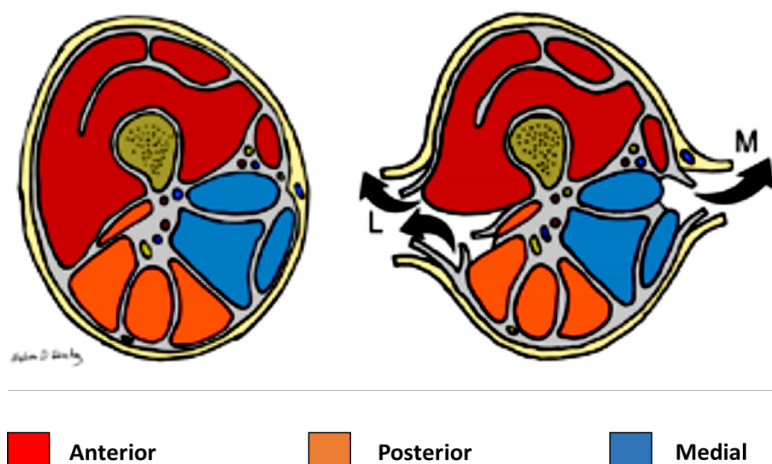
El Síndrome Compartimental Agudo sucede cuando aumenta la presión dentro de la fascia muscular. Conforme aumenta la presión en el músculo afectado, la microcirculación es la primera función en comprometerse y, si esta continúa aumentando, las venas y las arterias se estrecharán. La presión puede aumentar en la zona afectada, ya sea por edema o por sangrado o, en el caso que se intente reducir el volumen de la zona por medio de vendajes(60). Existe un equilibrio entre el flujo de la salida venosa y el flujo de entrada arterial. Cuando se aumenta la presión compartimental se reduce el flujo venoso, generando un aumento en la presión venosa. Si se aumenta la presión compartimental por encima de la presión arterial, se disminuye el flujo arterial, disminuyendo la oxigenación de los tejidos, provocando una isquemia que, en caso de persistir, el déficit de oxigenación aumenta generando una necrosis irreversible(64). La presión fisiológica dentro de un compartimento es inferior a 10mmHg, en el caso de llegar a 30mmHg o más, es más probable que se trate de un Síndrome Compartimental.

El mayor problema en el Síndrome Compartimental es retrasar el diagnóstico, debido a que identificar su momento exacto de aparición no es sencillo. Una necrosis irreversible producto de una isquemia, se da después de 6 horas y, de 24 a 48 horas después, existe una ganancia mínima al realizar fasciotomía, aumentando la probabilidad de amputación, infección y efectos sistémicos debido a la liberación de productos de desecho(60). El sistema muscular de las extremidades se encuentra organizado por compartimentos compactos, delimitados por las fascias, septos de tejido conectivo y estructuras óseas, constituyendo así un sistema cerrado, con poco umbral de tolerancia al aumento de presión, por los que atraviesan los vasos sanguíneos, linfáticos y nervios periféricos. La pierna posee cuatro compartimentos: el anterior, el lateral, el posterior superficial y el posterior profundo. En cuanto al tratamiento quirúrgico, se realiza un abordaje tanto medial como lateral, dependiendo de la localización de las presiones; la liberación medial permite liberar los compartimentos posterior y posterior profundo; mientras que el abordaje lateral permite liberar los compartimentos anterior y lateral. El muslo por su parte cuenta con tres compartimentos musculares que son el anterior, posterior y medial. En este caso, el abordaje lateral permite liberar todos los compartimentos, por eso se realiza este como abordaje único, sin embargo, se puede realizar un abordaje medial para liberar sin dificultades el compartimento medial(62). Estos abordajes se realizan a través de una técnica denominada fasciotomía.

Figura 22. Compartimentos de la Pierna



Fuente: tomado y modificado de Muñoz-Pérez(62)

Figura 23. Compartimentos del Muslo

Fuente: Tomado y modificado de Muñoz-Pérez(62)

La pierna y sus compartimentos conforman la región más afectada por esta complicación. Se encuentra delimitado por la tibia y el peroné, la membrana interósea y el septo intermuscular anterior contando con los principales músculos encargados de la función extensora del pie. Por su parte, el muslo es la región menos incidente con esta complicación en comparación con la pierna, siendo de igual manera la pierna, el compartimento anterior el más afectado.

El síndrome compartimental puede generarse a las 48 horas después de la causa. Los que refieren los deportistas es una sensación de tensión, adicional una sensación de dolor que es muy intenso, el cual, inicialmente puede estar presenta en los estiramientos pasivos y se acompaña de parestesias, hipoestesias o dolores musculares profundos. Este síndrome se presenta generalmente con una serie de signos y síntomas que son el dolor, ausencia de pulso, parestesia, parálisis y palidez(64). En el examen físico se debe tener en cuenta la evaluación neurovascular, con las siguientes comprobaciones:

- Inspección de la piel en busca de lesiones, inflamación o cambio de color.
- Palpar temperatura, tensión y sensibilidad.
- Identificar los pulsos.
- Sensibilidad con discriminación de dos puntos.
- Evaluación de la función motora.

Tabla 17. Compartimientos de la pierna y del muslo con sus respectivas estructuras

Localización	Compartimento
Pierna	Anterior -Musculo tibial anterior, extensor largo de los dedos y extensor largo del hallux. -Arteria y vena tibial anterior -Nervio Peroneo Profundo
	Lateral -Musculo peroneo largo y corto -Nervio peroneo superficial
	Posterior Superficial -Musculo Gastrocnemio y soleo
	Posterior Profundo -Musculo flexor largo de los dedos, flexor largo del hallux y poplíteo -Arteria y vena tibial anterior -Nervio tibial
Muslo	Anterior -Musculo vasto medio, vasto intermedio, vasto lateral, recto femoral y sartorio. -Arteria y vena femoral común y superficial -Nervio femoral
	Posterior -Musculo bíceps femoral, semitendinoso y semimembranoso -Nervio ciático. -Arteria y vena femoral profunda.
	Medial -Musculo aductor largo, aductor corto, aductor magno y grácil.

Fuente: Tomado y modificado de Muñoz-Pérez(62)

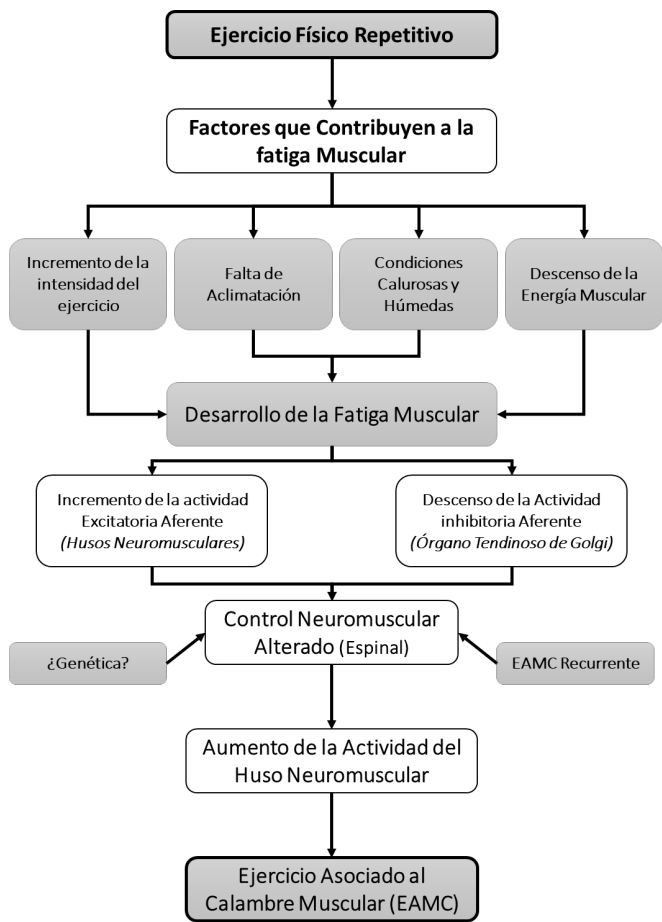
Calambres

se caracterizan por ser contracciones súbitas, dolorosas e involuntarias, dados por la activación repetitiva de potenciales de acción de la unidad motora(46). Aquellos que ocurran durante o posterior de una sesión deportiva se denominan Calambres Musculares Asociados al Ejercicio (EAMC por sus siglas en ingles). Los deportistas que sufren estos calambres manifiestan una “contracción espasmódica y dolorosa del musculo esquelético que ocurre durante o inmediatamente después del ejercicio muscular(65).

Los EAMC afectan al 67% de los triatlonistas durante o después del entrenamiento o la competencia, al 18-70% de los maratonistas o ciclistas y al 30-53% de los jugadores de futbol americano. En la mayoría de los casos, son eventos con inconvenientes relativamente menores (65, 66).

En cuanto a la etiología, actualmente existen dos teorías que tratan de explicar el origen de los EAMC. La más común es la que habla sobre la deshidratación y el agotamiento de electrolitos y la más reciente es la que habla sobre el Control Neuromuscular Alterado. Estas dos teorías condicionan los programas de prevención debido a la etiología poco clara, los cuales se establecen a partir de ejercicios correctivos, masoterapia, estiramientos y orientación nutricional(67).

Figura 24. Factores de riesgo de calambres musculares asociados al ejercicio



Fuente: Tomado y Modificado de Schwellnus & Cols.(68)

Teoría de la Deshidratación y el Desequilibrio Electrolítico: es la teoría más antigua y se basa en observaciones clínicas. Esta teoría establece que los EAMC suceden cuando la sudoración genera una contractura del espacio del líquido intersticial, lo que aumenta los neuroquímicos excitadores y la presión mecánica sobre los terminales nerviosos motores(69). Las primeras investigaciones sugirieron que los EAMC se debían a tres factores: a) pérdidas de líquidos y electrolitos inducidas por el sudor, b) trabajo excesivo de personas no acostumbradas al calor y, c) exposición a altas temperaturas. La teoría del desequilibrio de líquidos y electrolitos fue propuesta inicialmente para poder darle explicación a los calambres que los mineros del carbón sufrían, debido al sometimiento a altos niveles de sudoración debido a la exposición a ambientes cálidos y húmedos en las minas al inicio del siglo XX. Estas observaciones no se realizaron en el deporte, pero, si tuvieron gran interés en la comunidad médica en la frecuencia de calambres posteriormente(66). No obstante, en estos estudios no se registraban las medidas del equilibrio de líquidos y electrolitos y muchos individuos experimentaban enfermedades gastrointestinales agudas como vómitos o diarrea; sin embargo, la presencia de EAMC se relacionaban con pérdidas de fluidos por el trabajo(70). Otros estudios han realizado el seguimiento de las tasas de pérdida de líquidos: un grupo de 17 jugadores de tenis(69) y 5 jugadores de fútbol americano(71) presentaban tasas de sudoración de 2,5l/h y de sodio de 2,7 g/h más altas que los deportistas que no presentaban calambres. De igual manera, los jugadores de fútbol americano presentaban pérdidas de sodio por el sudor de >1,18g durante un entrenamiento, presentaban aproximadamente 9 veces más probabilidades de sufrir EAMC(72).

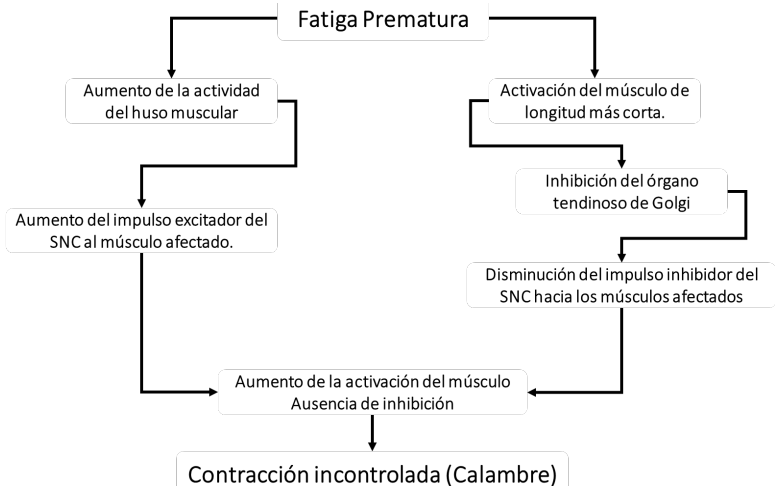
Los estudios que apoyan la teoría de la deshidratación y la pérdida de electrolitos son respaldados por estudios de casos, esencialmente estudios observacionales. Estos estudios que respaldan esta teoría, para fortalecer el concepto inicialmente mencionado, manifiestan que EAMC se da de manera secundaria a un déficit de sodio en todo el cuerpo donde los niveles de electrolitos en el sudor exceden con creces la ingesta de un deportista. Este déficit de electrolitos genera un desplazamiento del líquido intersticial hacia el espacio intravascular, lo que provoca que las uniones neuromusculares se vuelvan hiperexcitables por deformación mecánica y a una mayor exposición a electrolitos y neurotransmisores extracelulares excitadores, lo que conlleva a una descarga espontánea(73).

Los argumentos que existen en contra de la teoría de la pérdida de electrolitos como causa de EAMC en deportistas, se basan en estudios en triatlonistas y maratonistas, en los que se demostró cambios importantes en las concentraciones de electrolitos entre los que desarrollaron y no desarrollaron calambres posterior a la competencia. Por otro lado, los estudios que apoyan la teoría de

perdida de electrolitos objetan que un déficit de sodio en todo el cuerpo no es detectable midiendo los niveles séricos posterior a los calambres, lo que aporta y hace más difícil aceptar esta teoría(66).

Teoría del control neuromuscular alterado: Esta teoría se propuso en 1997 y se actualizo en el 2009 como una nueva explicación de los EAMC. La propuesta inicial explicaba que EAMC tenía como causa una actividad refleja espinal anormal sostenida con fatiga muscular y la disminución de la actividad aferente del Órgano Tendinoso de Golgi, lo que lleva a una mayor activación del musculo y una falta de inhibición que resulta en calambres(74). Estos cambios en la actividad aferente podrían provocar una sobreexcitación de los nervios motores. Algunos autores de estudios de cohortes prospectivos en deportistas con EAMC identificaron factores de riesgo más consistentes con alteraciones inducidas por la fatiga en la excitabilidad del sistema nervioso central que la deshidratación o las pérdidas de electrolitos(65). Las propuestas más recientes de Schwellnus et al. Aun se centran en el concepto del control neuromuscular alterado, sin embargo, se reconoce los muchos factores que contribuyen a poner a un deportista en riesgo de sufrir una mayor fatiga muscular, así como también factores ambientales, mayor intensidad del ejercicio y una posible predisposición genética(68). Esto se soporta con varios estudios de cohorte que informaron que el aumento de la intensidad del ejercicio, los antecedentes de EAMC y la lesión previa fueron factores de riesgo positivos asociados con el desarrollo de EAMC en deportistas de resistencias(65).

Figura 25. Control espinal anormal de la función de las neuronas motoras durante los calambres musculares asociados al ejercicio.



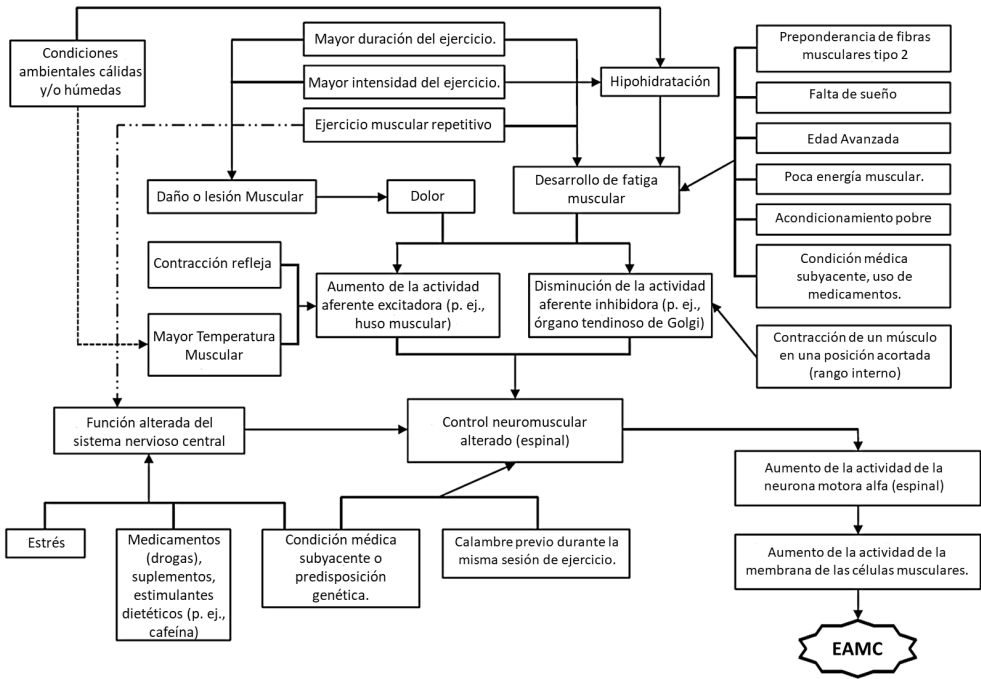
Fuente: Tomado y Modificado de Schwellnus & Cols.(68)

La mayoría de EAMC suceden con la activación de músculos poliarticulares como los gastrocnemios e isquiotibiales, así como el recto femoral. Estos músculos generalmente se contraen en posiciones donde sus extremos están aproximados, lo que provoca una reducción en la cantidad de inhibición muscular proveniente de los Órganos Tendinosos de Golgi. Los EAMC suelen ocurrir en las etapas finales de la competencia, cuando la fatiga es mayor(72).

Esta teoría se encarga de explicar de mejor manera las observaciones clínicas y de laboratorio de los calambres, pero tiene aún limitaciones y preguntas. Inicialmente la teoría enfatizaba la importancia de las alteraciones inducidas por la fatiga en la actividad aferente, lo que resulta en una sobreexcitación de la neurona motora. No obstante, aún no está claro como la fatiga altera esta señal: se postula que se debe alcanzar un umbral de fatiga antes de que los deportistas experimenten EAMC, o si los cambios en la excitabilidad inducidos por la fatiga pueden ser modulados por otros factores. Lo que se sabe es que aun los deportistas bien entrenados aun desarrollan EAMC(72).

Teoría Multifactorial: A partir de la teoría de Schweltnus, Miller(104) propuso un modelo fisiopatológico que se centra en como interactúan múltiples factores de riesgo para provocar una reacción en cadena que altera el control neuromuscular e induce EAMC. Miller teorizo que numerosos factores intrínsecos y extrínsecos se fusionan a través de diferentes vías y provocan EAMC. Si se pone de ejemplo un deportista que sufre una lesión muscular, la cual provoca una pérdida de la condición física, dolor e incapacidad para tolerar intensidades y duraciones de ejercicio que antes de la lesión toleraba sin ningún problema. Como consecuencia, estos factores se fusionan, alteran el control neuromuscular y provocan EAMC. En esta teoría, Miller propone que se debe alcanzar un umbral de factor antes que se desencadene EAMC. Esta teoría multifactorial y el umbral factorial pueden explicar porque las EAMC ocurren en algunos deportistas y en otros no. El reto de este modelo está en determinar de manera adecuada como se fusionan los factores y si algunos de ellos son más o menos importantes para el desencadenamiento de EAMC(72).

Figura 26. Teoría multifactorial para la patogénesis de los calambres musculares asociados al ejercicio (EAMC)



Fuente: Tomado y Modificado de Miller(104)

Los calambres musculares que se asocian con el ejercicio suceden de manera aguda durante o después del ejercicio. La intervención del deportista teniendo de base un examen clínico acompañado de una historia clínica, permitirá un diagnóstico oportuno de los EAMC. Inicialmente y como se mencionó anteriormente, los deportista perciben un dolor considerable que conlleva a una interrupción de la actividad deportiva. La manifestación constante de los deportistas que sufren un calambre es la de contracciones musculares sutiles antes que dé comienzo a los EAMC o fasciculaciones que recorren el musculo. Los músculos que sufren un calambre se tornan rígidos y la articulación se bloquea producto de esta rigidez muscular. los calambres por lo general son visibles y palpables, lo cual, es un signo diferencial de los EAMC de los calambres falciformes por esfuerzo. También suceden EAMC debido a afecciones graves en algunos deportistas como condiciones clínicas como la hiponatremia (condición en la que los niveles de sodio en la sangre son anormalmente bajos y es fundamental para ayudar a regular el equilibrio de líquidos y el funcionamiento de

los nervios y músculos.) aspectos que justifican una evaluación y un diagnóstico adicional con remisión medica adicional. Lo importante de las intervenciones medicas es que sean individualizadas y sus respectivos tratamientos se continúen aproximadamente durante una hora porque la susceptibilidad a los EAMC es muy alta incluso después de culminar el tratamiento(72).

Tabla 18. Características Clínicas de los EAMC

Estado de Calambres o Precalambres	EAMC Graves como signo de afección sistémica
● El aumento de la excitabilidad neuromuscular (estado cercano a los calambres) se identifica por fasciculaciones o espasmos musculares involuntarios. ● La actividad EMG en reposo es mayor que en los músculos sin calambres. ● El estado de tendencia a los calambres suele ser autolimitado y autotratable si la actividad se detiene o disminuye. ● Leve o moderada (benigna)⁹ ● El EAMC se localiza en un músculo o grupo de músculos. ● La actividad EMG en reposo es mayor que en los músculos sin calambres. ● Los EAMC ocurren sin otros síntomas sistémicos o signos de una lesión concomitante más grave (p. ej., hiponatremia). ● Estos EAMC suelen ser autolimitados y tratables si la actividad se detiene o disminuye.	● Los EAMC localizados o generalizados pueden ocurrir con síntomas o signos sistémicos más graves, incluidos mareos, colapso, náuseas o vómitos, orina oscura o estado alterado de conciencia (p. ej., confusión, coma). Estos síntomas o signos indican la presencia de una afección médica subyacente o concomitante más grave (p. ej., anomalía de los electrolitos séricos, lesión renal). ● La actividad EMG en reposo es mayor tanto en los músculos con calambres como en los que no tienen calambres, lo que indica excitabilidad neuromuscular general. ● Estos EAMC requieren el cese inmediato del ejercicio, un diagnóstico correcto y una intervención médica para la afección médica subyacente y, probablemente, el transporte a un hospital.

Fuente: Tomado y Modificado de Miller(72)

Dolor Muscular de Origen/Aparición Tardío -DOMS

Es importante mencionar que a nivel mundial, las lesiones y la sobrecarga del musculo esquelético en el deporte es un evento común y representan una incidencia del 10 al 55% de todas las lesiones deportivas. El afrontamiento de los deportistas en actividades competitivas, las lesiones musculares y la sobrecarga interfieren en la continuidad del entrenamiento o la competición(75, 76). Una de las razones más comunes de la disminución del rendimiento muscular es el DOMS. Este se ha definido como un dolor de inicio tardío, rigidez muscular, hinchazón, pérdida de la capacidad de generación de fuerza, rango de movimiento disminuido y disminución de la función propioceptiva(77). Se convierte en un fenómeno que se presenta después del ejercicio con cargas extenuantes y no acostumbrada(78), especialmente por trabajos de acción

excéntrica(79). Según la “Declaración del Consenso de Munich”, el DOMS se clasifica como un trastorno muscular funcional por sobreesfuerzo tipo Ib, asociado a daño al musculo esquelético, implicando una degradación de proteínas y cambios ultraestructurales, perdida de la integridad miofibrilar con transmisión y alteración de la banda Z, aumento de proteínas musculares y enzimas en el torrente sanguíneo, procesos inflamatorios y cambios en la microcirculación y permeabilidad vascular(80).

Fue en 1902 que Theodore Hough, medico estadounidense, describió por primera vez el DOMS, estableciendo dolor a las roturas musculares(77). A partir de experimentos acerca de la fatiga de los músculos flexores de los dedos, los participantes de Theodore realizaban un protocolo de contracción muscular altamente fatigante utilizando un sistema de poleas que permitía levantar y bajar un peso con flexión y extensión del dedo medio. Algunos de los participantes manifestaron dolor en el antebrazo entre las 8 y 12 horas siguientes al protocolo, con aumento de dolor y llegando a su nivel más alto a las 48 o incluso 60 horas después. Estos estudios y sus resultados obtenidos por Theodore Hough fueron ignorados durante casi 80 años, los cuales, posteriormente resurgieron para contextualizar al “Dolor Muscular de Origen/ Aparición Tardía” a principios de 1980(81).

Modelos que explican el DOMS: aunque se sabe que el DOMS es causado por el daño muscular, la inflamación y la alteración de los mecanorreceptores, no se conoce completamente el mecanismo exacto que lo causa. Sin embargo, se han propuesto varios modelos para explicar el DOMS:

Tabla 19. Modelos explicativos del DOMS

Modelo	Descripción
Modelo de la hipótesis de la acumulación de ácido láctico	Propuesta por Hill y Lupton en 1923(82), se basa en la idea de que el ejercicio anaeróbico produce ácido láctico, que se acumula en los músculos y disminuye el pH, causando dolor e inflamación. Sin embargo, este modelo ha sido ampliamente refutado por estudios posteriores que muestran que el ácido láctico se elimina rápidamente del músculo y que el pH muscular no se correlaciona con el grado de DOMS.
Modelo Integrado	Propone que el DOMS es el resultado de una secuencia de acontecimientos que involucran el daño mecánico debido a microlesiones en el tejido muscular y conectivo durante el ejercicio excéntrico; la inflamación desencadenada por la liberación de sustancias proinflamatorias y alogénicas que estimulan las terminaciones nerviosas libres; el estrés oxidativo por el aumento de los radicales libres que generan daño celular adicional y; la alteración neuromuscular en la disminución de la fuerza, la velocidad y la potencia muscular, así como el aumento de la fatiga y el riesgo de lesión(83).

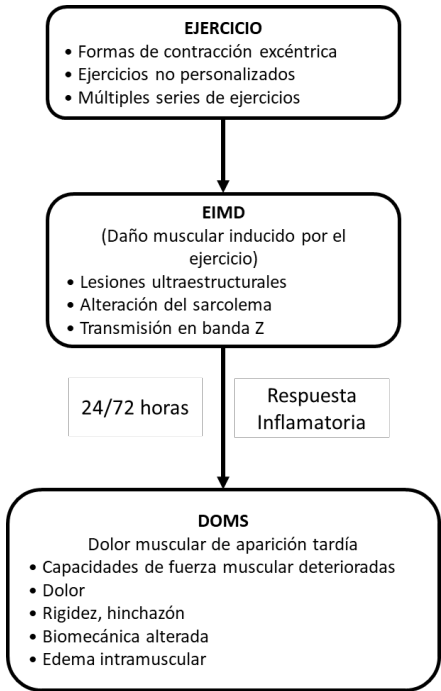
Modelo	Descripción
Modelo de la Hipótesis del Radical Libre	Establece que el DOMS se da debido al estrés oxidativo causado por el aumento de los radicales libres durante y después del ejercicio excéntrico. El ejercicio excéntrico aumenta la producción de radicales libres por el aumento del consumo de oxígeno, la isquemia-reperusión y la inflamación. El estrés oxidativo puede afectar a la función muscular, al dolor y a la recuperación(84).
Modelos de la Hipótesis del Calcio	Plantea que el DOMS se debe a una alteración del metabolismo del calcio en el musculo esquelético. El calcio es un ion esencial para la contracción muscular, sin embargo puede activar enzimas que degradan las proteínas musculares. El ejercicio excéntrico puede causar una entrada excesiva de calcio en el sarcoplasma, lo que provoca una activación prolongada de las enzimas proteolíticas y un daño muscular. el daño muscular puede a su vez aumentar la permeabilidad de la membrana y facilitar la entrada de más calcio, creando un círculo vicioso(85).
Modelo de la Hipótesis de la Sensibilización Central	Aquí se propone que el DOMS se debe a una sensibilización del sistema nervioso central que amplifica la percepción del dolor. La sensibilización central se produce por la estimulación repetida de los nociceptores periféricos, que son las terminaciones nerviosas que detectan el daño tisular. Esta estimulación aumenta la excitabilidad de las neuronas espinales y supraespinales, lo que reduce el umbral del dolor y aumenta la respuesta al dolor(86).
Modelo de la Hipótesis de la Matriz Extracelular	Este modelo sostiene que el DOMS se debe a una alteración de la matriz extracelular que rodea las fibras musculares. La matriz extracelular es una red de proteínas que proporciona soporte estructural y funcional al musculo. el ejercicio excéntrico puede causar una ruptura de la matriz extracelular , afectando la transmisión de fuerza y la integridad del tejido. La reparación de la matriz extracelular implica un proceso de remodelación que puede durar varios días, influyendo en el dolor y la función muscular(87).

Mecanismo de Lesión del DOMS: las lesiones musculares presentan síntomas y/o signos en el momento de la lesión o su desarrollo es continuo durante el ejercicio. En el DOMS se dan las manifestaciones a partir de las primeras 6 o 12 horas posterior a ejercicio que provoca daño ultraestructural, (a lo que se le denomina Daño Muscular Inducido por el Ejercicio EIMD por sus siglas en ingles) y aumentan gradualmente hasta alcanzar un máximo de dolor entre 48 y 72 horas después del EIMD. Posteriormente, las manifestaciones clínicas inician su disminución a los 5 o 7 días(75). Tras más de un siglo de la primera descripción del DOMS y múltiples investigaciones, aun no existe un mecanismo único al que se le atribuya la cascada de eventos asociados. Existen varios postulados como el acumulo de lactato, daño al tejido conectivo, espasmos musculares involuntarios, daño al tejido muscular, inflamación y el aumento

de la temperatura muscular. Algunos investigadores atribuyen la presencia de radicales libres (*moléculas altamente inestables y reactivas que pueden dañar las células y los tejidos del cuerpo*), aunque sus hallazgos son contradictorios, algunos investigadores establecen que son patológicos, mientras que otros sugieren que son fisiológicos(84). Por tal motivo, el foco esta puesto en el daño muscular inducido por la contracción muscular.

A pesar de que las causas del DOMS son desconocidas, se acepta que los principales mecanismos se relacionan con el daño mecánico del tejido muscular a causa de las acciones excéntricas y/o actividades deportivas a las que no se encuentra familiarizado. En el ejercicio excéntrico la resistencia movilizada o resistida es en algunas condiciones mayor que la fuerza generada por las fibras musculares en condiciones de contracción concéntrica. En las actividades excéntricas las fibras musculares se alargan activamente, por tal motivo los músculos producen más fuerza la misma velocidad angular (*es una medida de la rapidez con la que un objeto gira alrededor de un eje o un punto de rotación*) que durante el acortamiento activo o concéntrico.

Figura 27. Vía fisiopatológica de los ejercicios, el EIMD y el DOMS



Fuente: Tomado y Modificado de Heiss(80)

Durante la actividad excéntrica y principalmente debido a la inhibición espinal, se reclutan menos unidades motoras de contracción rápidas. En general, el potencial mecanismo de lesión inducido por el ejercicio excéntrico que conduce al DOMS se debe a mayores fuerzas musculares producidas por fibras musculares menos activas y más vulnerables al daño. No obstante, en el deporte no se generan acciones excéntricas aisladas que induzcan una “Sobrecarga Excéntrica Pura” como se aplica en varios modelos del DOMS. En las actividades deportivas como la carrera, el cambio de dirección y los saltos, las acciones musculares excéntricas son más cortas y forman parte de todo el ciclo de estiramiento-acortamiento que involucran a su vez, acciones excéntricas(75). Lo anterior no explica en suficiencia el hecho que el DOMS se pueda desarrollar con cargas moderadas y submáximas, especialmente después de actividades deportivas no familiarizadas. Posiblemente no exista suficiente coordinación Intramuscular (*capacidad de reclutar el mayor número posible de fibras musculares dentro de un mismo músculo, lo que aumenta la fuerza y el rendimiento*) e Intermuscular (*capacidad de sincronizar y armonizar los músculos que participan en un movimiento, lo que mejora la calidad y la eficiencia de este*), entre las fibras musculares y se produzca una sobrecarga y daño de fibras musculares individuales(75).

Proceso de Curación Muscular

Las lesiones del musculo esquelético se deben a muchos eventos que incluyen los mecanismos directos como las laceraciones y contusiones, y los mecanismos indirectos como las distensiones y las enfermedades degenerativas.

Una lesión leve tiene la capacidad de recuperarse espontánea y completamente, mientras que una lesión grave o compleja su curación se verá comprometida y verse incompleta, resultando en una producción de tejido fibrótico que pone en riesgo la funcionalidad del individuo. Esto es importante conocerlo debido a que las acciones profesionales repercutirán en la recuperación del tejido, teniendo en cuenta que hasta la fecha no existen tratamientos eficaces, los cuales, se basan en datos clínicos y experimentales limitados por las metodologías utilizadas.

El proceso de reparación del musculo esquelético lo componen las siguientes fases:

Degeneración y Necrosis: esta fase inicial se caracteriza por rotura y necrosis de las fibras musculares. Se crea un espacio que se suple con un hematoma. La eliminación tardía del hematoma retrasa la regeneración del musculo, promoviendo la creación de la fibrosis que afecta la reparación funcional(88, 8).

Respuesta Inflamatoria: las primeras células inflamatorias que se infiltran en la lesión son los neutrófilos y se activa la participación de muchas moléculas proinflamatorias como las citoquinas, las quimiocinas y los factores de crecimiento. Estas moléculas se encargan de crear un entorno adecuado para otras moléculas inflamatorias como los monocitos y macrófagos. Los macrófagos se encargan de infiltrarse en el lugar de la lesión y se convierten en elementos claves en la recuperación del tejido y favorecer la fibrosis. Los linfocitos T secretan moléculas de adhesión, factores de crecimiento y citocinas, lo que genera un proceso de aceleración de la respuesta inflamatoria(88, 8).

Reparación Fibroblástica: la fagocitosis de las células muertas da lugar a una regeneración de la miofibrillas y a su vez, a una participación de las células satélites. La regeneración muscular tiene un inicio entre los primero 4 a 5 días posterior a la lesión, alcanzando su punto máximo a las 2 semanas para, disminuir gradualmente hacia la 3 o 4 semana posterior a la lesión. La reparación fibroblástica incluye un proceso de múltiples pasos que incluye la activación/proliferación de células satélites, la reparación y maduración de fibras musculares dañadas y la formación de tejido conectivo. Las fibras musculares son células Posmitóticas (*células que han completado la mitosis, han duplicado su material genético y la separación de cromosomas, por ende han dejado de dividirse y ya no se pueden reproducir sin la presencia de las células satélites*). Las células satélite o células madre musculares están ubicadas entre la membrana plasmática de las miofibrillas y la lámina basal, contienen características regenerativas importantes en la reparación del musculo después de una lesión. Ante una lesión, las células satélites se activan, proliferan y dan lugar a células precursoras miogénicas denominadas Mioblastos (*células precursoras que dan lugar a las fibras musculares*). Los mioblastos forman nuevos miotubos y maduran en miofibrillas funcionales(88, 8).

Remodelación y Maduración: en esta fase se da una maduración de las miofibrillas que han estado en proceso de remodelación o regeneración, y se caracteriza por la recuperación de la capacidad funcional y, también se presenta una fibrosis y formación de tejido cicatrizal. Con la presencia de fibrina y fibronectina se inicia la formación de una matriz extracelular que es rápidamente invadida por fibroblastos. Las Citoquinas Fibrogénicas como el factor de crecimiento transformante- β 1 participan en la proliferación excesiva de fibroblastos/miofibroblastos y en el aumento de la producción de colágenos de tipo I y II, laminina y fibronectina. Inicialmente, la respuesta fibrótica es provechosa, debido a que permite la estabilización del tejido y actúa como soporte para la regeneración de miofibrillas. En la fibrosis intervienen

varios factores de crecimiento como el del tejido conjuntivo, el derivado de las plaquetas o las mioestatina. El factor de crecimiento transformante- β 1, estimula los fibroblastos/miofibroblastos para producir proteínas extracelulares como la Fibronectina (es una glucoproteína adhesiva que se encarga de unir la membrana celular a las fibras de colágeno) y el colágeno tipo I y III (tipo I el más abundante del cuerpo, comprende el 90% de la piel, cabello, uñas, órganos, huesos y ligamentos; tipo III se encuentra en los huesos, cartílagos, dentina, tendones y otros tejidos conectivos). Aunque los fibroblastos son los principales productores de colágeno en el musculo esquelético, el factor de crecimiento transformante- β 1 tiene un efecto sobre los mioblastos, provocando su conversión en miofibroblastos(88, 8).

Clasificación de las Lesiones Musculares

Clasificar las lesiones es un proceso que requiere describir y/o categorizar una lesión en cuanto a la ubicación, mecanismo o patología que la puede provocar. Por otro lado, el Grado indica la gravedad de dicha lesión. La gravedad de la lesión puede asociarse a signos, síntomas y hallazgos determinados por ayudas diagnosticas(89). En el mundo del deporte de alto rendimiento, el tiempo de retorno al deporte se convierte en el tema más importante en cuanto a la gravedad de la lesión se refiere(90, 91).

Los músculos están sometidos de manera constante a procesos traumáticos, que de acuerdo con su gravedad, comprometen su función. El trauma es común en los deportistas, sobre todo a nivel muscular, el cual, puede conllevar a cambios que requieren ser observados por medio de ecografías y/o resonancia magnética como anomalías en la reflectividad muscular, intensidad y la estructura, así como también, alteraciones del volumen(92). El daño muscular se relaciona con un mecanismo indirecto (uso excesivo), directo (contusión) o disfunción del tejido conectivo de soporte (Hernia muscular)(51).

Las lesiones musculares se caracterizan por ser heterogéneas y que estas a su vez son difíciles de definir y categorizar, esto es debido a las particularidades de los músculos en lo que concierne a tamaños y diferentes formas con anatomía y organización funcional compleja(51).

El siglo XX ha sido fundamental en el intento de establecer una clasificación de lesiones musculares, aplicando múltiples estrategias como han sido el uso del Ultrasonido (US) y la Resonancia Magnética Nuclear (RM)(92). La inclusión de elementos tecnológicos de imagen diagnostica ha permitido que los modelos de clasificación tengan una característica evolutiva y, por consiguiente, más objetivos y efectivos en la toma de decisiones, tanto para el planteamiento de

estrategias preventivas como para establecer tratamientos enfocados en una rehabilitación deportiva pertinente que a su vez permita un retorno al deporte seguro y sin vestigios de recaídas a corto plazo.

La visualización de los músculos se tornaba difícil por medio de las primeras técnicas, las cuales eran la radiografía, la tomografía Computarizada y el Ultrasonido de Baja resolución, esto era debido al bajo contraste de los tejidos blandos. La llegada de la alta resolución, El Ultrasonido Compuesto Y la Resonancia Magnética Nuclear, permitió un mejor diagnóstico de lesiones que afectaban a los tejidos blandos. El uso de una resonancia magnética o ecografía y su respectivo seguimiento, se puede establecer las características de la reparación e identificar las complicaciones en el proceso de curación, que relacionan la vascularización o la calcificación tisular(92).

El musculo podría considerarse como un sistema mecánico, responsable de la locomoción por medio de contracciones que alteran la longitud del sarcómero. El musculo se encuentra interconectado mecánicamente que, al generarse fuerzas derivadas de la interacción de la actina y la miosina, estas se transmiten a la red de tejido conectivo. Esta interacción que resulta en la transmisión de fuerza se convierte en un factor importante en los signos, síntomas y pronósticos de las lesiones musculares(93). Para ello, se requiere del uso de ayudas diagnosticas como la Resonancia Magnética, el Ultrasonido y la Ecografía para identificar y describir con precisión la ubicación, el tamaño y la afectación del tendón, lo que daría luces sobre la gravedad de la lesión. Cuando los hallazgos de las ayudas son nulos, pero existe una disfunción, se debe considerar otra condición como el concepto de lesión muscular grado 0. Este grado indica que existe una lesión muscular indetectable por medios de las ayudas diagnosticas actuales, sin embargo, su identificación implica un retorno más rápido a la práctica deportiva y por ende, presenta una relevancia en un sistema de clasificación(93).

Durante los últimos años, los grupos de investigación han reconocido limitaciones en los enfoques históricos, invitando de esta manera a cuestionarse y a reconsiderar la manera en que se realizaban dichas clasificaciones y como se describían las lesiones musculares. La ansiedad por generar una clasificación más objetiva viene siendo un tema que ha generado gran atención en términos investigativos.

El Sistema de Clasificación clásico (O'Donoghue 1962; Takebayashi et al. 1995; Peetrons 2002; Stoller 2007) cuenta con una clasificación de tres grados, carece de información para predecir el periodo de recuperación y sus complicaciones.

Este déficit se relaciona con la falta de relación con la etiología, la falta de subclasificaciones, las lesiones con diferente etiología y el pronóstico, lo cual se clasifica en un solo grupo (Mueller-Wohlfahrt et al. 2013); los sistemas de clasificación novedosos se desarrollan a partir de conocimientos fisiopatológicos (Mueller-Wohlfahrt et al. 2013; Pollock et al. 2014)(92).

Tabla 20. Evolución de las clasificaciones de lesiones musculares

Autor	Año	Método	Descripción
O' Donoghue	1962	Anatomía y Función	Clasificó las lesiones musculares en tres grados, basándose en la clínica y el examen físico, sin usar pruebas de imagen.
American Medical Association	1966	Anatomía y Función	Propuso una clasificación similar a la de O' Donoghue, pero añadió una grado IV para las avulsiones tendinosas.
Ryan	1969	Descrita para cuádriceps	Introdujo el concepto de lesión muscular directa, causada por un estiramiento excesivo del musculo, y la diferencia de la lesión muscular directa, causada por un traumatismo externo.
Takebayashi	1995	US	Takebayashi y Peetrons basaron su clasificación en el hallazgo ecográfico de las lesiones musculares.
Peetrons	2002	US	
Stoller	2007	RM	Utilizo la Resonancia Magnética para clasificar las lesiones musculares.
Consenso de Múnich	2012	US-RM	Basaron su clasificación en la anatomía y la fisiología muscular, así como en hallazgos de imagen.
Mueller-Wohlfahrt	2013	US-RM	Basaron su clasificación en la anatomía funcional del musculo, considerando 4 zonas: central o intramuscular, periférica o mio-tendinosa, tendinosa o intratendinosa y ósea o tendoperióstica.
Pollock	2014	RM	Desarrollo su clasificación basada en el tiempo estimado de recuperación de las lesiones musculares, usando como referencia los datos del futbol inglés.
FC Barcelona-Aspetar-Duke	2015	RM	Elaboraron su clasificación basada en la anatomía muscular, su localización, y el tipo de lesión, usando la ecografía y la resonancia Magnética.

Nota. US-Ultrasonido; RM-Resonancia Magnética. Fuente: Tomado y modificado de Muñoz et al. (94).

Tomando un poco la historia, en el año de 1966, la Asociación Médica Americana (AMA), realizo una publicación de un sistema de clasificación clínica de lesiones (Tabla 7), lo que, en su momento, permitió establecer la gravedad de las lesiones deportivas. Reconociendo la carencia de evidencia científica en su momento, esta clasificación tuvo gran popularidad hasta hace algunos años(91).

Tabla 21. Sistema de la Asociación Estadounidense de Medicina para la clasificación de lesiones musculares del año 1966

Grado De Lesión	Definición
Primer grado de distensión (distensión leve, músculo ligeramente desgarrado)	- Trauma a la unidad musculotendinosa debido a fuerza excesiva o estiramiento. - Dolor localizado, agravado por el movimiento; discapacidad menor; hinchazón leve, equimosis, sensibilidad local; discapacidad menor. - Tendencia a reincidir. - Hemorragia mínima, alguna alteración del tejido musculotendinoso.
Segundo grado de distensión (Distensión moderada, musculo moderadamente desgarrado)	- Trauma a la unidad musculotendinosa debido a contracción violenta o estiramiento forzado excesivo. - Dolor localizado, agravado por el movimiento; discapacidad moderada; hinchazón moderada, equimosis y sensibilidad local. - Estiramiento y desgarro de fibras, sin interrupción completa; tendencia a reincidir; agravación.
Tercer grado de distensión (Distensión severa, musculo severamente desgarrado)	- Trauma a la unidad musculo-tendinosa debido a contracción violenta o estiramiento forzado excesivo. - Dolor severo y discapacidad; hinchazón severa, equimosis, hematoma, defecto palpable y pérdida de la función muscular. - Ruptura muscular o tendinosa, incluida la unión musculo-tendón o avulsión con hueso.

Tomado y modificado de American Medical Association(95)

La literatura universal ha podido dar cuenta de los consensos a nivel mundial de los diferentes sistemas de clasificación, encontrando entre los mismos sistemas, inconsistencias en los métodos de estudio y, sobre todo, al llevarlo a la práctica.

Sistemas de Clasificación se Basaron en Signos Clínicos

- **O'Donoghue (1962)** propuso unos de los sistemas de clasificación más utilizados, basados en la gravedad de la lesión en concordancia con la cantidad de tejido dañado y la pérdida de la función asociada. Con una clasificación de tres grados que se resumen en: Grado I sin desgarro apreciable; Grado II daño tisular y disminución de la fuerza del componente musculotendinosa y; Grado III desgarro completo del componente musculotendinoso con pérdida completa de la función(96).
- **Ryan (1969)** propuso la clasificación de cuatro grados para lesiones de cuádriceps que, a su vez, se ha aplicado a otros músculos. En este sistema, el Grado I es un desgarro de pocas cantidades de fibras musculares con la fascia integra; el Grado II se trata de un desgarro moderado de fibras con la fascia integra; el Grado III es un desgarro de una gran cantidad de fibras musculares y presencia de un desgarro parcial de la fascia y; el Grado IV es un desgarro total tanto del musculo como de la fascia(97).

Sistemas de Clasificación se Basaron en Imágenes

- **Takebayashi (1995)** dio a conocer por medio de una publicación, junto con otros investigadores, un sistema de clasificación de tres grados determinados por UL. El Grado I de una lesión muscular se caracterizaba por presentar menos del 5% del musculo implicado; el Grado II presentaba más del 5% del musculo desgarrado y, el Grado III establecía un desgarro completo(98).
- **Peetrons (2002)** recomendó una similar clasificación basada en imágenes de RM que determina cuatro grados. Grado 0 donde no se encuentran hallazgos patológicos; Grado I con presencia de edema muscular, pero sin daño en el tejido; Grado II hallazgo de desgarro parcial muscular y; Grado III un desgarro muscular completo(96).

Tabla 22. Descripción general de los sistemas de clasificación de lesiones musculares anteriores

	O'donoghue 1962	Ryan 1969 (Initially For Quadriceps)	Takebayashi 1995, Peetrans 2002 (Ultrasound-Based)	Stoller 2007 (Mri-Based)
Grado I	Sin desgarro apreciable de tejido, sin pérdida de función o fuerza, solo una respuesta inflamatoria de bajo grado	Desgarro de algunas fibras musculares, fascia intacta	Sin anomalías o sangrado difuso con/sin rotura de fibras focales de menos del 5% del músculo afectado	MRI-negativo = 0% daño estructural. Edema hiperintenso con o sin hemorragia
Grado II	Daño tisular, fuerza de la unidad musculotendinosa reducida, alguna función residual	Desgarro de un número moderado de fibras, fascia intacta	Rotura parcial: rotura de fibras focales de más del 5% del músculo afectado con/sin lesión fascial	MRI positivo con desgarro de hasta el 50% de las fibras musculares. Posible defecto focal hiperintenso y retracción parcial de fibras musculares
Grado III	Desgarro completo de la unidad musculotendinosa, pérdida completa de la función	Desgarro de muchas fibras con desgarro parcial de la fascia	Ruptura muscular completa con retracción, lesión fascial	Ruptura muscular=100% daño estructural. Desgarro completo con o sin retracción muscular
Grado IV		Desgarro completo del músculo y la fascia de la unidad músculo-tendinosa		

Fuente: Tomado y Modificado de Mueller-Wohlfahrt & Cols.(96)

Estos sistemas de clasificación presentan unos limitantes, basados en la falta de subcategorías dentro de los mismo grados o tipos, lo cual, como consecuencia de que se clasifican en un solo grupo. La clasificación del sistema de Takebayashi es relativo y es imposible medir de manera sólida(96).

- **Consenso de Munich 2012:** Para el año 2012, se llevó a cabo una reunión de expertos internacionales de medicina deportiva, con el objetivo de proponer una definición precisa de la terminología de lesión muscular, con

la intención de facilitar el lenguaje diagnóstico, terapéutico y científico, caracterizado por ser un sistema integral y practico en la diferenciación de lesiones musculares en los deportistas. Esta clasificación se le conoce como el consenso de Múnich y se resume en la siguiente tabla:

Tabla 23. Clasificación de los trastornos y lesiones musculares agudas según el Consenso de Múnich

A. Indirectas	Trastorno Muscular funcional	Tipo 1: Trastorno relacionado con esfuerzo excesivo	Tipo 1A: Inducido por fatiga Tipo 1B: DOMS
		Tipo 2: Trastorno neuromuscular	Tipo 2A: Relacionado con la médula espinal Tipo 2B: Relacionado con el músculo
	Lesión Muscular estructural	Tipo 3: Rotura muscular parcial	Tipo 3A: Desgarro parcial menor Tipo 3B: Desgarro parcial moderado
		Tipo 4: Rotura total o subtotal	Rotura total o subtotal (>50%) Avulsión tendinosa
B. Directas			
		Contusión	
		Laceración	

Fuente: Tomado y Modificado de Muños(94) y Mueller-Wohlfahrt & Cols(96).

Este consenso establece que los trastornos funcionales son diferentes a las lesiones estructurales. De igual manera, recomiendan no usar la distensión como el termino de lesión muscular, debido a que se basa en un término biomecánico, no bien definido, en lugar de ello, recomiendan usar el termino desgarro para lo concerniente a lesiones estructurales, las cuales se clasifican desgarros parciales (leves y moderados) y totales/subtotales, utilizado en lesiones musculares con evidencia macroscópica de daño muscular. El consenso establece que, si bien esta clasificación se aplica en miembros inferiores, también se pueden usar en miembros superiores(94).

- **Pollock 2014:** Es un sistema basado en la evidencia que pretende proporcionar una base diagnostica solidad para la toma de decisiones terapéuticas y el pronóstico de las lesiones musculares. Se basa en las características de la Resonancia Magnética y clasifica las lesiones en 5

grados, desde el 0 al 4 incluyendo un sufijo a, b o c si la lesión es miofascial, musculotendinosa o intratendinosa. Inicialmente, la clasificación se ha validado para lesión de isquiotibiales, sin embargo, la clasificación puede aplicarse a cualquier lesión muscular(99). La clasificación de Pollock se representa en la siguiente tabla:

Tabla 24. La clasificación de lesiones musculares del British Athletics o Pollock

Este sistema combina dos principios de clasificación: extensión (grados 0 a 4) y ubicación (sufijo a-c). El período de rehabilitación y la tasa de complicaciones aumentan con mayores grados y sufijos.	
Grados	
Grado 0	
(a) Lesión neuromuscular focal con resonancia magnética normal	
(b) Dolor muscular generalizado con resonancia magnética normal o con características de DOMS	
Grado 1: involucra <10% del Área de sección transversal del musculo con longitud < 5 cm	
Grado 2: involucra 10–50% del Área de sección transversal del musculo con longitud 5–15 cm	
Grado 3: mayor al 50% con longitud > 15 cm	
Grado 4: desgarro completo	
Localización	
(a) Miofascial	
(b) Miotendinoso	
(c) Intratendinoso	
Traumatismo agudo por elongación muscular: 12 etapas combinadas de grado 0 a 4 con sufijo a-c con un período de rehabilitación creciente de 1 a 12 semanas	
0a	
1a and 1b	
2a, 2b and 2c	
3a, 3b and 3c	
4a, 4b and 4c	

Fuente: Tomado y Modificado de Gielen J et al(92)

- **FC Barcelona-Aspetar-Duke 2015:** Es una propuesta de clasificación de lesiones musculares basada en las características de la Resonancia Magnética y en cuatro criterios; el mecanismo de lesión, la localización, el grado de severidad y se trata o no de una re-lesión. El objetivo de esta clasificación es proporcionar un marco diagnóstico adecuado para mejorar la toma de decisiones clínicas en el manejo de las lesiones musculares y ayudar con la investigación futura para desarrollar mejores estrategias de prevención y tratamiento(100). La propuesta se describe en las siglas “MLG-R”, las cuales describen según el Mecanismo de Lesión “M”, la Localización “L” y su relación con la Unión Miotendinosa y la Evaluación del Tejido Conectivo, clasificando la Descripción Imagenológica “G” y, finalmente la Re-Lesión “R”. las lesiones se clasifican en 4 grados, del 0 al 3, según el tamaño y la localización de la lesión, además, los grados del 1 al 3 incluyen un sufijo a o b si la lesión es proximal o distal(100).

La clasificación se representa en la siguiente tabla:

Tabla 25. Sistema de clasificación MLG-R

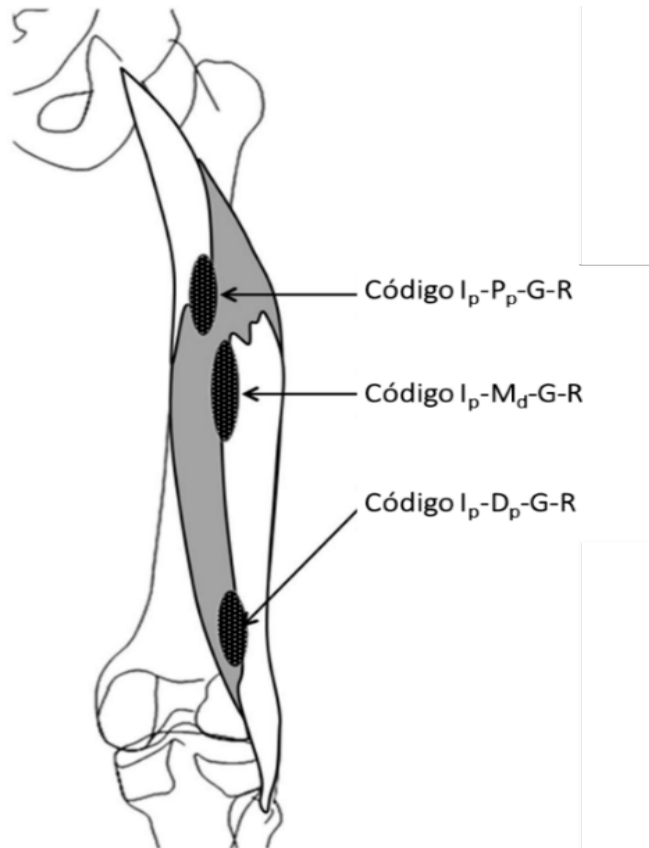
Mecanismo de Lesión (M)	Localización de la Lesión (L)	Grado de Severidad (G)	N.º de lesiones Nuevas (R)
Lesiones Directas de Isquiotibiales	P Lesión situada en el tercio proximal del vientre muscular.	0-3	0: 1er episodio
T (directa)	M Lesión situada en el tercio medio del vientre muscular.		1: 1ra Recaída
	D Lesión situada en el tercio distal del vientre muscular		2: 2da Recaída ...
Lesiones indirectas de los isquiotibiales	P Lesión situada en el tercio proximal del vientre muscular. La segunda letra es un subíndice p o d para describir la relación de la lesión con la UMT proximal o distal, respectivamente.	0-3	0: 1er episodio
I (indirecto) más el subíndice s para el tipo de estiramiento o el subíndice p para el tipo de sprint.	M Lesión situada en el tercio medio del vientre muscular, más el subíndice correspondiente		1: 1ra Recaída
	D Lesión situada en el tercio distal del vientre muscular, más el subíndice correspondiente		2: 2da Recaída ...

Mecanismo de Lesión (M)	Localización de la Lesión (L)	Grado de Severidad (G)	N.º de lesiones Nuevas (R)
Lesiones por RM negativa (la ubicación está relacionada con el dolor) • N más el subíndice s para lesiones indirectas tipo estiramiento, o subíndice p para tipo sprint	N p Tercera lesión proximal N m Lesión en el tercio medio N d Tercera lesión distal	0-3	0: 1er episodio 1: 1ra Recaída 2: 2da Recaída ...
Clasificación de la gravedad de las lesiones			
0	Cuando se codifican lesiones indirectas con sospecha clínica pero RM negativa, se codifica una lesión de grado 0. En estos casos, la segunda letra describe la localización del dolor en el vientre muscular.		
1	Edema hiperintenso de fibras musculares sin hemorragia intramuscular ni distorsión de la arquitectura (arquitectura de las fibras y ángulo de penación preservados). Patrón de edema: ¿hiperintensidad intersticial con distribución plumosa en DPSG o T2 EGR? Imágenes de RITC		
2	Edema hiperintenso de fibras musculares y/o peritendón con distorsión menor de la arquitectura de las fibras musculares (difuminación de las fibras y/o distorsión del ángulo de penación) ± hemorragia intermuscular menor, pero sin espacio cuantificable entre las fibras. Patrón de edema, igual que para el grado 1.		
3	Cualquier espacio cuantificable entre fibras en los planos craneocaudal o axial. Defecto focal hiperintenso con retracción parcial de fibras musculares ± hemorragia intermuscular. Se debe documentar el espacio entre las fibras en el área máxima de la lesión en un plano axial del vientre del músculo afectado. El % ACT exacto debe documentarse como un subíndice de la calificación.		
r	Cuando se codifica una lesión intratendinosa o una lesión que afecta la UMT o el tendón intramuscular que muestra que existe rotura/retracción o pérdida de tensión (espacio), se debe agregar un superíndice (r) al grado.		

Nota. UMT: Unión Miotendinosa; RM: Resonancia Magnética; DPSG: Densidad de Protones Saturados de grasa; EGR: Eco de Giro Rápido; RITC: Recuperación de Inversión Tau Corta; ACT: Área de Corte Transverso.

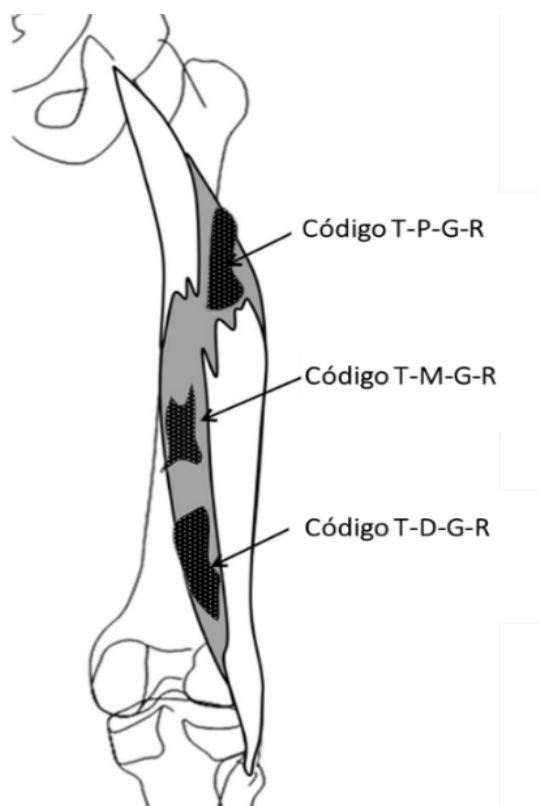
Fuente: Tomado y Modificado de Valle X(101) y FC Barcelona-Aspetar-Duke(100)

Figura 28. Ejemplo de codificaciones para lesiones indirectas de cabeza larga del bíceps femoral (Clbf), tipo sprint



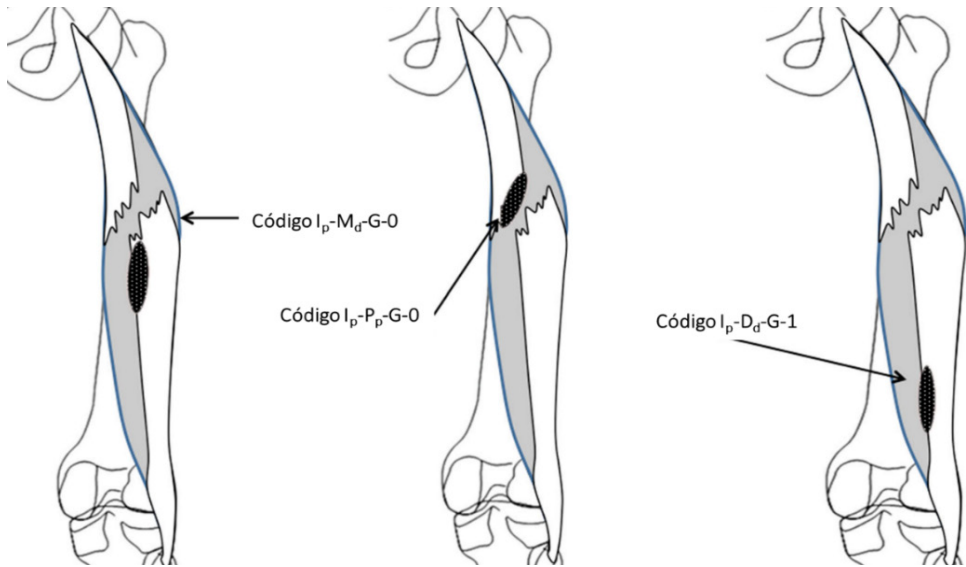
Nota. I_p-P_p-G-R una lesión indirecta Clbf tipo sprint ubicada en el tercio proximal del vientre muscular y relacionada con fibras de la unión miotendinosa proximal (UMT), más el correspondiente grado y número de relesiones. I_p-M_d-G-R una lesión indirecta Clbf tipo sprint ubicada en el tercio medio del vientre muscular y relacionada con fibras de la UMT distal, más el correspondiente grado y número de relesiones. I_p-D_d-G-R una lesión indirecta Clbf tipo sprint ubicada en el tercio distal del vientre muscular y relacionada con fibras de la UMTJ distal, más el grado y número de relesiones correspondientes.

Figura 29. Ejemplo codificaciones para lesiones directas de cabeza larga del bíceps femoral (Clbf)



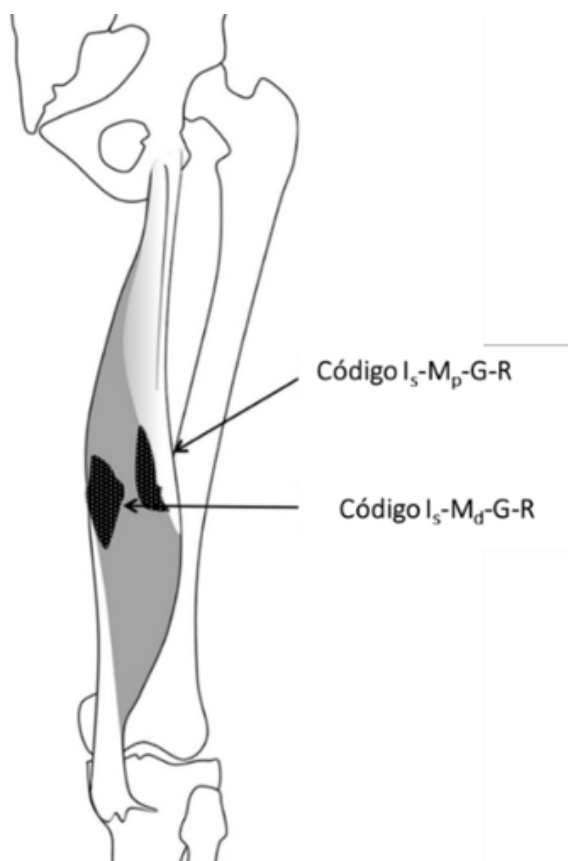
Nota. T-P-G-R una lesión directa Clbf localizada en el tercio proximal del vientre muscular, más el grado y número correspondiente de relesiones. T-M-G-R una lesión directa Clbf localizada en el tercio medio del vientre muscular, más el grado y número correspondiente de relesiones. T-D-G-R una lesión directa Clbf localizada en el tercio distal del vientre muscular, más el grado y número correspondiente de relesiones.

Figura 30. Ejemplo de codificación para relesiones



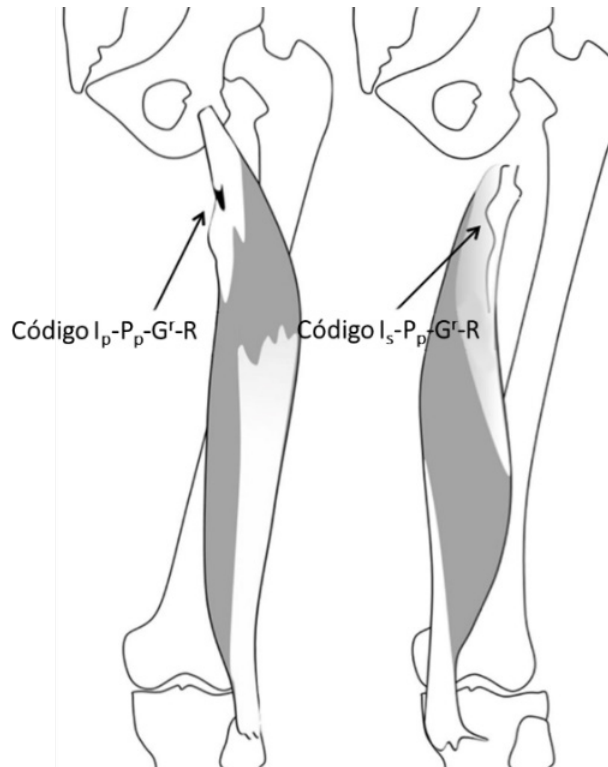
Nota. I_p-M_d-G-0 un primer episodio de lesión indirecta de cabeza larga del bíceps femoral (Clbf) tipo sprint ubicada en el tercio medio del vientre muscular y relacionada con fibras de la unión miotendinosa distal (UMT), más el grado y número de relesiones (0). Si ocurre un segundo episodio en los próximos 2 meses en el mismo músculo, I_p-P_p-G-0 es una lesión indirecta Clbf tipo sprint ubicada en el tercio proximal del vientre muscular y relacionada con fibras de la UMT proximal, más el grado correspondiente. y número de nuevas lesiones (0). I_p-D_d-G-1 una lesión indirecta Clbf tipo sprint, localizada en el tercio distal del vientre muscular y relacionada con fibras de la UMT distal, más el grado y número de relesiones correspondientes.

Figura 31. Ejemplos de codificaciones para lesiones indirectas semimembranasas, tipo estiramiento



Nota. I_s-M_p-G-R es una lesión indirecta de estiramiento tipo semimembranosa ubicada en el tercio medio del vientre muscular y relacionada con fibras de la unión miotendinosa proximal, más el correspondiente grado y número de relesiones. I_s-M_d-G-R una lesión indirecta de estiramiento tipo semimembranosa ubicada en el tercio medio del vientre muscular y relacionada con fibras de la unión miotendinosa distal, más el grado y número correspondiente de relesiones.

Figura 32. Ejemplos de codificaciones para lesiones indirectas de cabeza larga del bíceps femoral (Clbf) y semimembranoso (SM) con separación, retracción o pérdida de tensión del tendón



Nota. $I_p-P_p-G^r-R$ una lesión indirecta Clbf tipo sprint ubicada en el tercio proximal del vientre muscular y relacionada con fibras de la unión miotendinosa proximal (UMT), más el grado correspondiente que describe la extensión del tendón y el número de relesiones. $E_s-P_p-G^r-R$ una lesión indirecta de tipo SM por estiramiento ubicada en el tercio proximal del vientre muscular y relacionada con fibras de la UMT proximal, más el grado correspondiente que describe la extensión del tendón y el número de relesiones.

La evolución de las clasificaciones de lesiones musculares ha sido directamente proporcional al progreso tecnológico, en el que el diagnóstico es el objetivo principal, lo que conlleva a tomar decisiones pertinentes hacia un adecuado tratamiento y a su vez, implementar programas de prevención.

Conclusiones

El estudio del músculo esquelético y su función en el movimiento humano es esencial para comprender tanto la biomecánica del cuerpo como la fisiología detrás de las lesiones y su rehabilitación. A lo largo del documento, se ha demostrado que el tejido muscular es un componente fundamental del sistema musculoesquelético, cuya integridad y funcionalidad son cruciales para llevar a cabo actividades cotidianas y deportivas.

La comprensión de las características del músculo, como su capacidad de contracción, estructura e interconexión con el sistema esquelético, permite a los profesionales de la salud diseñar programas de rehabilitación más efectivos. Conocer cómo el músculo responde a diferentes estímulos y se adapta a las cargas físicas es vital para desarrollar estrategias que promuevan la recuperación y prevengan futuras lesiones.

Las patologías musculares, como desgarros y distensiones, representan un desafío significativo en el ámbito deportivo y de la salud. Estas condiciones no solo afectan el rendimiento físico, sino que también pueden tener un impacto duradero en la calidad de vida de las personas. La identificación precisa de estas patologías es esencial para implementar un tratamiento adecuado y oportuno. Las clasificaciones de lesiones musculares, desde el sistema clásico de O'Donoghue hasta las más recientes como la del FC Barcelona-Aspetar-Duke, proporcionan un marco de referencia que facilita la evaluación y el diagnóstico, influyendo directamente en las decisiones terapéuticas.

Además, el uso de tecnologías avanzadas de imagenología ha permitido una comprensión más profunda de la extensión y gravedad de las lesiones musculares. Esto es especialmente relevante en la rehabilitación, donde una identificación precisa de la lesión puede guiar el tratamiento y optimizar el tiempo de recuperación. Las clasificaciones modernas no solo definen el tipo de lesión, sino que también proporcionan información sobre el pronóstico y el tiempo estimado de recuperación, lo que es crucial para la planificación de la rehabilitación.

En conclusión, el conocimiento del músculo, sus patologías y la clasificación de lesiones no solo es esencial para la práctica clínica y la rehabilitación, sino que también es fundamental para prevenir lesiones. Un enfoque basado en la evidencia, que integre la anatomía, la fisiología y la biomecánica del músculo, es crucial para mejorar los resultados en la rehabilitación y garantizar un retorno seguro y efectivo a la actividad física. La educación continua y la investigación en este campo son necesarias para seguir avanzando en la comprensión del músculo y su papel en la salud y el rendimiento humano.

Referencias

1. Saladin K. Muscular Tissue. En: Anatomy & Physiology The Unity of Form and Function. 10th Edition. Edit. McGrawHill. 2023. pp.. 382-417
2. Betts J, Desaix P, Johnson E, Johnson J, Korol O, Kruse D, et al. The Tissue Level of Organization. En: Anatomy and Physiology. 2nd edition. Edit. OpenStax. 2022. pp. 141-179
3. Weinhaus A. Anatomy of the Human Heart. En: Laizzo P. Handbook of Cardiac Anatomy, Physiology, and Devices. 3rd Edition. Edit. Springer. 2015: pp. 61-88
4. Roberts A. Anatomy En: The Complete Human Body The Definitive Visual Guide. Enhanced and Updated. 2nd Edition. Edit. Penguin Random House. 2016: p. 28-287
5. Palastanga N, Soames R. Introduction. En: Anatomy and Human Movement. Structure and Function. 6th Edition. Edit. Elsevier. 2012. p. 1-33
6. Guezennec C, Krzentowski. Muscle Physiology in Athletes. En: Roger B, Guermazi A, Skaf A. Muscle Injuries in Sport Athletes: Clinical essentials and Imaging Findings. Edit. Springer. 2017. pp. 3-18
7. Betts J, Desaix P, Johnson E, Johnson J, Korol O, Kruse D, et al. The Tissue Level of Organization. En: Anatomy and Physiology. 2nd edition. Edit. OpenStax. 2022. pp. 126-162
8. Exeter D, Connel D. Skeletal Muscle: Functional Anatomy and Pathophysiology. Seminars in Musculoskeletal Radiology. 2010; Vol. 14(2): pp. 97-105. doi:10.1055/s-0030-1253154
9. Hamill J, Knutzen K, Derrick T. Skeletal Considerations for Movement. En: Biomechanical Basis of Human Movement. 4th Edition. Edit. Wolters Kluwer. 2015. p. 25-58
10. Özkaya N Leger D, Goldsheyder D, Nordin M. Stress and Strain. En: Fundamentals of Biomechanics. Equilibrium, Motion, and deformation. 4th edition. Edit. Springer. 2016: p. 287-315
11. Calik M. The Muscle Structure and function. En: Kaya D. Functional Exercise Anatomy and Physiology for Physiotherapists. Edit. Springer. 2023. p. 77-92

12. Fisher J, Di Giancamillo, Roveda E, Montaruli A, Peretti G. Functional Morphology of Muscles and Tendons. En: Canata G, d'Hooghe P, Hunt K. Muscle and Tendon Injuries. Evaluation and Management. Edit. Springer. 2017: p. 1-14
13. Hunter S, Senefeld J, Neumann D. The Primary Stabilizer and Mover of the Skeletal System. En: Neumann D. Kinesiology of the Musculoskeletal System. Foundations for Rehabilitation. 3rd Edition. Edit. Elsevier. 2018: p. 47-76
14. Iyer S, Shah S, Lovering R. The Neuromuscular Junction: Roles in Aging and Neuromuscular Disease. *Int J Mol Sci.* 2021; Vol 22(15): 8058. DOI: 10.3390/ijms22158058
15. Qaisar R. Targeting neuromuscular junction to treat neuromuscular disorders. *Life Sci.* 2023; Vol. 15:333:122186. doi: 10.1016/j.lfs.2023.122186.
16. Todini L, Menchetti L, Interactive Classroom: from motoneuron activity to skeletal muscle contraction and relaxation. *Adv Physiol Educ.* 2023; Vol. 47(3): pp. 652-656. DOI: 10.1152/advan.00047.2023
17. Li L, Xiong W, Mei L. Neuromuscular Junction Formation, Aging, and Disorders. *Annu Rev Physiol.* 2018; Vol. 80: pp. 159-188. DOI: 10.1146/annurev-fisiol-022516-034255
18. Mukund K, Subramaniam S. Skeletal muscle: A review of molecular structure and function, in health and disease. *Wiley Interdiscip Rev Syst Biol Med.* 2020; Vol. 12(1): e1462. DOI: 10.1002/wsbm.1462
19. Jones RA, Harrison C, Eaton SL, Llaverro Hurtado M, Graham LC, Alkhamash L, Oladiran OA, Gale A, Lamont DJ, Simpson H, Simmen MW, Soeller C, Wishart TM, Gillingwater TH. Cellular and Molecular Anatomy of the Human Neuromuscular Junction. *Cell Rep.* 2017; Vol. 21(9): pp. 2348-2356. DOI: 10.1016/j.celrep.2017.11.008
20. Rebbeck R, Karunasekara Y, Board P, Beard N, Casarotto M, Dulhunty A. Skeletal muscle excitation-contraction coupling: Who are the dancing partners? *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology.* 2014; Vol. 48: pp. 28-38 <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2013.12.001>
21. Calderon-Velez J, Figueroa-Gordon L. El Acoplamiento Excitación-Contracción en el musculo Esquelético: Preguntas por responder a pesar de 50 años de estudio. *Biomedica.* 2009; Vol.29: pp. 140-160. Disponible en <chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmkaj/http://www.scielo.org.co/pdf/bio/v29n1/v29n1a17.pdf>

22. Frontera W, Ochala J. Skeletal Muscle: A Brief Review of Structure and Function. *Calcif Tissue Int.* 2015; Vol. 96(3): pp.183-195. doi: 10.1007/s00223-014-9915-y.
23. Calero-Saa P. Herramientas de la Evaluación en la Rehabilitación Deportiva. En: *elementos Básicos de la Rehabilitación Deportiva. Tomo II.* Edit. Universidad Santiago de Cali. 2018. pp. 20-67
24. Tarantino F. Bases fisiológicas y Beneficios del Entrenamiento Propioceptivo. En: *Entrenamiento Propioceptivo. Principios en el Diseño de ejercicios y Guías Practicas.* Edit. MedicaPanamericana. 2017: pp. 3-8
25. Westerblad H, Bruton J Katz A. Skeletal muscle: Energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability. *Experimental Cell Research* 316. 2010; Vol. 18: pp. 3093-3099
26. Håkan Westerblad; Joseph D. Bruton; Abram Katz (2010). Skeletal muscle: Energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability., 316(18), 3093–3099. doi: 10.1016/j.yexcr.2010.05.019
27. Oakes S. Lesión celular, muerte celular y adaptaciones. En: Kumar V, Abbas A, Aster J. Robbins y Cotran. *Patología estructural y Funcional.* loma edición. Edit. Elsevier. 2021: pp. 33-69
28. Relaix F, Zammit P. Satellite cells are essential for skeletal muscle regeneration: the cell on the edge returns center stage. *Development.* 2012; Vol. 139(16): pp. 2845–2856. doi:10.1242/dev.069088.
29. Volpi P, Bisciotti G. Biology and Etiology of Muscle-Tendon Injuries. En: *Muscle Injury in the Athlete. The Italian Consensus Conference Guidelines.* Edit. Springer. 2019: pp. 1-35
30. Silvers-Granelli H, Cohen M, Espreguiera-Mendes J, Mandelbaum B. Hamstring muscle injury in the athlete: state of the art. *J ISAKOS.* 2021; Vol. 6: pp. 170–181. doi:10.1136/jisakos-2017-000145.
31. Ekstrand J, Healy J, Walden M, Lee J, English b, Häggglund M. Hamstring muscle injuries in professional football: the correlation of MRI findings with return to play. *Br J Sports Med.* 2012; Vol. 46: pp 112–117. doi:10.1136/bjsports-2011-090155
32. Schroeter S, Heiss R, Hammer C, Grim C, Engelhard M, Hotfiel T. Diagnosis of Proximal Hamstring Injuries. *Sports Orthop. Traumatol.* 2022: Vol. 38; pp. 47-57. <https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2022.01.008>

33. Kalema R, Duhig S, Williams M, Donaldson A, Shield A. Sprinting technique and hamstring strain injuries: A concept mapping study. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2022; Vol. 25(39); pp. 209-215 <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.09.007>
34. Brumitt J. Rehabilitation of Thigh Injuries. En: Andrews J, Harrelson G, Wilk K. *Physical Rehabilitation of the Injured Athlete*. 4th edition. Edit. Elsevier. 2012. pp. 358-376
35. Kary J. Diagnosis and management of quadriceps strains and contusions. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2010; Vol. 3; pp. 26-31 DOI 10.1007/s12178-010-9064-5
36. Heiderscheit B, Sherry M, Silder A, Chumanov E, Thelen D. Hamstring Strain Injuries: Recommendations for Diagnosis, Rehabilitation and Injury Prevention. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2010; Vol. 40(2); pp. 67-81. doi: 10.2519/jospt.2010.3047
37. Armfield D, Kim D, Towers J, Bradley J, Robertson D. Sports-Related Muscle Injury in the Lower Extremity. *Clin Sports Med*. 2006; Vol. 25; pp. 803-842 DOI: 10.1016/j.csm.2006.06.011
38. Pujals C, Rubio V, Márquez O, Sánchez I, Ruiz-Barquín R. Comparative sport injury epidemiological study on a Spanish sample of 25 different sports. *Rev. Psi. Dep*. 2016. Vol. 25 (2): 271-279
39. Van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Med*. 1992; Vol.14 (2): 82-99.
40. Kolt G, Snyder-Mackler L. Importancia de la fisioterapia en el deporte, ejercicio y la actividad física. EN: *Fisioterapia del deporte y el ejercicio*. Elsevier España, 2004. Pg. 3.
41. Bahr R, Holme I. Risk factors for sports injuries: a methodological approach. *Sports Med*. 2003; 37:384-392.
42. Villaquirán A, Portilla-Dorado E, Vernaza-Pinzón P. Caracterización de la lesión deportiva en atletas caucanos con proyección a juegos deportivos nacionales. *Rev Univ. Salud*. 2016; Vol.18(3):541-549
43. De Souza J, Gottfried C. Muscle injury: review of experimental models. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2013; Vol. 23(6): pp. 1253-1260. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2013.07.009>

44. Alí K, Leland J. Hamstring strains and tears in the athlete. Clin sports Med. 2012; Vol. 31: pp. 263-272. DOI: 10.1016/j.csm.2011.11.001
45. Beltran L, Ghazikhanian V, Padron M, Beltran J. The proximal hamstring muscle–tendon–bone unit: a review of the normal anatomy, biomechanics, and pathophysiology. Eur J Radiol. 2012; Vol.81(12): pp. 3772-3779. doi: 10.1016/j.ejrad.2011.03.099.
46. Warden S. Sports Injuries: Acute. En: Brukner P, Clarsen B, Cook J, Crossley K, Hutchinson M, et al. Brukner & Khan´s Clinical Sports Medicine. 5th Edition. Edit. Mc Graw Hill. 2017. pp. 13-27
47. Calero-Saa P. Parámetros de la Rehabilitación Deportiva. En: Elementos Básicos de la Rehabilitación Deportiva. Tomo I. Edit. Universidad Santiago de Cali. 2018. pp. 73-130
48. Rodineau J, Besch S. Role of Clinical Evaluation for the Diagnosis of Acute and Chronic Muscle Injuries. En: Roger B, Guermazi A, Skaf A. Muscle Injuries in Sport Athletes. Clinical essentials and Imaging Findings. Edit. Springer. 2017. pp. 67-81
49. Comin J, Malliaras P, Baquie P, Barbour T, Connell D. Return to competitive play after hamstring injuries involving disruption of the central tendon. Am J Sports Med. 2013; Vol.41(1):111-115. doi: 10.1177/0363546512463679.
50. Wang W, Pan H, Murray K, Jefferson B, Li Y. Matrix metalloproteinase-1 promotes muscle cell migration and differentiation. Am J Pathol. 2009; Vol. 174: pp. 541-549. DOI: 10.2353/ajpath.2009.080509
51. Flores D, Mejia C, Estrada-Castrillon M, Smitaman E, Pathria M. MR Imaging of Muscle Trauma: Anatomy, Biomechanics, Pathophysiology, and Imaging Appearance. RadioGraphics 2018; Vol.38(1): pp.124-148. DOI: 10.1148/rg.2018170072
52. Dönmez G, Dilicikik U, Aydoğ S, Evrenos M, Tetik O, Demiral M, Doral M. Muscle Injuries: Strains, Contusions, and Ruptures. En: Karlsson J. Sports Injuries. Prevention, Diagnosis, Treatment and Rehabilitation. 2nd Edition. Edit. Springer. 2015. p. 2263-2279
53. Trojian T. Muscle Contusion (Thigh). Clin Sports Med. 2013; Vol.32: pp. 317-324. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csm.2012.12.009>
54. Camargo C. Ayudas Diagnosticas en Lesiones Deportivas. En: Calero-Saa P. Elementos Básicos de la Rehabilitación Deportiva. Tomo II. Editorial Universidad Santiago de Cali. 2018. P. 70-80

55. Walczak B, Johnson C, Howe B. Myositis Ossificans. *J Am Acad Orthop Surg.* 2015; Vol. 23; 612-622. <http://dx.doi.org/10.5435/JAAOS-D-14-00269>
56. Rombolá E. RM en miositis osificante traumática en fase aguda. *Rev Argent Radiol.* 2015; Vol. 79(3); pp. 155-164. DOI: 10.1016/j.rard.2014.11.004
57. Rehman N, Sadashiva H, Madakshira M, raman D. Non-traumatic myositis ossificans. *Autops Case Rep.* 2021; Vol. 11; <https://doi.org/10.4322/acr.2021.316>
58. Sferopoulos N, Kotakidou R, Petropoulos A. Myositis ossificans in children: a review. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2017; Vol. 27(4); pp. 491-502. doi: 10.1007/s00590-017-1932-x.
59. Kan L, Liu Y, McGuire T, Palila D, Awatramani R, Dymecki S, Kessler J. Dysregulation of local stem/progenitor cells as a common cellular mechanism for heterotopic ossification. *Células madre.* 2009; Vol.27(1); pp. 150-156. doi: 10.1634/células madre.2008-0576.
60. Hansen E, Pedersen L, Lindberg-Larsen M. Acute compartment síndrome. *Ugeskr Laeger.* 2021; Vol. 183(27); disponible en: <https://ugeskriftet.dk/videnskab/akut-kompartmentsyndrom>
61. MacQueen M, Gaston P, CM-Marron C. Acute compartment syndrome. Who is at risk? *J Bone Joint Surg Br.* 2000; Vol. 82(2); pp. 200-203. PMID: 10755426
62. Muñoz-Pérez D, Medina-Rojas R, Sanjuan-Marín J, Rodriguez-Florez R, Sánchez-Arroyo N. Síndrome compartimental agudo del miembro inferior: estado actual. *Rev Colomb Cir.* 2021; Vol. 36; 132-143. <https://doi.org/10.30944/20117582.663>
63. Duckworth A, McQueen M. The diagnosis of acute compartment syndrome: A critical analysis review. *JBJS Rev.* 2017; Vol. 5(12); DOI: 10.2106/JBJS.RVW.17.00016
64. Torlincasi A, Lopez R, Waseem M. Acute Compartment Syndrome. En: *StatPearls.* StatPearls Publishing, Treasure Island. 2021; Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK448124/>
65. Maughan R, Shirreffs S. Muscle Cramping During Exercise: Causes, Solutions, and Questions Remaining. *Sports Med.* 2019; vol. 49(2); pp. 115-124. doi: 10.1007/s40279-019-01162-1.

66. Troyer W, Render A, Jayanthi N. Exercise-Associated Muscle Cramps in the Tennis Player. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*. 2020; vol. 13: pp. 612-621. <https://doi.org/10.1007/s12178-020-09662-8>
67. Jahic D, Begic E. Exercise-Associated Muscle Cramp-Doubts About the Cause. *Mater Sociomed*. 2018; Vol.30(1): pp. 67-69. DOI: 10.5455/mism.2018.30.67-69.
68. Schweltnus M, Drew N, Collins M. Muscle cramping in athletes--risk factors, clinical assessment, and management. *Clin Sports Med*. 2008; Vol.27(1): pp. 183-94. doi: 10.1016/j.csm.2007.09.006.
69. Bergeron M. Heat cramps: fluid and electrolyte challenges during tennis in the heat. *J Sci Med Sport*. 2003; Vol. 6(1): pp. 19-27. doi:10.1016/s1440-2440(03)80005-1
70. Talbott J, Michelsen J. Heat Cramps. A clinical and Chemical Study. *J Clin Invest*. 1933; vol.12(3): pp. 533-549. DOI: 10.1172/JCI100516
71. Stofan J, Zachwieja J, Horswill C, Murray R, Anderson S, Eichner E. Sweat and sodium losses in NCAA football players: a precursor to heat cramps? *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2005; vo.15(6): pp. 641-652. doi:10.1123/ijsnem.15.6.641
72. Miller K, McDermott B, Yeargin S. Sweat characteristic of cramp-prone and cramp-resistant athletes. *Int J Sports Nutr Exerc Metab*. 2020; vol.30(3): pp. 218-228. doi:10.1123/ijsnem.2019-0308
73. Ruff R. Sodium channel slow inactivation and the distribution of sodium channels on skeletal muscle fibres enable the performance properties of different skeletal muscle fibre types. *Acta Physiol Scand*. 1996; Vol. 156(3): 159-168. doi: 10.1046/j.1365-201X.1996.189000. x.
74. Schweltnus M, Derman E, Noakes T. Aetiology of skeletal muscle 'cramps' during exercise: a novel hypothesis. *J Sports Sci*. 1997; Vol.15(3): pp. 277-285. doi: 10.1080/026404197367281.
75. Hotfiel T, Freiwald J, Hoppe MW, Lutter C, Forst R, Grim C, Bloch W, Hüttel M, Heiss R. Advances in Delayed-Onset Muscle Soreness (DOMS): Part I: Pathogenesis and Diagnostics. *Sportverletz Sportschaden*. 2018; Vol.32(4): pp. 243-250. doi: 10.1055/a-0753-1884.
76. Heiss R, Lutter C, Freiwald J, Hoppe MW, Grim C, Poettgen K, Forst R, Bloch W, Hüttel M, Hotfiel T. Advances in Delayed-Onset Muscle Soreness

- (DOMS) - Part II: Treatment and Prevention. *Sportverletz Sportschaden*. 2019; Vol.33(1): pp.21-29. doi: 10.1055/a-0810-3516.
77. Sonkodi B. Delayed Onset Muscle Soreness and Critical Neural Microdamage-Derived Neuroinflammation. *Biomolecules*. 2022; Vol.12(9):1207. doi: 10.3390/biom12091207.
 78. Katayama H, Watanabe A, Machida T. A new perspective on tissue gliding dysfunction bordered by deep fascia as an indicator of delayed onset muscle soreness: A case report. *J Bodyw Mov Ther*. 2023; Vol.36: pp.251-255. doi: 10.1016/j.jbmt.2023.06.014.
 79. Wilke J, Behringer M. Is “Delayed Onset Muscle Soreness” a False Friend? The Potential Implication of the Fascial Connective Tissue in Post-Exercise Discomfort. *Int J Mol Sci*. 2021; Vol. 22(17):9482. doi: 10.3390/ijms22179482.
 80. Heiss R, Höger SA, Uder M, Hotfiel T, Hanspach J, Laun FB, Nagel AM, Roemer FW. Early functional and morphological changes of calf muscles in delayed onset muscle soreness (DOMS) assessed with 7T MRI. *Ann Anat*. 2024; Vol.251:152181. doi: 10.1016/j.aanat.2023.152181
 81. Faulkner J, Mendias c, Davis C, Brooks S. Role of Contraction-Induced Injury in Age-Related Muscle Wasting and Weakness. En: Lynch G. *Sarcopenia: Age-Related Muscle Wasting and Weakness. Mechanisms and Treatments*. Edit. Springer. 2011. pp. 373-392.
 82. Hill A, Long C, Lupton H. Muscular Exercise, Lactic Acid and the Supply and Utilisation of Oxygen. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 1924; Vol.97(682): pp. 155-176. doi:10.1098/rspb.1924.0048
 83. Cheung K, Hume P, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Med*. 2003; Vol. 33(2): pp.145-64. doi: 10.2165/00007256-200333020-00005.
 84. Close GL, Ashton T, McArdle A, Maclaren DP. The emerging role of free radicals in delayed onset muscle soreness and contraction-induced muscle injury. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 2005; Vol.142(3): pp.257-66. doi: 10.1016/j.cbpa.2005.08.005.
 85. Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Impaired calcium release during fatigue. *J Appl Physiol* (1985). 2008; Vol.104(1): pp.296-305. doi: 10.1152/japplphysiol.00908.2007.

86. Nijs J, Paul van Wilgen C, Van Oosterwijck J, van Ittersum M, Meeus M. How to explain central sensitization to patients with 'unexplained' chronic musculoskeletal pain: practice guidelines. *Man Ther.* 2011; Vol.16(5): pp.413-8. doi: 10.1016/j.math.2011.04.005.
87. Mackey AL, Brandstetter S, Schjerling P, Bojsen-Moller J, Qvortrup K, Pedersen MM, Doessing S, Kjaer M, Magnusson SP, Langberg H. Sequenced response of extracellular matrix adhesion and fibrotic regulators after muscle damage is involved in protection against future injury in human skeletal muscle. *FASEB J.* 2011; Vol.25(6): pp.1943-59. doi: 10.1096/fj.10-176487.
88. Cianforlini C, Coppa V, Grassi M, Gigante A. New Strategies for Muscular Repair and Regeneration. En: En: Canata G, d'Hooghe P, Hunt K. *Muscle and Tendon Injuries. Evaluation and Management.* Edit. Springer. 2017: pp. 145-156
89. Calero-Saa P. Consideraciones, Conceptos y Contexto de la Lesiones Deportiva. En: *Elementos Básicos de la Rehabilitación Deportiva Tomo I.* Edit. Universidad Santiago de Cali. 2018. Pág. 26-71
90. Hamilton B, Valle X, Rodas G, Til L, Pruna R, Gutierrez J, Tol J. Classification and grading of muscle injuries: a narrative review. *Br J Sports Med.* 2015; Vol. 49(59); Doi: 10.1136/bjsports-2014-093551.
91. Hamilton B, Alonso J, Best T. Time for a paradigm shift in the classification of muscle injuries. *J Sport Health Sci.* 2017: Vol. 6(3); pp. 255-261 Doi: 10.1016/j.jshs.2017.04.011.
92. Gielen J, Robinson P, Van Dyck P, Van der Stappen A, Vanhoenacker F. Muscle Injuries. En: Vanhoenacker F, Maas M, Gielen J. *Imaging og Orthopaedic Sports Injuries.* 2nd Edition. Edit. Springer. 2021 pp. 21-68
93. Barcelona. *Muscle Injuries Clinical Guide 3.0*; FIFA Medical Centre of Excellence. 2015
94. Muñoz S, Astudillo C, Miranda E, Albarracín J. Lesiones musculares deportivas: Correlación entre anatomía y estudio por imágenes. *Revista Chilena de Radiología.* 2018; Vol. 24(1); pág. 22-33.
95. American Medical Association. *Standard nomenclature of athletic injuries.* Chicago: American Medical Assn. (1966).

96. Mueller-Wohlfahrt H, Haensel L, Mithoefer K, Ekstrand J, English B, McNally S, et al. Terminology and classification of muscle injuries in sport: The Munich consensus statement. *Br J Sports Med* 2013; Vol.47: 342-350. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2012-091849>
97. Ryan A. Quadriceps strain, rupture and Charlie horse. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1969; Vol 1(2); pp. 106-111. doi:10.1249/00005768-196906000-00010
98. Takebayashi S, Takasawa H, Banzai Y, Miki H, Sasaki R, Itoh Y, Matsubara S. Sonographic findings in muscle strain injury: clinical and MR imaging correlation. *J Ultrasound Med*. 1995; Vol. 14(12); pp. 899-905 <https://doi.org/10.7863/jum.1995.14.12.899>
99. Pollock N, James S, Lee J, Chakraverty R. British athletics muscle injury classification: a new grading system. *Br J Sports Med*. 2014; Vol. 48: pp. 1347-1351
100. Pruna R, Til L, Artells R, editores. *Muscle Injuries Clinical Guide 3.0*. Barcelona: FC Barcelona; 2015 [citado 2023 Oct 12].
101. Valle X, Alentorn-Geli E, Tol JL, Hamilton B, Garrett WE Jr, Pruna R, Til L, Gutierrez JA, Alomar X, Balius R, Malliaropoulos N, Monllau JC, Whiteley R, Witvrouw E, Samuelsson K, Rodas G. Muscle Injuries in Sports: A New Evidence-Informed and Expert Consensus-Based Classification with Clinical Application. *Sports Med*. 2017; Vol.47(7): pp. 1241-1253. doi: 10.1007/s40279-016-0647-1.
102. Miller K, McDermott B, Yeargin S, Fiola A, Schwellnus M. An Evidence-Based Review of the Pathophysiology, Treatment, and Prevention of Exercise-Associated Muscle Cramps. *J Athl Train*. 2022; Vol. 57(1): pp. 5-15. doi: 10.4085/1062-6050-0696.20.
103. Miller K. Exercise-Associated Muscle Cramps. En: Adams W, Jardine J. *Exertional Heat Illness: A clinical and evidence Based-Guide*. Edit. Springer. 2020. pp. 117-136

CAPÍTULO 7

El Hueso: Tejido Dinámico, Adaptativo y Multifactorial

Bone: Dynamic, Adaptive, and Multifactorial Tissue

Pedro Antonio Calero Saa

Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte

© <https://orcid.org/0000-0002-9978-7944>

✉ pcalero22@gmail.com

Jennifer Jaramillo Losada

Universidad Santiago de Cali

© <https://orcid.org/0000-0003-4210-9947>

✉ jennifer.jaramillo01@usc.edu.co

Resumen

El documento “El Hueso: Tejido Dinámico, Adaptativo y Multifactorial” tiene como objetivo analizar la estructura, función y adaptación del tejido óseo en el cuerpo humano. Se exploran las características del hueso, diferenciando entre hueso cortical y esponjoso, y se discuten sus roles en el soporte, protección y producción de células sanguíneas.

La metodología utilizada incluye una revisión de la literatura científica sobre la biología del hueso, así como estudios sobre la respuesta del tejido a las cargas mecánicas y su remodelación a lo largo de la vida. Se examinan casos específicos, como la pérdida de masa ósea en astronautas debido a la microgravedad, para ilustrar cómo la falta de carga afecta la densidad ósea.

El capítulo indica que el hueso es un tejido altamente dinámico que se adapta a las exigencias mecánicas mediante la activación de osteoblastos y la reabsorción por osteoclastos, lo que permite mantener su integridad y

Cita este capítulo / Cite this chapter

Calero Saa PA, Jaramillo Losada J. El Hueso: Tejido Dinámico, Adaptativo y Multifactorial. En: Calero Saa PA, editor. Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo I: fundamentos de la salud física y la actividad deportiva. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 257-293. <https://doi.org/10.35985/9786287914155.7>

funcionalidad. Se observa que el tamaño y la densidad de los huesos varían según la carga que soportan, siendo más robustos en áreas que experimentan mayor estrés mecánico.

Finalmente, se enfatiza la importancia de la actividad física y la gravedad en la salud ósea, así como las implicaciones de la pérdida de masa ósea en situaciones de inactividad. Se concluye que el hueso no solo proporciona soporte estructural, sino que también es un tejido adaptativo que responde a su entorno, lo que resalta su multifuncionalidad y relevancia en la fisiología humana.

Palabras clave: Hueso Esponjoso, Hueso Cortical, Fracturas Óseas, Parámetros de la Curación.

Abstract

The document “Bone: Dynamic, Adaptive, and Multifactorial Tissue” aims to analyze the structure, function, and adaptation of bone tissue in the human body. It explores the characteristics of bone, differentiating between cortical and trabecular bone, and discusses their roles in support, protection, and blood cell production. The methodology used includes a review of the scientific literature on bone biology, as well as studies on the tissue’s response to mechanical loads and its remodeling throughout life. Specific cases, such as the loss of bone mass in astronauts due to microgravity, are examined to illustrate how the lack of load affects bone density. The chapter indicates that bone is a highly dynamic tissue that adapts to mechanical demands through the activation of osteoblasts and the resorption by osteoclasts, allowing it to maintain its integrity and functionality. It is observed that the size and density of bones vary according to the load they bear, being more robust in areas that experience greater mechanical stress. Finally, the importance of physical activity and gravity in bone health is emphasized, as well as the implications of bone mass loss in situations of inactivity. It concludes that bone not only provides structural support but is also an adaptive tissue that responds to its environment, highlighting its multifunctionality and relevance in human physiology.

Keywords: Cancellous Bone, Cortical Bone, Fractures, Bone, Healing Parameters.

Introducción

“La Virtud como el arte se consagran
constantemente a lo que es difícil de hacer,
y cuanto más dura la tarea más brillante es el éxito.”

—Platón

El capítulo “El Hueso: Tejido Dinámico, Adaptativo y Multifactorial” establece el contexto fundamental para comprender la complejidad y la importancia del tejido óseo en el cuerpo humano. A lo largo de este capítulo, se explorará la estructura y función del hueso, destacando su papel esencial no solo como soporte físico, sino también como un tejido vivo que se adapta y responde a las demandas mecánicas del entorno.

El hueso es un componente vital del sistema esquelético, que se divide en dos partes principales: el esqueleto axial y el apendicular. Cada uno de estos componentes desempeña funciones específicas, desde la protección de órganos vitales hasta la facilitación del movimiento. En este capítulo, se abordarán las propiedades mecánicas del hueso, su capacidad de remodelación y los factores que influyen en su densidad y resistencia a lo largo de la vida.

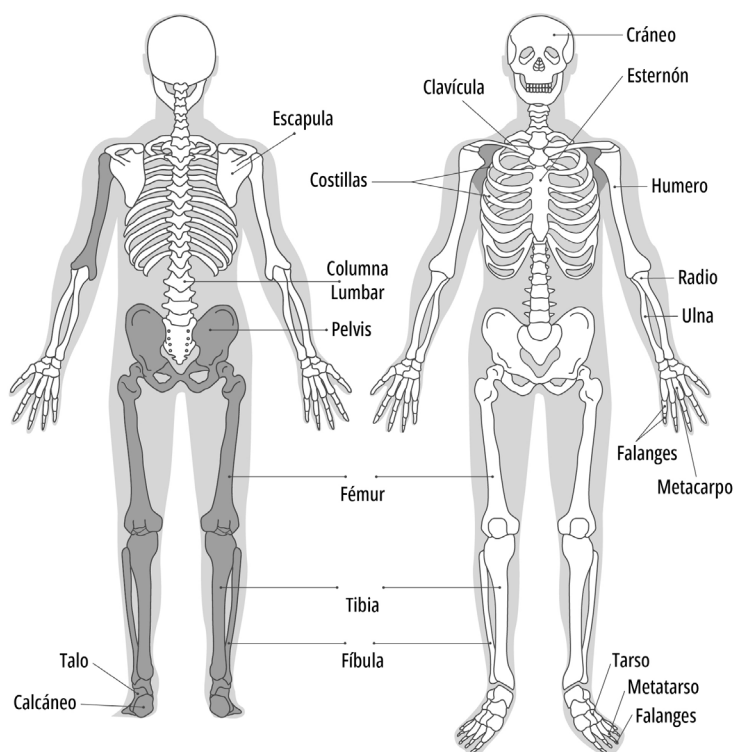
Además, se discutirá la relación entre la actividad física y la salud ósea, así como las consecuencias de la inactividad, como se observa en situaciones de microgravedad, que afectan a los astronautas. A través de una revisión de la literatura científica y la presentación de datos relevantes, este capítulo proporcionará una visión integral del hueso como un tejido multifactorial, enfatizando su adaptabilidad y su papel crucial en la salud y el bienestar general. El lector encontrará información valiosa que no solo enriquecerá su comprensión del tejido óseo, sino que también resaltará la importancia de mantener una salud ósea óptima a lo largo de la vida.

El Hueso

El Hueso está constituido por tejido óseo y constituye el 20% del peso corporal total. Este sistema se subdivide en esqueleto axial (pelvis, costillas, columna vertebral y cráneo) y apendicular (extremidades superiores e inferiores). Las funciones del sistema óseo se basan en el soporte general, el apalancamiento, la protección, el almacenamiento y formación de celular sanguíneas. El sistema óseo brinda un soporte estructural significativo, ayudando a mantener una postura mientras se adapta a fuerzas externas(1). El tamaño de los huesos

aumenta en dirección caudal en proporción a la cantidad de peso corporal que soporta, por lo tanto, los huesos de las extremidades inferiores, las vértebras lumbares y los huesos pélvicos son más grandes con relación a las otras partes del sistema óseo(2). Los huesos proporcionan lugares de inserción para los tendones, los músculos y ligamentos, lo que permite la producción de movimiento por medio de la aplicación de fuerza hacia los huesos. Proporciona la conformación de palancas y ejes de rotación por medio de los cuales el sistema muscular produce el movimiento(3).

Imagen 26. Huesos principales del sistema óseo

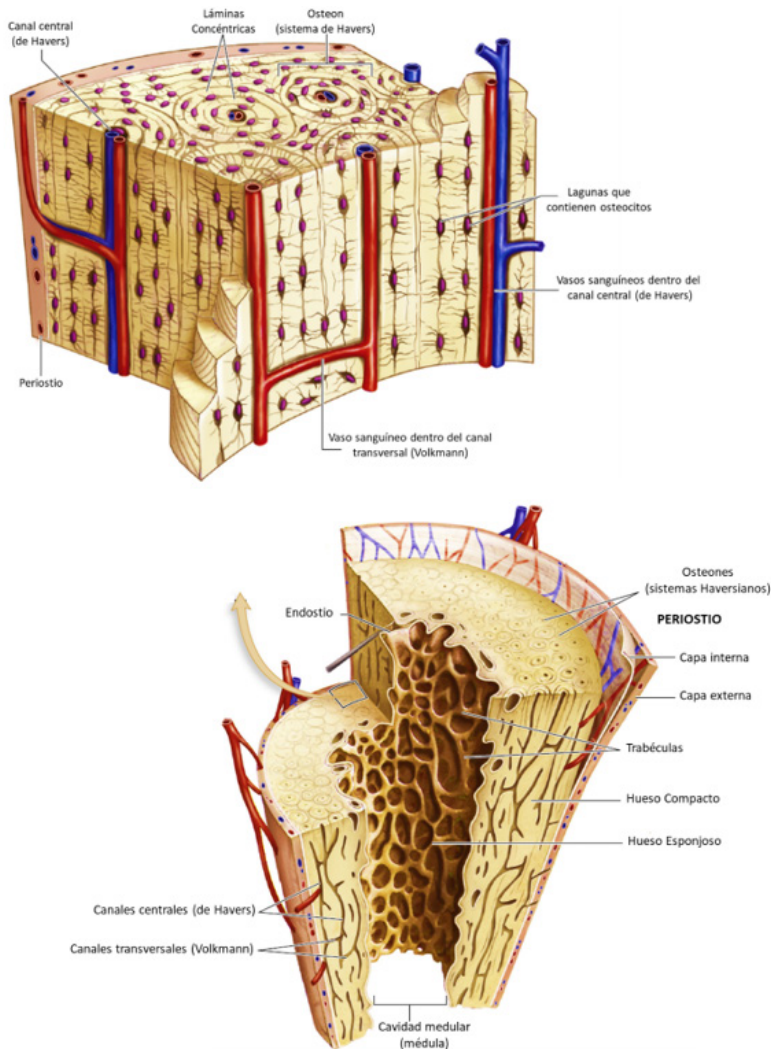


Anatomía Estructural del Hueso

El hueso es un tejido conectivo denso y duro que forma gran parte del esqueleto adulto. Se conforma adicionalmente de calcio y otros minerales. Existen dos tipos de hueso: el cortical y el esponjoso(4). El hueso cortical que se encuentra en los huesos largos proporciona soporte longitudinal y vertical para los sistemas de palanca, mientras que la región medular o interna es responsable de producir glóbulos rojos(2). El hueso cortical constituye el 80% del sistema óseo(5), esta

densamente organizado a lo largo de las líneas de fuerza en capas circunferenciales (Sistema de Havers). Los sistemas de Havers se organizan a lo largo de líneas de fuerzas para soportar mayores fuerzas de carga de peso, con áreas adicionales de densidad donde las inserciones musculares concentran las fuerzas. En los huesos planos como la pelvis y el esternón abunda el hueso esponjoso, el cual, no es tan resistente a fuerzas mayores(6). Como función de los huesos planos se encuentra la protección de órganos como el cerebro protegido por el cráneo, también brinda puntos de inserción para los músculos y ayuda absorber impactos(7).

Imagen 27. Anatomía estructural del Hueso



Fuente: Tomado y Modificado de Dunleavy(7)

Hueso Esponjoso

Posee espacios irregulares que lo hacen parece una esponja, lo que permite que el hueso sea más ligero y que proporcione una rigidez adecuada al hueso. Se encuentra principalmente en la epífisis de los huesos largos y en el centro de todos los demás clasificaciones de hueso. Se forma por una red de líneas y placas de tejido óseo que se denominan *Trabéculas* y, entre ellas existen espacios de hueso esponjoso. Estos espacios permiten la difusión de nutrientes provenientes de la vascularización sanguínea. En una observación superficial de las trabéculas, da la percepción de que estas estructuras están orientadas de forma desorganizada, sin embargo, en una observación más profunda, existe un patrón de disposición que permite afrontar o soportar las fuerzas de compresión que se producen al soportar el peso(8).

Hueso Compacto

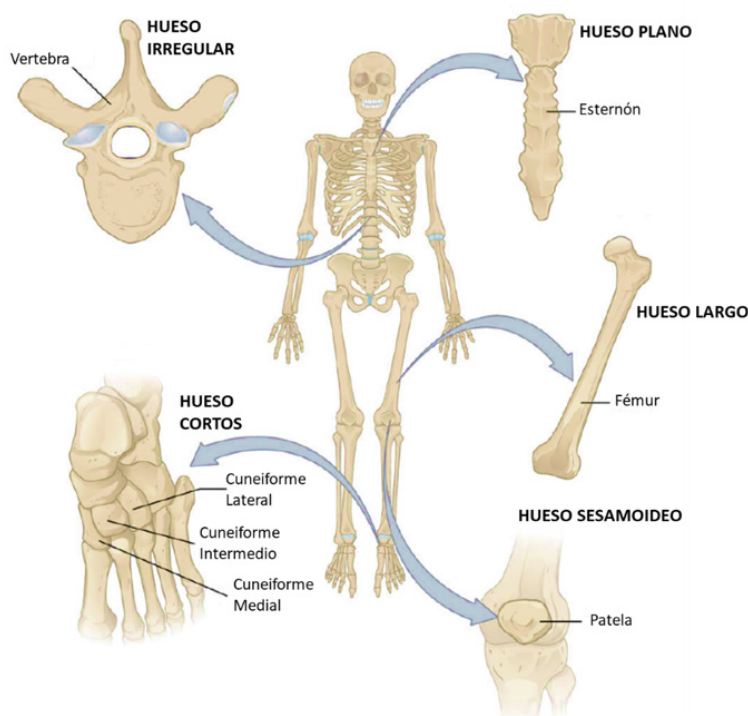
Contiene una disposición ósea muy ordenada y compacta. Se encuentra principalmente en la diáfisis de los huesos largos, lo que le proporciona al hueso rigidez y, reviste la superficie exterior de la epífisis de los huesos largos y la superficie exterior de las demás clasificaciones de los huesos. Internamente, se compone de unidades estructurales de forma cilíndrica denominadas *Osteonas*. Cada osteona se compone por un canal osteónico o de *Havers*, en el que se ubica un vaso sanguíneo. Los canales *Perforantes* o de *Volkman*, conectan el vaso sanguíneo de un canal de Havers con vaso sanguíneo de un canal de Havers adyacente. Ante esta configuración, los osteocitos se instalan del canal de Havers en círculos concéntricos, lo que genera una forma cilíndrica del osteona. El hueso compacto está conformado por múltiples osteonas, lo que permite que los osteocitos se organicen cerca del suministro de sangre para obtener nutrientes por medio de la difusión de los vasos sanguíneos que se ubican dentro de los canales de Havers. Cada osteocito se ubica dentro de una cámara pequeña que se rodea por la matriz ósea llamada *Laguna*. Los *Canalículos* conectan las lagunas, donde los osteocitos envían pequeños procesos citoplasmáticos a través de estos canalículos para comunicarse con los osteocitos adyacentes en otras lagunas(8).

Clasificación de los Huesos

El sistema óseo, compuesto por 206 huesos, se subcategoriza en 5 categorías de acuerdo con su forma.

- **Huesos Largos:** Son huesos con forma cilíndrica, son más largos que anchos. Este tipo de huesos se encuentran en los miembros superiores (Húmero, Ulna y Radio), los miembros inferiores (Fémur, Tibia y Peroné), manos (metacarpianos, falanges) y pies (metatarsianos, falanges). El tipo de hueso largo brindan función importante en las palancas, moviéndose a la contracción muscular(5, 2).
- **Huesos Cortos:** Son huesos con forma de cubo, aproximadamente igual en largo, ancho y grosor. Los huesos cortos se encuentran en las muñecas de las manos (carpianos) y en el pie (tarsos). Estos huesos se relacionan con la estabilidad, apoyo y movimiento limitado(9, 10).
- **Huesos Planos:** Este tipo de huesos se acerca a su definición, debido a que son delgados pero también curvos. Este tipo de huesos se encuentran en el cráneo, escapulas, esternón, pelvis y costillas. A menudo ayudan a proteger a los órganos y sirven como puntos de inserción de músculos(2).
- **Huesos Irregulares:** Estos huesos no tienen forma definida, por lo tanto, se clasifican como irregulares. Entre los huesos irregulares se encuentran las vértebras que protegen y sostienen la médula espinal, así como también se encuentran los huesos faciales(5).
- **Huesos Sesamoideos:** Es un hueso pequeño y redondo que tiene forma de semilla de sésamo. Se encuentran en los tendones donde su función se relaciona con la protección de la articulación al ayudar a disminuir las fuerzas de compresión. El hueso de la patela, catalogado como sesamoideo, es el único hueso común en todas las personas(9).

Imagen 28. Clasificación General de los Huesos



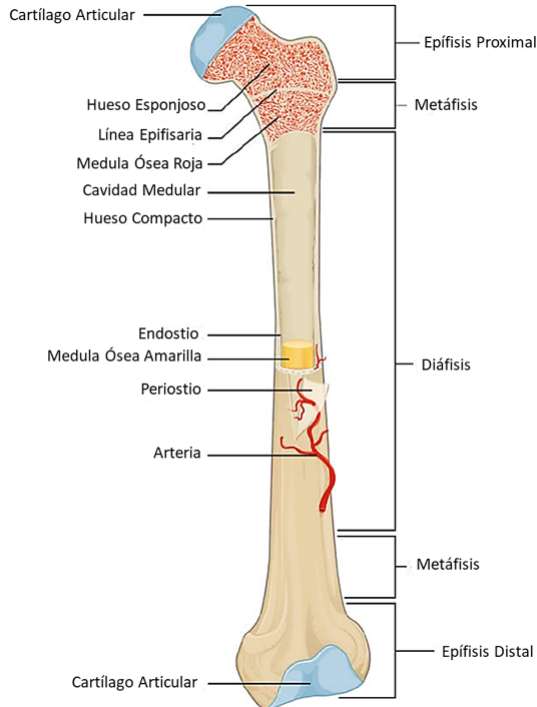
Fuente: Tomado y Modificado de Betts et al. (9)

Anatomía Macroscópica

La estructura de un hueso largo permite visualizar en su esplendor todas las partes del hueso. Un hueso consta de dos partes que son la diáfisis y epífisis. La diáfisis es el eje tubular que discurre entre los extremos proximal y distal del hueso(11). La Cavity Medular es una región hueca que está llena de medula amarilla. Las paredes de la diáfisis se componen de hueso compacto denso y duro. Las zonas más anchas en cada extremo del hueso se denominan epífisis y se encuentra relleno de hueso esponjoso y este a su vez esta relleno de medula roja(11). Cada epífisis se une con la diáfisis por medio de la metáfisis, que es el área que contiene la placa de crecimiento (placa epifisiaria), consistente en cartílago hialino en un hueso en crecimiento. Este cartílago es reemplazado por tejido óseo hacia el final del crecimiento del humano que es aproximadamente entre los 18 y 21 años. La cavidad medular se reviste interno delicado llamado endostio, donde se da el metabolismo óseo como el crecimiento, la reparación y remodelación del hueso. El Periostio es una membrana fibrosa que recubre la

superficie exterior del hueso, el cual contiene vasos sanguíneos, nervios y vasos linfáticos que se encargan de nutrir el hueso compacto(2). El periostio cubre toda la superficie exterior con excepción donde la epífisis se relaciona con otro huesos para formar la articulación, la cual, es cubierto por cartílago articular.

Imagen 29. Anatomía Macroscópica del hueso



Fuente: Tomado y Modificado de Betts et al(9)

Biología Celular del Hueso

En el hueso se encuentran unas células llamadas Osteoblastos quienes son responsables de la formación de hueso. Los osteoblastos producen el principal componente del hueso que es el osteoide, compuesto por colágeno tipo I, siendo los responsables de la homeostasis ósea al permitir la formación ósea y la resorción la cual es realizada por los osteoclastos(12). Los Osteocitos constituyen el 90% del esqueleto maduro y se encargan del mantenimiento del hueso. Los Osteoclastos son responsables de la resorción ósea, la cual sucede en depresiones conocidas como lagunas de Howship y es más rápida que la formación ósea(5).

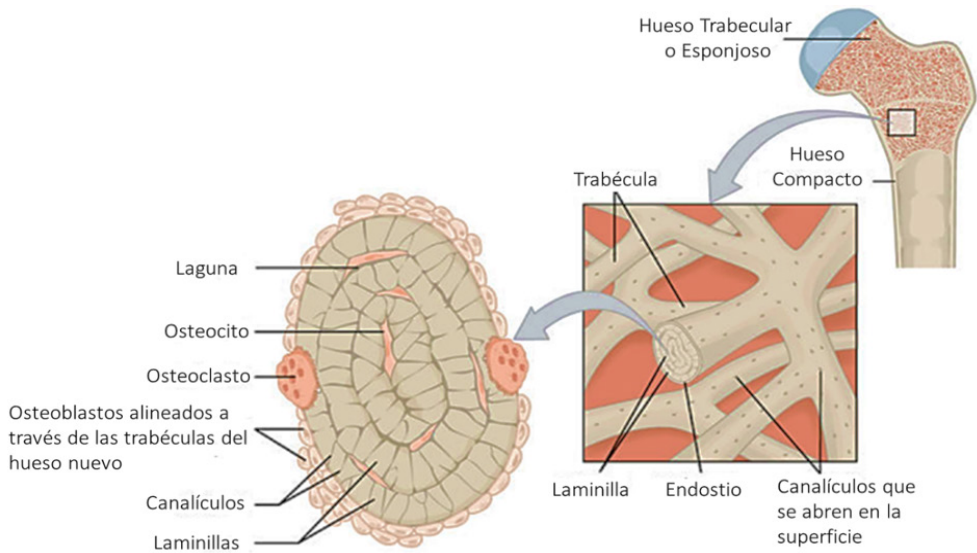
Los osteoclastos emergen de la línea celular de macrófagos/monocitos que se originan a partir de Células Madre Mesenquimales pluripotentes, reabsorben el hueso por medio de un proceso de remodelado en coordinación con los osteoblastos. Los condrocitos y los osteoblastos son los principales activistas en la curación del hueso ante una lesión. En el momento de una lesión, estas células llegan al sitio de la lesión a través del sistema vascular desde el periostio y el endostio, que son las principales capas del hueso. El periostio es la principal fuente de condrocitos, mientras que los osteoblastos emergen del periostio y el endostio. Los condrocitos producen proteínas de la Matriz Extracelular que incluyen proteoglicanos y el colágeno.

Tabla 26. Células Oseas

Célula	Función	Localización
Osteoblastos	Formación del Hueso	Porciones de hueso en crecimiento, incluidos el periostio y el endostio.
Osteocitos	Mantienen la concentración mineral de la matriz	La matriz ósea
Osteoclastos	Reabsorción del hueso	Superficies óseas y en sitios de hueso viejo, lesionado o innecesario

Fuente: Tomado y Modificado de Betts et al(9)

Imagen 30. Estructura del Hueso Esponjoso



Fuente: Tomado y Modificado de Betts et al(9)

Composición del Hueso

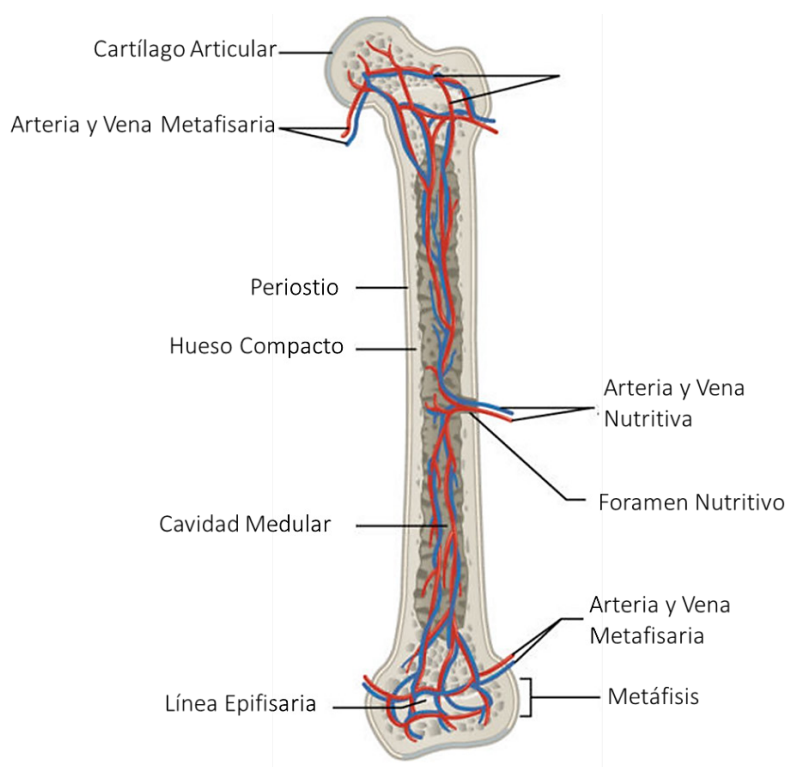
La matriz orgánica rígida de los huesos está compuesta por un depósito de cristales inorgánicos que constituyen el mineral del hueso más agua. Estos cristales inorgánicos son sales de calcio y fosfato, que se conoce como hidroxiapatita y su fórmula química es $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. En un hueso compacto normal, el 40% de su peso es de matriz orgánica, y un 60% de hueso mineral. La matriz ósea en su mayoría de composición es de colágeno, el cual, le brinda al hueso la gran elasticidad. El trabajo conjunto de fibras de colágeno y los cristales de hidroxiapatita, permite a los huesos soportar fuerzas de compresión mayores, acompañado de una gran elasticidad(1).

Como el hueso es un tejido vivo, este sufrirá cambios de manera continua, encontrando que se crea un nuevo sistema óseo cada siete años. En este sentido, encontramos que la densidad del hueso es de $1,9\text{g/cm}^3$ y se mantiene de manera constante hasta el periodo de los 35-40 años, donde la masa ósea empieza a disminuir lentamente a un ritmo 1-2% anual. En momentos críticos de la disminución de la masa ósea, aparece la osteoporosis, haciendo al hueso más frágil(1).

Circulación Ósea

Los huesos reciben entre el 5% y el 10% del gasto cardiaco. Los huesos largos reciben sangre de la arteria nutricia, el sistema metafisario-epifisario y el sistema perióstico. La Arteria Nutricia ingresa por la diáfisis a través del agujero nutritivo para continuar a la cavidad medular. La arteria nutricia se ramifica en arterias ascendentes y descendentes que a su vez se ramifican en arteriolas que penetran en la corteza endóstica para irrigar los dos tercios internos de la corteza diafisaria madura a través de vasos que atraviesan el sistema de Havers. La circulación de la arteria nutricia es un sistema de alta presión. El Sistema Metafisario-Epifisario se deriva del plexo vascular periarticular y, es un sistema de baja presión. El Sistema Perióstico se compone principalmente por capilares que irrigan el tercio externo de la corteza diafisaria madura(5).

Imagen 31. Circulación Ósea



Fuente: Tomado y Modificado de Betts et al.(9)

Desarrollo, Formación y Crecimiento Óseo

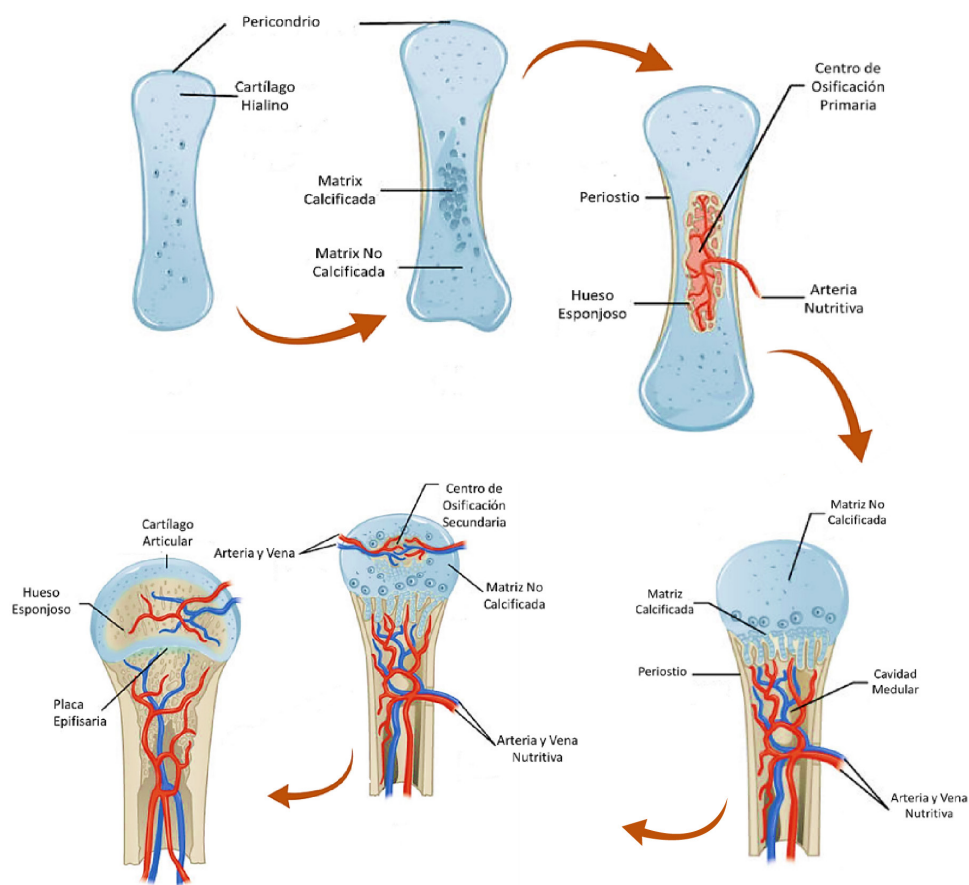
El hueso es formado a partir de la sustitución de un tejido preexistente. La Osificación es la formación del hueso por la actividad de los osteoclastos y osteoblastos. Los huesos largos ejercen su crecimiento desde el nacimiento mediante la actividad de las placas de crecimiento que se ubican entre la epífisis y la diáfisis. El Modelado sucede en el crecimiento para crear hueso nuevo a medida que la resorción y la formación ósea (Osificación) sobrevienen en diferentes lugares y velocidades para cambiar la forma y el tamaño del hueso(13). Las propiedades del hueso se relacionan con las demandas de tamaño asociadas con el crecimiento y con los cambios producidos por las fuerzas de tracción y compresión que actúan sobre el cuerpo. En la Resorción se descompone y se digiere el tejido óseo viejo. La resorción es un proceso que no sucede igualmente en todos los huesos del cuerpo; mientras la parte distal

se reemplaza cada 5 o 6 meses, la diáfisis lo hace en mucho más tiempo(5). Los osteoclastos cumplen su función de eliminación de hueso de manera rápida en aproximadamente 3 semanas, mientras que la formación de hueso por medio de los osteoblastos se demora unos 3 meses.

El tejido óseo es una estructura sensible a su entorno mecánico. Durante toda la vida el hueso se adapta constantemente a los estímulos mecánicos locales, agregando tejido en zonas donde existe mayor carga mecánica y elimina tejido donde no se soportan cargas significativas.

La mayoría de los huesos son endocondrales, es decir que se desarrollan a partir de cartílago hialino. Desde la formación del embrión, el cartílago hialino crece rápidamente hasta convertirse en estructuras con forma similar a los futuros huesos. Su crecimiento permanece simultáneamente con cambios importantes para convertirse en un hueso largo. Conforme las placas epifisarias se encuentren abiertas, los huesos continuaran creciendo longitudinalmente. En la época de la adolescencia es cuando las placas epifisarias inician su cierre y desaparición progresiva, donde los 18 años de edad es la época en donde se cierran la mayoría, sin embargo, algunas extienden su cierre hasta los 25 años. El diámetro aumenta durante toda la vida gracias a una capa interna de periostio que construye nuevas capas concéntricas sobre capas antiguas. El hueso nuevo se forma por osteoblastos, mientras que los osteoclastos reabsorben el hueso viejo. Esta remodelación constante es importante para el crecimiento óseo y que este tenga la capacidad de soportar las cargas y generar su reparación(14).

Imagen 32. Formación Ósea



Fuente: Tomado y Modificado de Betts et al. (9) & Floyd(14)

Propiedades Mecánicas del Hueso

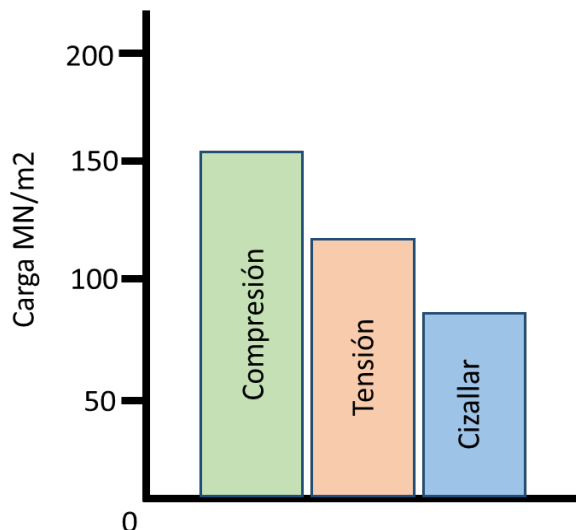
Las propiedades mecánicas del hueso varían de acuerdo con los factores propios del individuo. Adicionalmente, existen variaciones que tienen que ver con la orientación de la carga aplicada al hueso, la velocidad de aplicación y el tipo de carga. El tejido óseo debe tener la capacidad de tolerar una variedad de fuerzas impuestas de manera simultánea(15). Por ejemplo, en una posición sedente o de pie de un individuo, el hueso soporta la fuerza de gravedad, la masa del cuerpo que al interactuar con la gravedad se genera un peso y absorbe la tensión muscular generada en el mantenimiento de la postura. En una actividad dinámica, como el salto o la carrera, las fuerzas se aumentan significativamente y se vuelven multidireccionales(3).

Resistencia y Rigidez del Hueso

Al aplicar una fuerza externa aun hueso, se produce una reacción interna. Esto ocurre también en cualquier material. La resistencia se evalúa a través de la relación entre la carga impuesta (fuerza externa) y la cantidad de deformación (reacción interna) del hueso. El hueso debe ser rígido pero flexible y fuerte pero liviano, lo cual permite resistir la carga y permitir a su vez el movimiento(16). La flexibilidad del hueso es necesaria para la absorción de la fuerzas a las que se somete el tejido sobre todo las de alto impacto y, la elasticidad permite absorber energía cambiando de forma sin fallo y le permite volver a su estado normal(2). Si la fuerza o energía aplicada sobrepasa la capacidad del tejido (deformación elástica), descrito en la curva de tensión-deformación, se produce una deformación plástica, provocando microdaños en el tejido. Si la energía o fuerza aplicada supera la zona elástica y la plástica, la energía se libera en forma de fractura(4).

Resistencia: la resistencia del tejido óseo es definida por el punto de fallo o la carga soportada antes de la falla. Esa capacidad del hueso de poder soportar una carga depende de la masa ósea y una disposición de fibras de tal manera que resistan las cargas en diferentes direcciones(16). El fallo del hueso está relacionado con el tipo de carga aplicada, aunque no existe un valor de resistencia estandarizado, la falla ósea está implicado un evento traumático o un acumulo de microfracturas.

Figura 28. Esfuerzo máximo para muestras de hueso cortical humano adulto



Fuente: Tomado y Modificado de Nordin(17) citado por Hamell et al(3)

Rigidez: la rigidez o elasticidad está determinada por la curva de Tensión-Deformación de la carga, en el rango de respuesta elástica y es representativa a medida que la estructura se deforma. El metal es un material dúctil (*que puede moldearse o deformarse*) que tiene alta rigidez y ante cargas o tensiones aplicadas más allá de capacidad elástica, exhibe un comportamiento dúctil, sufriendo una deformación plástica antes del fallo, por otro lado, el vidrio es un material frágil, rígido pero que falla prematuramente y no posee una zona plástica. El hueso a diferencia de estos materiales no responde de manera lineal porque cede y se deforma de manera no uniforme durante la fase de carga. El hueso cuenta con una rigidez menor que el metal o el vidrio y se fractura después de muy poca deformación plástica(7).

Características Anisotrópicas: esto se refiere a que el comportamiento del hueso varía con la dirección de aplicación de la carga. Las diferencias entre las propiedades del hueso esponjoso y cortical contribuyen a la anisotropía del hueso. El hueso esponjoso brinda resistencia a la flexión y el hueso cortical resiste la compresión significativa. Aunque las propiedades de los huesos dependen de la dirección, el tejido óseo de los huesos largos logra soportar mayores cargas longitudinales (A) y menores cargas en la superficie del hueso (B). Los huesos largos soportan más cargas longitudinales debido a que habitualmente se cargan en esa dirección (3, 4).

Imagen 33. Características Anisotrópicas del hueso con respecto a las direcciones de la carga



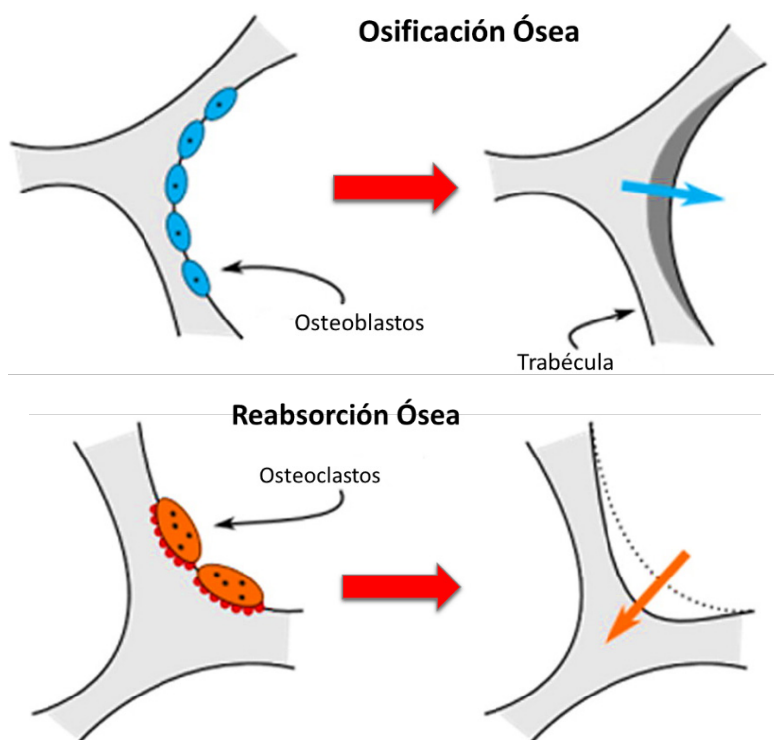
Fuente: Tomado y Modificado de Hamill et al(3)

Características Viscoelásticas: la respuesta del hueso con relación a su características viscoelástica, depende de la velocidad y duración de la carga. La rigidez y dureza del hueso aumenta al exponerse a cargas de altas velocidades, logrando absorber más energía antes de su ruptura. La capacidad flexible o dúctil del hueso es gracias al componente colágeno del hueso, el cual, le confiere la capacidad de soportar cargas de tracción; a su vez, el hueso también es frágil, característica que es dada por los componentes minerales del hueso, el cual, le permiten soportar cargas de compresión(3, 4).

Ley de Wolff

Julius Wolff (1839-1902), fue un anatomista y cirujano ortopédico alemán. La ley de Wolff establece que el hueso se deposita en áreas de alto estrés y se reabsorbe en áreas de bajo estrés(18). Según este principio, esta ley explica que el hueso responde al estrés sintetizando más hueso. Si la respuesta es excesiva se pueden generar espolones (*prominencia óseas*) u osteofitos(19). Adicionalmente, la propuso que el hueso esponjoso o trabecular en el fémur se adapta funcionalmente a los estímulos de carga mecánica externos, orientándose para alinearse con las principales trayectorias del estrés o carga(20). La ley de Wolff explica la pérdida de hueso y su menor resistencia después de una descarga crónica, es decir, se disminuye la densidad ósea por falta de carga o soporte, lo que conlleva a que un individuo con densidad ósea disminuida debido a una lesión medular, tengan un mayor riesgo de fractura. Las actividades diarias, en donde los músculos son los generadores de movimiento, generan cargas sobre los huesos, teniendo en cuenta que estos se originan y se insertan en los huesos, esa tensión provocada por la actividad muscular es la que permite que los huesos respondan a la exigencia por medio de la activación de los osteoblastos para engrosar las trabéculas y mantener o mejorar la densidad ósea. En un caso no patológico de pérdida de masa ósea se encuentran los astronautas que, al no estar sometidos a gravedad, la carga expuesta sobre los huesos disminuye esa respuesta, provocando una disminución de la resistencia de las trabéculas provocando así disminución de la densidad ósea.

Imagen 34. Remodelación Ósea



Fuente: Tomado y Modificado de Boyle & Kim(20)

Cargas Óseas

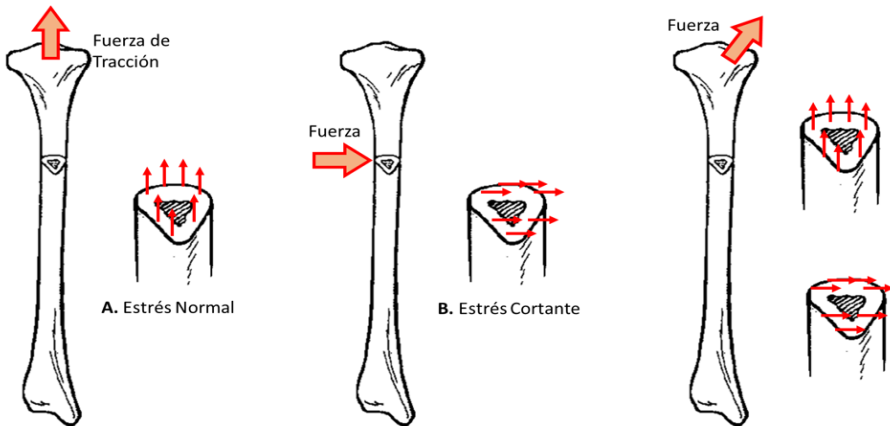
El tejido óseo vive un constante sometimiento a fuerzas que se aplican en diferentes direcciones. La masa corporal en conjunto con la gravedad produce el peso corporal, en adición a la fuerzas musculares al producirse el movimiento y las fuerzas externas. Las cargas fisiológicas producidas internamente por medio de las cargas aplicadas por las articulaciones con la interacción de los ligamentos y las inserciones tendinosas suelen estar por debajo del umbral de fractura. A nivel externo, el hueso puede adaptarse a diversidad de fuerzas provenientes del entorno que no tienen limite en magnitud o dirección(3, 16).

El sistema muscular influye sobre sobre la carga que soporta los huesos al alterar las fuerzas creando fuerzas de compresión y tracción. Las tensiones originadas desde los músculos pueden reducir las fuerzas de tracción o redistribuir las fuerzas sobre el hueso. Aunque los huesos pueden soportar mayores fuerzas de compresión, la cantidad total de carga puede aumentar gracias a los músculos.

Una inadecuada disposición muscular, donde su capacidad de producir tensión de manera normal se encuentra afectada por diferentes causas, la capacidad de los músculos para alivianar la carga sobre el hueso disminuye, llevando a un individuo o un deportista disminuir la capacidad de soportar cargas y ser más susceptible a lesiones(3).

Los huesos se someten constantemente a estrés y tensión por las fuerzas aplicadas, aspecto que resulta un componente fundamental para facilitar el depósito de material óseo. La tensión puede ser perpendicular al plano de una sección transversal del objeto sometido a tensión, lo que se denomina estrés normal; no obstante, si la carga es paralela al plano de la sección transversal, se denomina esfuerzo cortante.

Imagen 35. Representación de la Carga Normal y
Estrés Cortante: $\text{Estrés} = \text{Fuerza} / \text{Área}$

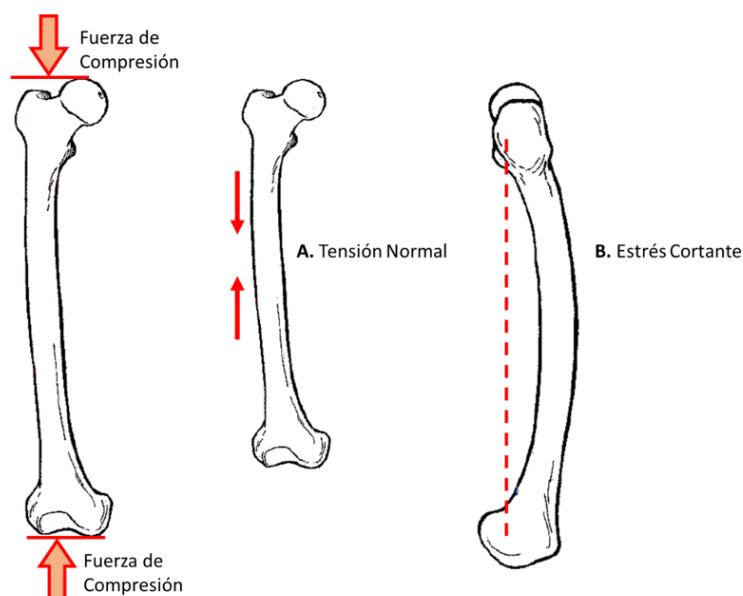


Fuente: Tomado y Modificado de Hamill et al. (3)

El fémur en el soporte de peso es un ejemplo claro de deformación normal y de deformación por cizallamiento como respuesta a dicho soporte. A modo de respuesta, el fémur se acorta debido a la tensión normal y se dobla anteriormente debido a la tensión cortante generada por el peso corporal (3). Durante las actividades normales, el hueso cortical puede soportar cargas dentro de la región lineal de la curva tensión-deformación, permitiendo que se doble el hueso sin sufrir una deformación permanente, lo que se denomina *deformación elástica*. No obstante, cuando se mantiene dentro de la región lineal, si las cargas continúan trabajando repetidamente en un corto periodo, se pueden generar microfisuras(29) por la *deformación plástica*. Esto

es importante tenerlo en cuenta, debido a que las fuerzas de compresión acortan el hueso y las fuerzas de tracción lo alargan, siendo más fuerte para soportar la compresión pero se vuelve más débil hacia la tensión(13, 21). Cuando las cargas exceden la región lineal, se pueden generar daños en el hueso, debido a la naturaleza anisotrópica del hueso esponjoso o trabecular, su comportamiento mecánico difiere en diferentes direcciones o entre varias secciones de su estructura(13).

Imagen 36. Representación de la Carga Normal y
Estrés Cortante: $\text{Estrés} = \text{Fuerza} / \text{Área}$



Fuente: Tomado y Modificado de Hamill et al(3)

A continuación se explicarán las cinco fuerzas que aplican cargas al hueso:

Compresión

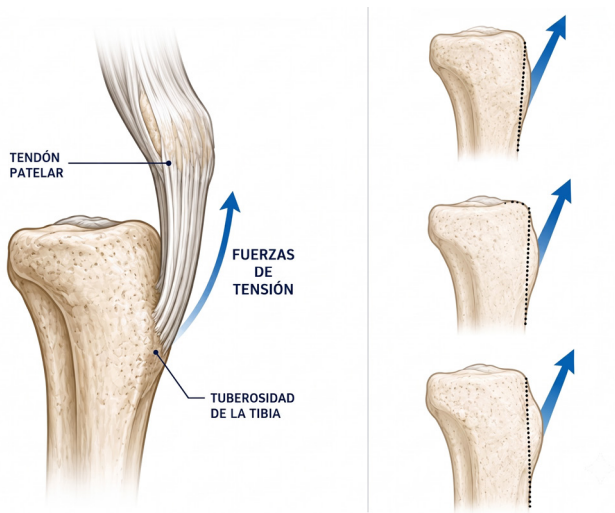
Para el desarrollo y crecimiento óseo, es necesario que el tejido óseo se someta a cargas de compresión. El fémur, el hueso más largo del cuerpo humano soporta gran parte del peso corporal y su rigidez evita la compresión al cargarse. Las cargas que actúan sobre el fémur tienen una medida en un rango de 1,8 a 2,7 del peso corporal en posición bípeda. La aplicación de una fuerza de compresión que supera los niveles de tensión de la estructura se produce

una fractura. Estas fuerzas de compresión generan dolor rotuliano, lo que a su vez genera un reblandecimiento y posterior destrucción del cartílago patelar. Las fuerzas de compresión patelo-femoral aumentan y disminuyen durante el recorrido patelar por el surco femoral, logrando un pico máximo de compresión hacia los 50° de flexión y un mínimo en la extensión completa. Las fuerzas de compresión son generadoras de fracturas vertebrales. Algunos deportes de contacto generan ocasiones de colisión que provocan fuerzas de compresión desde la parte superior de la cabeza, provocando que las vértebras cervicales se carguen en el recorrido de la columna cervical ocasionando luxación o luxofractura de las facetas vertebrales(3). El hueso responde a las cargas que se le imponen tal como lo describe la Ley De Wolff. La tibia y el fémur intervienen en el soporte de carga del peso corporal en los miembros inferiores y soportan mejor las fuerzas de compresión. El peroné no participa de manera significativa en el soporte de peso, no obstante, es un hueso de orígenes musculares y es capaz de soportar mejor las fuerzas de tracción o tensión.

Tensión

Al producir el musculo tensión, provoca una transmisión de fuerza al hueso por medio del tendón. El colágeno del hueso que se encuentra en el lugar de la inserción musculo activo, se orienta en dirección a la fuerza de tracción del tendón. Estas fuerzas de tensión o tracción forman las tuberosidades óseas, a medida que la fuerza de tensión aumenta, la tuberosidad ósea aumenta. Con estímulos crónicos se da origen a patologías como inflamación de la tuberosidad o fallas del hueso que pueden provocar avulsiones en el sitio de la inserción del tendón. Una avulsión se da cuando se arranca una porción de hueso en la inserción de un tendón o un ligamento. La tuberosidad de la tibia se expone constantemente a fuerzas de tracción cuando el grupo muscular cuádriceps se activa. Si la fuerza de tensión tiene suficiente magnitud y duración, se puede originar una tendinopatía o un procesos inflamatorio en la tuberosidad tibial denominada enfermedad de Osgood-Schlatter, que se caracteriza por formación de depósitos óseos en la unión del tendón con el hueso(3).

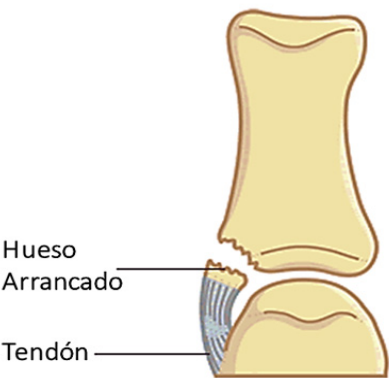
Imagen 37. Representación de la Fuerza de Tensión



Fuente: Tomado y Modificado de Hamill et al(3)Imagen mejorada digitalmente utilizando [ChatGpt].

Las fuerzas de tensión provocan un fortalecimiento del hueso en dirección a las fuerzas aplicadas donde las fibras de colágeno se alinean de acuerdo con la dirección de tracción del tendón según este caso. Con el tiempo, estas fuerzas de tracción son las causantes del desarrollo de crecimientos óseos.

Imagen 38. Representación de una avulsión ósea



Fuente: Tomado y Modificado de Ankle, Foot & Orthotic Center(22)

Cizallamiento

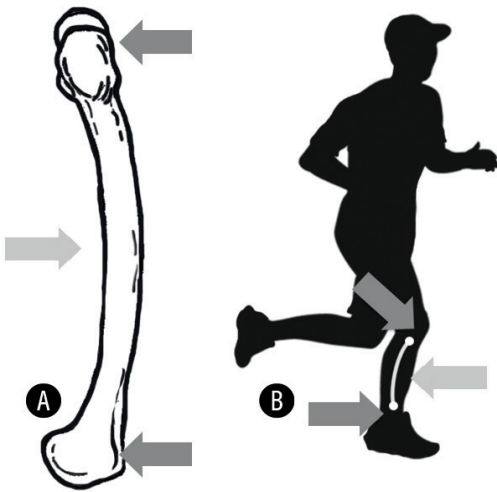
Las fuerzas de cizallamiento o de corte son responsables de algunas patologías de las vértebras como la espondilolistesis. A nivel de la columna lumbar, las fuerzas de cizallamiento aumentan al aumentar la lordosis. Sobre la meseta tibial y los cóndilos femorales se producen fracturas por hiperextensión. Este mecanismo también puede generar una lesión de ligamentos colaterales o del cruzado anterior. La aplicación de fuerzas de compresión, tracción y cizallamiento aplicadas de manera simultánea ayudan a generar resistencia ósea(3).

Fuerzas en Flexión

Durante la marcha los huesos de los miembros inferiores se someten a fuerzas de flexión que son el producto de las fuerzas alternas de tensión y compresión. Durante una postura en bipedestación el fémur se dobla en anterior y lateral debido a su forma, mientras que la tibia se dobla anterior. Cuando las fuerzas exceden la capacidad del hueso, este se rompe o se fractura en el lado convexo en respuesta a las fuerzas de tracción, debido a que como se mencionó anteriormente, el hueso resiste más las fuerzas de compresión que las de tracción.

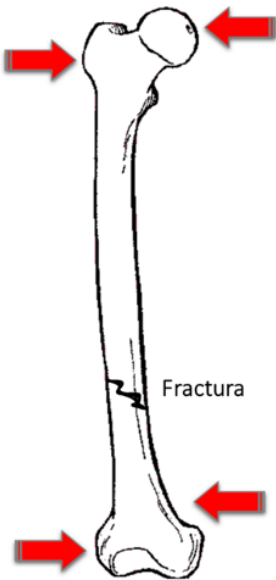
Las fuerzas que resultan en una flexión del hueso que provocan lesiones son provocadas por diversas fuerzas aplicadas en diferentes zonas del hueso, denominadas aplicaciones de fuerza en tres o cuatro puntos(3, 23). Corrientemente se aplica una fuerza perpendicular al hueso en los extremos del hueso y una fuerza en dirección opuesta en algún punto entre las otras dos fuerzas. El hueso fluctuara sobre la zona de aplicación de la fuerza media. Imagínese que un deportista se encuentre realizando un trote o sprint, en el que su pie tropiece con un obstáculo en el piso. De acuerdo con la velocidad que lleva o impulso, la tibia sufrirá en sus extremos una fuerza perpendicular superior producto del peso e impulso del cuerpo y otra inferior debido al impulso que lleva el pie. Adicionalmente existe una fuerza media entre estas dos fuerzas de los extremos que generara una deformación en flexión de la tibia. Este es un ejemplo de una aplicación de fuerzas en tres puntos.

Imagen 39. Representación de las fuerzas de flexión en fémur y tibia



Para una carga en flexión de cuatro puntos, se debe aplicar dos pares de fuerzas igual y opuestas en cada extremo del segmento óseo. En este ejemplo, el hueso se romperá en el punto más débil.

Imagen 40. Fuerzas de flexión de cuatro puntos

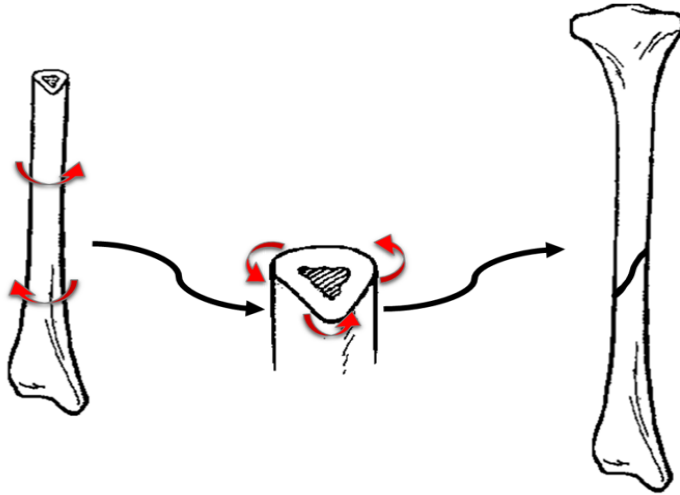


Fuente: Tomado y Modificado de Hamill et al(3)

Torsión

Las fracturas originadas por fuerzas de torsión se denominan fracturas oblicuas. Un ejemplo de este tipo de fractura se da cuando el pie queda plantado en el terreno de juego y el cuerpo gira en cualquier dirección(3).

Imagen 41. Representación de las fuerzas de torsión en la tibia

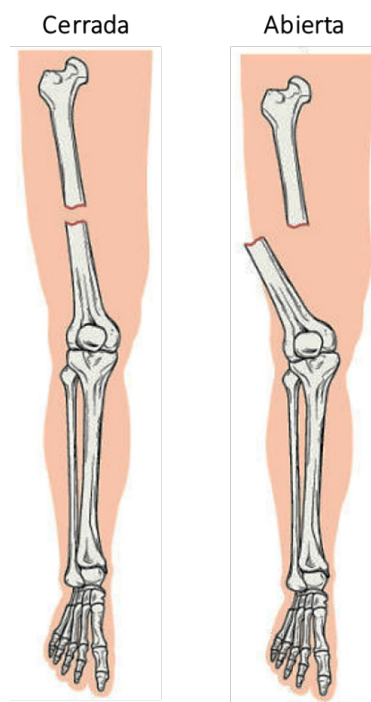


Fracturas

Las fracturas óseas tienen una incidencia muy alta en los últimos 30 años, aumentando por años >30%, con 178 millones de casos a nivel mundial(24). Cuando se aplica una tensión excesiva al hueso pueden aparecer grietas o roturas que provocan una fractura. Una fractura se produce cuando la tensión que se ejerce sobre el tejido óseo logra deformarlo más allá de su límite elástico y el hueso se rompe(25). La fractura implica una alteración o ruptura o pérdida de la continuidad del tejido óseo y una alteración de los tejidos blandos adyacentes. Esto se da cuando la integridad del hueso se compromete. Las fracturas se pueden clasificar según varias bases(26):

- **Etiología:** Se clasifican en traumáticas (ocurren debido a fuerzas o lesiones externas) o patológicas (se asocian con enfermedades o afecciones subyacentes que debilitan el hueso)(26).
- **Relación con el Sector Externo:** Se dividen en Cerradas (es una rotura del hueso donde la piel permanece intacta) y Abiertas (es una rotura de un hueso con daño de la piel y exposición del hueso al ambiente externo)(26).

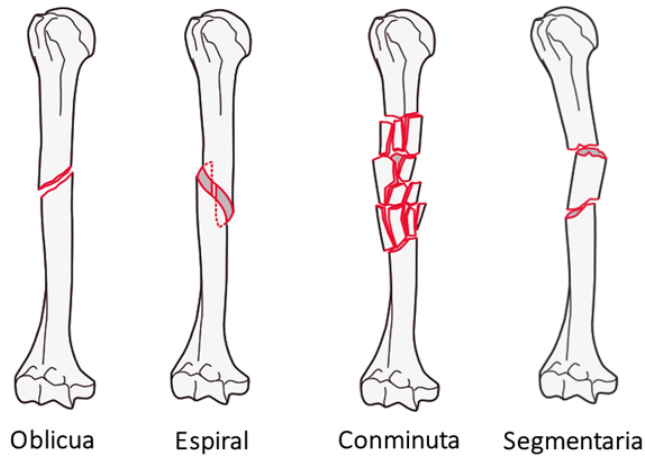
Imagen 42. Representación de las fracturas abiertas y cerradas



Fuente: Tomado y Modificado de Betts et al(9)

- **Desplazamiento de la Fractura:** Se clasifican en No Desplazadas (estas se caracterizan por que los fragmentos óseos permanecen en su alineación original) o Desplazadas (estas implican una desalineación o desplazamiento significativo de los fragmentos óseos)(26).
- **El Patrón de la Fractura:** Las fracturas presentan patrones concretos: Transversal (fractura recta a través del hueso), Oblicua (fractura en ángulo), Espiral (fractura torcida a lo largo del hueso), Conminuta (fractura de múltiples fragmentos de hueso), Segmentaria (dos o más fracturas separadas en el mismo hueso) o combinaciones de los diferentes patrones(26).

Imagen 43. Representación según el Patrón de las fractura



Fuente: Tomado y Modificado de Meinberg et al(27)

- **Complejidad:** Se clasifican en Simples (son aquellas con una única rotura del hueso con un daño mínimo a los tejidos adyacentes) o Complejas (implican factores adicionales como daños extensos a los huesos y tejidos blandos o múltiples fracturas en el mismo hueso)(26).

Imagen 44. Representación de la complejidad de la fractura

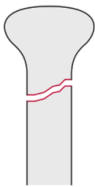
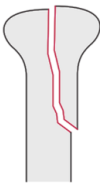
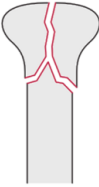
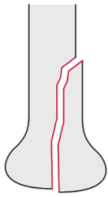
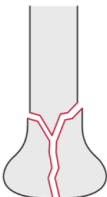


Fuente: Tomado y Modificado de Meinberg et al(27)

Clasificación de Fracturas

La Asociación de Trauma Ortopédico (OTA) desarrollo la clasificación de las fracturas abiertas para abordar las limitaciones de la clasificación de Gustilo-Anderson. Esta clasificación se diseñó para utilizarse en el momento del desbridamiento inicial en la cirugía. Es una clasificación genérica, se puede utilizar en todas las áreas anatómicas y se centra en los factores relacionados con la lesión y no con el tratamiento.

Tabla 27. Clasificación de las Fracturas según AO/OTA

Localización	Tipo	Descripción
1 Proximal		Extraarticular: Tipo A, cuando la fractura no afecta la superficie articular. Articular Parcial: Tipo B, cuando la fractura afecta una parte de la superficie articular mientras el resto de la articulación permanece unida a la metáfisis y la diáfisis. Articular Completa: Tipo C, cuando la fractura ha roto la superficie articular, la cual queda completamente separada de la diáfisis.
		
		
2 Diafisario		Simple: Tipo A, fractura con fractura única circunferencial. En Cuña: Tipo B, fractura con uno o más fragmentos intermedios. Después de la reducción hay cierto contacto cortical entre los principales fragmentos proximales y distales. Multifragmentada: Tipo C, con uno o más fragmentos intermedios. Después de la reducción no hay contacto entre los principales fragmentos proximales y distales.
		
		
3 Distal		Extraarticular: Tipo A, cuando la fractura no afecta la superficie articular. Articular Parcial: Tipo B, cuando la fractura afecta una parte de la superficie articular mientras el resto de la articulación permanece unida a la metáfisis y la diáfisis. Articular Completa: Tipo C, cuando la fractura ha roto la superficie articular, la cual queda completamente separada de la diáfisis.
		
		

Fuente: Tomado y Modificado de Kondi & Gowda(26)

Tabla 28. Clasificación OTA de fracturas abiertas (OTA-OFC)

Piel	1. Laceración con bordes que se aproximan. 2. Laceración con bordes que no se aproximan. 3. Laceración asociada con desguace extenso.
Musculo	1. No hay necrosis muscular apreciable, alguna lesión muscular con función muscular intacta. 2. Pérdida de músculo pero el músculo permanece funcional, alguna necrosis localizada en la zona de la lesión que requiere escisión, unidad músculo-tendinosa intacta. 3. Músculo muerto, pérdida de función muscular, escisión compartimental parcial o completa, rotura completa de una unidad músculo-tendinosa, defecto muscular que no se aproxima.
Arteria	1. Sin perturbaciones importantes en los vasos. 2. Lesión del vaso sin isquemia distal. 3. Lesión del vaso con isquemia distal.
Contaminación	1. Contaminación nula o mínima. 2. Contaminación de la superficie (no limpia). 3. Contaminante incrustado en huesos o tejidos blandos profundos o condiciones ambientales de alto riesgo (p. ej. heces, agua sucia).
Perdida de Hueso	1. Ninguno. 2. Faltan huesos o fragmentos óseos desvascularizados, pero todavía hay cierto contacto entre los fragmentos proximales y distales. 3. Pérdida ósea segmentaria.

Fuente: Tomado y Modificado de Meinberg et al(27)

Curación del Hueso

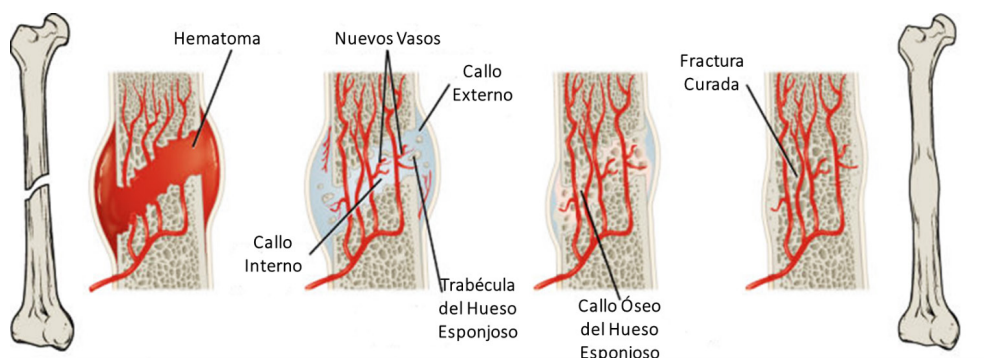
La comprensión de los tipos de fractura y sus mecanismos nos ayuda a entender cuál va a ser el proceso de curación. La capacidad que tiene los huesos para curarse posterior a una fractura o lesión destaca el potencial regenerativo del cuerpo humano(26).

El tejido óseo es una constitución de células incrustadas en una matriz organiza mineralizada(25) y, se diferencia de otros tejidos por su gran capacidad de reparación sin presencia de cicatriz(28). Estas células son los osteoblastos, los osteoclastos y los osteocitos maduros. Como se mencionó anteriormente, los osteoblastos y los osteocitos son responsables de la formación y mineralización de los huesos, mientras que los osteoclastos hacen parte en la resorción ósea. Esta matriz mineralizada ofrece al tejido óseo propiedades mecánicas y se forma de componentes orgánicos e inorgánicos. El 90% se constituye de Colágeno Tipo I, lo que proporciona resistencia al tracción, adicionalmente

están los proteoglicanos que brindan resistencia a la compresión, las proteínas de la matriz como la osteocalcina, osteonectina y osteopontina, ofrecen la mineralización y la formación ósea, y por último, se cuenta con citoquinas y factores de crecimiento que ayudan a la diferenciación, activación, crecimiento y recambio de células óseas(25). Los componentes inorgánicos se forman por hidroxiapatita cálcica, la cual proporciona resistencia a la compresión(25).

La curación de una fractura depende del suministro de sangre, la cantidad de fuerza que ocasiono la fractura y el estado de los tejidos blandos(28, 25). Inicialmente en una fractura se da un alteración de los sistemas de Havers y hay necrosis de los osteocitos. El grado de conminución, el desplazamiento de la fractura, la interrupción del suministro de sangre y el grado de desprendimiento del periostio determinan el grado de muerte celular, es decir, entre más grande es el daño óseo y los tejidos adyacentes, más demorada será la curación del hueso(28).

Imagen 45. Fases de la Curación Ósea



Fuente: Tomado y Modificado de Betts et al (9)

La curación del hueso se da por dos vías biológicas diferenciadas:

- **Curación Primaria o Directa por Remodelación Interna:** en este tipo de curación, los fragmentos del hueso fracturado se reúnen mediante compresión y poseen un entorno rígidamente estable, donde eliminan la formación de un callo. Esto se da debido a que los extremos de la fractura deben alinearse de manera ideal y se fijan sin espacios. No obstante, este es el resultado deseado posterior a un proceso de reducción quirúrgica abierta o de fijación interna. En este sentido, la curación ósea directa puede llevar un tiempo estimado de meses o años (26).

- **Curación Secundaria o Indirecta de la Fractura:** esta es la forma más común de curación ósea y abarca dos procesos distintos: Curación Ósea Endocondral e Intramembranosa. Es un tipo de curación presente en tratamientos no quirúrgicos y las intervenciones quirúrgicas que involucran movimiento controlado en el sitio de la lesión que son aquellas que cuentan con la participación de clavos intramedulares, fijación externa, osteosíntesis percutánea mínimamente invasiva y fijación interna por fractura conminuta(25). El tipo de curación Indirecta involucra una serie de eventos celulares y moleculares complejos que incluyen el reclutamiento y diferenciación de varios tipos de células, la liberación de moléculas de señalización y la formación de una matriz provisional(28). En este tipo de curación se forma un callo blando que se forma por tejido fibroso, cartílago y una red de vasos sanguíneos. Con el tiempo el callo blando se remodela y se transforma en tejido óseo nuevo(26). El proceso de curación Secundaria o Indirecta se da por medio de tres fases sobrepuestas que son:

- **Reacción Inflamatoria Aguda o Fase Reactiva:** La respuesta inicial a una fractura es la formación de un hematoma debido a que los vasos sanguíneos se rompen, lo que provoca un acumulo de sangre localizado. La presencia del hematoma desencadena la respuesta inflamatoria, el cual, dispone el sitio de la lesión para que se den procesos de curación posteriores. La primeras 24 horas posteriores a la fractura, la respuesta inflamatoria alcanza su punto máximo y desaparece aproximadamente a los 7 días. En esta fase, el sitio de la lesión es invadido por células inmunes como son los neutrófilos y macrófagos, las cuales, liberan diversas moléculas de señalización (moléculas responsables de transmitir información entre las células del cuerpo) como las citoquinas y los factores de crecimiento, factores de necrosis tumoral (TNF- α), interleucina -1, IL-6, IL-11 e IL-18, lo que ayuda a mantener y promover el crecimiento de los vasos sanguíneos y el reclutamiento de vasos sanguíneos mesenquimales, células madre que dirigen las fases posteriores de curación(25). El hueso puede regenerarse solo si se logra reclutar determinadas células madre mesenquimales, las cuales pueden autorreplicarse y diferenciarse y contribuir a la regeneración de diversos tejidos como hueso, cartílago, ligamento, tendón, músculo y tejido adiposo. Estas células inician la respuesta curativa, responden al entorno inflamatorio, ejercen efectos inmunomoduladores, interactúan con macrófagos y otras células inflamatorias para promover la angiogénesis (formación de nuevos vasos sanguíneos a partir de

otros ya existentes), la osteogénesis y la remodelación en el sitio de la fractura donde, finalmente, mejoran el soporte de peso en el sitio de la fractura mediante la formación de callo blando que conduce posteriormente a la formación de hueso secundario(26).

- **Fase Reparadora o Remodelación Ósea**

Formación de Callos: Un callo cartilaginoso une el sitio de la fractura en 2 semanas. Si los extremos del hueso no tienen contacto entre sí, se formará un callo puente. El Colágeno tipo II se produce en la curación de la fractura dentro de la matriz del cartílago y es seguido por la expresión del Colágeno tipo I como hueso nuevo. Los micromovimientos (1 mm aprox.) estimulan el crecimiento del cartílago y del hueso. Conforme el callo aumenta de tamaño, se vuelve más rígido, promoviendo así la osteogénesis. La cantidad de callo formado es inversamente proporcional a la estabilidad de la fractura, no obstante, las fracturas que son extremadamente inestables no logran unirse debido a que la tensión continúa siendo muy grande y así, la osificación falla y solo puede ocurrir una unión fibrosa(28).

Tejido Óseo: En la Osificación endocondral se da la mineralización del callo cartilaginoso y es evidente en el seguimiento radiográfico. Este hueso se forma cuando la tensión cae por debajo del 1%. Aquí los condrocitos de la matriz cartilaginosa se hipertrofian, se calcifican y mueren, dando paso a la angiogénesis. Los osteoblastos depositan tejido óseo sobre la estructura de colágeno dejada por los condrocitos. Los micromovimientos promueven el crecimiento del callo(28).

- **Fase de Remodelación Ósea:** Esta fase es crítica en el proceso de curación al generarse callo duro. Este callo brinda estabilidad, sin embargo, aún no posee las características del hueso normal. Durante esta fase, el callo duro se transforma en una estructura ósea laminar con una cavidad medular central. Esto implica una reabsorción del callo duro por parte de los osteoclastos y el depósito del hueso laminar por parte de los osteoblastos. La remodelación inicia hacia la tercera o cuarta semana posterior a la fractura, no obstante, puede pasar años hasta que se complete el proceso de curación. Progresivamente se va depositando hueso adicional en las áreas de tensión mecánica y se retira de las áreas donde hay muy poco. Esta remodelación se conoce como la Ley de Wolff (26, 25).

Tabla 29. Fases de la Curación Ósea

	Fase Inflamatoria	Fase Reparativa	Fase de Remodelación
Hallazgos	• Hematoma inflamatorio y granulación temprana. • Actividad osteoclástica para eliminar restos y hematomas. • Los vasos sanguíneos comienzan a crecer en el área.	• Unión • El callo blando es producido por fibroblastos; Crecimiento óseo perióstico para proporcionar callos puente. • El hueso tejido temprano se deposita entre fragmentos.	• Consolidación y remodelación una vez estable mecánicamente • Formación y alineación del hueso laminar. • Reabsorción de callo extra • Actividad osteoblástica y osteoclástica. • Se remodela el canal medular
Porcentaje aproximado del ciclo completo	10%	20-40%	50-70%
Tiempo	Días	Semanas a Meses	Años
Tiempos	0-14 días	10 días – 24 Semanas	12 – 48 Semanas
Hueso Esponjoso	0-7 días	5 días – 8 Semanas	6 – 12 Semanas
Hueso Cortical			

Fuente: Tomado y Modificado de Dunleavy(7)

Conclusiones

El capítulo “El Hueso: Tejido Dinámico, Adaptativo y Multifactorial” proporciona información esencial que resulta particularmente relevante para el fisioterapeuta deportivo y el equipo multidisciplinario involucrado en los procesos de rehabilitación deportiva. En primer lugar, se destaca la adaptabilidad del tejido óseo, que responde de manera activa a las cargas mecánicas. Para el fisioterapeuta, esto implica la necesidad de diseñar programas de rehabilitación que incluyan ejercicios específicos que estimulen la actividad de los osteoblastos, promoviendo así la formación y mineralización del hueso. La incorporación de ejercicios de resistencia y carga progresiva se vuelve crucial para facilitar la recuperación y prevenir futuras lesiones.

Además, se subraya la importancia de la carga mecánica en el mantenimiento de la densidad ósea y la integridad estructural del hueso. El fisioterapeuta

debe ser consciente de que la falta de carga, como ocurre en situaciones de inmovilización o inactividad, puede llevar a la pérdida de masa ósea. Por lo tanto, es fundamental implementar estrategias que permitan a los atletas realizar actividades que simulen cargas mecánicas, incluso en las etapas iniciales de la rehabilitación.

Otro aspecto relevante es la prevención de lesiones. Comprender la relación entre la carga, la densidad ósea y el riesgo de fracturas es vital para el fisioterapeuta. Este profesional debe trabajar en la educación del atleta sobre la importancia de mantener una actividad física regular y fortalecer el tejido óseo, así como identificar factores de riesgo que puedan predisponer a lesiones.

La rehabilitación deportiva debe ser un esfuerzo colaborativo. La comunicación y coordinación con otros profesionales, como médicos, nutricionistas y entrenadores, son esenciales para abordar de manera integral la salud ósea y el rendimiento del atleta. El fisioterapeuta tiene la responsabilidad de asegurar que se consideren todos los aspectos de la recuperación y el rendimiento en el proceso de rehabilitación.

Finalmente, es crucial que el fisioterapeuta eduque a los atletas sobre la importancia del hueso como un tejido adaptativo. Informarles sobre cómo su estilo de vida, dieta y actividad física afectan la salud ósea puede motivarlos a adoptar hábitos que favorezcan su bienestar a largo plazo.

En resumen, el fisioterapeuta deportivo desempeña un papel fundamental en la rehabilitación y prevención de lesiones al comprender la naturaleza dinámica del tejido óseo. Al integrar esta comprensión en su práctica, puede contribuir significativamente a la recuperación efectiva y al rendimiento óptimo de los atletas.

Referencias

1. Okuno E, Fratin L. Bones. En: *Biomechanics of the Human Body*. Edit. Springer. 2014. pp. 115-134
2. McBride-Gagyi S, Lynch M. *Biomechanical Principles of Fracture Healing*. En: Crist B, Borrelli J, Harvey E. *Essential Biomechanics for Orthopedic Trauma. A Case-Based Guide*. Edit. Springer. 2020. pp. 3-17
3. Hamill J, Knutzen K, Derrick T. *Skeletal Considerations for Movement*. En: *Biomechanical Basis of Human Movement*. 4th Edition. Edit. Wolters Kluwer. 2015. pp. 25-58

4. Hall S. The Biomechanics of Human Bone Growth and development. En: Basic Biomechanics. 7th Edition. Edit. McGrawHill. 2014. pp. 85-113
5. Wang D, Eliasberg C, Rodeo S. Physiology and Pathophysiology of Musculoskeletal Tissues. En: Miller M, Thompson S. DeLee, Drez & Miller's Orthopaedic Sports Medicine. Principles and Practice. 5th Edition. Edit. Elsevier. 2020. pp. 2-15
6. Sinaki M. Osteoporosis. En: Cifu D. Braddom's Physical Medicine and Rehabilitation. 6th Edition. Edit. Elsevier. 2020. pp. 690-714
7. Dunleavy K. Review of Foundational Concepts. En: Dunleavy K, Slowik A. Therapeutic exercise Prescription. Edit. Elsevier. 2019. pp. 17-64
8. Skeletal Tissues. En: Muscolino J. Kinesiology The skeletal System and Muscle Function. 3rd Edition. Edit. Elsevier. 2017. pp. 29-46
9. Betts J, Desaix P, Johnson E, Johnson J, Korol O, Kruse D, et al. Bone Tissue and the Skeletal System. En: Anatomy and Physiology. 2nd edition. Edit. OpenStax. 2022. pp. 207-242
10. Palastanga N, Soames R. Introduction. En: Anatomy and Human Movement. Structure and Function. 6th Edition. Edit. Elsevier. 2012. p. 1-33
11. Meyer U, Wiesmann H. Bone and Cartilage. En: Bone and Cartilage Engineering. Edit. Springer. 2006. pp. 7-57
12. Lachman J, Rehman S. Bone Healing. En: Suk M, Horwitz D. Hoppenfeld's Rehabilitation and Treatment of Fractures. 2nd Edition. Edit. Wolters Kluwer. 2022. pp. 29-53
13. Dutton M. The Musculoskeletal System. En: Dutton's Orthopaedic Examination, Evaluation, and Intervention. 5th Edition. Edit. McGraw Hill. 2019. pp. 3-27
14. Floyd R. Foundations of Structural Kinesiology. En: Manual of Structural Kinesiology. 22nd Edition. Edit. McGrawHill. 2024. pp. 1-36
15. Gross J, Fetto J, Rosen E. Introduction. En: Musculoskeletal Examination. 4th Edition. Edit. Wiley Blackwell. 2016. pp. 1-14
16. Debski R, Patel N, Shearn J. Basic Concepts in Biomechanics. En: Miller M, Thompson S. DeLee, Drez & Miller's Orthopaedic Sports Medicine. Principles and Practice. 5th Edition. Edit. Elsevier. 2020. p. 16-29

17. Nordin, M., Frankel, V. H. (Eds.) *Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System*. [1989].
18. Chen J, Liu C, You L, Simmons C. Boning up on Wolff's Law: Mechanical regulation of the cells that make and maintain bone. *Journal of Biomechanics*. 2010; Vol.43(1): pp. 108-118. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.09.016>
19. Sara L, Neumann D. *Basic Structure and Function of Human Joints*. En: Neumann D. *Kinesiology of the Musculoskeletal System. Foundations for Rehabilitation*. 3rd edition. Edit. ElSevier. 2018 pp. 28-46
20. Boyle C, Kim Y. Three-dimensional micro-level computational study of Wolff's law via trabecular bone remodeling in the human proximal femur using design space topology optimization. *Journal of Biomechanics*. 2011; Vol. 44 (5): pp. 935-942. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2010.11.029>
21. Hak D. *Trauma Basics*. En: Suk M, Horwitz D. *Hoppenfeld's Rehabilitation and Treatment of Fractures*. 2nd Edition. Edit. Wolters Kluwer. 2022. p. 19-28
22. Ankle, Foot & Orthotic Centre. 5th Metatarsal Avulsion (Dancer's) Fracture [Internet]. 2023 [citado 27 jul 2026]. Disponible en: <https://ankleandfootcentre.com.au/avulsiondancers-fracture/>
23. Barlett C. *Mechanisms and Characteristics of Musculoskeletal and Nerve Trauma*. En: Prentice W. *Principles Of Athletic Training: A Guide To Evidence-Based Clinical Practice*. 16th Edition. Edit. Mc GrawHill. 2016. pp. 246-266
24. Wu A, Bisignano C, James S, Abady G, Abedi A, Abu-Gharbieh E, et al. Global, regional, and national burden of bone fractures in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis from the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet Healthy Longevity*. 2021; Vol. 2(9): pp. e580-e592. [https://doi.org/10.1016/S2666-7568\(21\)00172-0](https://doi.org/10.1016/S2666-7568(21)00172-0)
25. Jones M, Waterson B. Principles of management of long bone fractures and fracture healing. *Surgery*. 2020; Vol. 38(2): pp. 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.mpsur.2019.12.010>
26. Kondi S, Gowda S. Principles of bone healing. *Surgery*. 2023. Vol. 41 (10); pp. 625-631. <https://doi.org/10.1016/j.mpsur.2023.08.002>

27. Meinberg E, Agel J, Roberts C, Karam M, Kellam J. Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018. J Orthop Trauma. 2018; Vol.32(1): pp. S1-S170. doi: 10.1097/BOT.0000000000001063.
28. Nyary T, Scammell B. Principles of bone and joint injuries and their healing. Surgery. 2018; Vol. 36(1): pp.7-14. <https://doi.org/10.1016/j.mpsur.2017.10.005>
29. Mahapatra B, Pal B. A review on prediction of bone fracture using LEFM. Forces in Mechanics. 2023; Vol.10: pp. 100158. <https://doi.org/10.1016/j.finmec.2022.100158>

CAPÍTULO 8

El Tejido Conectivo: un Tejido que Sostiene, Conecta y Protege

Connective Tissue: A Tissue That Holds, Connects, and Protects

Pedro Antonio Calero Saa

Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte

© <https://orcid.org/0000-0002-9978-7944>

✉ pcalero22@gmail.com

Jennifer Jaramillo Losada

Universidad Santiago de Cali

© <https://orcid.org/0000-0003-4210-9947>

✉ jennifer.jaramillo01@usc.edu.co

Resumen

El texto aborda la importancia del cartílago articular como un tipo de tejido conectivo esencial para la función de las articulaciones. **Objetivo:** El objetivo principal es analizar las características mecánicas y funcionales del cartílago articular, así como su papel en la salud articular y la prevención de lesiones. **Metodología:** Se realizó una revisión de la literatura científica sobre la estructura y función del cartílago articular, incluyendo estudios histológicos y biomecánicos. Se examinaron las propiedades viscoelásticas del cartílago, su composición, y cómo interactúa con el líquido sinovial y los huesos subyacentes durante el movimiento. **Resultados:** Se encontró que el cartílago articular distribuye las cargas de manera efectiva, reduce la fricción entre las superficies articulares y actúa como un amortiguador ante impactos. Su estructura, compuesta por condrocitos y fibras de colágeno, permite que el cartílago resista fuerzas de compresión y tensión. Además, se destacó la importancia del líquido sinovial en la nutrición del cartílago, ya que este tejido carece de vasos sanguíneos. **Discusión:** Los hallazgos subrayan la relevancia del cartílago

Cita este capítulo / Cite this chapter

Calero Saa PA, Jaramillo Losada J. El Tejido Conectivo: un Tejido que Sostiene, Conecta y Protege. En: Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria*. Tomo I: fundamentos de la salud física y la actividad deportiva. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 295-354. <https://doi.org/10.35985/9786287914155.8>

articular en la salud de las articulaciones y su papel en la prevención de trastornos como la osteoartritis. Se discute la necesidad de más investigaciones para comprender mejor los mecanismos de degeneración del cartílago y las implicaciones clínicas de su deterioro. En conclusión, el cartilago articular es fundamental para el funcionamiento adecuado de las articulaciones y su preservación es crucial para la salud musculoesquelética.

Palabras clave: Tendones, Tendinopatía, Ligamentos, Menisco

Abstract

The text addresses the importance of articular cartilage as an essential type of connective tissue for the function of joints. Objective: The main objective is to analyze the mechanical and functional characteristics of articular cartilage, as well as its role in joint health and injury prevention. Methodology: A review of the scientific literature on the structure and function of articular cartilage was conducted, including histological and biomechanical studies. The viscoelastic properties of cartilage, its composition, and how it interacts with synovial fluid and underlying bones during movement were examined. Results: It was found that articular cartilage effectively distributes loads, reduces friction between joint surfaces, and acts as a cushion against impacts. Its structure, composed of chondrocytes and collagen fibers, allows cartilage to withstand compressive and tensile forces. Additionally, the importance of synovial fluid in the nutrition of cartilage was highlighted, as this tissue lacks blood vessels. Discussion: The findings underscore the relevance of articular cartilage in joint health and its role in preventing disorders such as osteoarthritis. The need for further research to better understand the mechanisms of cartilage degeneration and the clinical implications of its deterioration is discussed. In conclusion, articular cartilage is fundamental for the proper functioning of joints, and its preservation is crucial for musculoskeletal health.

Keywords: Tendons, Tendinopathy, Ligaments, Meniscus.

Introducción

*“El hombre que ha empezado a vivir
más seriamente por dentro,
empieza a vivir más sencillamente por fuera.”*

—Ernest Hemingway

El texto “El Tejido Conectivo: un Tejido que Sostiene, Conecta y Protege” ofrece una exploración exhaustiva del cartílago articular, un componente esencial del sistema musculoesquelético que desempeña un papel crucial en la funcionalidad y salud de las articulaciones. A lo largo del documento, se analizan diversos aspectos relacionados con el cartílago, comenzando por su estructura y composición. Este tejido conectivo está formado principalmente por condrocitos, que son las células responsables de la producción y mantenimiento de la matriz extracelular, la cual está compuesta por fibras de colágeno, proteoglicanos y agua. La ausencia de vasos sanguíneos, linfáticos y nervios en el cartílago implica que su nutrición y oxigenación dependen del líquido sinovial, un fluido viscoso que no solo nutre el cartílago, sino que también actúa como lubricante, facilitando el deslizamiento de los huesos durante el movimiento.

El texto también profundiza en las características mecánicas del cartílago articular, describiéndolo como un material viscoelástico que permite el movimiento articular de baja fricción y la transmisión eficiente de cargas al hueso subcondral. Se destacan las funciones vitales del cartílago, que incluyen la distribución de cargas, la reducción de fricción y la amortiguación de impactos, lo que es fundamental para prevenir lesiones y mantener la integridad de las articulaciones durante actividades físicas.

Además, se examinan las implicaciones clínicas de la degeneración del cartílago, como la osteoartritis, una condición que afecta a millones de personas en todo el mundo y que puede llevar a la pérdida de movilidad y calidad de vida. La discusión sobre la salud articular también incluye la importancia de la prevención y el tratamiento de las lesiones del cartílago, así como la necesidad de más investigaciones para comprender mejor los mecanismos de su deterioro y las posibles intervenciones terapéuticas.

En conjunto, el texto proporciona una comprensión profunda de cómo el cartílago articular no solo sostiene y conecta los huesos, sino que también protege las articulaciones, subrayando su relevancia en la biomecánica y la salud general del sistema musculoesquelético. Esta información es

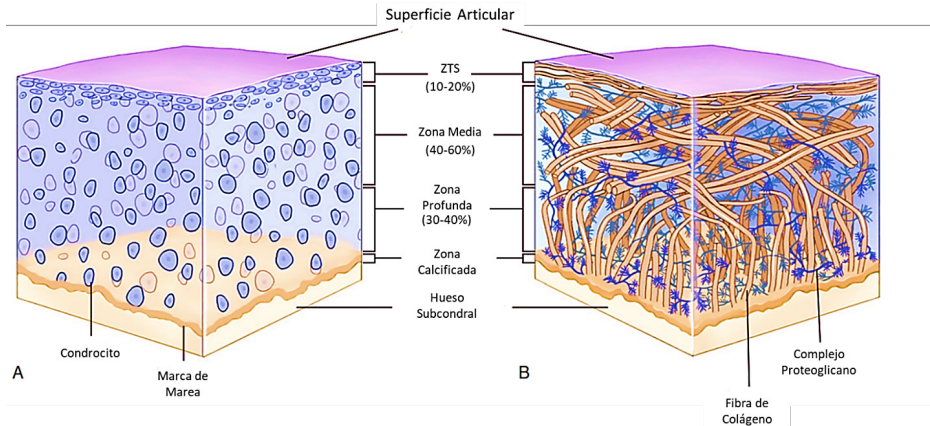
crucial para profesionales de la salud, investigadores y cualquier persona interesada en el funcionamiento del cuerpo humano y la prevención de trastornos articulares.

El Cartílago Articular

El cartílago es un tipo de tejido conectivo que se conforma de células alojadas en una matriz colmada de fibras. Su tipo de célula principal son los condrocitos(1, 2). El cartílago no contiene vasos sanguíneos, linfáticos ni fibras nerviosas. Por tal razón, la nutrición del cartílago se da por el líquido sinovial (es un líquido espeso y pegajoso que se encuentra en las articulaciones que tienen movimiento. Su función es lubricar, proteger y facilitar el deslizamiento de los huesos sobre el cartílago articular. El líquido sinovial contiene células especializadas, ácido hialurónico y proteínas) y por medio de la difusión de productos sanguíneos desde el hueso subcondral. El movimiento de fluidos a través del cartílago se realiza por osmosis y difusión, lo que cuando se da el movimiento articular, aumenta la velocidad de difusión(3).

El cartílago se compone de cuatro capas, donde se ve que las fibras de colágeno de la zona calcificada se encargan de unir el cartílago al hueso subcondral, lo que permite resistir a la fuerzas de corte o cizallamiento. En la zona media, las fibras se encuentran orientadas de manera aleatoria que, con la fuerzas de compresión, la fibras se estiran y resisten a las fuerzas de tensión que se crean en el interior. En el momento de una compresión, el líquido que se encuentra dentro de la matriz del cartílago se comprime, lo que al suceder, los proteoglicanos que se encuentran en el cartílago tienden a retener agua y controlar el movimiento a través de la matriz del cartílago. Al ceder la fuerza de compresión, se exhibe la capacidad de fluencia, permitiendo que el líquido perdido por l compresión, se reabsorba, demostrando que el cartílago en su capacidad fluente es un material viscoelástico(3).

Imagen 46. Composición y Zonas estructurales del Cartílago



Nota. Zonas de estructura del cartílago hialino. (A) La distribución de los condrocitos incrustados en la matriz de líquido y minerales pasa al hueso subcondral. (B) La alineación de las fibras de colágeno pasa de una alineación más vertical a una horizontal, lo que crea la integridad estructural del cartílago. La superficie articular consta de condrocitos más densamente empaquetados y colágeno alineados para proporcionar una barrera para retener líquido en el cartílago. Zona Tangencial Superficial = ZTS. Los porcentajes hacen referencia a al espesor de cada zona en el cartílago.

Fuente: Tomado y Modificado de Sara(4)

Zona Superficial: es la zona más delgada del cartílago y a su vez, la Zona Tangencial Superficial tiene dos capas. En la primera capa existe una lámina de finas fibrillas sin células que cubre la superficie articular. En la segunda capa los condrocitos están dispuestos de modo que sus ejes principales sean paralelos a la superficie articular. Existe una gran cantidad de colágeno y una baja concentración de proteoglicanos con relación a las otras zonas del cartílago. Su contenido de agua es de aproximadamente del 80%. Hay presencia de la proteína denominada Lubricina, la cual, se encarga de la lubricación de las articulaciones, evitando la fricción(5).

Zona Media: tiene varias veces el volumen de la zona superficial. Las células de esta zona toman forma esferoidal y sintetizan una matriz con fibrillas de colágeno de mayor diámetro y mayor concentración de proteoglicanos que las que se encuentran en la zona superficial. La concentración de agua en esta zona es menor que la zona superficial(5).

Zona Profunda: los condrocitos de esta zona son similares a los de la zona media, sin embargo, se alinean en columnas perpendiculares a la superficial articular. En esta zona se encuentra las fibrillas de colágeno de mayor diámetro, mayor concentración de proteoglicanos y menos concentración de agua. Las fibras de colágeno pasan a través de la marca de marea hacia la zona calcificada(5).

Zona calcificada: esta zona se encuentra entre la zona profunda y el hueso subcondral. Es una zona con función importante en la fijación del cartílago al hueso al permitir el anclaje de las fibrillas de colágeno en la zona profunda al hueso subcondral. En esta zona las células son escasas y los condrocitos son hipertróficos(5).

Proteoglicanos: son proteínas modificadas con una o varias cadenas de Glucosaminoglicanos, los cuales son un tipo de polímeros de carbohidratos lineales. La función del proteoglicano es proporcionar presión de hinchazón, lo que permite que el tejido absorba y distribuya la carga mecánica(6).

Entre el cartílago y de acuerdo con cómo se clasifican sus fibras, se reconocen tres tipos de cartílago.

- **Cartílago Hialino:** también cartílago articular hialino, su nombre se da por su apariencia clara y vidriosa(7) y, es el tipo de cartílago que más abunda en el cuerpo y que en el embrión es la base para la formación de hueso por medio del proceso de denominado Osificación Endocondral(8). El esqueleto de un feto está formado en su mayor parte por cartílago hialino. No obstante, cuando el bebe nace, ese cartílago es sustituido por hueso, con excepción de las placas epifisarias o placas de crecimiento, especialmente en los huesos largos, permitiendo así, que estos crezcan en longitud(1). se forma de fibras de colágeno, un complejo de proteína-polisacárido y agua. Las fibras de colágeno hacen parte de una sustancia fundamental de material similar a un gel. El agua contenida en el cartílago es entre el 70 al 80% del peso corporal(3). El cartílago hialino forma la tráquea, une las costillas al esternón y cubre los extremos óseos de las articulaciones. Este tipo de cartílago articular hialino, debido a su composición y organización, permite distribuir las cargas de la articulación, minimizando las tensiones que actúan sobre el hueso subcondral(5). El grosor de este tipo de cartílago que recubre los extremos de los huesos articulares es de 1 a 4 mm en zonas de baja presión y de 5 a 7 mm en zonas de alta presión. Se caracteriza por ser avascular y a diferencia de los que se encuentra en algunas regiones del cuerpo, el articular no posee pericondrio, lo que permite que las superficies opuestas del cartílago formen superficies de carga ideal. El

pericondrio es una capa de tejido conectivo que cubre la mayor parte del cartilago, contiene vasos sanguíneos y un suministro de células primitivas que mantienen y reparan el tejido subyacente, ventaja que no posee el cartilago articular. La ausencia de esta capa en el cartilago articular elimina una fuente de fibroblastos primitivos utilizados en la reparación(4).

Dentro de la sustancia fundamental, dispuestas en capas o zonas del cartilago, se encuentran los condrocitos, las cuales se bañan y nutren con los nutrientes que se encuentran en el líquido sinovial. La nutrición se da gracias a la deformación de la superficie articular durante la carga articular intermitente, generando un efecto de “ordeño”. Estos condrocitos se rodean de fibras de colágeno tipo II, las cuales, cumplen una función de andamio a través de la formación de una red restrictiva que le da estabilidad estructural al tejido. Las fibras más profundas de la zona calcificada se anclan firmemente al hueso subcondral. Estas fibras se unen a las fibras de orientación vertical presentes en la zona profunda y, a su vez se unen a las fibras de orientación oblicua de la zona media y a las fibras de orientación transversal de la zona superficial(4).

El cartilago articular distribuye las fuerzas de compresión hacia el hueso subcondral, reduce la fricción entre las superficies de las articulaciones. El coeficiente de fricción entre las superficies articulares que están cubiertas por cartilago articular es considerablemente bajo, gracias también a la presencia de líquido sinovial, siendo de 0,005 y 0,02 en la rodilla humana, que en comparación, la fricción entre dos placas de hielo es de 5 a 20 veces mayor(4).

- **Fibrocartilago:** puede ser blanco o amarillo. Su nombre se da debido a sus haces de colágeno, que son gruesos y visibles(7). El blanco se haya en los discos intervertebrales y el labrum glenoideo y el labrum coxal, el disco de la sínfisis púbica, la articulación temporomandibular y en algunas articulaciones de las extremidades como son los meniscos(4), mientras que el amarillo se encuentra en las orejas y la laringe(3). Es una mezcla de tejido conectivo denso y cartilago articular. El fibrocartilago provee la resistencia y absorción de impactos y la resistencia a la tracción de tendones y ligamentos(2); posee un numero variable de condrocitos y fibroblastos, los cuales se ubican en medio de una red de colágeno densa y multidireccional(4). El fibrocartilago es la estructura más dura de cartilago del cuerpo, contiene una alto grado de colágeno tipo I y menores cantidades de colágeno tipo II, los cuales crean una red longitudinal muy fuerte. El fibrocartilago posee fibras densas de colágeno que están entrelazadas, lo que permite que el tejido resista a fuerzas multidireccional de tracción,

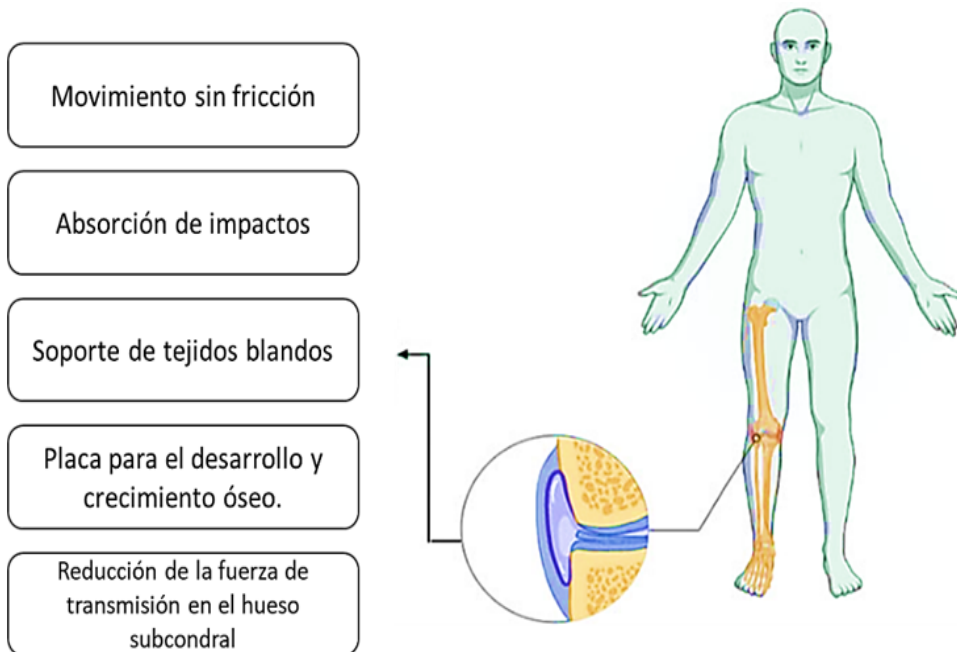
cizallamiento y compresión, lo que lo convierte en el tejido ideal para distribuir las cargas(4).

- **Cartílago Elástico:** recibe su nombre por sus llamativas fibras elásticas(7). Se encuentra en estructuras elásticas como es el oído externo(1) o lo que compone la estructura cartilaginosa de la oreja. Este tipo de cartílago sustenta la forma y la flexibilidad de los órganos. Posee una orientación aleatoria de las fibras de elastina, lo que proporciona una alta elasticidad al tejido(8).

Características Mecánicas del Cartílago Articular

El cartílago articular es un tipo de tejido conectivo viscoelástico, que permite el movimiento articular de baja fricción, permitiendo mecanismos de lubricación durante el movimiento y, facilita la transmisión de carga al hueso subcondral. El cartílago puede resistir grandes fuerzas de contacto y distribuir las tensiones integrales al hueso subyacente(8).

Imagen 47. Funciones Biomecánicas del Cartílago Articular



Fuente: Tomado y Modificado de Nasiri(8)

Lesión del Cartílago

El cartílago articular es radiolúcido (término utilizado en la aplicación de rayos X o radiografía en la que los tejidos blandos dejan pasar la luz o en este caso los rayos X, haciendo que las zonas radiolúcidas se vean más oscuras o negras) por lo tanto, la mayoría de las lesiones del cartílago o condrales, no son visibles en la radiología convencional, lo que conlleva a una impresión diagnóstica. Con la llegada de la resonancia magnética junto con la observación a partir de la artroscopia, se ha podido determinar que las lesiones condrales son más comunes de lo que antes se pensaba. Las lesiones más comunes se encuentran en los cóndilos femorales, la cara superior del astrágalo, el capitellum del humero y la rótula(9). Gracias a la viscoelasticidad del cartílago, esta estructura se encuentra protegida de lesiones debido a la elasticidad también de otras estructuras articulares y los reflejos neuromusculares que, por medio de la contracción muscular refleja, se da una amortiguación estructural(3). No obstante, al percibir una carga inesperada fuerte, tipo traumatismo que se produce demasiado rápido podría afectar la integridad del cartílago.

La lesión del cartílago tiene como etiología traumatismos agudos o microtraumatismos repetitivos por años de uso. Esto es debido a que el cartílago se encuentra expuesto a cargas y fuerzas mecánicas muy altas durante las acciones de la vida diaria, las cuales aumentan significativamente en la práctica deportiva entre 10 y 20 veces el peso corporal. Los microtraumatismos repetitivos provocan Condropatía (es la afectación del cartílago articular, provocando un deterioro o desgaste) afectando la producción de proteoglicanos y daño a la red de colágeno. La red de colágeno contiene proteoglicanos y controla la inflamación por la entrada de agua(10).

Las lesiones condrales de más compromiso tienen menor probabilidad de curación, se han desarrollado sistemas de clasificación para cuantificar la gravedad del daño del cartílago y así orientar una adecuada intervención. La lesión condral se determina por la profundidad de la lesión hacia el hueso subyacente y la extensión del cartílago afectado(9).

Tabla 30. Sistemas de clasificación de defectos del cartílago.

Grado de Lesión	Descripción	
	Clasificación de Outerbridge	Clasificación ICRS (con subclasificaciones)
Grado 0	Cartílago Normal	Cartílago Normal
Grado 1	Cartílago con ablandamiento e hinchazón.	a) Reblandecimiento o fibrilaciones b) Fisuras superficiales
Grado 2	Defecto de espesor parcial con fisuras en la superficie que no alcanzan el hueso subcondral o superan los 1,5 cm de diámetro.	Menos de la mitad de la profundidad del cartílago.
Grado 3	Fisura hasta el nivel del hueso subcondral en una zona con un diámetro superior a 1,5 cm.	Más de la mitad de la profundidad del cartílago, y a) no hasta la capa calcificada b) hacia la capa calcificada c) al hueso subcondral d) ampollas(Editado)Recuperar original
Grado 4	Hueso subcondral expuesto	Lesión osteocondral que viola la placa subcondral.

Fuente: Tomado y Modificado de Gomoll(10)
ICRS, Sociedad Internacional de Reparación de Cartílago.

Las lesiones condrales en deportistas jóvenes son un desafío terapéutico cuando el objetivo es restaurar la integridad estructural y la función de la superficie afectada para que pueda soportar las cargas derivadas de la práctica deportiva, llevando a un retorno a la competencia con el mínimo riesgo de degeneración del cartílago y evitar una artroplastia temprana.

Capacidad de Curación del Cartílago Articular

La capacidad de reparación del cartílago articular es poca o nula. Esto es debido a que la lesión del cartílago que provocara un respuesta inflamatoria que permite reparar el tejido, debido a la falta de circulación(11). Si un traumatismo provoca una lesión osteocondral, se podría dar un proceso de reparación debido a la formación de un coagulo de sangre que contiene células de la medula, las cuales pueden producir tejido de reparación fibrocartilaginoso(10).

La curación o no de una lesión del cartílago depende de tres variables que son: a) la profundidad de la lesión; b) la madurez del cartílago y; c) la ubicación de la lesión. Las lesiones pequeñas y de espesor total se reparan con fibrocartílago a

través del suministro de sangre en el hueso adyacente a la lesión. Sin embargo, las lesiones de espesor parcial no se reparan, por el contrario, estas lesiones se degeneran y no se recuperan porque no hay suministro de sangre a disposición, el cartílago articular se vuelve necrótico y puede provocar osteoartritis. Las lesiones de espesor total tienen un curso de curación a través de una secuencia de eventos iniciados con la presencia de macrófagos y coágulo de sangre, debido a que el hueso comprometido sangra. Los fibroblastos hacen presencia en la zona y el colágeno se convierte en la estructura predominante en el proceso de remodelación(12).

Tabla 31. Cronología de la curación del cartílago articular

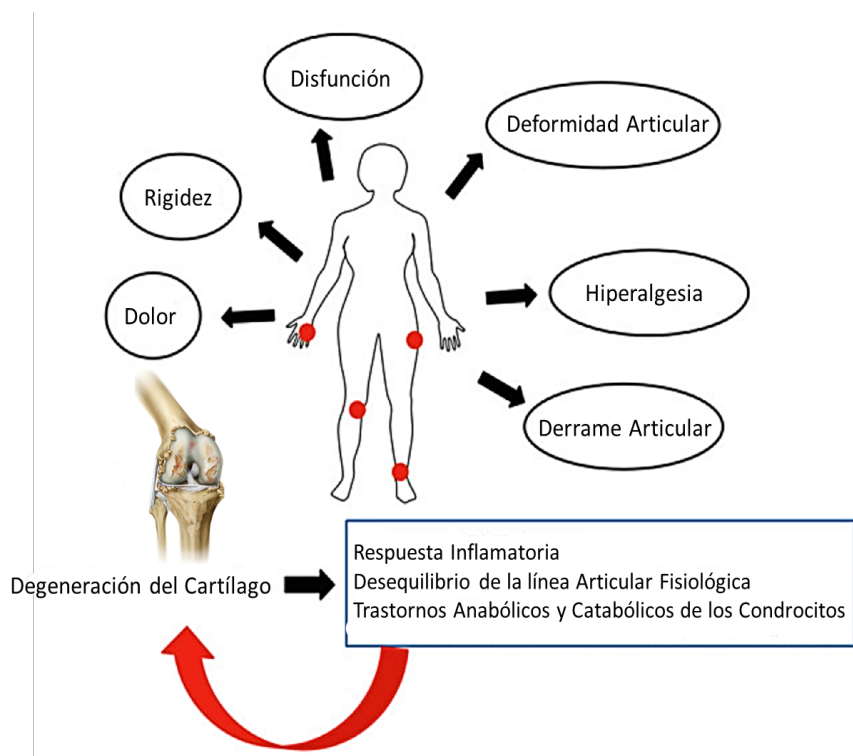
Fase	Tiempo	Características
Respuesta Inflamatoria	48 Horas	Se forma un coágulo de fibrina
	5 días	Los fibroblastos están en el área y se combinan con fibras de colágeno para reemplazar el coágulo.
Proliferación	2 Semanas	Los fibroblastos se diferencian y aparecen islas de condrocitos.
	1 mes	Los fibroblastos se han diferenciado completamente.
Remodelación	2 meses	Se ha producido una reparación satisfactoria y el defecto se asemeja al cartílago en apariencia. Sin embargo, la mayor parte del colágeno presente es de tipo I.
	6 meses	Una combinación de cartílago calcificado tipo I y tipo II tiene una apariencia normal.

Fuente: Tomado y Modificado de Houghlum(12)

Patología del Cartílago Articular

La Osteoartritis es una alteración articular crónica que se caracteriza por la degeneración del cartílago articular e hiperplasia ósea secundaria. Las manifestaciones clínicas incluyen el dolor articular progresivo que involucran rigidez matutina e hinchazón articular, lo que impacta significativamente la calidad de vida e incluso, puede conllevar a la incapacidad. La OA ocurre comúnmente en articulaciones grandes como la rodilla, la cadera y el tobillo. La incidencia de esta patología aumenta cada año(13).

Imagen 48. Manifestaciones Clínicas de la Osteoartritis



Fuente: Tomado y Modificado de Wang(13)

Aunque la característica principal de la osteoartritis es la degeneración y destrucción del cartílago articular, ahora se reconoce bien la participación de cambios en los tejidos periarticulares como el hueso subcondral, los ligamentos, los tendones, los meniscos y la membrana sinovial. Para dar un ejemplo, Los ligamentos y los meniscos tienen funciones importantes en la estabilidad biomecánica articular y su lesión conduce a la pérdida de cartílago, adicionalmente, la patogénesis de la osteoartritis se incluyen factores como la susceptibilidad genética, la afectación biomecánica de la articulación y la presencia y extensión de la inflamación(14).

De acuerdo a diferentes estudios en pacientes que han sido sometidos a procedimiento quirúrgicos, se han identificado diferentes causas y cursos de tiempo que explican el inicio y desarrollo de la osteoartritis, agrupándola en temprana, progresiva y terminal, las cuales incluyen: a) lesión del ligamento cruzado anterior en mayores de 35 años de edad; b) lesión meniscal aguda en individuos de 26 a 40 años de edad; c) menisco degenerativo en individuos de 40

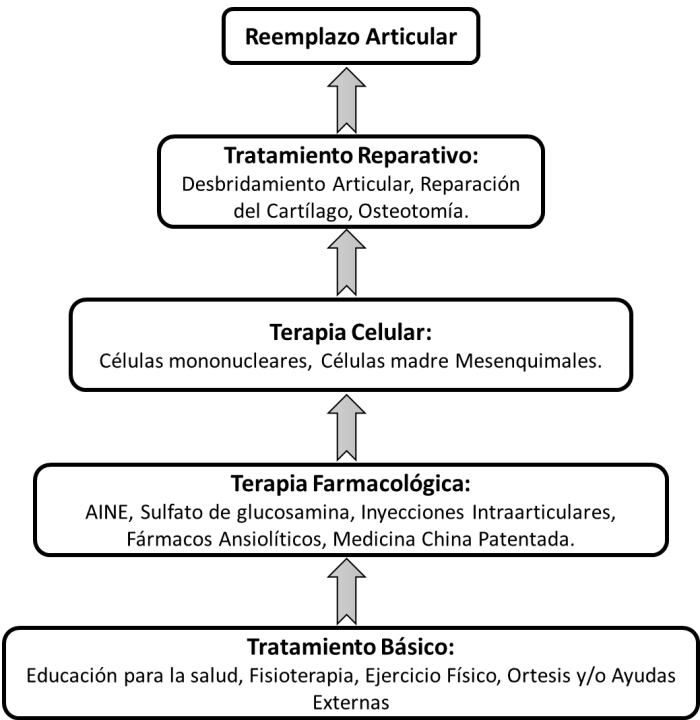
a 65 años de edad; y d) reemplazo total de la articulación en mayores de 50 años de edad (14). Las lesiones del ligamento cruzado anterior pueden ser debilitantes a corto plazo debido a la pérdida de la participación deportiva, el tiempo fuera del trabajo y los costos financieros asociados con el tratamiento(15) . Además, las lesiones del LCA pueden tener consecuencias a largo plazo en la rodilla afectada, incluida la alteración de la cinemática de la rodilla, el daño asociado al menisco y al cartilago y, en última instancia, la osteoartritis de rodilla(16) .

La influencia de la práctica deportiva en el desarrollo de la osteoartritis temprana es preocupante, especialmente por la creciente práctica, inclusive en la población de edad avanzada, la cual, se relaciona con periodos largos e intensos de práctica deportiva. La aparición de osteoartritis temprana guarda relación con los deportistas que se exponen a gestos de aceleración y desaceleración instantánea o a procesos tanto competitivos como entrenamientos continuos de alto impacto en las articulaciones(17). Un estudio de Drawer & Fuller en el 2001, cuantificaron la prevalencia de osteoartritis y la gravedad del dolor en las articulaciones de los miembros inferiores de jugadores de futbol profesional, evaluaron 315 exjugadores de futbol por medio de un cuestionario que indagaba aspectos personales, patrones de carga de actividad física, antecedentes de lesiones articulares en extremidades inferiores y condición médica en el momento del diligenciamiento del cuestionario. El 47% (n=79) de los encuestados de jubilaron debido a una lesión. El 42% (n=33) fueron lesiones agudas y el 58% (n=46) lesiones crónicas. El 46% (n=15) de las lesiones agudas que llevaron a la jubilación anticipada fueron en la rodilla, seguidas del tobillo con un 21% (n=7) y la zona lumbar con un 15% (n=5). La mayoría de las lesiones crónicas que llevaron a la jubilación anticipada también se produjeron en la rodilla con un 37% (n=17), seguida de la zona lumbar con 22% (n=) y la cadera con un 9% (n=4). De todos los encuestados, el 32% (n=59) había sido diagnosticado médicamente con osteoartritis en al menos una de las articulaciones de las extremidades inferiores. A raíz de esto, los investigadores concluyeron que el riesgo de osteoartritis en al menos una de las articulaciones de las extremidades inferiores para los jugadores de fútbol profesionales es muy alto y significativamente mayor que para la población general(18).

Los individuos con osteoartritis presentarán variados grados de daño del cartilago en la etapa tardía, se acompañará de sinovitis y/o deformidades, que generalmente serán tratados mediante cirugía, desbridamiento artroscópico, osteotomía o reemplazo articular. La intervención tecnológica en el campo de la ortopedia, el plan quirúrgico debe combinarse con la evaluación clínica integral y completa, acompañado de ayudas diagnosticas como las imágenes

diagnósticas y así, poder determinar el tratamiento más adecuado en los pacientes. El tratamiento de la osteoartritis incluye principalmente tratamiento básico, terapia farmacológica, terapia celular, tratamiento reparador y reemplazo de articulaciones(13).

Figura 29. Tratamiento gradual de la osteoartritis



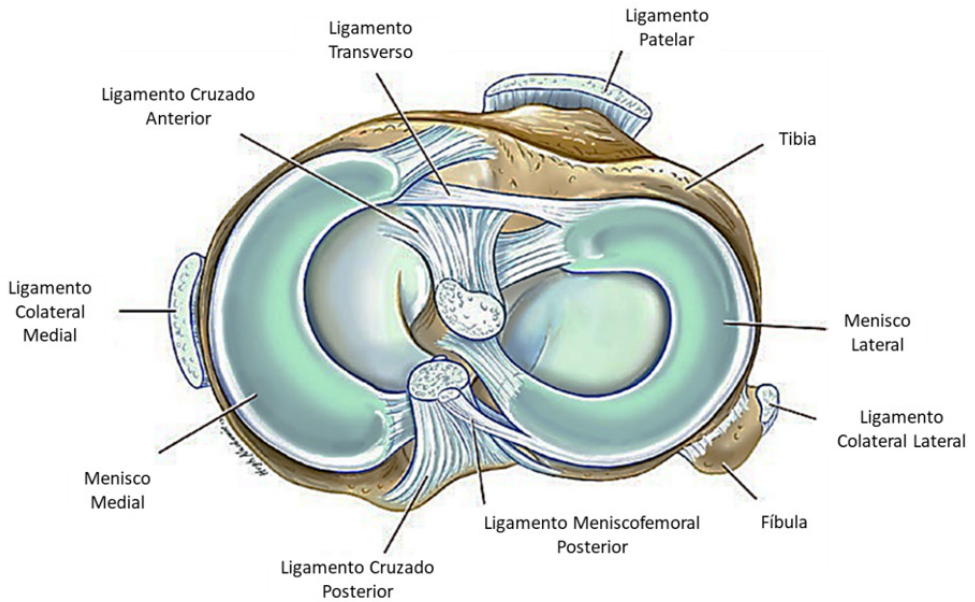
Fuente: Tomado y Modificado de Wang(13)

El Menisco

Son estructuras con forma de medialuna con una sección transversal triangular, localizados entre los cóndilos femorales y los platillos tibiales. Se componen de fibrocartílago y se caracteriza por que su borde periférico es grueso y convexo(19). Se encuentran anclados a la región intercondílea de la tibia por sus extremos libres, conocidos como cuerno anterior y posterior. Cada borde externo de los meniscos se une a la tibia y a la capsula contigua mediante ligamentos coronarios o meniscotibiales(20).

Los meniscos están compuestos principalmente por agua en un 72% y colágeno en un 22% con células interpuestas(21).

Imagen 49. Vista general de los meniscos



Fuente: Tomado y Modificado de Baron(22)

Menisco Medial

Es el más grande de los dos meniscos, tiene forma semicircular con un diámetro anteroposterior de aproximadamente 35mm. Posteriormente es más ancho que anteriormente. Cubre entre el 60 y el 65% de la superficie tibial medial. Tiene de ancho entre 9 y 10mm y de grosor entre 3 a 5mm(23). Se une en la parte anterior a la meseta tibial por delante del Ligamento cruzado Anterior, dentro de la fosa intercondilar. Posteriormente se inserta entre el menisco lateral y el Ligamento Cruzado Posterior(21, 19).

Menisco Lateral

Es casi circular en comparación al menisco medial. Presenta un anchura más o menos uniforme posterior y anterior. Sus cuernos anterior y posterior convergen. Cubre entre el 80 y el 85% de la superficie tibial lateral. Presenta una anchura de 10 a 12mm, y un grosor de 4 a 5mm(23). Presenta mayor movilidad

con el medial y ocupa una mayor superficie de la superficie articular. Su inserción anterior esta por delante de la eminencia intercondilar y adyacente al amplio punto de inserción del Ligamento Cruzado Anterior. Este menisco no se uno al ligamento colateral lateral y está unido ligeramente al ligamento capsular. Su cuerno posterior se encuentra unido al cóndilo femoral a través de los ligamentos meniscomfemoral anterior y posterior(21).

Inervación

La inervación de la rodilla se da por medio de los nervios tibial posterior, obturador, femoral y el peroneo común, los cuales ingresan a la capsula y semejan su distribución a la irrigación vascular. Los tercios periféricos del meniscos son los que más reciben inervación(24). Adicionalmente, la evidencia científica ha descrito la participación de tres tipos de mecanorreceptores que contribuyen a la propiocepción articular y la información aferente:

- *Terminaciones de Ruffini*: son ramas amielínicas, se adaptan a la adaptación lenta y se encargan de identificar cambios por la deformación articular y el dolor(24).
- *Corpúsculos de Pacini*: Son mielinizados y de adaptación de rápidas para responder a los cambios de presión y tensión(24).
- *Órganos Tendinosos de Golgi*: son mielínicas, se adaptan de manera rápida y contribuyen a la inhibición neuromuscular en los rangos terminales del movimiento(24).

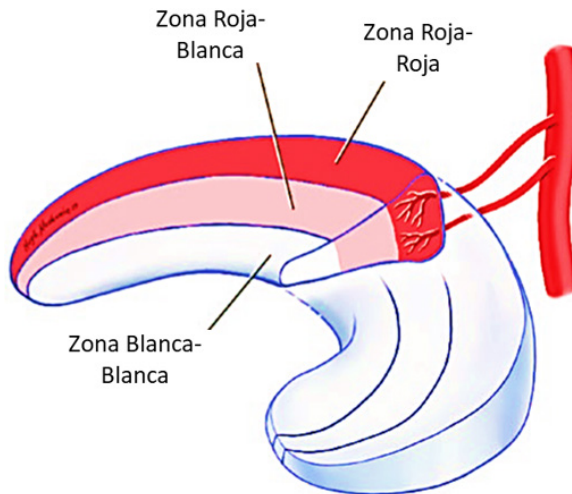
Estos mecanorreceptores, ubicados principalmente en los cuernos anteriores y posteriores de los meniscos, traducen la deformación mecánica en señales neuronales eléctricas, contribuyendo a la percepción del movimiento y la posición de las articulaciones. La identificación de estos elementos neurales, indica que existe una capacidad del menisco para detectar información propioceptiva de la rodilla(25).

Irrigación del Menisco

La arteria poplítea por medio de sus ramas geniculadas medial y lateral son las encargadas de proveer sangre al menisco(26). De allí se deriva un plexo capilar premeniscal que proporciona la mayor cantidad de sangre al menisco. No obstante, el menisco sigue siendo avascular incluso en el adulto, donde solo de un 10% al 30% del menisco medial y del 10% al 25% del menisco lateral reciben suministro de sangre directamente(24). Durante el crecimiento uterino, el

menisco contiene vasos sanguíneos y durante el periodo posnatal, la zona interna del menisco se vuelve avascular, lo cual se considera es provocado por las fuerzas derivadas del peso y el movimiento de la rodilla(26). Esta característica es importante reconocerla, debido a que repercute en los procesos de curación, y se convierte en el fundamento para distinguir las tres zonas del menisco: La zona Roja-Roja presenta mayor vascularización; la zona Roja-Blanca que es parcialmente vascularizada y; la zona Blanca-Blanca que es avascular. La estructura del menisco se mantiene debido a la recepción de las zonas Roja-Blanca y Blanca-Blanca de líquido sinovial que se convierte en su nutrición por medio de difusión o bombeo mecánico(24).

Imagen 50. Zonas de vascularización de los meniscos



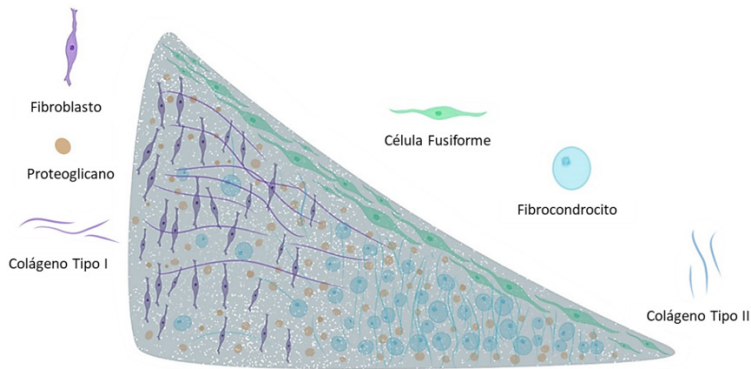
Fuente: Tomado y Modificado de Alexander(24)

Composición del Menisco

A nivel histológico, el menisco se compone de 3 grupos distintos de células que son los Fibrocondrocitos, Fibroblastos y Células Fusiformes. Los Fibrocondrocitos se encargan de producir colágeno tipo I y II, tienen forma redondeada y se encuentran ubicados en el centro del menisco. Los Fibroblastos son células ovaladas ubicadas en la zona exterior y presentan extensiones largas que facilitan la comunicación con otras células. Las Células Fusiformes están ubicadas a lo largo del perímetro superficial del menisco, carecen de extensiones y son similares a condrocitos pero aplanados de la superficie del cartílago articular(23).

La matriz extracelular es aquella que condiciona las funciones mecánicas de los meniscos. Está compuesta por un 72% de agua, 22 de colágeno y cantidades pequeñas de proteoglicanos, glicoproteínas y elastina(23).

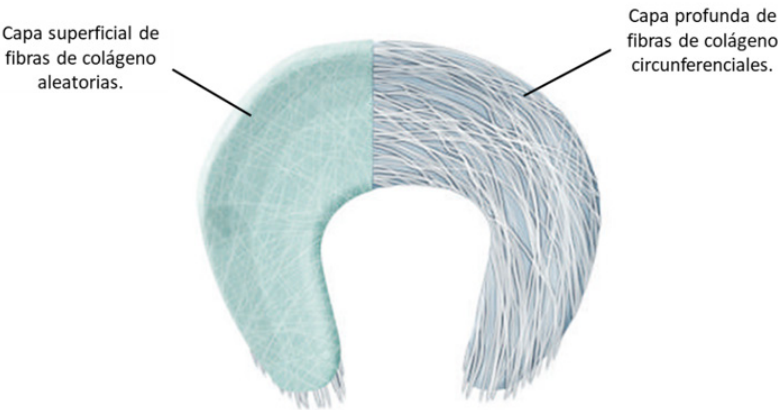
Imagen 51. Composición Histológica del Menisco



Fuente: Tomado y Modificado de Patel(23)

En la superficie existen células con forma elipsoidal o fusiforme aplanada y son fibroblásticas, mientras que en la zona profunda las células son más esféricas o poligonales y se consideran condrocíticas. Estas células carecen de contactos entre células, debido a que se encuentran distantes de los vasos sanguíneos y dependen de la difusión a través de la matriz para el transporte de nutrientes y metabolitos(5).

Imagen 52. Arquitectura de las fibras de colágeno en el menisco



Fuente: Tomado y Modificado de Wang(5)

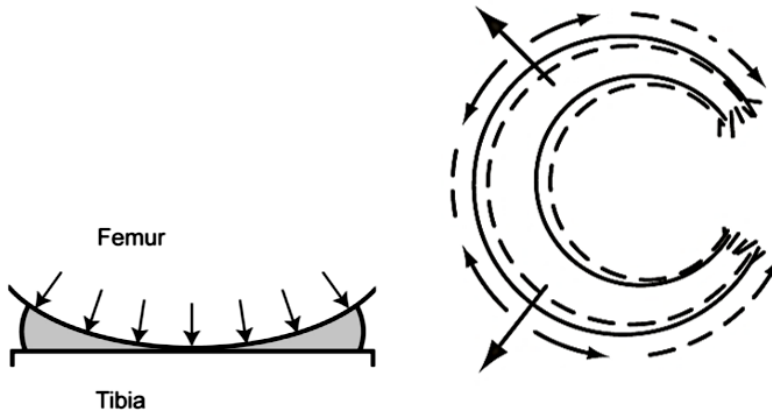
La matriz brinda protección de un daño a las células por una carga fisiológica del tejido. La deformación genera un flujo de líquido a través de la matriz e influye en la función de las células meniscales(5).

Función y Biomecánica de los Meniscos

El menisco desempeña funciones relacionadas con la transmisión de carga, absorción de fuerzas, lubricación articular y la nutrición del cartílago articular. Al soportar cargas, la rodilla se somete a compresión axial y son aplicadas desde los cóndilos redondeados y las mesetas tibiales hacia los meniscos y esta a su vez se distribuye sobre el área de contacto articulada(27). Las fuerzas que debe soportar el menisco son fuerzas de corte, tensión y compresión. Debido a que la forma sigue a la función, el menisco permite estabilizar las superficies articulares que no coinciden como lo son los cóndilos femorales y la meseta tibial, ayudada por los sitios de unión de los cuernos, lo que ayuda a convertir las fuerzas de compresión verticales en tensión circular horizontal, lo que genera que ante una compresión y deformación radial, las fibras internas del menisco deban resistir fuerzas de corte o cizallamiento(22). Las tensiones son directamente proporcionales a la carga e inversamente proporcionales al área de contacto, lo que significa que cuando el área de contacto es mayor, menor será las tensiones de contacto en el área de contacto(27).

La fuerza que es capaz de transmitir los meniscos depende sustancialmente de la posición de la rodilla. En una extensión de rodilla, los meniscos logran transmitir el 50% de la fuerza axial aplicada, debido a que en esta posición existe el mayor punto de contacto entre los huesos que conforman la rodilla y los meniscos; por el contrario, al realizar flexión de rodilla, el punto de contacto disminuye conforme aumenta el grado de flexión, logrando que en una máxima flexión de rodilla, el menisco lateral pueda transmitir un 100% de la carga axial y el menisco medial aproximadamente un 50%(21, 26).

Imagen 53. Transmisión de fuerza: compresión vertical a tensión circular horizontal



Fuente: Tomado y Modificado de Aweid(21)

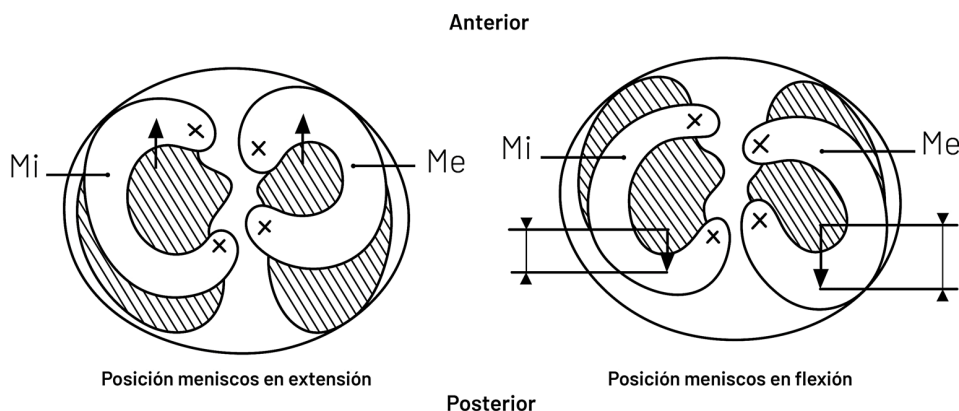
De acuerdo con lo anterior, se puede sintetizar las funciones del menisco en:

- Contribuir a la estabilidad articular por medio del aporte en la congruencia articular.
- Permitir una adecuada distribución y transmisión uniforme de cargas.
- Por la configuración de sus componentes histológicos, permitir la absorción de impactos.
- Por sus componentes mecanorreceptores, contribuir a la propiocepción Articular.
- Contribuir a la lubricación y nutrición articular.
- Disponer de una carga de peso controlada a través de sus inserciones.

Para que mantener una función adecuada de soporte de carga en una superficie articular incongruente y en movimiento, los meniscos se mueven conforme se mueve el fémur y la tibia, ayudando así a mantener una mayor congruencia(28). Tompson et al. Demostraron por medio de resonancia magnética en rodillas de cadáveres, que desde la extensión completa hasta la flexión completa, se presentaba un movimiento posterior del menisco medial de 5,1mm y del menisco lateral de 11,2mm, con los cuernos anterior generando mayor movimiento que las posteriores(29). Aweid et al. establecen los movimientos de

los meniscos varían entre el medial y el lateral, con un rango de 3 a 5mm para el medial y de 9 a 11,2mm para el lateral, determinando que el menisco lateral se mueve como un solo cuerpo, mientras que el cuerno posterior del menisco medial se encuentra más firme debido a la porción meniscotibial del ligamento oblicuo posterior(21). De acuerdo con lo anterior, se establece diferencias significativas en el comportamiento dinámico segmentario entre los menisco medial y lateral.

Imagen 54. Excursión de los meniscos en la flexión y extensión de rodilla



Fuente: Tomado y Modificado de(30)

Lesiones Meniscales

La lesión de los meniscos es la patología intraarticular de rodilla más común con una prevalencia de 60 a 70 por cada 100.000 personas. Un tercio de estas lesiones se relacionan con el deporte, donde la mayoría de las lesiones se dan sin contacto, por acciones como cambios de dirección, desacelerar o por un aterrizaje posterior a un salto(31). Un estudio epidemiológico de 10 años de Majewski et al. Documentaron a 17.397 deportistas que presentaron 19.530 lesiones deportivas. De estos, 6434 reportaron 7769 lesiones relacionadas con la rodilla, de los cuales, el 10.8% (n=694) presentaron lesión del menisco medial y, el 3.7% (n=238) presentaron lesión del menisco lateral. Identificaron que el esquí (26%) y el fútbol (35%) son los deportes donde se presentan la mayor cantidad de lesiones de rodilla, incluyendo el menisco(32). En cuanto al sexo, existe un mayor riesgo de lesión meniscal en los hombres con un 2,5 a 4 veces mayor que las mujeres. La mayoría de la lesiones meniscales suceden entre los 20 y 39 años de edad. En los niños la lesión meniscal es causada por traumatismo, menisco

discoide o quistes meniscales, mientras que en adultos jóvenes la causa son los traumatismos. En los adultos mayores se presenta en mayor frecuencia lesiones degenerativas(31).

En relación con el deporte, el menisco medial se afecta más en una proporción de 3:1 de desgarros del menisco medial. Como se mencionó anteriormente, el menisco medial tiene menos movilidad y soporta más carga que el menisco lateral. Estos elementos generan más tensión en el menisco medial durante las acciones de alto impacto y torsión de la rodilla. La incidencia máxima de desgarros meniscales traumáticos se presenta entre los 21 y 30 años de edad en hombres y entre los 11 y 19 años en mujeres(31).

Mecanismo de Lesión

Los desgarros meniscales ocurren con relativa frecuencia tanto en población deportista como en población general. El 50% de las lesiones del ligamento cruzado anterior tienen asociación con una lesión recurrente de un menisco. Los desgarros meniscales guardan relación con las rotaciones axiales forzadas de los cóndilos femorales con la rodilla flexionada al soportar peso. Esta torsión axial pellizca y desaloja el menisco. Este colgajo meniscal, que comúnmente se denomina “desgarro en asa de cubo”, provoca bloqueo mecánico en la rodilla. Para un menisco medial, su lesión implica una rotación axial y un Genu Valgo forzado, provocando una marcada fuerza de tensión sobre el menisco medial y la capsula posteromedial(20).

La respuesta del tejido meniscal dependerá especialmente de las zonas donde sucedan los desgarros, si estas son vascularizadas o no. Las regiones vasculares periféricas tienen la capacidad de responder como lo hacen los demás tejidos vascularizados, que incluyen procesos de inflamación, reparación y remodelación que resultan en curación y restauración de la estructura y función del tejido. Las lesiones que se producen en las zonas avasculares no cuentan con un proceso de reparación espontáneo, y da como resultado un déficit del tejido(5).

Clasificación de la Lesión Meniscal

Sociedad Internacional de Artroscopia, Cirugía de Rodilla y Medicina Ortopédica del Deporte (ISAKOS) ha impulsado la estandarización de la terminología utilizada por los cirujanos de rodilla para la descripción de los desgarros de menisco. Esta estandarización proporciona una mejor

comunicación clínica y una combinación adecuada de datos para procesos investigativos y la evaluación de los resultados del tratamiento de los desgarros de menisco. Las categorías de descripción de ISAKOS sobre la lesión del menisco incluyen:

Tabla 32. Categorías de descripción de ISAKOS

Categoría	Descriptores
1.Profundidad del Desgarro	Parcial o Completo
2.Ubicacion/Ancho de la zona	Zona 1, 2 o 3
3.Ubicacion radial	Anterior, Medial o Posterior
4.Es central al hiato poplíteo?	Si o No
5.Patron de Desgarro	Horizontal, Radial, Longitudinal, Colgajo, Complejo
6.Calidad del tejido meniscal	Degenerativo, No degenerativo, Indeterminado
7.Longitud del desgarro	Milímetros

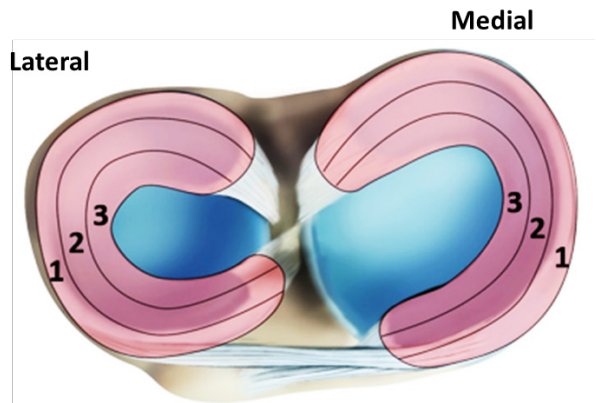
Fuente: Tomado y Modificado de Wadhwa(33)

Profundidad del Desgarro: este ítem hace referencia a la afectación parcial o completa del espesor del menisco. Cuando la lesión es parcial se extiende cruzando una de las superficies articulares del menisco que podría ser inferior o superior, pero no ambas. Cuando el desgarro es completo se extiende a través de las superficies superior e inferior o de las superficies externas e interna del menisco.

Ubicación/Ancho de la Zona: El ancho de la zona hace referencia a la ubicación circunferencial del desgarro con relación a 3 zonas definidas a lo largo del ancho del menisco desde el borde interno al externo o lo que se le denomina Zonas 1, 2 y 3. Los desgarrs son clasificados de acuerdo con la zona o zonas involucradas y su denominación se establece con la zona más alejada que afecte el desgarro:

- Zona 1: Estos desgarrs tienen un ancho <3mm
- Zona 2: Estos desgarrs tienen un ancho de 3 a 5mm
- Zona 3: Estos desgarrs tienen un ancho >5mm

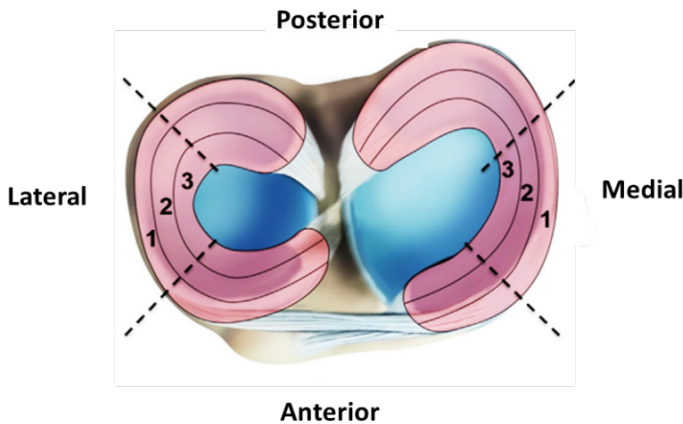
Imagen 55. Zonas del menisco



Fuente: Tomado y Modificado de Wadhwa(33)

Ubicación Radial: Según el comité, el menisco se divide en tres zonas que son anterior, media y posterior, las cuales equivalen a 1/3 del menisco. La literatura radiológica tradicionalmente ha utilizado diferentes términos como cuerno anterior, cuerpo y cuerno posterior al describir las lesiones del menisco, la cual es importante incluirla en los diagnósticos por Resonancia Magnética.

Imagen 56. Localización Radial



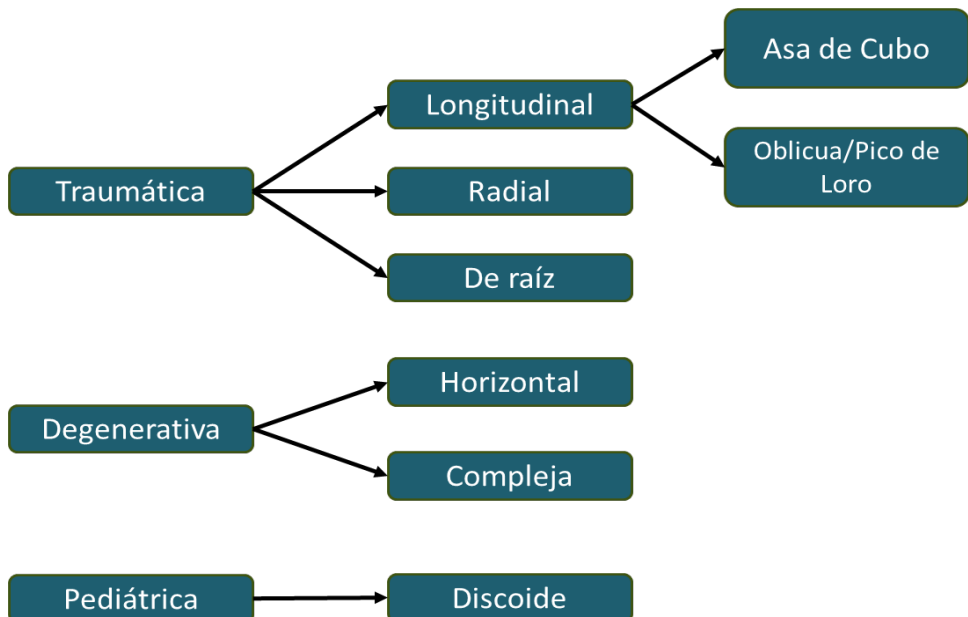
Fuente: Tomado y Modificado de Wadhwa(33)

Hiato Central al Poplíteo: Cuando existe un desgarro del menisco lateral donde su extensión es parcial o completa por delante del Hiato Poplíteo, es considerado central al hiato poplíteo. Esta zona es la única donde el menisco

no se une a la capsula articular, siendo así las zona más móvil al realizar exploración artroscópica.

Patrón de Desgarro: Los desgarros meniscales tienen una descripción de acuerdo con la orientación: longitudinal/vertical, Horizontal y Radial. Cuando existe una combinación de estos patrones, se denomina como “Complejo”. Adicionalmente, se debe tener en cuenta el desplazamiento en los patrones específicos, como sucede con el patrón de asa de cubo, los cuales son desgarros verticales desplazados con un gran potencial para que el fragmento desgarrado entre y salga de la muesca intercondílea. La orientación se relaciona con la etiología con desgarros longitudinales y radiales que resultan de un aumento de fuerza sobre un menisco sano, y desgarros horizontales resultantes de la degeneración. Para el profesional de salud responsable de la intervención quirúrgica, la identificación de los patrones de desgarro permitirá realizar una adecuada planificación del procedimiento y su posterior pronóstico, el cual incluye la reparación del menisco con respecto la ubicación del desgarro, las zonas de vascularización, la orientación, tamaño/longitud y su cronicidad(31).

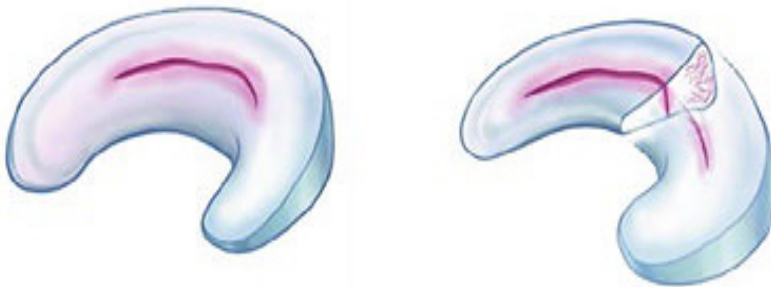
Figura 30. Sistema de Clasificación de los Desgarros Meniscales



Fuente: Tomado y Modificado de Gonzalez-Lomas(31)

- **Desgarros Traumáticos:** En los eventos traumáticos el menisco queda atrapado entre el cóndilo femoral y la meseta tibial durante la descarga de fuerzas. La separación de las fibras de colágeno se da de manera vertical y paralela, originando un desgarro longitudinal, o vertical y perpendicular, creando un desgarro radial. Este tipo de desgarro se clasifican también en estables o inestables.
 - **Desgarro Longitudinal:** Estos desgarros son perpendicular a la meseta tibial, persiguen la circunferencia meniscal y separan el menisco en dos porciones en central y periférica, sin embargo, no afectan el borde libre del menisco. Este tipo de desgarro puede tener liquido o un contorno irregular en el borde posterior periférico. En términos generales, los desgarros longitudinales abarcan el tercio periférico del menisco y el asta posterior del menisco medial o lateral, siendo el medial el más común, donde el 75% de los desgarros suceden en el asta posterior. Cuando ocurren desgarros incompletos en el área vascularizada y son menor a 1cm, el menisco tendrá la capacidad de repararse espontáneamente(34, 31, 33).

Imagen 57. Desgarro Longitudinal



Fuente: Tomado y Modificado de Gotlin(35)

- **Desgarro en Asa de Cubo:** Pueden ser traumáticos o degenerativos, sin embargo, generalmente se presentan después de accidentes que involucran altas velocidades y constituyen el 10% de los desgarros de meniscos. Este tipo de desgarro se da cuando el desgarro longitudinal genera fragmentos y este a su vez migra hacia el centro mientras aún mantiene una conexión con los cuernos anterior y posterior, generando una apariencia de “asa”. Además, son unilaterales en cualquiera de los dos meniscos y es muy raro que suceda en los dos meniscos, siendo el lateral 7 veces más propenso que el medial(34, 31, 33).

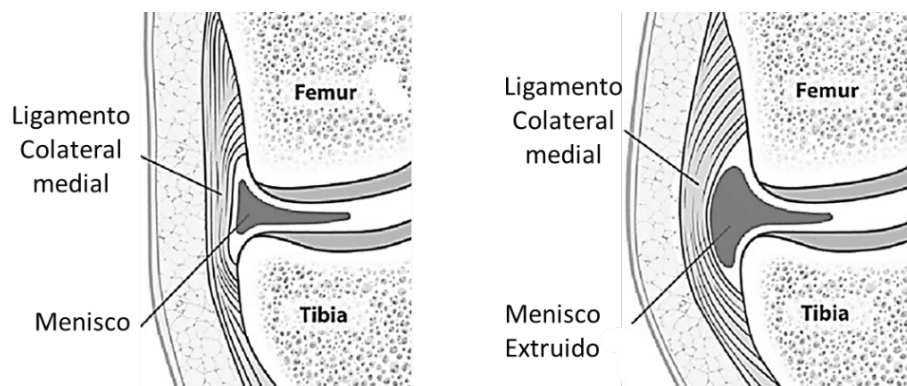
Imagen 58. Desgarro en Asa de Cubo



Fuente: Tomado y Modificado de Gotlin(35)

- **Desgarro Radial:** Son perpendiculares a la meseta tibial y al eje longitudinal del menisco, dividen las fibras circunferenciales del menisco, alteran la fuerza del aro meniscal lo que compromete sustancialmente la función del menisco y provoca una extrusión del menisco (la extrusión meniscal sucede cuando el margen periférico del menisco sobresale 3mm o más del borde de la meseta tibial). Una extrusión provoca una exposición de las superficies articulares a una mayor tensión de contacto a medida que los cóndilos femorales y las mesetas tibiales interactúan entre sí en mayor grado durante la flexión y extensión de rodilla, provocando una sobrecarga y un mayor daño al cartílago articular, favoreciendo el progreso degenerativo. El desgarro radial ocurre en un 15% de los desgarros meniscales, y el 79% de ellos se da en los cuernos posteriores. Se localizan con mayor frecuencia en la unión de los tercios posterior y medio del menisco medial o cerca de la inserción posterior del menisco lateral. La lesión se orienta verticalmente con dirección hacia el borde periférico del menisco y puede ser tanto parcial como completo. La reparación de este tipo de desgarro puede restaurar la resistencia y función del aro. Sin embargo, la ubicación típica de la zona avascular blanca-blanca impedirá la reparación y requerir una menisectomía parcial(34, 31, 33, 36).

Imagen 59. Representación del menisco Extruido



Fuente: Tomado y Modificado de Wilson(37)

Imagen 60. Desgarro Radial



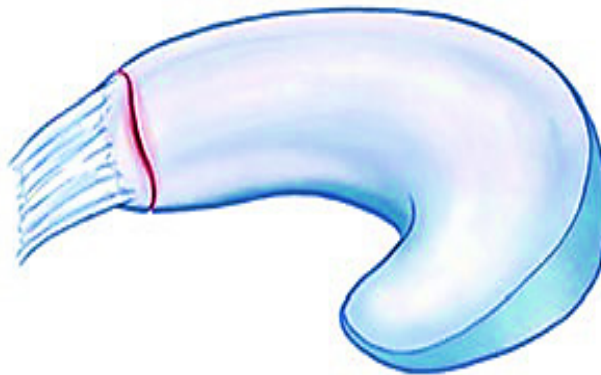
Fuente: Tomado y Modificado de Gotlin(35)

- **Desgarro de Raíz:** Son avulsiones de la raíz ósea o de tejido blando, ubicados a 1cm de la inserción del menisco originados por causas traumáticas como el agacharse o causas degenerativas. Entre los factores de riesgo se encuentra el varo de rodilla, la edad avanzada, un IMC aumentado y el sexo femenino. Este tipo de desgarro tiene 5,8 veces más probabilidades de tener defectos condrales relacionados. Adicionalmente, este tipo de lesión presenta una probabilidad de 10,3 veces más de ocurrir con una lesión aguda del Ligamento cruzado Anterior (LCA) y se además, se asocian con la extrusión(34, 31, 33, 36). A través del tiempo, los desgarros de raíz del menisco se han

infradiagnosticado. Son descritos como desgarros de del menisco de la raíz radial, mientras que un desgarro traumático de la raíz del menisco es raro(36). LaPrade et al. Enseñaron una clasificación de los desgarros de la raíz del menisco a partir de la morfología del desgarro(38). Estos investigadores clasificaron los desgarros de la raíz del menisco en cinco tipos:

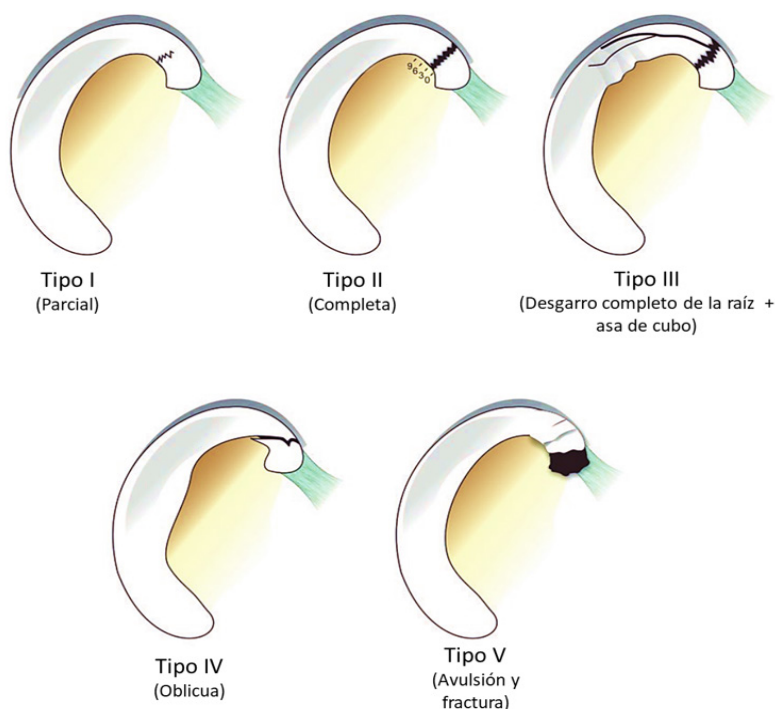
- **Tipo I:** Es un desgarro de raíz de menisco parcial y estable.
- **Tipo II:** Consiste un desgarro completo de la raíz del menisco dentro de los 9mm de la inserción de la raíz del menisco, donde tiene una triple subclasificación según el desplazamiento de la raíz del desgarro del menisco, IIA 0<3mm, IIB 3<6mm y IIC 6 a 9mm.
- **Tipo III:** Es una asociación de desgarro completo de la raíz del menisco y desgarro en asa de cubo.
- **Tipo IV:** Se trata de un menisco complejo y oblicuo situado a 9mm del centro de la inserción de la raíz del menisco.
- **Tipo V:** Es una avulsión ósea de la inserción de la raíz lagrimal del menisco

Imagen 61. Desgarro de Raíz



Fuente: Tomado y Modificado de Gotlin(35)

Imagen 62. Clasificación de los desgarros radiales

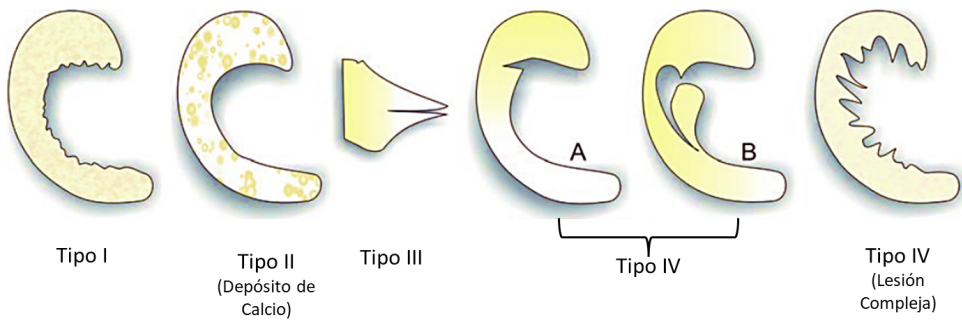


Fuente: Tomado y Modificado de Rocha(36)

- **Lesiones Degenerativas:** Son lesiones asociadas con la edad y la osteoartritis. Son la consecuencia de cargas continuas que provocan microtraumatismos en el menisco. Este tipo de lesión se caracteriza por provocar desgarros horizontales, desgarros complejos y desgarros oblicuos o de colgajo. A partir de la edad de 40 años, el menisco experimenta cambios histológicos que incluyen la disminución de celularidad y la vascularización, así como también se genera una proliferación de citoquinas proinflamatorias, haciendo que el menisco se vuelva más susceptible al daño o rotura. La clínica de estas lesiones se relaciona con una descompensación posterior a un traumatismo menor o a veces no traumático. La composición del menisco presenta alteraciones macroscópicas y microscópicas denominadas Degeneración Mixoide(34, 31, 33, 36). Dorfman et al(39), realizaron una clasificación artroscópica de los desgarros degenerativos de menisco en 5 tipos:

- **Tipo I:** La sustancia meniscal no presenta interrupciones. A nivel macroscópico se denota amarillo y plano, además el borde interior es irregular.
- **Tipo II:** Se evidencia presencia de depósitos de calcio, evento denominado Condrocalcinosis.
- **Tipo III:** Hay evidencia de un desgarro horizontal.
- **Tipo IV:** El patrón de desgarro del menisco es radial (Iva) o en colgajo (IVb).
- **Tipo V:** Es definida como una lesión compleja y se asocia con osteoartritis.

Imagen 63. Clasificación de Lesiones Degenerativas del Menisco según Dorfmann

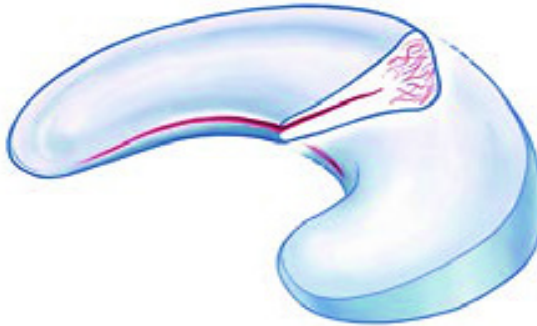


Fuente: Tomado y Modificado de Rocha(36)

- **Desgarro Horizontal:** este tipo de desgarro también recibe el nombre de desgarro por escisión. Sucede de manera paralela a la meseta tibial, a veces afecta las superficies articulares o el borde libre central, puede extenderse hacia la periferia y separar el menisco en superior e inferior. Este tipo de lesiones son generalmente estables incluso con fragmentos separados que por lo general tienen un movimiento hacia orificios circundantes. Cuando los desgarros horizontales son completos, lo cual, se extienden hacia la periferia, puede generar quistes parameniscascales debido a un acceso al espacio y al líquido sinovial. Suceden por lo general en el asta posterior del menisco medial y representan el 32% de los desgarros de menisco. De acuerdo con lo descrito anteriormente, la gran mayoría de los

pacientes no manifiestan ni perciben alteración funcional mecánica y continúan asintomáticos. Este tipo de desgarros por lo general tiene una extensión que abarca la zona avascular, afectando el pronóstico y la capacidad de curación. Las estrategias quirúrgicas van desde una reparación en pacientes menores de 50 años y, para aquellos que no son candidatos se indica menisectomía parcial(31).

Imagen 64: Desgarro Horizontal



Fuente: Tomado y Modificado de Gotlin(35)

- **Desgarros Complejos:** Estos desgarros se observan con cambios degenerativos en las articulaciones y viene acompañado de dos o más desgarros como el radial, horizontal o longitudinal. La apariencia del menisco es de fragmentada y su extensión abarca más de un plano. Los pacientes con este tipo de desgarrro se tratan con reparación o menisectomía parcial(31, 34).

Lesiones Pediátricas

- **Menisco Discoide:** Están anomalías congénitas que crea un menisco hipertrófico e inestable con mala calidad del tejido. Los meniscos discoides son más gruesos, poseen menor vascularización y un número reducido de fibras de colágeno, lo que quita firmeza al menisco. Existe un cubrimiento mayor de la meseta tibial y en algunos casos es total. Los meniscos discoides generan dolor y sintomatología mecánica en niños y en niños mayores puede presentarse como un desgarrro(31). Kim et al(40). Clasificaron el menisco discoide en tres tipos:
- **Tipo I:** Tienen forma semilunar y una inserción posterior normal que cubre menos del 80% de la meseta tibial.

- **Tipo II:** Cubren íntegramente la meseta tibial lateral y presentan una normal inserción posterior.
- **Tipo III:** O meniscos de Wrisberg, carecen de inserción meniscotibial posterior a la tibia.

Imagen 65. Menisco Discoide



Fuente: Tomado y Modificado de Gotlin (35)

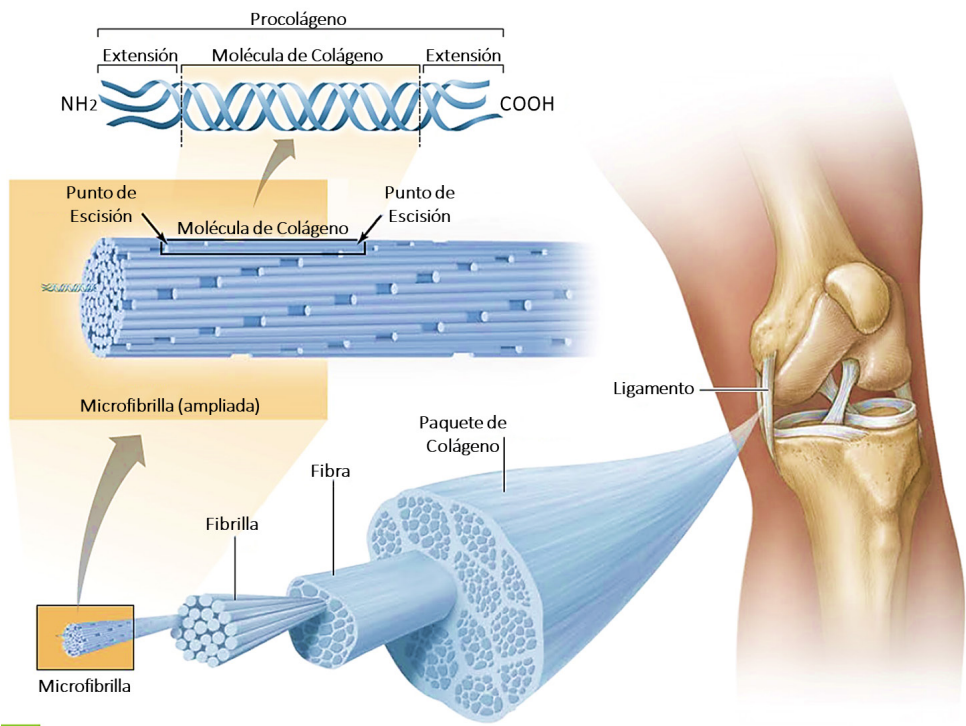
- **Calidad del Tejido:** Se puede clasificar en No Degenerativa, Degenerativa o Indeterminada. Las características de un tejido degenerativo incluyen cavitación, múltiples patrones de desgarro, tejido meniscal reblandecido, fibrilación u otros cambios degenerativos(33).
- **Longitud del Desgarro:** Se refiere a la dimensión del desgarro del menisco que alcanza la superficie del menisco.

El Ligamento

Este tipo de tejido esquelético son bandas fibrosas de tejido conectivo que tiene como principal función conectar los huesos y permitir así la formación de las articulaciones. Los ligamentos son importantes debido a su función en la estabilidad articular en todo el cuerpo, actúan como restricciones uniaxiales individuales que al trabajar juntos en una articulación, logran resistir las cargas externas a las que se exponen(41). Estas estructuras permiten que el cuerpo pueda realizar movimientos específicos al proporcionar estabilidad, siendo una guía en un rango de movimiento normal y al redistribuir las cargas de tensión(42).

Los nombres de los ligamentos se dan de acuerdo con los huesos con los que se relacionan, la forma y la ubicación de estos. Como ejemplo de ello está el ligamento glenohumeral, el cuál es un ligamento que tiene relación entre la glenoides de la escapula y el humero; en cuanto a la forma se encuentra el ligamento deltoides que se encuentra en la cara medial del tobillo; y en cuanto a su ubicación está el ligamento colateral medial que se encuentra en la cara medial de la articulación de la rodilla o la articulación del codo. Estos son algunos ejemplos de las características de los ligamentos. Adicionalmente, están aquellos ligamentos que tienen un relación con la articulación que pueden ser intraarticulares (*dentro de una articulación*) o extraarticulares (*por fuera de la articulación*). Estas características condicionan la estructura del ligamentos de acuerdo con su función(43).

Imagen 66. Estructura de un ligamento



Fuente: Tomado y Modificado de Franch(44)

Histología y Estructura

A nivel histológico, los ligamentos se componen principalmente de agua, elastina, proteoglicanos, glicolípidos y fibras de colágeno agrupadas de manera densa que se orientan en dirección longitudinal. Estas fibras se disponen en series de haces denominados fascículos que están rodeados por tipo de tejido conectivo laxo llamado Paratenón. Los fibroblastos que son el tipo de célula predominante se disponen en filas entre subunidades de fibras de colágeno que reciben el nombre de Fibrillas(41). El peso aproximado en seco de un tejido ligamentoso es de 70-80% de colágeno tipo I, con cantidades menores de colágeno tipo III en un 3-10% del peso en seco, V, IX, XI, XII y XIV. El colágeno tipo V está asociado con el colágeno tipo I para regular el diámetro de las fibrillas de colágeno. El colágeno tipo III forma enlaces disulfuro (*grupo funcional constituido por dos átomos de azufre unidos por un enlace covalente*) importante para la cicatrización de heridas. El colágeno tipo XII lubrica las fibras de colágeno. Los colágenos tipo IX, X y XI hacen presencia en la interfaz ligamentos-hueso junto con el colágeno tipo II. El agua y los proteoglicanos proporcionan espacio y lubricación a los ligamentos, permitiendo el deslizamiento entre las fibras de colágeno(41, 44).

Los ligamentos tienen una capa suprayacente que es más vascular que se llama Epiligamento, la cual cubre la superficie y frecuentemente poco distinguible del cuerpo del ligamento y se fusiona con el periostio. Cuando se lesiona o se elimina esta capa, la arquitectura interna del ligamento queda expuesta, la cual se encuentra organizada jerárquicamente en grupos de fibras paralelas que se conocen como haces que sean difíciles de separar(45).

Función y Biomecánica

Los ligamentos se extienden entre las superficies óseas y ayudan en la estabilización de las articulaciones, su función es mecánica en la estabilización pasiva de las articulaciones(45). Los ligamentos son haces de fibrillas de colágeno que forman un patrón ondulado, dándoles una propiedad elástica que permite un alargamiento sin daño. La alineación de las fibras se orienta conforme se da la dirección de la tensión del ligamento. La elastina en el ligamento reduce la tensión de tracción, debido a la configuración en espiral de las proteínas que forman la elastina, el ligamento puede deformarse sin romperse(42). El ligamento cumple tres funciones esenciales: proporcionar estabilidad a una articulación, proporcionar control de la posición de un hueso articulado a otro durante el movimiento normal y, proporcionar información

propioceptiva o sensación de posición de la articulación por medio de la función de los mecanorreceptores ubicados en el ligamento(46). Los ligamentos tienen un papel pertinente en la propiocepción articular, por medio de receptores articulares, musculares y cutáneos. Al tensionarse un ligamento, este envía señales sensitivas que se codifican y generan una respuesta motora por medio de la contracción muscular o inhibición muscular, ayudando en ajustes posturales corporales y articulares.

La inserción de los ligamentos al hueso permite la transmisión de cargas entre tejidos blandos y el hueso. Las inserciones conforman una estructura altamente diferenciada, que su función es la de amortiguar la tensión durante una carga mecánica. Existen dos tipos de inserción: la primera es la inserción Indirecta o Inserción Perióstica, consiste en una gran cantidad de fibras de colágeno que continúan desde el tendón hasta el periostio subyacente y luego hasta el hueso. Este tipo de fibras se denominan fibras de Sharpey en honor al anatomista y fisiólogo escocés William Sharpey (1802-1880), quien realizó la primera descripción en 1856. Describió fibras de colágeno que se extendían a lo largo de las laminillas óseas “como clavos clavados perpendicular o inclinadamente a través de una tabla”. En este caso, el periostio ayuda con una sujeción más firme a los ligamentos donde se fijan al hueso, donde estas fibras se vuelven continuas y se incorporan al periostio en su unión(47). Por el contrario, en el tipo de inserción Directa, el periostio no es continuo y el ligamento está en contacto directo con el hueso subyacente(42, 41).

La viscoelasticidad es una propiedad específica de los ligamentos, lo que significa que su respuesta mecánica depende de la carga y la velocidad. Los ligamentos se comportan como una estructura elástica al sufrir una deformación, la cual es una capacidad que permite a un tejido volver a su estado natural en forma y tamaño, posterior al cese de la carga que lo provoca. La característica viscosa es la capacidad de un tejido o sustancia para resistir el flujo. La viscoelasticidad es una característica relevante debido a que permite que el tejido se relaje durante actividades como caminar o trotar(41).

Irrigación e Inervación

La distribución vascular y nerviosa de los ligamentos no es homogénea, la zona media del ligamento es avascular mientras que las zonas proximal y distal si gozan de un gran suministro de sangre. De igual manera, los extremos de las inserciones de los ligamentos están más inervados que la zona media(43). El Epiligamento es más vascular, recibe el suministro de sangre de una rama de la arteria geniculada medial superior, que alimenta al ligamento, a los

nervios sensoriales y propioceptivos. Los nervios viajan muy cerca de los vasos sanguíneos y existen más nervios en las inserciones de los ligamentos óseos(45). A comparación de los músculos, el metabolismo del ligamento es mucho más lento debido a una vascularización y circulación menor. Esta condición tiene implicaciones en la regeneración y es la razón de porque su recuperación es más lenta. El mejor estímulo para un crecimiento adecuado del ligamento es exposición a cargas mecánicas que se generan por la actividad motora(44).

Lesión Ligamentosa

Las lesiones ligamentosas son comunes dentro de las lesiones musculoesqueléticas, siendo más frecuentes en el hombro, rodilla, tobillo y la muñeca. Estas lesiones representan el 50% de las lesiones musculoesqueléticas, con una cifra anual de 17 millones de lesiones que requieren tratamiento médico en Estados Unidos con costos aproximados de 40 millones de dólares, provocando impactos en la calidad de vida, afectando la capacidad individual de lograr objetivos ocupacionales, recreativos y de salud(48).

Un esguince lateral de tobillo es una lesión frecuente, con mayor prevalencia en la población que realiza deporte, donde el 40% aproximadamente de todas las lesiones traumáticas de tobillo, se dan durante la práctica deportiva, con informes de incidencias de 7 esguinces por cada 1000 exposiciones. Ante la alta prevalencia e incidencia de este tipo de lesión, se ha informado que el 50% de las personas que sufren esta lesión buscan atención médica, las demás, que sigue siendo un alto número, con el tiempo sufrirán inestabilidad crónica de tobillo, producto de la presencia de dolor, hinchazón y flacidez en combinación con esguinces recurrentes al menos 12 meses después del primer esguince(46).

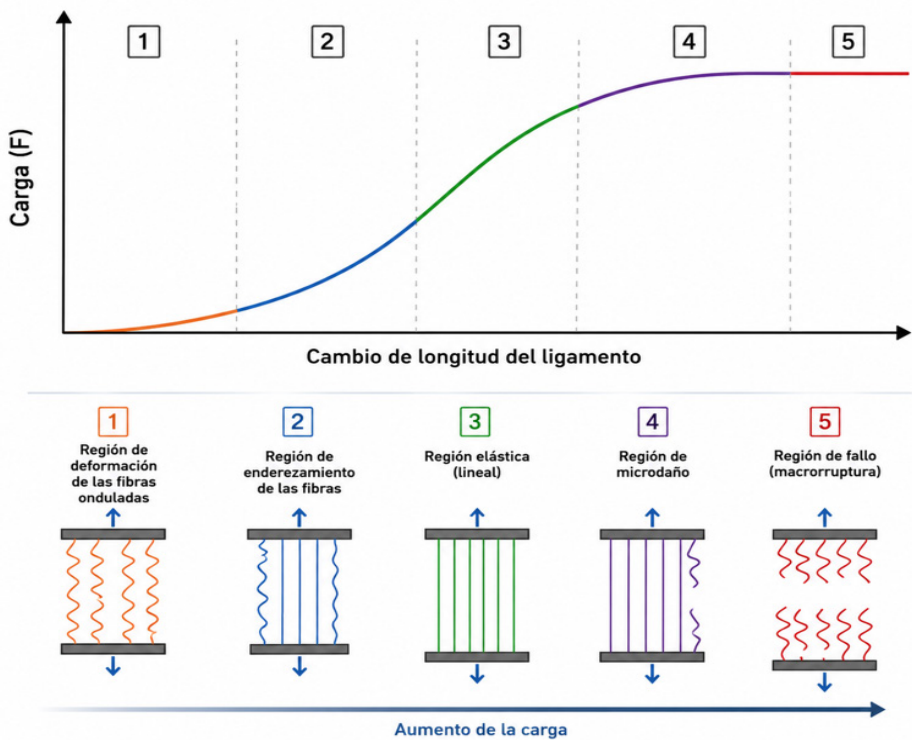
Las lesiones del ligamento colateral medial son las que más suceden en los atletas. Constituye el 26% de todas las lesiones de ligamentos de rodilla. Ocurren debido a un contacto directo sobre la cara lateral de la rodilla que genera una tensión en valgo o durante movimientos laterales que provocan tensión extrema en valgo de rodilla(47). Un estudio de Roach et al. realizado en la academia militar de Estados Unidos entre el 2005 y 2009, informaron una incidencia de 489 lesiones de ligamentos de rodilla, de los cuales, 128 fueron del ligamento colateral medial, con una tasa de incidencia de 7,27 por cada 1000 personas por año; el 73% fueron esguinces grado 1, 23% grado 2 y 4% grado 3, siendo el sexo masculino el que más sufrió de estas lesiones con un 89%(51).

Las posiciones particulares de una articulación provocan que varios ligamentos que se encuentran rodeando la articulación estén tensos. Al aplicar una carga externa a la articulación, estos ligamentos que se encuentran tensos recibirán

y adsorberán la mayor cantidad de energía. Si la carga es lo suficientemente fuerte, podrá deformar al ligamento más allá de su capacidad elástica y este fallará y se romperá(43).

Suceden durante una actividad física extenuante, uso excesivo, movimientos repetitivos o movimientos cortantes. Al realizar estas actividades, el ligamento sufre deformaciones constantes provocadas por las fuerzas tanto internas como externas. Cuando estas fuerzas superan la capacidad del ligamento, se generará una tensión que de manera progresiva afectaran la naturaleza la matriz del colágeno, alterna la continuidad de los vasos sanguíneos y dañaran las células que forman la matriz(42).

Figura 31. Representación del cambio de longitud del ligamento expuesto a una carga



Nota. A medida que aumenta la carga, aumenta el número de fibras del ligamento comprometidas y la longitud del ligamento. 5 representa la rotura definitiva del ligamento y la imposibilidad de soportar la carga.

Fuente: Tomado y Modificado de Ma(42)
Imagen mejorada digitalmente utilizando [Gemini]

Existen dos clasificaciones de las lesiones ligamentosas; una intrínseca que son causados por movimientos inadecuados de la articulación y, las extrínsecas que son causadas por fuerzas externas como un golpe directo a la articulación(42), como por ejemplo, una fuerza en la cara lateral de la rodilla, forzando un valgo y provocando que el ligamento colateral medial se estire hasta el punto de que si la fuerza es supera la capacidad deformación del ligamento, este se rompa. Cuando un ligamento se rompe, se identifican extremos deshilachados en la zona de separación, quedando dos muñones(12).

La gravedad del daño al ligamento se clasifica en 3 grados, denominado esguince:

- **Esguince Grado 1:** Se produce un estiramiento o desgarro de las fibras ligamentosas, con poca o ninguna inestabilidad articular. La sintomatología en este grado de lesión es leve, tanto el dolor, la inflamación y la rigidez articular es muy leve(46, 52, 46).
- **Esguince Grado 2:** Se presenta un desgarro y cierta separación de las fibras ligamentosas, con presencia de inestabilidad moderada articular y perdida parcial de la función. Hay presencia de dolor, hinchazón y rigidez articular de moderado a severo(46, 52, 46).
- **Esguince Grado 3:** Se da una rotura total de las fibras del ligamento y su manifestación principal es la perdida de estabilidad articular. Existe un dolor intenso y posteriormente disminución de este por la alteración de las fibras nerviosas. La hinchazón es notable y abundante, lo que conlleva a un aumento de la rigidez articular horas después de la lesión. Este tipo de lesión que se caracterice por una marcada inestabilidad debe estar acompañado por inmovilización por varias semanas. En algunos casos, la fuerza que provoca una lesión de este grado puede lesionar otras estructuras o ligamentos que se encuentren alrededor, considerando esta gravedad, se recurrirá a reconstrucción quirúrgica(46, 52, 46).

Curación del Ligamento

Este proceso sigue el mismo curso de reparación que otros tejidos vasculares. No obstante, los ligamentos intraarticulares como el Ligamentos Cruzado Anterior y el Ligamentos Cruzado Posterior no tienen una curación exitosamente como si lo hacen los ligamentos extraarticulares, debido a que los ligamentos intraarticulares tienen una irrigación sanguínea restringida y el líquido sinovial obstaculiza una respuesta inflamatoria(53). Posterior a la rotura del tejido ligamentoso, el espacio es llenado rápidamente de sangre, lo

que forma un hematoma, característico de los esguinces grado 2. El proceso de curación del ligamento consta de tres fases:

Figura 32. Duración de las tres fases diferentes de curación en el ligamento lesionado: inflamatoria, proliferativa y de remodelación.



Fuente: Tomado y Modificado de Mobasheri(54)
Imagen mejorada digitalmente utilizando [Gemini]

- **Fase Inflamatoria:** sucede en la primera semana de haberse producido la lesión. Durante esta fase hay liberación de citoquinas y factores de crecimiento para estimular la reparación del tejido. La exudación (salida de fluidos desde el torrente circulatorio hacia los tejidos circundantes, gracias a la permeabilidad de los vasos sanguíneos producto de un proceso inflamatorio o lesión) de líquido provoca que el tejido se inflame. La sangre se acumula donde se encuentra la lesión formando coágulos compuestos por fibrina, plaquetas, glóbulos rojos y restos de células y matrices. Los coágulos se anclan a la células curativas y factores de crecimiento. Estos factores de crecimiento se liberan de las plaquetas y las células reclutan neutrófilos y macrófagos. Los monocitos que son un tipo de glóbulos blancos se convierten en las células dominantes en el sitio de la lesión y fagocitan el tejido dañado o necrótico. Las células endoteliales de los vasos sanguíneos proliferan, permitiendo el crecimiento del tejido, aumenta la producción de colágeno tipo III (proteína que forma parte del tejido conectivo y que tiene propiedades elásticas, presente principalmente en los vasos sanguíneos) (42, 12, 49, 55).

- **Fase de Proliferación:** Por medio de la regeneración celular y la expansión de la matriz extracelular, el tejido dañado comienza su reparación. Se liberan factores de crecimiento (sustancias que estimulan el crecimiento, la proliferación, la cicatrización y la diferenciación celular), los cuales atraen a los fibroblastos. La matriz fibrosa blanda y suelta se crea cuando los nuevos fibroblastos ingresan al tejido y coagulan y reemplazan el tejido dañado. El colágeno tipo III en el tejido de granulación vascular, el cual es creado en el tejido dañado, se reemplaza gradualmente con colágeno tipo I, debido a que este último genera más entrecruzamiento y resistencia a la tracción, aumentando así el tamaño de la fibras de colágeno, la organización de la matriz, aumento del número de vasos sanguíneos, aumento de elastina y aumento de la resistencia a la tracción. El sitio de la lesión posee grandes cantidades de tejido altamente celular, lo que explica la razón de porque los ligamentos son los más débiles en esta fase, debido a que el colágeno que se encuentra en el ligamento requiere mayor organización y estabilidad antes de curarse finalmente(42, 12, 49, 55).
- **Fase de Remodelación:** Esta fase se lleva a cabo varias semanas después de la lesión. La estructura lesiona del ligamento es reemplazado por tejido similar al cicatrizal, el cual se reforma y fortalece gracias a la eliminación y reorganización de las células y la matriz. En esta fase, los fibroblastos y macrófagos comienzan a disminuir, al igual que la concentración de agua, proteoglicanos y el colágeno tipo III. Las fibras de colágeno de la matriz se acentúan en una forma más organizada. La remodelación culmina alrededor de los 4 a 6 meses posteriores a la lesión. En algunos caso puede durar años(42, 12, 49, 55).

Tabla 33. Cronología de la curación del ligamento

Fase	Tiempo	Descripción
Inflamación	Primeras horas	El sitio de la lesión se llena de eritrocitos, leucocitos y linfocitos. Los muñones del ligamento se vuelven progresivamente más friables con la acumulación de líquido seroso en la zona.
	24 horas	Los monocitos y macrófagos se infiltran en la zona. Los fibroblastos comienzan a aparecer y, con el tiempo, su número es significativo.
	48-72 horas	Los fibroblastos producen la matriz extracelular.

Fase	Tiempo	Descripción
Proliferación	3-21 días	Empieza la proliferación
	1-2 semanas	Los fibrocitos y macrófagos son numerosos. Se observan fibras de colágeno aleatorias y abundante sustancia fundamental. Se observa tejido de granulación vascular frágil en el sitio de la lesión. La matriz extracelular continúa siendo sintetizada por los fibroblastos. Siguen predominando los macrófagos, mastocitos y fibroblastos. Aparecen yemas vasculares en la herida para comunicarse con los capilares existentes. Se observa elastina en la zona.
	2 días – 6 semanas	Se produce la fase de proliferación, durante la cual las estructuras celulares y matriciales reemplazan el coágulo de sangre formado durante la inflamación.
Remodelación	14-21 días	Se inicia el proceso de remodelación.
	6 semanas – 12 meses	Disminuyen los macrófagos y los fibroblastos.
	8 semanas	Se completa la revascularización.
	Hasta 12 meses	La concentración de colágeno se estabiliza, el colágeno tipo I reemplaza al tipo III y los enlaces cruzados de colágeno aumentan en número. El ligamento se vuelve más normal.
	40-50 semanas	Se recupera la resistencia a la tracción casi normal.
	1-2 años	La curación esta completa

Fuente: Tomado y Modificado de Houglum(12)

El Tendón

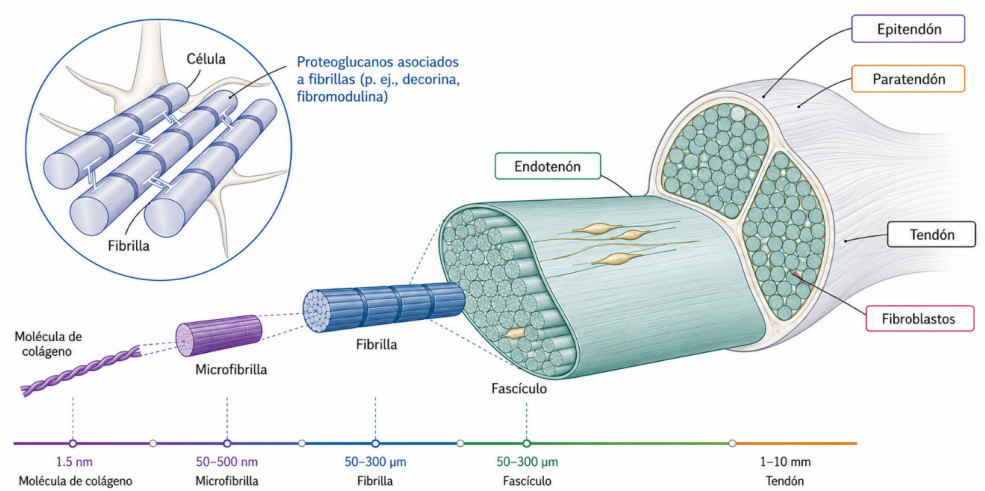
El tendón es un tipo de tejido complejo que conectan los músculos a los huesos, con un objetivo claro que es la de transmitir la fuerza producida por los músculos al hueso para producir el movimiento(56, 57). Adicionalmente, el tendón almacena y libera energía durante un ciclo de carga articular, dando como resultado un movimiento más eficiente. No obstante, debido a su característica viscoelástica, el tendón se encargar de disipar energía, ayudando a la protección de los huesos y los músculos al daño(57). Macroscópicamente, los tendones presentan un color nácar, con una consistencia viscoelástica con alta resistencia mecánica a la tracción y menor capacidad de deformación(58).

Los tendones del cuerpo humano presentan una organización histológica similar, consistente en un tejido blando compuesto principalmente por células conectivas(56). A nivel bioquímico, el tendón se constituye de

agua en un 50 al 60% del peso del tendón(59). Su componente principal es el Colágeno tipo I (60-85% de su peso seco) y el otro porcentaje se compone de Proteoglicanos, Glucosaminoglucanos, Glicoproteínas y otros subtipos de colágeno tipo III, V y XII(60). El componente celular básico del tendón son los Tenocitos, los cuales, al ser similares a los fibroblastos, se alinean de manera uniforme a lo largo de las fibras de colágeno, y sus principales funciones son controlar el metabolismo celular consistente en la formación y degradación de la Matriz Extracelular y, responder a los estímulos mecánicos que experimenta el tendón(60). Los Tenocitos se comunican a través de procesos celulares y uniones comunicantes, las cuales transfieren iones y pequeños metabolitos. Los Tenocitos cambian su forma, función y regulación celular en respuesta a cargas como la tracción y la compresión, así como también a factores de crecimiento y presión hidrostática. Estas unión entre los Tenocitos presentan gran importancia en la respuesta de la carga, lo que permite una mayor tasa de recambio y una mayor formación de uniones posterior a la carga, permitiendo una mayor síntesis de colágeno(61). La Sustancia Fundamental son los componentes no colágeno de la Matriz Extracelular, la cual se compone principalmente de Proteoglicanos y Glicoproteínas. Estos Proteoglicanos se forman a partir de una asociación entre un núcleo de proteína y una o varias cadenas laterales de Glucosaminoglucanos. Los Proteoglicanos atraen agua (hidrófilos) y el agua constituye entre el 60 y el 80% del peso de la sustancia fundamental. Por lo anterior, los Proteoglicanos y el agua se encargan de lubricar y espaciar las fibrillas de colágeno en los tendones, desempeñando una labor importante en la viscoelasticidad. Las Glicoproteínas se encuentran de igual manera en la matriz Extracelular, se componen de proteínas y carbohidratos, incluida la Tenascina-C la cual es antiadhesiva y responde a la carga mecánica y contribuye a la elasticidad del tendón(61).

Los tendones se disponen en una estructura diferenciada, iniciando con una triple hélice de colágeno, posteriormente microfibrillas, fibrillas, fascículos y por último el propio tendón(59).

Imagen 67. Estructura del tendón

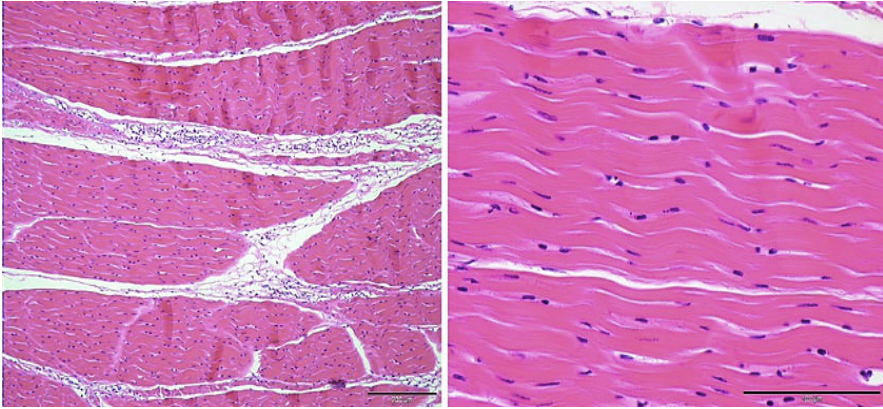


Fuente: Tomado y Modificado de Voleti(57)
Imagen mejorada digitalmente utilizando [Gemini]

Biomecánica del Tendón

Los tendones permiten una ventaja mecánica al aumentar la fuerza producida por el musculo mediante los sistemas de poleas. Las propiedades de los tendones se relacionan con la forma y el tamaño, y a su vez con la función y las fuerzas que estos deben soportar. Un tendón más grande logra resistir una mayor carga, mientras que un tendón más largo logra almacenar mayor energía(61). Adicionalmente, las propiedades viscoelásticas permiten mantener y liberar energía que, a su vez permite una herramienta importante en la prevención de lesiones. Las fibras de colágeno se organizan de manera ondulante, es decir, como una onda, la cual es característica de todos los tendones, y es a lo que se le denomina “Engarce”(58, 56). Esta configuración presta importancia en la primeras etapas de tensión, a sufrir una expansión de rigidez inicial directamente proporcional a la carga recibida. La tensión hace referencia a la cantidad de estiramiento de un tendón mientras se encuentre cargado en comparación a su longitud sin carga(61).

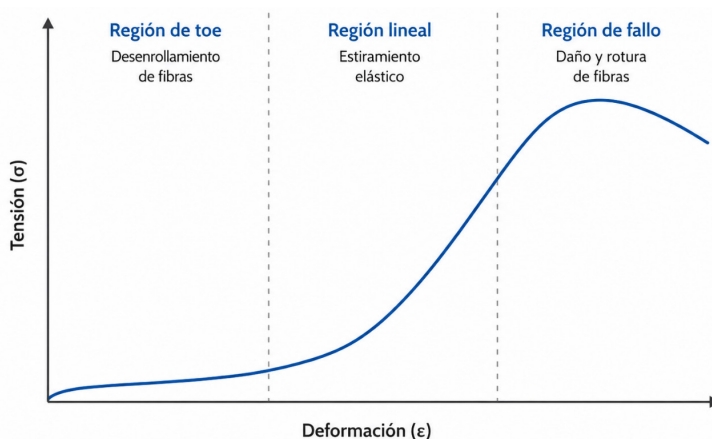
Imagen 68. Ondulación (engarce) de las fibras de colágeno del tendón



Fuente: Tomado y Modificado de Fisher(58)

Debido a su característica no lineal, se identifican dos zonas en la curva/deformación. Se identifica inicialmente una baja deformación en la curva/deformación y posteriormente existe un punto de corte donde aumenta la carga proporcionando una mayor deformidad del tejido. En este punto, la fibra de colágeno se torna lineal, desapareciendo la ondulación. Conforme aumenta la tensión, aumenta la deformación y aparece un segundo punto de corte donde el tendón pierde la capacidad de retornar a su estado inicial una vez cese la tensión, provocando una lesión irreversible, no obstante, al mantenerse la tensión, el tendón podrá llegar al punto de romperse.

Figura 33. Curva/Deformación del tendón



Fuente: Tomado y Modificado de Canosa-Carro(56)

A nivel funcional, los tendones almacenan y liberan energía, como un resorte, permitiendo el uso de la energía elástica para generar movimiento, como sucede con el tendón de Aquiles durante una carrera, donde recupera la energía almacenada con el alargamiento para ser liberada en el momento del impulso(61).

Vascularización e Inervación

El suministro de sangre en el tendón es mucho más bajo en comparación con el musculo y el hueso, los vasos sanguíneos constituyen entre el 1 y 2% del área de la matriz extracelular. Este suministro proviene de tres zonas diferentes que son: a) la unión miotendinosa; b) la unión hueso-tendón y; c) del peritendón circundante que es altamente vascularizado. La sangre ingresa al tendón por medio de los vasos por medio del endotendón y el suministro de sangre varia y se afecta por la contracción muscular, la elongación o estiramiento y las hemorragias por los desgarros musculares. El flujo sanguíneo es apropiado en todos los tendones, pero un flujo deficiente, como el que se da en la porción media del tendón de Aquiles, no contribuye en la patología tendinosa(61). El flujo sanguíneo es lento a una velocidad de 0,5 ml por 100g de tejido por minuto, tienen mayor concentración en la superficie del tendón y por esta razón, los tiempos de curación son prolongados(58).

La inervación tendinosa es exclusivamente aferente o sensitiva, se ubica principalmente en la unión miotendinosa, la cual aporta en la mediación propioceptiva(61). Las ramas nerviosas forman un trayecto paralelo al eje principal del tendón con anastomosis transversal y oblicua. Estas ramas guardan relación con receptores corpusculares como los Órganos Tendinoso de Golgi, Corpúsculos de Paccini y Corpúsculos de Ruffini, que intervienen en la información propioceptiva y reflejos miotáticos, mientras que otras ramas se relacionan con los extremos en ramificaciones libres presentes en la lamina peritendinosa responsables de la nocicepción(58).

Tendinopatía

La tendinitis fue el termino habitual que se usaba para describir el daño al tendón, provocado por una reacción inflamatoria. Puddu en 1976 fue quien utilizo por primera vez el termino Tendinosis para describir un estado anormal de degeneración del tendón(62). Gracias al estudio histológico, por medio del microscopio, se evidencio poca o ninguna inflamación asociada al trastorno progresivo del tendón en comparación con el termino habitual de tendinitis. Fue entonces cuando finalizando los años 90, Maffuli et al. Optaron por cambiar

la terminología clínica de Tendinitis/Tendinosis a Tendinopatía, con el fin de evitar confusiones(63). Aún hoy existe confusión en los términos.

El 26 de septiembre de 2018, en Países Bajos, en el 5to Simposio Científico Internacional sobre tendinopatía, un grupo multidisciplinario de expertos clínicos e investigadores internacionales, se reunieron con el objetivo de lograr un consenso en la terminología para los trastornos persistentes del tendón(64), dando como nombre al ICON 2019, indicando que:

- Tendinopatía es el termino preferido para el dolor persistente del tendón y la perdida de función relacionada con la carga mecánica.
- El desgarró del tendón (parcial o completo) se refiere a una discontinuidad macroscópica* de un tendón que soporta carga. **Lo suficientemente grande como para ser visible sin aumento.*
- Las imágenes no siempre son necesarias para un diagnóstico de tendinopatía.
- Tendinopatía rotuliana es el término preferido para el dolor persistente del tendón rotuliano y la pérdida de función relacionada con la carga mecánica.
- Tendinopatía de Aquiles es el término preferido para el dolor persistente del tendón de Aquiles y la pérdida de función relacionada con la carga mecánica.
- Tendinopatía peronea (peronea) es el término preferido para el dolor persistente del tendón peroneo (peroneo) y la pérdida de función relacionada con la carga mecánica.
- El dolor persistente del tendón y la pérdida de función relacionados con la carga mecánica de los tendones mediales o laterales del codo deben denominarse tendinopatía medial o lateral del codo.

La tendinopatía hace énfasis en el dolor y la disfunción del tendón. Este término no incluye la presencia de un proceso patológico o bioquímico particular que no pueda evaluarse por medio de la clínica rutinariamente(64).

Epidemiología

La tendinopatía se asocia con un síndrome clínico que se caracteriza por presencia de dolor, inflamación y déficit funcional. Las características del deporte y las acciones ocupacionales de un individuo pueden influir en el

desarrollo de la tendinopatía en zonas específicas del cuerpo, donde las más frecuentes son el manguito rotador, la cabeza larga del bíceps braquial, los tendones flexores y extensores de la muñeca, los tendones de los aductores, el tendón del tibial posterior, el tendón rotuliano y el tendón de Aquiles(65).

Tabla 34. Lugares frecuentes de la Tendinopatía

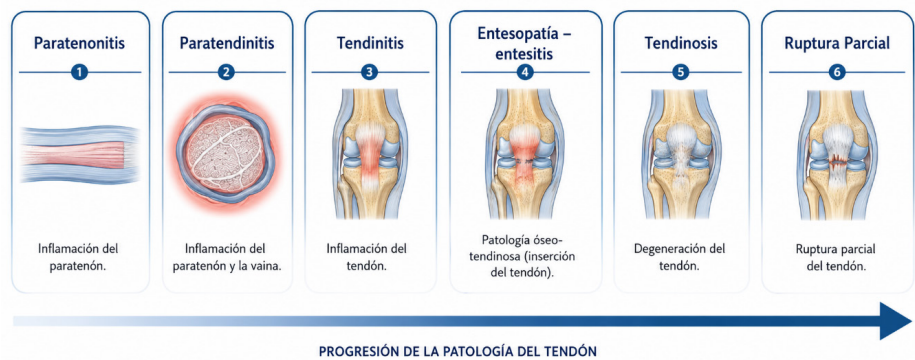
Tendón	Sitio de la Tendinopatía	Factores de Carga
Aquiles	Inserción de Aquiles o porción media	Carrera de larga distancia, cambio de dirección (carga combinada de tracción y compresión en el calcáneo)
Patelar	Polo Inferior de la Patela	Saltar y aterrizar, cambios rápidos de dirección, p. vóleybol
Zona próxima de los isquiotibiales	Inserción isquiática del isquiotibial	Errores de entrenamiento Sprint +- agacharse (carga combinada de compresión y tracción)
Glúteo	Trocánter Mayor	Subir escaleras y caminar
Aductor	Inserción del tendón del aductor	Trabajo manual o tareas de agarre, deportes con raqueta
Parte lateral del codo	Origen del extensor común	Trabajo manual o tareas de agarre, deportes con raqueta
Manguito Rotador	Subacromial	Actividades por encima de la cabeza

Fuente: Tomado y Modificado de Girdwood(61)

Las tendinopatías ocurren en las extremidades tanto inferiores como superiores, siendo en las inferiores las más frecuentes con una razón de 10,52 por cada 1000 personas por año. En la población general, las tendinopatías de los miembros inferiores ocurren entre el 1 y 2% de los adultos entre los 18 y 65 años(62).

La etiología aun es incierta, no obstante, actualmente la tendinopatía se subclasifica en diferentes lesiones tendinosas:

Figura 34. Progreso del daño del tendón



Fuente: Tomado y Modificado de Fontanez(65)
Imagen mejorada digitalmente utilizando [Gemini]

La disfunción del tendón es causada por una inadecuada respuesta de curación, secundaria a múltiples factores como son los estímulos mecánicos continuos inapropiados, movimientos repetitivos y un tejido mal vascularizado.

La amplia gama de afecciones con la etiqueta de tendinopatía hace que su epidemiología sea un tema muy relevante. La tendinopatía del manguito rotador es la responsable en mayor frecuencia del dolor de hombro con una prevalencia del 80%; la epicondilitis lateral o codo de tenista, afecta entre el 1 y el 3% de los adultos y el 40% de los jugadores de tenis, teniendo una mayor prevalencia en individuos mayores de 40 años de edad, en una proporción de 2 a 3,5 veces mayor que los menores de 40 años; la epicondilitis medial o codo de golfista esta presenta con mayor frecuencia en golfistas, beisbolistas y lanzadores de jabalina con una prevalencia del 1% en la población general, con afectación de ambos sexos entre los 40 y 60 años en igual proporción; la tenosinovitis de De Quervain es una lesión que involucra al musculo extensor del primer dedo, que afecta principalmente a las mujeres en razón de 2,8 por cada 1000 individuos, presente principalmente en Voleibolistas debido a traumatismos repetitivos; la tendinopatía en la zona proximal de los isquiotibiales afecta a aquellos deportistas de fondo o maratones y vallas. La menopausia y la predisposición genética son factores que influyen en la aparición de esta tendinopatía en individuos no deportistas; la tendinopatía glútea es la responsable del 62% del dolor lateral de cadera, la cual afecta a los individuos en su vida diaria. Se reporta con mayor frecuencia en la población mayor a 40 años y mujeres con un 23,5% y un 8,5% en hombres, especialmente en sedentarios; la tendinopatía rotuliana se presenta con mayor frecuencia en deportistas de alto rendimiento, como son de salto en un 45%, afectando primordialmente a basquetbolistas (45%) y voleibolistas (32%); la tendinopatía del tendón del cuádriceps es menos frecuente que la tendinopatía patelar, se caracteriza por un dolor en el polo superior de la patela y se asocia con adaptaciones crónicas del tendón al estrés repetitivo, y en población no deportiva, la obesidad y la estatura tienen una mayor relación en la aparición de la tendinopatía; la tendinopatía del tendón de Aquiles se presenta en corredores de media maratón (21km) con una prevalencia del 83%, los cuales reportan dolor y afectación del rendimiento; el síndrome de banda iliotibial afecta a corredores en un 62% en la mujeres y un 38% en los hombres, en ciclistas un 24%(56, 61).

Fisiopatología

Es multifactorial y compleja. La tendinopatía es el resultado de una carga que excede la capacidad de un tendón y prevalece en poblaciones activas y deportistas. No obstante, los individuos sedentarios también son propensos a la sobrecarga y se ven aún más afectados por otros factores sistémicos (61).

Existen tres teorías principales que intentan explicar la causa de la tendinopatía(66), sin embargo, ninguna deja claro la etiología:

- La **Primera Teoría** tiene de base los factores estresantes mecánicos que generan tensión constante y repetidamente en el tendón en los rangos de tensión normales que resulta en la falla del tendón. Si el estrés repetitivo es la causa del daño, los fibroblastos producirán tejido cicatrizal, generando debilidad estructural. Aunque esta teoría respalda la formación de tejido cicatrizal, no es clara en como el estrés aplicado a un nivel submáxima, es el causante del problema(66).
- La **Segunda Teoría** es a partir del suministro de sangre. Si bien los tendones carecen de un adecuado riego sanguíneo, esto hace que sean susceptibles a que la perfusión se comprometa. En el tendón, el mayor suministro de sangre está en las uniones miotendinosa y osteotendinosa. Una vez se desencadena la tendinopatía, se da una hipervascularización en el lugar pero no influye en la curación de la zona afectada. Aun no es claro porque se produce una tendinopatía en presencia de un aumento de la vascularización, sin embargo, se argumenta en contra de la reducción de la vascularización como causa de la tendinopatía(66).
- La **Tercera Teoría** es una teoría neuronal basada en los diferentes hallazgos. La sustancia P, que es un neurotransmisor del dolor, se ha localizado en algunos sitios de tendinopatía y, dado que existe una estrecha relación entre los tendones de las terminaciones de las células nerviosas y los mastocitos, el uso excesivo crónico del tendón podría conducir a una facilitación neural desproporcionada para promover la actividad de mastocitos. Esta teoría aún no está del todo fundamentada y requiere más investigación(66).

La patología se inicia a partir de una sobrecarga repetitiva que conduce a una lesión estructural de la fibrillas microscópicas de colágeno. En condiciones normales se debe desencadenar un proceso de curación normal, sin embargo una capacidad de curación deficiente del tendón o la falta de recuperación adecuada podrían provocar un acumulo gradual de daño en la matriz en el tiempo. Estas alteraciones son inicialmente silentes y asintomáticas. Es debido al acumulo de daño progresivo de la matriz que la citoquinas, quimiocinas, los mediadores inflamatorios y nociceptores secretados, conducen a la manifestación de síntomas(60).

Curación del Tendón

En el tendón la fase inflamatoria tiene una duración aproximada de entre 3 días y 1 semana, dependiendo del daño y el tendón afectado. Algunas estructuras circundantes ayudan a la curación del tendón, algunas de ellas son el periostio óseo subyacente, la vaina sinovial, el Epitenón y el Endotenón. Estas estructuras proporcionan suministro vascular y los fibroblastos suficientes para la curación. El Epitenón y el Endotenón proporcionan células similares a los macrófagos y fibroblastos, los cuales dan inicio al desbridamiento(12).

La síntesis de colágeno sucede durante la primera semana y continua a un ritmo rápido en las siguientes 4 semanas. En la etapa final de la segunda semana el colágeno y los fibroblastos inician a alinearse en la dirección del estrés aplicado ante un ejercicio resistido progresivo o contracciones musculares activas, para estar completamente alineadas hacia el día 28.

A lo largo de las 3 primeras semanas, se reconstituye la vaina sinovial, lo cual, es importante para que el tendón tenga una superficie de deslizamiento por la cual moverse. En el momento en que el colágeno tipo I reemplaza al colágeno tipo III y los fibroblastos vuelven a su estado original como tenocitos, es cuando la fase de remodelación culmina.

La maduración completa del colágeno y la realineación total de las fibras se da en un periodo de 5 a 6 meses(67).

Tabla 35. Cronología de la curación del tendón

Fase	Tiempo	Descripción
Inflamación	Primeras 3 días	Las células que se originan a partir del tejido peritendinoso extrínseco y del tejido intrínseco del epitenón y el endotenón están activas.
	5 días	El espacio de la herida se llena con fagocitos.
	1 semana	Se inicia la síntesis de colágeno, con nuevas fibras de colágeno colocadas de forma aleatoria y desorganizada.
Proliferación	10 días	La síntesis de colágeno es máxima.
	2 semanas	La matriz extracelular se desarrolla y llena el área del defecto, proporcionando soporte para que las células migren hacia la herida.
	3 semanas	El endotenón proporciona una proliferación significativa de fibroblastos en el sitio de la lesión. Se produce una revascularización significativa. Se reconstruye la vaina sinovial y se desarrolla una superficie de deslizamiento suave. Los fibroblastos comienzan a orientarse en línea con el eje del tendón.
	4 semanas	Los fibroblastos predominan en el área de curación. Aumenta el contenido de colágeno. El colágeno está completamente orientado con el eje largo del tendón.
	35 días	Se completa la síntesis de colágeno.
	42 días	Los fibroblastos que han proliferado a partir del endotenón son las células primarias y simultáneamente sintetizan colágeno y contribuyen a su resorción.
Remodelación	6-10 semanas	La curación cambia de la actividad celular a la reparación fibrosa.
	2 meses	El colágeno está maduro y realineado a lo largo del eje del tendón.
	112 días	Los fibroblastos han revertido a tenocitos, el colágeno tipo III ha sido reemplazado por el tipo I y la maduración es completa.
	40-50 semanas	La fuerza es del 85% al 95% de lo normal.

Fuente: Tomado y Modificado de Houghlum(12)

Conclusiones

El capítulo sobre el cartílago, los ligamentos, los meniscos y los tendones proporciona información valiosa que es crucial para un grupo multidisciplinario en los procesos de rehabilitación deportiva, especialmente para el fisioterapeuta deportivo.

En primer lugar, es fundamental entender que cada uno de estos tejidos conectivos desempeña un papel específico en la función articular y en la estabilidad del sistema musculoesquelético. El cartílago articular actúa como

un amortiguador, distribuyendo las cargas y reduciendo la fricción entre las superficies articulares. Por su parte, los ligamentos son estructuras fibrosas que conectan los huesos entre sí, proporcionando estabilidad a las articulaciones y limitando el movimiento excesivo. Los meniscos, que son estructuras cartilaginosas en la rodilla, ayudan a distribuir las cargas y a absorber impactos, mientras que los tendones conectan los músculos a los huesos, permitiendo el movimiento.

La comprensión de la anatomía y la función de estos tejidos es esencial para el fisioterapeuta, ya que les permite diseñar programas de rehabilitación que aborden no solo la recuperación de lesiones, sino también la prevención de futuras complicaciones. Por ejemplo, al conocer las propiedades mecánicas del cartílago y los ligamentos, los fisioterapeutas pueden implementar ejercicios que fortalezcan estos tejidos y mejoren su capacidad para soportar cargas.

Además, es importante destacar que la rehabilitación de lesiones en estos tejidos requiere un enfoque multidisciplinario. La colaboración entre fisioterapeutas, médicos, nutricionistas y entrenadores es vital para abordar todos los aspectos de la recuperación. Cada profesional puede contribuir con su experiencia para optimizar el proceso de rehabilitación, asegurando que se aborden tanto los aspectos físicos como los nutricionales y funcionales.

Por último, la investigación continua sobre la salud y la degeneración de estos tejidos es crucial. Los fisioterapeutas deben mantenerse actualizados sobre los últimos avances en la ciencia del deporte y la rehabilitación para aplicar las mejores prácticas en su trabajo diario.

En conclusión, el conocimiento profundo sobre el cartílago, los ligamentos, los meniscos y los tendones es esencial para los fisioterapeutas deportivos. Este conocimiento les permite abordar de manera integral la rehabilitación y prevención de lesiones, mejorando así la salud y el rendimiento de los atletas. La colaboración en un equipo multidisciplinario es clave para lograr resultados óptimos en la rehabilitación deportiva.

Referencias

1. Hall S. The Biomechanics of Human Skeletal Articulations. En: Basic Biomechanics. 7th Edition. Edit. Mc Graw Hill. 2014. pp. 117-142
2. Hamill J, Knutzen K, Derrick T. Skeletal Considerations For Movement. En: Biomechanical Basis of Human Movement. 4th Edition. Edit. Wolters Kluwer. 2015. pp. 25-58

3. Norris C. Healing. En: Sports and Soft Tissue Injuries: a guide for students and therapists. 5th Edition. Edit. Routledge. 2019 pp. 1-58
4. Sara L, Neumann D. Structure and Function of Human Joints. En: Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Rehabilitation. 3rd Edition. Edit. El Sevier. 2017. pp. 28-46
5. Wang D, Eliasberg C, Rodeo S. Physiology and Pathophysiology of Musculoskeletal Tissues. En: Miller M, Thompson S. DeLee, Drez, & Miller's Orthopaedic Sports Medicine. Principles and Practice. 5th Edition. Edit. Elsevier. 2020. pp.2-15
6. Aspberg A. Cartilage Proteoglycans. En: Grässel S, Aszódi A. Cartilage. Volume 1: Physiology and development. Edit. Springer. 2016. pp. 1-22
7. Saladin K. The human Tissues. En: Anatomy & Physiology: The Unity of form and Function. 10th Edition. Edit. Mc Graw Hill pp. 135-171
8. Nasiri N, Taheri S, Hosseini S, Eslaminejad M. Introduction to cartilage Tissue: Development, Structure, and function. En: Eslaminejad M, Hosseini S. Cartilage: From Biology to Biofabrication. Edit. Springer. 2023. pp. 1-20
9. Warden S. Sports Injuries: Acute. En: Brukner P, Clarsen B, Cook J, Cools A, Crossley K, Hutchinson M, et al. Brukner & Khan's Clinical Sports Medicine. Injuries. volume 1. 5th Edition. Edit. McGraw Hill. 2017. pp. 13-27
10. Gomoll AH, Minas T. The quality of healing: articular cartilage. Wound Repair Regen. 2014; Vol. 22(1):30-8. Doi: 10.1111/wrr.12166.
11. Peterson L. The Genesis of Autologous Chondrocyte Transplantation/ Implantation: From a Hypothesis via an Animal Model to a Clinical Reality. En: Means P, Peterson L. Developing Insights in Cartilage Repair. Edit. Springer. 2014. pp. 161-185
12. Houglum P. Concepts of Healing. En: Therapeutic Exercise for Musculoskeletal Injuries. 4th Edition. Edit. Human Kinetics. 2017: pp. 27-66
13. WangX, Xia P. Cartilage Defects and Diseases: Conventional Therapies and Its Limitations. En: Eslaminejad M, Hosseini S. Cartilage: From Biology to Biofabrication. Edit. Springer. 2023. pp. 21-39
14. Goldring M, Culley K, Otero M. Pathogenesis of Osteoarthritis in General. En: Grässel S, Aszódi A. Cartilage. Volume 2: Pathophysiology. Edit. Springer. 2017. pp. 1-25

15. Myer G, Ford K, Hewett T. Rationale and clinical techniques for anterior cruciate ligament injury prevention among female athletes. *J Athl Train*, 4 (2004), pp. 352-364. PMID: 15592608; PMCID: PMC535528.
16. Lohmander LS, Ostenberg A, Englund M, Roos H. High prevalence of knee osteoarthritis, pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury. *Arthritis Rheum*. 2004; Vol.50(10): pp. 3145-3152. Doi: 10.1002/art.20589.
17. Vannini F, Spalding T, Andriolo L, Berruto M, Denti M, Espregueira-Mendes J, Menetrey J, Peretti GM, Seil R, Filardo G. Sport and early osteoarthritis: the role of sport in an etiology, progression and treatment of knee osteoarthritis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016; vol. 24(6): pp. 1786-1796. Doi: 10.1007/s00167-016-4090-5.
18. Drawer S, Fuller C. Propensity for osteoarthritis and lower limb joint pain in retired professional soccer players. *Br J Sports Med*. 2001; vol. 35(6): pp. 402-408. Doi: 10.1136/bjsm.35.6.402.
19. Palastanga N, Soames R. The Lower Limb. En: *Anatomy and Human Movement: Structure and Function*. 6th Edition. Edit. Elsevier. 2012. pp. 201-403
20. Neumann D. Knee. En: *Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for rehabilitation*. 3rd Edition. Edit. Elsevier. 2018. pp. 538-594
21. Aweid O, Osmani H, Melton J. Biomechanics of the Knee. *Orthopaedics and Trauma*. 2019; Vol.33(4): pp. 224-230. <https://doi.org/10.1016/j.mporth.2019.05.004>
22. Baron S, Jazrawi L. Anatomy and Function. En: Strauss E, Jazrawi L. *The Management of Meniscal Pathology: From Meniscectomy to Repair and Transplantation*. Edit. Springer. 2020. pp. 1-13
23. Patel H, Skalski MR, Patel DB, White EA, Tomasian A, Gross JS, Vangsness CT, Matcuk GR Jr. Illustrative review of knee meniscal tear patterns, repair and replacement options, and imaging evaluation. *Clin Imaging*. 2021; Vol.69: pp.4-16. doi: 10.1016/j.clinimag.2020.06.045.
24. Alexander R. Markes, Jonathan D. Hodax, Chunbong Benjamin Ma. Meniscus Forma and Function. *Clin Sports Med* 39 (2020) 1–12
25. Fox A, Bedi A, Rodeo S. The Basic Science of Human Knee Menisci: Structure, Composition, and Function. *Orthopaedic Surgery*. 2012; vol. 4(4): pp. 340-351. DOI: 10.1177/1941738111429419

26. Zdanowicz U, Śmigielski R, Espejo-Reina A, Espejo-Baena A, Madry H. Anatomy and vascularisation. En: Hulet C, Pereira H, Peretti G, Denti M. *Surgery of the Meniscus*. Edit. Springer. 2016. pp. 15-21
27. Lebel B, Tardieu C, Locker b, Hulet C. Ontogeny-Phylogeny. *Bascic Science*. En: Beauflis P, Verdonk R. *The Meniscus*. Edit. Springer. 2010: pp. 2-9
28. McDermot I, Masouros S, Amis A. Biomechanics of the menisci of the knee. *Current Orthopaedics* (2008) 22, 193-201. <https://doi.org/10.1016/j.cuor.2008.04.005>
29. Thompson WO, Thaete FL, Fu FH, Dye SF. Tibial meniscal dynamics using three-dimensional reconstruction of magnetic resonance images. *Am J Sports Med*. 1991 May-Jun;19(3):210-5; discussion 215-6. doi: 10.1177/036354659101900302.
30. Gill T, McGonigle O, Petruska A, Mayman D. Injuries to the Meniscus and Articular Cartilage. En: Magee D, Zachazewski J, Quillen W, Manske R. *Pathology and Intervention in Musculoskeletal Rehabilitation*. 2nd Edition. Edit. ElSevier. 2016. pp. 774-797
31. Gonzalez-Lomas G, Thompson K. Epidemiology and Classification. En: Straus E, Jazrawi L. *The Management of meniscal Pathology: From Meniscectomy to repair and Transplantation*. Edit. Springer. 2020: pág.15-26
32. Majewski M, Susanne H, Klaus S. Epidemiology of athletic knee injuries: A 10-year study. *Knee*. 2006 Jun;13(3):184-8. doi: 10.1016/j.knee.2006.01.005.
33. Wadhwa V, Omar H, Coyner K, Khazzam M, Robertson W, Chhabra A. ISAKOS classification of meniscal tears-illustration on 2D and 3D isotropic spin echo MR imaging. *Eur J Radiol*. 2016 Jan;85(1):15-24. doi: 10.1016/j.ejrad.2015.10.022.
34. Verdonk P, Vererfve P. Traumatic Lesions: Stable Knee, ACL Knee En: Beauflis P, Verdonk R. *The Meniscus*. Edit. Springer. 2010. pp. 53-57
35. Gotlin M, Shah M. Meniscal Pathology: Presentation and diagnosis. En: Straus E, Jazrawi L. *The Management of meniscal Pathology: From Meniscectomy to repair and Transplantation*. Edit. Springer. 2020: pág.27-52
36. Rocha S. Classification of Meniscal Tears. En: LaPrade R, Arendt E, Getgood A, Faucett S. *The Menisc: A Comprehensive Review of their Anatomy, Biomechanical Function and Surgical Traetment*. Edit. Springer. 2017 pp. 21-29

37. Wilson PL, Wyatt CW, Romero J, Sabatino MJ, Ellis HB. Incidence, Presentation, and Treatment of Pediatric and Adolescent Meniscal Root Injuries. *Orthop J Sports Med.* 2018 Nov 8;6(11):2325967118803888. doi: 10.1177/2325967118803888.
38. LaPrade CM, James EW, Cram TR, Feagin JA, Engebretsen L, LaPrade RF. Meniscal root tears: a classification system based on tear morphology. *Am J Sports Med.* 2015 Feb;43(2):363-9. doi: 10.1177/0363546514559684.
39. Dorfmann H, Juan LH, Bonvarlet JP, Boyer T. Lésions dégénératives du ménisque interne en arthroscopie. Classification et traitement [Arthroscopy of degenerative lesions of the internal meniscus. Classification and treatment]. *Rev Rhum Mal Osteoartic.* 1987; Vol.54(4): pp.303-310.
40. Kim C, Chasse PM, Taylor DC. Return to Play After Medial Collateral Ligament Injury. *Clin Sports Med.* 2016 Oct;35(4):679-96. doi: 10.1016/j.csm.2016.05.011.
41. Hughes J, Chan C, Polamalu S, Debski R, Musahl V. Biomechanics of Ligaments. En: Koh J, Zaffagnini S, Kuroda R, Longo U, Amirouche F. *Orthopedic Biomechanics in Sports Medicine.* Edit. Springer. 2021: pp. 27-36
42. Ma G, Friedman J, You J, Ma C. Ligament Function and Pathoanatomy of Injury and Healing. En: Canata G, D´Hooghe P, Hunt K, Kerkhoffs G, Longo U. *Management of Track and Field Injuries.* Edit. Springer. 2022. pp. 31-41
43. Dutton M. The Musculoskeletal System. En: *Dutton's Orthopaedic: Examination, Evaluation, and Intervention.* 5th Edition. Edit. McGraw Hill. 2020. pp. 3-27
44. Franch D. Adaptations to Anaerobic Training Programs. En: Haff G, Triplett N. *Essentials of Strength Training and Conditioning.* 4th Edition. Edit. Human kinetics. 2016: pp. 87-113
45. Frank CB. Ligament structure, physiology and function. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2004 Jun;4(2):199-201. PMID: 15615126.
46. Prentice W. Understanding and Managing the Healing Process Through Rehabilitation. En: *Rehabilitation Techniques for Sports medicine and Athletic Training.* 7th Edition. Edit. Slack Incorporated. 2020: pp.23-55

47. Kim JG, Han SW, Lee DH. Diagnosis and Treatment of Discoid Meniscus. *Knee Surg Relat Res.* 2016 Dec 1;28(4):255-262. doi: 10.5792/ksrr.16.050.
48. Weiler A, Scheffler S, Apreleva M. Healing of Ligament and Tendon to Bone. En: Walsh W. Repair and regeneration of Ligaments, Tendons, and Joint capsule. Edit. Human Press. 2006 pp. 201-231
49. Leong NL, Kator JL, Clemens TL, James A, Enamoto-Iwamoto M, Jiang J. Tendon and Ligament Healing and Current Approaches to Tendon and Ligament Regeneration. *J Orthop Res.* 2020 Jan;38(1):7-12. doi: 10.1002/jor.24475.
50. Vuurberg G, Hoorntje A, Wink LM, van der Doelen BFW, van den Bekerom MP, Dekker R, van Dijk CN, Krips R, Loogman MCM, Ridderikhof ML, Smithuis FF, Stufkens SAS, Verhagen EALM, de Bie RA, Kerkhoffs GMMJ. Diagnosis, treatment and prevention of ankle sprains: update of an evidence-based clinical guideline. *Br J Sports Med.* 2018 Aug;52(15):956. doi: 10.1136/bjsports-2017-098106.
51. Roach CJ, Haley CA, Cameron KL, Pallis M, Svoboda SJ, Owens BD. The epidemiology of medial collateral ligament sprains in young athletes. *Am J Sports Med.* 2014 May;42(5):1103-9. doi: 10.1177/0363546514524524.
52. Bartlet C. Recognizing Different Sports Injuries. En: Prentice W. Essentials of Athletic Injury Management. 12th Edition. Edit. McGraw Hill. 2023: pp. 228-242
53. Dutton M. Tissue Behavior, Injury, Healing, and Treatment. En: Dutton's Orthopaedic: Examination, Evaluation, and Intervention. 5th Edition. Edit. McGraw Hill. 2020. pp. 28-60
54. Mobasheri A, Mendes AF. Physiology and pathophysiology of musculoskeletal aging: current research trends and future priorities. *Front Physiol.* 2013 Apr 9; 4:73. doi: 10.3389/fphys.2013.00073
55. Cottrell JA, Turner JC, Arinzeh TL, O'Connor JP. The Biology of Bone and Ligament Healing. *Foot Ankle Clin.* 2016 Dec;21(4):739-761. doi: 10.1016/j.fcl.2016.07.017.
56. Canosa-Carro L, Bravo-Aguilar M, Abuín-Porras V, Almazán-Polo J, García-Pérez-de-Sevilla G, Rodríguez-Costa I, López-López D, Navarro-Flores E, Romero-Morales C. Current understanding of the diagnosis and management of the tendinopathy: An update from the lab to the clinical practice. *Dis Mon.* 2022 Oct;68(10):101314. doi: 10.1016/j.disamonth.2021.101314.

57. Voleti PB, Buckley MR, Soslowsky LJ. Tendon healing: repair and regeneration. *Annu Rev Biomed Eng.* 2012; 14:47-71. doi: 10.1146/annurev-bioeng-071811-150122.
58. Fisher J, Giancamillo A, Roveda E, Montaruli A, Peretti G. Functional Morphology of Muscles and Tendons. En: Canata G, d'Hooghe P, Hunt K, editores. *Muscle and Tendon Injuries: Evaluation and Management.* Berlin: Springer; 2017. p. 1-14.
59. Beach Z, Gittings D, Soslowsky L. Tendon Biomechanics. En: Canata G, d'Hooghe P, Hunt K, editores. *Muscle and Tendon Injuries: Evaluation and Management.* Berlin: Springer; 2017. p. 15-22
60. Millar NL, Silbernagel KG, Thorborg K, Kirwan PD, Galatz LM, Abrams GD, Murrell GAC, McInnes IB, Rodeo SA. Tendinopathy. *Nat Rev Dis Primers.* 2021 Jan 7;7(1):1. doi: 10.1038/s41572-020-00234-1.
61. Girdwood M, Docking S, Rio E, Cook J. Pathophysiology of Tendinopathy. En: Canata G, d'Hooghe P, Hunt K, editores. *Muscle and Tendon Injuries: Evaluation and Management.* Berlin: Springer; 2017. p. 23-44
62. Kaeding C, Best TM. Tendinosis: pathophysiology and nonoperative treatment. *Sports Health.* 2009 Jul;1(4):284-92. doi: 10.1177/1941738109337778.
63. Maffulli N, Khan KM, Puddu G. Overuse tendon conditions: time to change a confusing terminology. *Arthroscopy.* 1998 Nov-Dec;14(8):840-3. doi: 10.1016/s0749-8063(98)70021-0.
64. Scott A, Squier K, Alfredson H, Bahr R, Cook JL, Coombes B, de Vos RJ, Fu SN, Grimaldi A, Lewis JS, Maffulli N, Magnusson SP, Malliaras P, McAuliffe S, Oei EHG, Purdam CR, Rees JD, Rio EK, Gravare Silbernagel K, Speed C, Weir A, Wolf JM, Akker-Scheek IVD, Vicenzino BT, Zwerver J. ICON 2019: International Scientific Tendinopathy Symposium Consensus: Clinical Terminology. *Br J Sports Med.* 2020 Mar;54(5):260-262. doi: 10.1136/bjsports-2019-100885.
65. Fontánez R, De Jesús K, Sepúlveda F, Micheo W. Tendinopathy. En: Mostoufi A, George T, Tria A. *Clinical Guide to Musculoskeletal Medicine: A Multidisciplinary Approach.* Edit. Springer. 2022: Pág. 645-650

66. Houglum P. Total body Considerations. En: Therapeutic exercise for Musculoskeletal Injuries. 4th Edition. Edit. Human Kinetics. 2016. p. 481-519
67. Bisciotti G, Volpi P. Healing Processes of the Tendon. En: The Lower Limb Tendinopathies: Etiology, Biology and Treatment. Edit. Springer; 2016. p. 21-40.

CAPÍTULO 9

Biomecánica: Conceptos Elementales para el Movimiento Corporal Humano

Biomechanics: Basic Concepts for Human Body Movement

Álvaro Santiago Solarte Rosero

Universidad Santiago de Cali

© <https://orcid.org/0000-0001-9822-0455>

✉ ssantiago06@hotmail.com

Lina Alejandra Sandoval

Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte

© <https://orcid.org/0009-0006-6832-4898>

✉ lina.sandovalji@gmail.com

Paula Milena Hernández

Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte

© <https://orcid.org/0000-0002-8410-4987>

✉ paulamilenahm@gmail.com

Resumen

En el capítulo “Biomecánica: Conceptos Elementales Para El Movimiento Corporal Humano” se introducen los conceptos fundamentales de la biomecánica y su aplicación al movimiento humano, estudiando cómo los principios de la física, la mecánica, la cinemática y la cinética, se articulan para analizar y comprender los diferentes movimientos que es capaz de realizar el cuerpo humano. El objetivo es proporcionar al lector una base sólida en cuanto a los conceptos biomecánicos fundamentales y como estos se relacionan en el análisis del movimiento corporal humano. La metodología empleada para el desarrollo del capítulo incluyó una revisión y selección de estudios y

Cita este capítulo / Cite this chapter

Solarte Rosero AS, Sandoval LA, Hernández PM. Biomecánica: Conceptos Elementales para el Movimiento Corporal Humano. En: Calero Saa PA, editor. Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo I: fundamentos de la salud física y la actividad deportiva. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 355-386. <https://doi.org/10.35985/9786287914155.9>

libros que hacen un enfoque en el movimiento corporal humano y su análisis biomecánico. En conclusión, al finalizar el capítulo los lectores tendrán la capacidad de comprender estos conceptos básicos para ponerlos en práctica al hacer un proceso evaluativo de alguna patología o lesión, diseñar programas de ejercicio personalizados y tomar decisiones para optimizar la función y prevenir la aparición de lesiones desde la comprensión del movimiento corporal humano y lo que lo produce.

Palabras clave: Biomecánica, Movimiento, Aceleración.

Abstract

In the chapter “Biomechanics: Basic Concepts for Human Body Movement” the fundamental concepts of biomechanics and their application to human movement are introduced, studying how the principles of physics, mechanics, kinematics and kinetics are articulated to analyze and understand the different movements that the human body is capable of performing. The objective is to provide the reader with a solid foundation regarding the fundamental biomechanical concepts and how these are related in the analysis of human body movement. The methodology used for the development of the chapter included a review and selection of studies and books that focus on human body movement and its biomechanical analysis. In conclusion, at the end of the chapter readers will have the ability to understand these basic concepts to put them into practice when carrying out an evaluation process of a pathology or injury, designing personalized exercise programs and making decisions to optimize function and prevent the appearance of injuries from the understanding of human body movement and what causes it.

Keywords: Biomechanic, Movement, Acceleration.

Introducción

“Movimiento, sensación, emoción y sentimiento
son aspectos de una misma constelación.
Cuando uno de ellos se mueve,
se mueven también los demás.”

—Moshe Feldenkrais

En un constante movimiento, el cuerpo humano produce una sinfonía de movimientos rítmicos; pero para eso requiere la acción coordinada de estructuras corporales como lo son los huesos y los músculos, que, a su vez unidos por ligamentos, tendones, cápsulas articulares y tejido fascial generan

un sistema de palancas las cuales permitirán vencer diferentes fuerzas externas y así producir un movimiento, que puede ir desde el mover una falange del dedo hasta la complejidad de un gesto de gimnasia artística.

Para comprender a profundidad el movimiento corporal humano es necesario entrar en varios aspectos como lo es la biomecánica que es aquella rama de la mecánica que se encarga de analizar las fuerzas tanto internas como externas que intervienen en el movimiento corporal humano (1). En este capítulo, explicaremos los conceptos básicos de la biomecánica que son indispensables para el fisioterapeuta, ya que al analizar las fuerzas que actúan sobre el cuerpo, se brinda una base sólida para evaluar, diagnosticar y tratar una amplia gama de condiciones músculo esqueléticas.

Comenzaremos mirando la relación de la biomecánica con el movimiento corporal humano, profundizando en los conceptos biomecánicos que constituyen la base de la práctica de la fisioterapia. Se explora cómo las leyes de la física interactúan con la anatomía humana, determinando la forma en que los huesos, articulaciones y músculos se adaptan a las demandas funcionales y cómo las fuerzas y momentos intervienen para generar patrones de movimiento.

Una vez finalizado este capítulo, el profesional de fisioterapia habrá adquirido un conjunto de herramientas conceptuales para analizar el movimiento humano desde la perspectiva biomecánica.

Biomecánica y la Relación con el Movimiento Corporal Humano

Para conocer la biomecánica se debe partir desde el movimiento corporal humano como objeto de estudio, donde el movimiento se define desde la física como el cambio de posición de un cuerpo en un espacio y tiempo determinado. La Confederación Mundial de la Fisioterapia (WCPT) articula la profesión de la Fisioterapia con desarrollar, mantener y restaurar el movimiento corporal humano. (2)

El movimiento corporal humano como objeto de estudio ha sido explicado desde diferentes teorías.

- Teoría del movimiento continuo: incorpora aspectos físicos y patológicos del movimiento, con consideraciones sociales y psicológicas. Establece las siguientes premisas: 1) el movimiento es esencial para la vida humana, 2) el movimiento ocurre de niveles microscópicos a macroscópicos, 3) el movimiento está influenciado por factores físicos, psicológicos, sociales

y ambientales, 4) los niveles del movimiento son interdependientes, 5) cada nivel del continuo de movimiento tiene un máximo potencial de movimiento alcanzable, que es influenciado por los otros niveles, 6) cada individuo tiene una capacidad de movimiento actual y una capacidad de movimiento preferido, 7) los factores patológicos tienen el potencial de crear grandes diferencias entre la capacidad máxima, actual y preferida de movimiento del individuo, 8) el objeto de la fisioterapia es minimizar las diferencias potenciales entre las 3 capacidades de movimiento.(3)

- La teoría del movimiento como sistema complejo: planteado por la Universidad Autónoma de Manizales en 1997 permite la interacción de múltiples subsistemas con diferentes niveles de complejidad los cuales son: control motor, aprendizaje motor y comportamiento motor dentro del contexto. (4)
- El modelo cinesiológico descrito por Shirley Sahrmann en el 2006, considera el movimiento como sistema compuesto por varios elementos como: el elemento base, como estado funcional de los sistemas tegumentario, musculoesquelético y nervioso; el elemento modulador, como estado fisiológico del control motor; el elemento biomecánico conformado por estructuras estáticas y dinámicas del movimiento, implicados en el alineamiento corporal, la artrocinemática y osteocinemática; el elemento de sostén, como el sistema cardiovascular, pulmonar y metabólico que contribuyen al funcionamiento del movimiento a través de la provisión de nutrientes; y el elemento cognitivo como estado funcional del sistema psicológico. (5)(6)
- El modelo de sistema de movimiento: descrito por la Asociación Americana de Terapia Física (APTA), identifica el movimiento como producto de la interacción de varios sistemas orgánicos fisiológicos como el sistema cardiovascular, pulmonar, endocrino, tegumentario, nervioso y musculoesquelético. (7)
- El modelo de función-disfunción: desarrollado por el departamento de Kinesiología en la Universidad Católica del Maule de Chile, propone una interpretación integral del movimiento humano a través de tres dicotomías conceptuales: función-disfunción, movimiento-inmovilidad y salud-enfermedad. Esta perspectiva permite un análisis sistemático de los patrones de movimiento y su relación con el estado de salud del individuo. (8)

Por lo tanto, desde las diferentes teorías, se busca explicar el movimiento corporal humano, desde lo micro con aspectos relacionados hacia la biomecánica y la fisiología para entender cómo funciona el cuerpo, hasta lo

macro que es considerar el contexto social, cultural y ambiental en el que se realiza el movimiento y donde se encuentra el cuerpo. Esta interacción nos permite explicar la producción del movimiento, su significado y el impacto que genera en la vida, con una visión de cómo se relaciona el cuerpo con el entorno que le rodea.

La biomecánica se posiciona como un elemento esencial en la comprensión del movimiento corporal humano, ya que brinda la posibilidad de hacer un análisis exhaustivo del acto motor, desde la anatomía hasta los patrones de movimiento, incluyendo la evaluación de gestos y técnicas deportivas.

Leyes de Movimiento

Isaac Newton estableció los tres principios fundamentales que sustentan el análisis biomecánico, explicando de manera precisa cómo una fuerza induce al movimiento:

- **Primera ley o ley de la inercia:** menciona que todo cuerpo, continúa en su estado de reposo o de movimiento uniforme hasta que sea obligado a cambiar su estado por fuerzas aplicadas en él. A mayor masa, mayor será la inercia del cuerpo, lo cual genera dificultad para mover dicho cuerpo y cambiar su velocidad o posición, es decir para poder mover un cuerpo se debe vencer su inercia. (9) Supongamos que te encuentras dentro de un carro el cual está en movimiento, pero bruscamente frena e inmediatamente tu cuerpo se mueve hacia adelante debido a la inercia, ya que tu cuerpo tiende a moverse a la misma dirección y velocidad que tenía el carro antes de frenar. Cuando corres y quieres detenerte, sientes una fuerza que te empuja hacia adelante. Esto es porque tus piernas se detienen, pero tu cuerpo, por inercia, quiere seguir corriendo.
- **Segunda ley o ley de la aceleración:** menciona que el cambio en el movimiento es proporcional a la fuerza aplicada, y se realiza en la dirección de la línea recta en la que se aplicó la fuerza. (9) Un ejemplo de esta ley es cuando en el lanzamiento de jabalina, la fuerza que aplica el atleta en la jabalina determina la dirección. Si el atleta aplica más fuerza en el lanzamiento, la jabalina tendrá una mayor aceleración y por ende llegará a una distancia más larga. Por ende, esta ley genera la fórmula de $F = m \cdot a$, donde F corresponde a la fuerza, m corresponde a la masa y, a corresponde a la aceleración.

- **Tercera ley o ley de acción - reacción:** menciona que para toda acción siempre hay una reacción opuesta a la magnitud. (9) Un ejemplo de esta ley se relaciona cuando un basquetbolista realiza la acción de saltar para encestar, por ende, utiliza sus piernas para empujar el suelo, generando una fuerza hacia abajo, el suelo reacciona con una fuerza igual y opuesta hacia arriba permitiendo que el atleta se eleve del suelo y salte. De forma similar, se puede observar en un atleta de natación cuando con sus brazos y piernas ejerce una fuerza de empuje en el agua (acción), y el agua ejerce una fuerza igual y opuesta hacia adelante (reacción).

Al comprender la biomecánica, se encuentra que esta se divide en dos ramas principales tal como sucede en la mecánica, estas ramas son la biocinética y la biocinemática (10).

- **Biocinemática:** se encarga del estudio del movimiento corporal humano sin tener en cuenta las causas que lo producen (11).
- **Biocinética:** por el contrario de la cinemática, se encarga del estudio del movimiento corporal humano teniendo en cuenta las causas que lo ocasionan (11).

Un ejemplo para diferenciar estos dos conceptos usaremos la actividad de subir escaleras. La biocinética analiza la fuerza que se aplica en los músculos de las piernas para levantar el cuerpo y vencer la fuerza de la gravedad, así como también la eficiencia del movimiento, es decir, cómo se utiliza la energía para subir las escaleras con el menor esfuerzo posible. Mientras que la biocinemática describe la trayectoria del cuerpo al subir las escaleras, la velocidad con la que se sube, la altura de los escalones y los ángulos articulares de las piernas y los brazos durante el movimiento. Se buscaría comprender cómo se mueven las diferentes partes del cuerpo y cómo interactúan entre sí para lograr subir las escaleras de manera coordinada y eficiente.

Ahora pasando el ejemplo a una disciplina deportiva, tenemos un ciclista pedaleando en una montaña. La biocinética se enfocará en analizar las fuerzas que actúan sobre el ciclista, como la fuerza muscular que aplica en los pedales, la resistencia del viento y la gravedad. La biocinemática se concentrará en describir el movimiento del ciclista en sí. Se analizará la velocidad, la aceleración, la trayectoria y los ángulos articulares del cuerpo del ciclista durante el pedaleo. Igualmente buscando comprender como se mueven las partes del cuerpo para lograr un pedaleo fluido y eficiente.

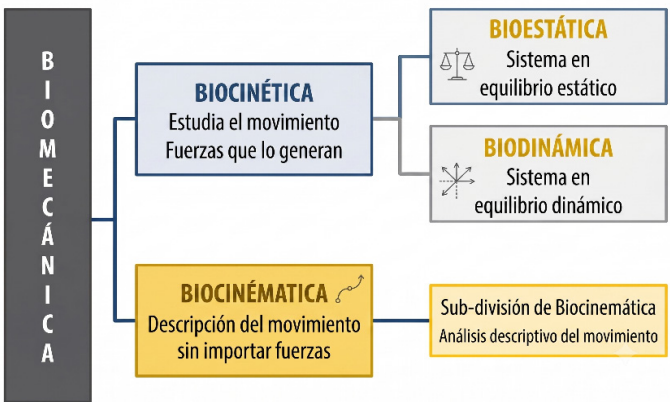
La biocinética a su vez presenta una subdivisión; la primera, analiza como las fuerzas se contrarrestan entre sí para mantener un cuerpo inmóvil. Esta rama de la mecánica es fundamental para comprender la estabilidad postural, la distribución de fuerzas en las articulaciones y la eficiencia del movimiento. A esto se le conoce como **Bioestática**. La segunda, estudia las fuerzas que provocan que un cuerpo se mueva, nos permite comprender cómo los músculos generan fuerza, como la transmiten a través del cuerpo y cómo producen el cambio de posición de un segmento. A esto se le conoce como **Biodinámica** (12).

Por lo tanto, la bioestática examina los sistemas que no se encuentran en movimiento y permanecen en equilibrio, es decir permanecen en un estado de balance debido a la falta de aceleración. Este fenómeno se considera de esta forma debido a que el cuerpo que se encuentra en movimiento adquiere una velocidad y cambios de posición que influyen posteriormente por otro tipo de fuerza opuesta, la cual modifica el transcurso o la velocidad del cuerpo.

El conocimiento de la bioestática permite identificar qué estructuras del cuerpo se encuentran en estrés durante una postura, cuestionando cómo lograr adaptaciones que conlleven a más o a menos estrés.

Para aclarar estos conceptos imagina un basquetbolista listo para cobrar una falta, el jugador está de pie con los pies separados a la altura de los hombros y las rodillas ligeramente flexionadas, los músculos del tronco están comprometidos para mantener una buena postura, el balón está sostenido en ambas manos frente al pecho del jugador, el centro de gravedad del jugador está sobre la base de apoyo de los pies; esta es una postura donde actúa la bioestática, ya que el jugador no está en movimiento. Ahora, el jugador flexiona las piernas y salta, extiende los brazos y lanza el balón hacia la canasta, los músculos de las piernas, los glúteos, el tronco y los brazos trabajan juntos para generar movimiento. El centro de gravedad del jugador a medida que salta se desplaza hacia adelante y hacia arriba; esto es biodinámica, ya que se puede analizar cómo las fuerzas y segmentos corporales actúan para generar el movimiento.

Figura 35. División de la biomecánica



Fuente: Tomado de Riveros (12)

La biocinemática, a su vez, al tratarse de una rama que describe el movimiento corporal humano, toma en consideración el planteamiento realizado por Kalterborn (1998) donde describe la relación entre el movimiento óseo en el espacio (osteocinemática), el movimiento resultante entre las superficies articulares (artrocinemática) y el movimiento resultante de las actividades musculares (miocinemática)

Osteocinemática

Se enfoca en estudiar la trayectoria que describe cada hueso en el espacio sin importar los tejidos blandos que lo rodean y participan en su movimiento. La morfología articular es un factor determinante para evaluar la eficacia, la eficiencia y la potencia del movimiento humano (13). Para detallar a fondo la osteocinemática debemos conocer los movimientos que se producen, y a nivel articular su clasificación, los planos y ejes de movimiento

Movimiento

Siguiendo la línea de que la osteocinemática describe el movimiento de cada hueso, desde la biomecánica los movimientos que realizan los huesos están basados en el Giro y Balanceo (14)

- **Giro:** consiste en la rotación del hueso sobre sí mismo, es decir gira como una rueda sobre su propio eje.
- **Balanceo:** hace referencia a cualquier movimiento que consiste en un movimiento pendular del hueso.

Articulaciones

Clasificación Funcional y Estructural de las Articulaciones

Hace referencia al grado de movimiento que tiene y al tejido que conecta los huesos respectivamente (15).

- **Sinartrosis o fibrosas:** articulaciones inmóviles que juegan un papel fundamental en la estabilización del sistema esquelético, ya que mantiene unido los huesos firmemente mediante tejido conectivo fibroso. (16)
- **Anfiartrosis o cartilaginosas:** articulaciones semimóviles que mantienen unido a los huesos mediante cartílago hialino o fibrocartílago. (16)
- **Diaartrosis o sinoviales:** articulaciones móviles, que generan un amplio rango de movimiento.

A su vez las articulaciones diaartrosis o sinoviales presentan una subdivisión como se presenta a continuación:

- **Planas:** superficies de los huesos planas, es decir que se desliza una sobre la otra. por ejemplo, articulación intercarpiana
- **Gínglimo o en bisagra:** permite el movimiento en un solo plano como la flexión y extensión. Por ejemplo, articulación interfalángica
- **Trocoide o pivote:** permite un movimiento de rotación alrededor de un eje central. Por ejemplo, articulación radiocubital superior e inferior
- **Condilar:** permite un movimiento amplio en una dirección, pero también ofrece cierta flexibilidad en otra, siendo esto lo que la diferencia de bisagra y pivote. Por ejemplo, articulación femorotibial
- **En silla de montar:** permite un amplio rango de movimiento en dos ejes, pero con una limitación en la rotación. Por ejemplo, la articulación carpometacarpiana del pulgar
- **Esférica:** permite el movimiento en 3 planos, es la más móvil de las sinoviales, por ejemplo, articulación glenohumeral y femoroacetabular

Plano y Ejes de Movimiento

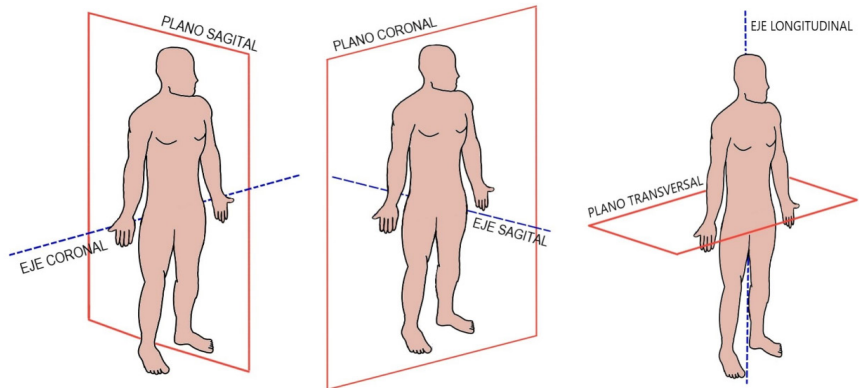
Plano de movimiento: es una superficie imaginaria que divide el cuerpo en dos partes iguales. Partiendo de esta premisa el movimiento corporal humano presenta 3 planos de movimiento.

- **Plano sagital:** divide al cuerpo en 2 mitades, derecha e izquierda.
- **Plano frontal o coronal:** divide al cuerpo en anterior o delantera y posterior o trasera.
- **Plano transversal:** divide al cuerpo en superior o inferior.

Ejes de movimiento: representa una línea imaginaria, que pasa a través de la articulación y, alrededor de la cual se realiza el movimiento. Al igual que los planos, también hay 3 ejes de movimiento.

- **Eje sagital o anteroposterior:** tiene una dirección de atrás hacia delante
- **Eje coronal o transversal:** tiene una dirección de lado a lado
- **Eje longitudinal o vertical:** tiene una dirección de arriba hacia abajo.

Imagen 69. Planos y Ejes



Para comprender los movimientos del cuerpo humano, es fundamental entender que estos ocurren en espacios tridimensionales definidos. Existen tres planos principales en los que se producen los movimientos, y cada uno de estos planos tiene un eje central alrededor del cual giran las articulaciones. En cada plano se realizan dos movimientos básicos.

Tabla 36. Plano y eje para los movimientos principales

Movimiento	Plano	Eje
Flexión – Extensión	Sagital	Transversal
Abducción – Aducción	Frontal	Sagital
Rotaciones	Transversal	Longitudinal

Artrocinemática

Por su parte la artrocinemática es la rama de la biomecánica que se encarga del estudio del movimiento interno de las articulaciones, los cuales son denominados micro movimientos y están determinados por la relación de las caras articulares, en otras palabras, se describen por la manera en que los puntos de una superficie articular, se mueven con relación a los puntos de una superficie articular opuesta (14). Los movimientos artrocinemáticos son:

- **Deslizamiento:** ocurre cuando una superficie móvil se mueve sobre otra que está quieta, un punto de la superficie móvil toca distintos puntos de la superficie fija.
- **Rodamiento:** ocurre cuando una superficie móvil se desplaza sobre otra, cambiando constantemente los puntos de contacto entre ambas, es decir hace que distintos puntos de la primera toquen diferentes partes de la segunda.
- **Rotación:** ocurre cuando una superficie móvil gira alrededor de un punto fijo de otra superficie, estableciendo un contacto continuo un punto de la superficie móvil y un punto de la superficie móvil.

Imagen 70. Deslizamiento, Rodamiento y Giro

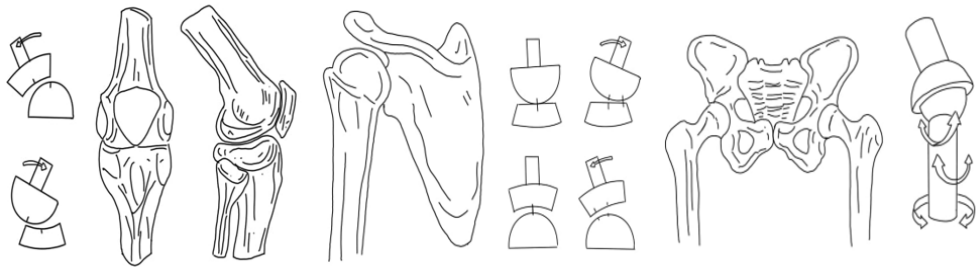
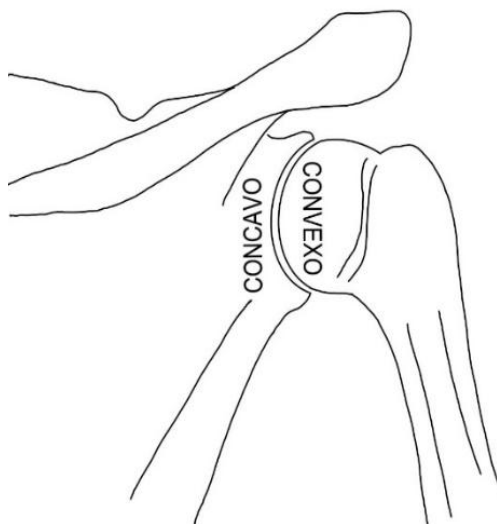


Tabla 37. Movimientos Artrocinemáticos

Movimiento	Superficie Movil	Superficie Estática
Deslizamiento	1 punto de contacto	Muchos puntos de contacto
Rodamiento	Muchos puntos de contacto	Muchos puntos de contacto
Rotación	1 punto de contacto	1 punto de contacto

Otra parte fundamental de la artrocinemática es comprender el sentido del movimiento, lo cual se explica mediante el principio de Kalterborn o más conocida como la **Ley Cóncavo – Convexo** que es aquella que explica la dirección del rodamiento y el deslizamiento de acuerdo a como se muevan las superficies articulares. Se le conoce como **Cóncavo** a aquella superficie que se curva hacia adentro, como por ejemplo la cavidad glenoidea y **Convexo** a aquella superficie que se curva hacia afuera, como lo es la cabeza del humero.

Imagen 71. Superficie cóncava y convexa



De esta forma cuando una superficie convexa se mueve sobre una cóncava, el movimiento ocurre en sentido contrario al movimiento del hueso, pero si la superficie cóncava se mueve sobre una convexa, el movimiento ocurre en el mismo sentido que el movimiento del hueso. Cuando se quiere hacer una flexión de hombro la cabeza del húmero (convexa) se mueve hacia arriba y hacia adelante sobre la cavidad glenoidea (cóncava). Como la cabeza del húmero es convexa, el deslizamiento ocurrirá en sentido contrario al movimiento del hueso. Es decir, mientras la cabeza del húmero se mueve hacia arriba y adelante, el deslizamiento ocurrirá hacia abajo y hacia atrás. Caso contrario a la flexión de codo, durante la flexión del codo, la incisura troclear de la ulna (cóncava) se mueve sobre la tróclea del húmero (convexa), la ulna se mueve hacia arriba y la incisura troclear se desliza hacia arriba sobre la tróclea. Como la incisura troclear es cóncava, el deslizamiento ocurre en el mismo sentido que el movimiento del hueso.

Miocinemática

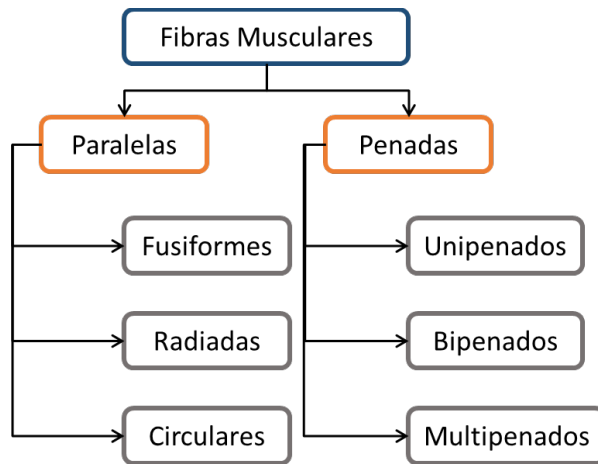
Partiendo de la base de la palabra miocinemática, el prefijo “MIO” hace referencia al músculo, por lo tanto, la miocinemática es el estudio de los movimientos que hace el músculo sin tener en cuenta huesos ni articulaciones.

Para comprender la miocinemática se debe considerar como punto de partida la arquitectura muscular, las funciones del músculo y las contracciones musculares.

Arquitectura Muscular

La denominación de los grupos musculares está relacionada directamente con la dirección de sus fibras; las dos principales divisiones con respecto a la disposición de las fibras son, paralelas y penadas. (17).

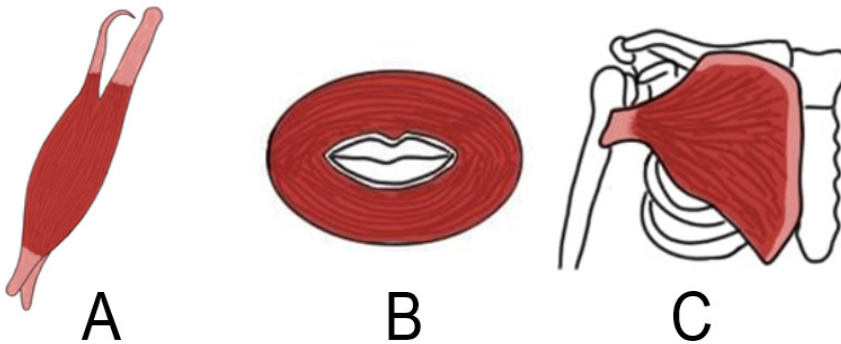
Figura 36. Fibras musculares



- **Disposiciones paralelas:** son aquellas que sus fascículos son paralelos al eje longitudinal del músculo, es decir que sus fibras que no se cruzan entre sí. A su vez, las fibras paralelas presentan diferentes disposiciones como lo son.
 - **Fusiformes:** tipo de fibra muscular que se caracteriza por su forma alargada y estrecha en los extremos, asemejándose a un huso. Esta disposición de las fibras permite centrar la producción de fuerza en referencias óseas específicas.

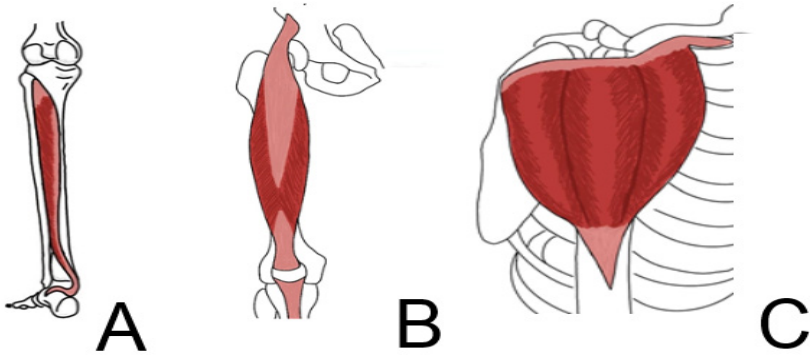
- **Circulares:** tipo de fibra muscular que se caracteriza por su organización en círculos concéntricos alrededor de un orificio o conducto, su principal función es controlar la apertura y cierre de orificios.
- **Triangulares:** se caracteriza por las fibras musculares convergen desde un área amplia hacia un tendón central, dando lugar a diversidad de acciones para múltiples movimientos.
- **Disposiciones penadas** son un tipo de disposición muscular en el que las fibras musculares se insertan diagonalmente en un tendón central. De igual manera, las fibras penadas presentan una subdivisión, las cuales son.
 - **Unipenado:** fibras que se caracterizan por dirigirse en diagonal hacia un lado del tendón.
 - **Bipenado:** son fibras que se caracterizan por dirigirse en diagonal desde ambos lados hacia el tendón.
 - **Multipenado:** Las fibras musculares se dividen en varios grupos, cada uno con una dirección ligeramente diferente, y se insertan en múltiples tendones que convergen en un tendón central.

Imagen 72. Disposiciones paralelas



Nota. A: Bíceps braquial, fibras fusiformes – B: Orbicular de la boca, fibras circulares – C: Pectoral mayor, fibras triangulares.

Imagen 73. Disposiciones penadas

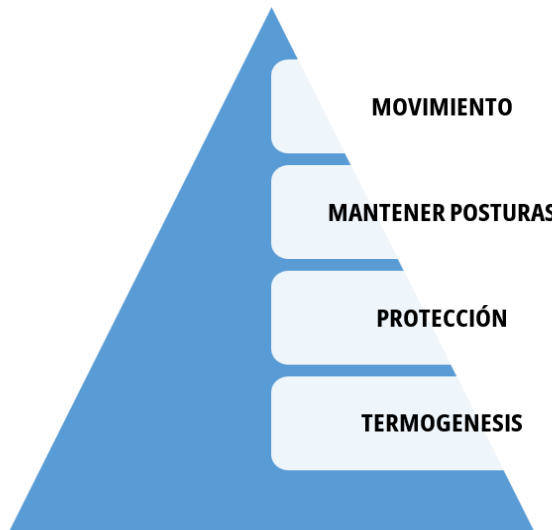


Nota. A: Tibial posterior, Unipenado – B: Recto femoral, Bipenado – C: Deltoides, multipenado.

Funciones del Músculo

Los músculos realizan una amplia variedad de funciones que van más allá del movimiento, siendo esta la principal función del musculo, seguido de mantener la postura, proteger nuestros órganos internos y proporcionar un equilibrio de temperatura corporal. (17)

Figura 37. Funciones del musculo



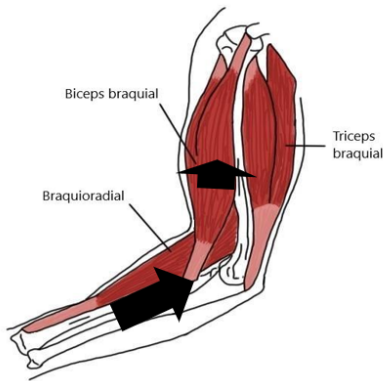
Funciones Musculares en el Movimiento

Durante el movimiento corporal humano, los músculos trabajan en conjunto para así permitirnos realizar un amplio catálogo de movimientos. Dependiendo de su función en un movimiento específico, los músculos toman diferentes nombres como lo son:

- **Agonistas:** músculos que, al contraerse, generan la tensión requerida para realizar un movimiento específico, es decir, son los músculos encargados principalmente de realizar la acción.
- **Antagonistas:** músculos que realizan el movimiento opuesto al agonista, permitiendo que la relación con el agonista se traduzca en generar un equilibrio y así controlar el movimiento.
- **Sinergistas:** músculos que actúan en menor medida que los agonistas para producir el movimiento, es decir ayudan al agonista a dar dirección y contribuir en tensión para generar el movimiento.
- **Estabilizadores:** músculos que tienen como función estabilizar el cuerpo, manteniendo la postura, protegiendo las articulaciones de manera isométrica y así permitir que los otros músculos generen el movimiento. (18)

Por ejemplo, en la flexión de codo.

Imagen 74. Funciones musculares en el movimiento



Agonista: bíceps braquial.

Antagonista: tríceps braquial.

Sinergistas: braquial y braquiorradial

Estabilizadores: deltoides, supraespinoso

Contracción Muscular

Partiendo de que la contracción muscular es el proceso fisiológico por medio del cual los músculos generan fuerza, esta se basa en dos variables, longitud y tensión.

Longitud: hace referencia a la distancia entre el punto de origen e inserción del músculo. Es decir, es la medida de lo expandido o contraído que está un músculo en un momento dado.

- **Tensión:** hace referencia a la fuerza que ejerce el músculo al contraerse.

La denominación de los tipos de contracción está dada por la relación a las dos variables mencionadas. La contracción muscular puede clasificarse principalmente en 2 tipos:

- **Contracción isométrica:** se caracteriza por aumentar la tensión muscular, sin embargo, el músculo mantiene una longitud constante. Por ejemplo, Al realizar una plancha, los músculos del Core, brazos y piernas se contraen isométricamente para mantener el cuerpo en una posición horizontal.
- **Contracción isotónica:** se caracteriza por que la tensión ejercida por el músculo permanece constante a medida que cambia su longitud. A su vez esta contracción isotónica se basa en la tensión suficiente que el músculo genera para superar una exigencia mientras acorta su longitud y se conoce como contracción Concéntrica. Cuando el músculo alarga su longitud generando tensión con el objetivo de controlar un movimiento por medio de la desaceleración, a esta se le conoce como activación excéntrica. (19)

Para aclarar estos conceptos, imaginemos cuando bajamos las escaleras, en el momento que una de las extremidades se encuentra en el escalón superior, realiza la contracción muscular concéntrica de isquiotibiales que actúa en la flexión de rodilla, mientras, simultáneamente el cuádriceps que se encuentra elongado, permanece en una activación excéntrica, generando una desaceleración del movimiento y amortiguando el traslado de peso de la extremidad contraria al escalón inferior, permitiendo bajar las escaleras sin perder el equilibrio y caernos.

En la biomecánica se requiere entender conceptos básicos en física y por supuesto en mecánica. Estos conceptos permiten conocer la interacción de las diferentes fuerzas con los tejidos y las estructuras del sistema musculoesquelético, además de entender y analizar el movimiento corporal humano.

Palancas de Movimiento

Para generar movimiento, los músculos, huesos y articulaciones trabajan juntos como un sistema de palancas; que, en términos sencillos, es una barra rígida que gira alrededor de un punto fijo. En ese orden de ideas, en nuestro cuerpo los huesos actúan como barras, las articulaciones como eje o apoyo y los

músculos agonistas generan la potencia para mover las palancas que vencerán una resistencia. La coordinación entre músculos y huesos es esencial para realizar movimientos precisos y potentes. (20)

La **fuerza** en términos sencillos es la capacidad para vencer una carga o resistencia, la cual está relacionada a los brazos de palanca, el **Brazo de Potencia (BP)**, representa la distancia que hay entre el apoyo y el punto de potencia; por otro lado, el **Brazo de Resistencia (BR)**, representa la distancia que hay entre el apoyo y el punto donde se encuentra la carga o resistencia.

La relación entre el BP y el BR determina si tenemos una **Ventaja Mecánica (VM)** o una **Desventaja Mecánica (DM)**, al hablar de VM se traduce en que se puede vencer cargas con menos esfuerzo, por el contrario de lo que pasa con DM, donde se aplica mayor esfuerzo para vencer la resistencia.

$$\text{BP} > \text{BR} = \text{VM}$$

$$\text{BR} > \text{BP} = \text{DM}$$

Las palancas que se presentan en el cuerpo humano son de tres géneros dependiendo de donde se ubique el punto de apoyo (**A**) y los puntos de aplicación de potencia (**P**) y resistencia (**R**).

A: Articulación.

R: Resistencia.

P: Inserción del músculo.

- **Primer género:** Las palancas de primer género, sitúan el punto de apoyo entre la potencia y la resistencia. Dentro de este género de palanca se tiene 3 circunstancias en donde cambia la ventaja mecánica.
- **Segundo género:** Las palancas de segundo género, sitúan el punto de resistencia entre el apoyo y la potencia. Dentro de este género de palanca se tiene 3 circunstancias en donde se obtiene ventaja mecánica en cada una.
- **Tercer género:** Las palancas de tercer género, sitúan el punto de potencia entre el apoyo y la resistencia. Dentro de este género de palanca se tiene 3 circunstancias en donde no se obtiene ventaja mecánica en ninguna.

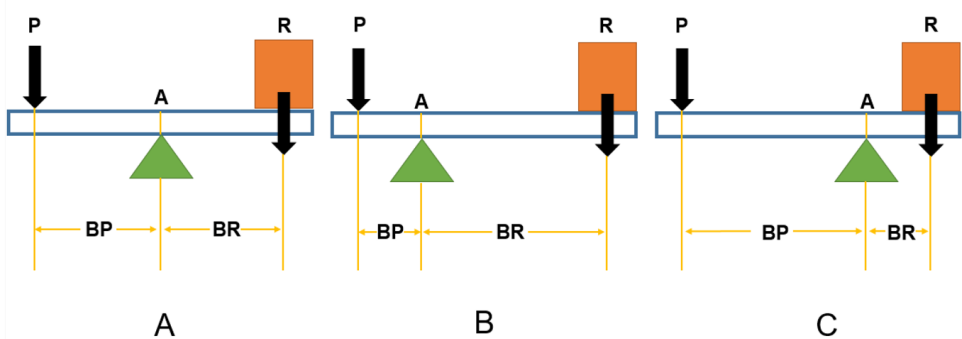
Una nemotecnia para facilitar el aprendizaje de los géneros de palanca se relaciona con el orden dado anteriormente:

A – donde A está en la mitad, es decir de primer género

R – donde R está en la mitad, es decir segundo género

P – donde P está en la mitad, es decir tercer género.

Figura 38. Variantes de palanca de primer género



Nota. 12A: A se ubica en el centro de P y R, por lo tanto, BP y BR tienen la misma longitud y no se obtiene ventaja mecánica. 12B: A se ubica entre P y R, pero A está más cerca de P que de R, por lo tanto, BP es menor que BR y no se obtiene ventaja mecánica. 12C: A se ubica entre P y R, pero A está más cerca de R que de P, por lo tanto, BP es mayor que BR y se obtiene ventaja mecánica.

Imagen 75. Palanca de primer género

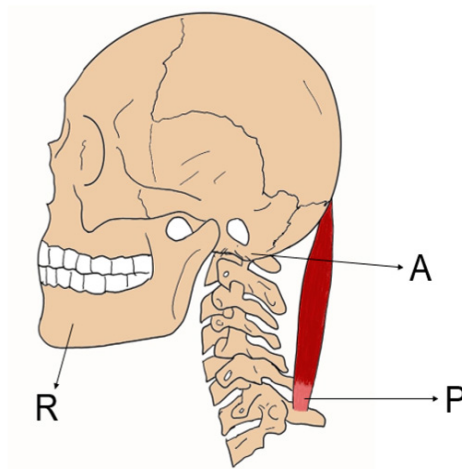
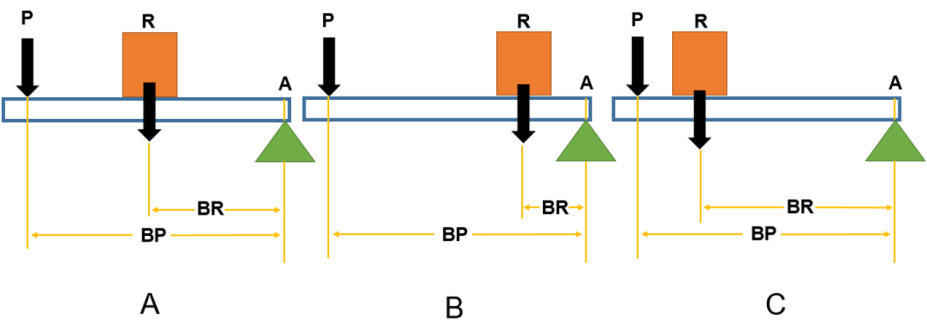


Figura 39. Variantes de palanca de segundo género



En todas las variantes BP es mayor que BR, por lo tanto, se obtiene ventaja mecánica:

Imagen 76. Palanca de segundo género

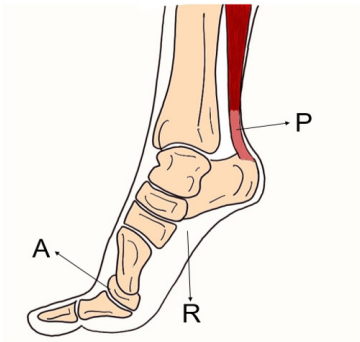
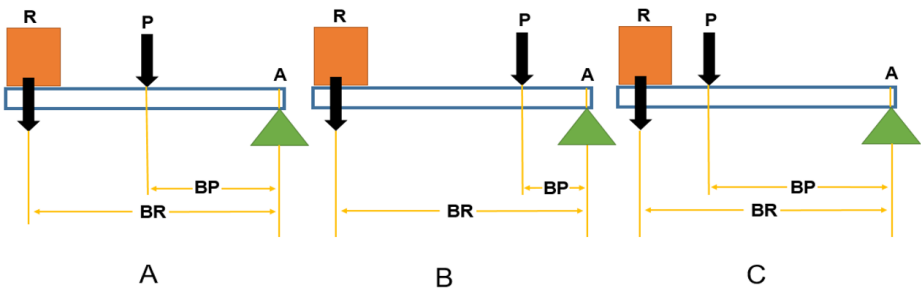
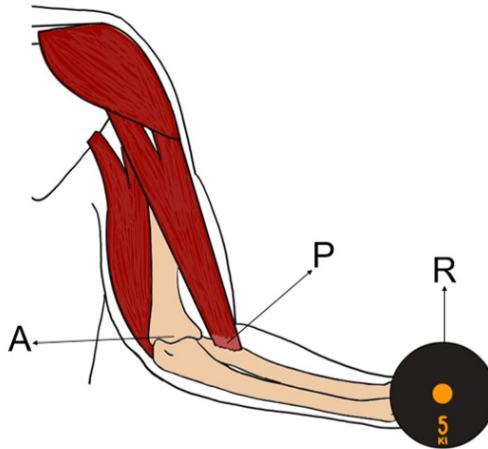


Figura 40. Variantes de palanca de tercer género



En todas las variantes BP es menor que BR, por lo tanto, no se obtiene ventaja mecánica:

Imagen 77. Palanca de tercer género

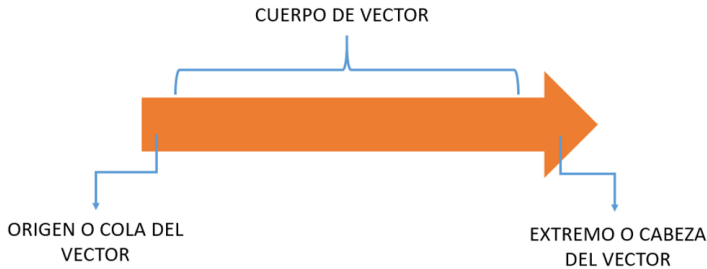


Magnitudes

En mecánica la mayoría de los conceptos son magnitudes escalares o vectoriales.

- **Magnitud escalar:** es aquella que permite ser descrita por su cantidad y magnitud, algunas de ellas como la distancia, la temperatura, el volumen o la masa (21). Por ejemplo, un maratonista que realiza 5 km se representa con una magnitud escalar de distancia
- **Magnitud vectorial:** es la representación de la magnitud. Son simbolizados en forma de flecha, donde la longitud de la línea indica dicha magnitud, y la punta de la flecha denota el sentido y la dirección en la que va el vector.
 - **Vector:** puede ser conceptualizado de dos maneras: como un segmento orientado en un sistema de coordenadas específico, o como la representación gráfica de una magnitud física vectorial. Independientemente de la definición utilizada, un vector se representa gráficamente como una flecha, caracterizada por un punto de origen, un punto final y un cuerpo determinado por la línea que une ambos puntos. (23).

Figura 41. Partes del Vector



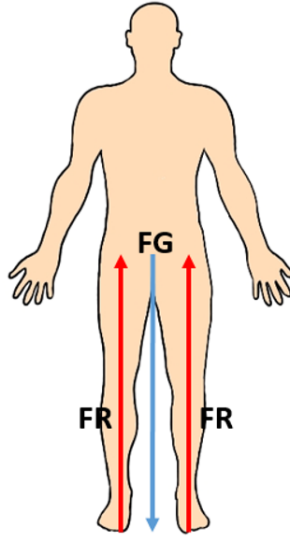
La fuerza, el momento, la velocidad y la aceleración son ejemplos de cantidades vectoriales. (21)

Una aclaración de los conceptos vectoriales es la descripción de una fuerza, indicando cuánta fuerza se aplica y en qué dirección. (22) Por ejemplo, en los laboratorios de biomecánica, la cinética da información relacionada con los vectores de fuerza a través de una plataforma. En el caso de un cuerpo que permanece en posición bípeda sobre la plataforma, la fuerza de la gravedad actúa sobre el cuerpo, generando su peso, el cual es representado en un vector con dirección hacia abajo. La plataforma, a su vez, ejerce una fuerza de reacción, representada en un vector con dirección hacia arriba, tal y como se observa en la. La combinación de estos vectores de fuerza permite analizar cómo se distribuyen las cargas en el cuerpo, donde se realiza mayor traslado de peso e inclusive determinar la fuerza de los músculos o grupos musculares durante la acción de un movimiento.

Figura 42. Vector



Figura 43. Vector de gravedad y reacción



Nota. FG: Fuerza de gravedad. FR: Fuerza de reacción

Fuerza

La fuerza se puede describir como una perturbación o carga mecánica que actúa sobre un objeto para cambiar su forma o estructura, así como cambiar la dirección de movimiento, aumentar su aceleración o detenerlo. (12) (23). Cuando se ejerce una acción de empujar, halar, patear o lanzar un objeto, se está aplicando una fuerza sobre él.

La fuerza, es la magnitud vectorial que se caracteriza por poseer cuatro características, la magnitud, la dirección, el punto de aplicación y la línea de acción. (21)

- **Magnitud**, representa la cantidad de fuerza que se está aplicando independientemente de la dirección en la que se aplique.
- **Dirección**, determina el tipo de efecto que tendrá sobre un objeto. Por ejemplo, una fuerza aplicada horizontalmente a un objeto lo moverá en dirección horizontal, mientras que una fuerza aplicada verticalmente lo levantará o lo hará caer.
- **Punto de aplicación** indica el lugar específico donde se aplica la fuerza a un objeto. El punto de aplicación puede ser uno o varios y se representa en

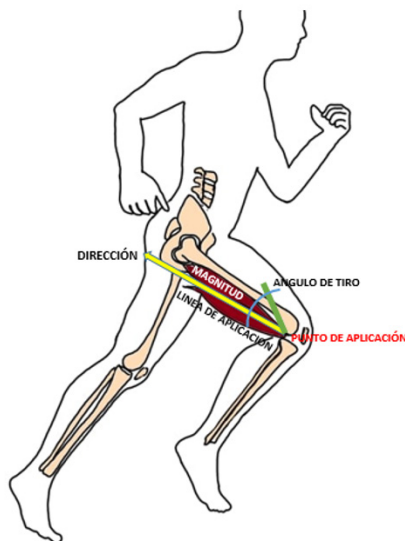
el cuerpo a través de la inserción muscular, es decir en los tendones, donde se da la unión del músculo con el hueso.

- **Línea de acción**, es una línea recta que indica la dirección en la cual está actuando la fuerza. La orientación de la línea de acción se representa como una posición angular, y se conoce como el ángulo de aplicación. Este tipo de ilustraciones nos ayuda a entender cómo es el comportamiento de la fuerza en los músculos, articulaciones y huesos, por lo tanto, se emplean diagramas de cuerpo libre.

La contracción de los músculos isquiotibiales permite generar la representación de un vector de fuerza con sus correspondientes características: magnitud, dirección, punto de aplicación y la línea de acción. El ángulo de tiro se forma entre la inserción del músculo y su unión con el hueso.

Según el efecto o la orientación de la fuerza, pueden clasificarse en varios tipos de fuerza, iniciando por dos grandes grupos fuerzas de no contacto y fuerzas de contacto estas destacan que cualquier objeto suelto desde una altura determinada caerá libremente hacia la superficie de la tierra impulsado por la gravedad, por tal motivo la dirección del vector de fuerza gravitacional tiende a ser hacia abajo. El peso, que también es una fuerza, cumple un papel importante en la gravedad, ya que, el origen del vector de peso se denomina centro de gravedad y es donde converge en un equilibrio con el centro de masa, un punto en torno al cual la masa de un cuerpo es uniforme.

Figura 44. Vector Fuerza



Las Fuerzas de Contacto

Es la interacción entre dos objetos y se consideran fundamentales en el movimiento humano. Estas fuerzas son:

- **Fuerza de reacción del suelo (frs):** Es la fuerza que se ejerce sobre una superficie en la cual hay una acción, por ejemplo, caminar en el césped, arena o baldosa, todas estas texturas ofrecen una fuerza de reacción, por lo tanto, esta fuerza cumple con la tercera ley de newton. Suelen ser iguales en magnitud, pero opuestas en dirección.
- **Fuerza de reacción articular:** Es la fuerza de la superficie ósea distal de un segmento actuando sobre la superficie ósea proximal del segmento contiguo, es decir de hueso sobre hueso, por ende, se basa en el análisis de un segmento, específicamente de las fuerzas que intervienen en una articulación. La suma de las fuerzas de hueso a hueso es la suma total de la fuerza de los músculos que se contraen de manera activa actuando sobre la articulación. Un ejemplo es la fuerza del cuádriceps y del tendón patelar lo que permite que la fuerza de reacción articular patelofemoral permanezca en cualquier momento de la flexión en rodilla. La comunicación articular femorotibial, permite que la fuerza de reacción articular genere cargas de compresión y cizalla, dadas por el mecanismo de movilidad articular y muscular adyacente.
- **Fuerza de fricción:** Se opone al movimiento entre dos superficies en contacto, su vector de dirección siempre actúa en sentido contrario al movimiento que se intenta producir. La fuerza necesaria para mover un objeto depende tanto de su peso como de la fricción entre las superficies en contacto. Por ejemplo, la fuerza aplicada sobre una caja de madera que se encuentra en la superficie de la tierra generará mayor fuerza de fricción y por ende menor deslizamiento, por lo tanto, la fuerza de aplicación deberá ser mayor o igual a la fuerza friccional. Esto a diferencia, de una caja que se encuentra sobre una baldosa, la cual generará menor fuerza de fricción y por ende mayor deslizamiento, por lo tanto, la fuerza de aplicación deberá ser menor a la fuerza friccional. Es importante porque puede determinar en el comportamiento del movimiento corporal humano mecanismos de prevención. En el área deportiva se vigila la fuerza friccional del terreno de juego con el calzado, por ejemplo, en el fútbol, los “taches” de los guayos ofrecen mayor reacción friccional evitando deslizamientos que provocan esguinces. También se vigila la fuerza friccional en deportes donde se utilicen elementos deportivos, con los agarres que se deben de realizar,

por ejemplo, un golfista utiliza un guante para incrementar el coeficiente de fricción y tener un mejor agarre sobre el palo.

- **Resistencia de los fluidos:** Es la transferencia de energía del objeto en movimiento al fluido. El aire (gas) y agua (líquido) son fluidos con los que el cuerpo humano interactúa en muchas actividades, por ejemplo, en la natación, el cuerpo interactúa con el agua, lo cual ofrece una resistencia para el deportista quien debe generar una máxima fuerza frente al fluido para avanzar. Esto es debido a que los fluidos poseen dos propiedades, la densidad y la viscosidad. La densidad es la masa por unidad de volumen, y la viscosidad es una medida de la resistencia del fluido al flujo. Entre más denso y viscoso sea el fluido, mayor será la energía que deberá tener el cuerpo para vencer la resistencia del fluido.
- **Fuerza de inercia:** Ligado al movimiento corporal humano, es la fuerza que ejerce un segmento articular proximal sobre otro segmento articular distal, causando su movimiento, pero sin una fuerte acción muscular. Una forma sencilla de entender este concepto es a través del análisis de la fase de balanceo al momento de correr, el tobillo realiza una plantiflexión en el despegue, posteriormente la extremidad inicia fase de balanceo y ejerce una inercia sobre el segmento del pie, haciendo que se mueva ligeramente hacia una dorsiflexión en el apoyo inicial.
- **Fuerza muscular:** Es la fuerza producida por el mecanismo de contracción muscular, de uno o varios músculos, permitiendo el movimiento o la estabilización dinámica de un segmento articular. Puede generar una fuerza de tiro o ténsil dada por dos pares oponentes de músculos en dicho segmento articular, por ejemplo, la contracción del bíceps braquial, en su inserción hala al radio, movilizándolo al antebrazo a un rango de movimiento de flexión de codo, por el contrario, la contracción del tríceps, en su inserción, hala a la ulna, movilizándolo al antebrazo a un rango de movimiento de extensión de codo. La fuerza varía en el tamaño de los músculos y si cruza más de una articulación, genera múltiples movimientos con potencia en más de un segmento, por ejemplo, el tríceps realiza extensión de codo, pero al ser un músculo biarticular, es sinergista de la extensión del húmero. La información se ampliará en el capítulo de músculo.
- **Fuerza elástica:** Cuando se aplica una fuerza sobre un material, éste sufre un cambio en su longitud. El cambio en la longitud está determinado por mecanismos de estrés-deformación, un comportamiento biomecánico

asociado a los tejidos viscoelásticos. Los tejidos blandos como músculos, ligamentos y tendones son tejidos viscoelásticos que poseen la capacidad de elongación sin exceder el límite elástico, como lo hace una banda de goma. Cuando se aplica una carga constante en el tejido, éste se deforma, elongándose hasta su límite elástico. En este caso particular, cuando se retira la carga, el tejido se acorta y aparece la fuerza elástica, como fuerza almacenada por la elongación, y junto a la fuerza muscular, contribuye a la fuerza total de la acción.

Este concepto se basa en la Ley de Hooke a través de la teoría de los resortes, la cual establece que “la fuerza aplicada a un resorte es directamente proporcional a la deformación que se produce en él y de sentido contrario”. Por ejemplo, utilizar un preestiramiento antes de un movimiento incrementa la fuerza de salida induciendo el potencial de fuerza elástica en los tejidos circundantes.

Torque y Momento

Torque, mide la capacidad de una fuerza para causar rotación sobre un eje, básicamente dependiendo de la dirección y el punto de aplicación de la fuerza, el torque puede ser en sentido horario o antihorario. De acuerdo a la biomecánica, el torque es la magnitud de la rotación que se genera por la aplicación de una fuerza sobre un sistema de palancas biológicas, como los huesos y las articulaciones, lo que es crucial para comprender cómo los músculos producen movimiento a través de las articulaciones del cuerpo. (22)

Se calcula como el producto de la fuerza aplicada y la distancia entre el punto de aplicación de la fuerza y el eje de rotación (también conocida como el brazo de palanca).

$$T = F \times D \times \sin(\theta)$$

Donde:

- T = Torque
- F = Fuerza aplicada
- D = Brazo de palanca
- θ = Ángulo entre la fuerza y el brazo de palanca

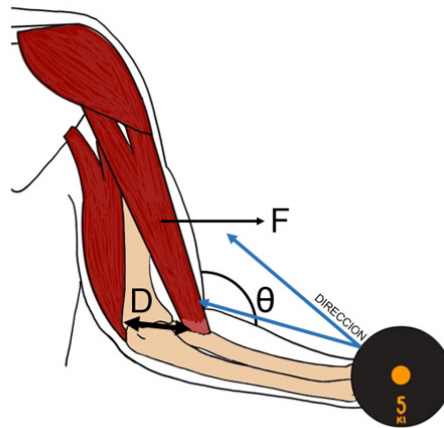
Un ejemplo sencillo para analizar el torque es hacer un curl de bíceps con mancuerna. Donde:

F= Fuerza dada por la contracción del musculo bíceps

- D= Distancia entre el codo (punto de rotación) y la inserción del bíceps en el antebrazo es el brazo de palanca.
- θ = Ángulo de flexión del codo (cambiará constantemente a medida que se va dando la flexión)

La dirección de la fuerza del bíceps actúa en dirección hacia arriba y hacia el codo, generando un movimiento de flexión. Si la fuerza del bíceps es muy grande o si el brazo de palanca es largo, el torque generado será mayor, facilitando el movimiento.

Imagen 78. Torque



Momento, es un término usado en física y biomecánica para describir la capacidad de una fuerza para producir rotación alrededor de un eje, sin embargo, el término “momento” a veces se usa de manera intercambiable con torque, en biomecánica a menudo se refiere al efecto de la fuerza aplicada sobre una articulación o parte del cuerpo para generar movimiento rotacional.

La diferencia clave es que el momento se puede analizar en términos de los efectos que la fuerza tendrá sobre una rotación general, no necesariamente en términos de la dirección del torque.

Se podría analizar, por ejemplo, al momento que se realiza una extensión de rodilla, el músculo cuádriceps genera un momento de fuerza que provoca la extensión de la pierna. El momento de fuerza depende de dos factores:

- La fuerza ejercida por el cuádriceps.
- La distancia entre el eje de la rodilla y el punto de inserción del cuádriceps.

El momento de fuerza en la rodilla cambiará si alteramos alguna de estas variables, se podría analizar si al inclinar el tronco hacia delante, con una extensión de rodilla, el momento será más grande porque el brazo de palanca (distancia entre la rodilla y el cuádriceps) se alarga.

Podemos ampliarlo a un ejercicio de puenteo: Si intentas realizar un puenteo, apoyado en la mano, el momento de fuerza generado por la gravedad y tu propio peso provoca que las muñecas y los hombros experimenten una carga que debe ser contrarrestada por los músculos de esas articulaciones.

Los músculos de los hombros y las muñecas deben generar un momento de fuerza suficiente para mantener el cuerpo elevado y equilibrado.

En ese orden de ideas la diferencia clave entre torque y momento es que biomecánicamente, el término “momento” se usa de manera más general para describir la rotación de fuerzas, mientras que “torque” se refiere específicamente al producto de la fuerza y el brazo de palanca alrededor de un eje. (22)

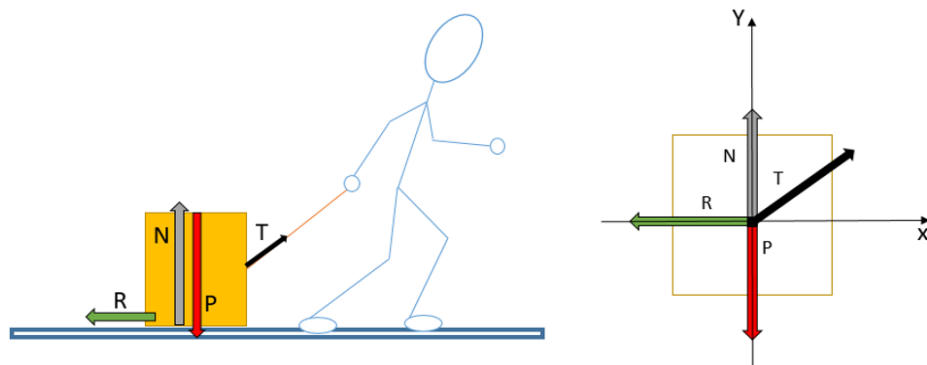
Diagrama de Cuerpo Libre

Los diagramas de cuerpo libre son herramientas esenciales en la biomecánica ya que estos diagramas permiten aislar una parte del cuerpo (como un brazo o una pierna) y visualizar todas las fuerzas que actúan sobre ella. Esto es fundamental para entender cómo se mueven nuestras articulaciones y cómo las fuerzas externas, como la gravedad o una carga, afectan nuestro cuerpo. (22)

Para la elaboración del diagrama de cuerpo libre

Por ejemplo, al arrastrar una caja se observa varias fuerzas que actúan sobre la caja donde

- T: es fuerza tensión con la que se arrastra la caja
- P: es peso de la caja que ejerce sobre el suelo
- N: es fuerza que hace el suelo sobre la caja
- R: es fuerza de roce entre cajón y suelo

Figura 45. Diagrama cuerpo libre

Conclusión

La biomecánica busca entender cómo funciona el movimiento corporal humano, desde su nivel macroscópico que se refiere a huesos y las articulaciones, hasta su nivel microscópico en las fibras musculares, analiza cómo estas partes se conectan y trabajan juntas para generar fuerza y movimiento. Junto a esto se suma la comprensión de conceptos claves como biocinética que estudia las fuerzas que producen el movimiento y biocinemática refiriéndose a la descripción del movimiento, de igual manera, las leyes de newton que son las que rigen el movimiento, los planos y ejes que son las herramientas para describir en qué sentido se dan los movimientos. Las palancas que son el principio que utiliza el cuerpo humano para generar fuerza y moverse. Fuerza, torque y momento que hacen referencia a la magnitud y dirección de las fuerzas que son aplicadas en el movimiento. Y finalmente los diagramas de cuerpo libre que son una herramienta visual que se utiliza para analizar las fuerzas que actúan sobre un objeto. Cada concepto abordado en este capítulo contribuye a una comprensión más profunda de cómo se produce el movimiento a través de una descripción cualitativa y cuantitativa y así poder realizar un análisis desde el movimiento más pequeño y sencillo hasta el análisis de un gesto deportivo de alta complejidad, así como también diseñar y evaluar programas de rehabilitación o entrenamiento específico y efectivo que se ajuste a las necesidades de cada paciente o deportista.

Referencias

1. Izquierdo M. Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte. Ed. Médica Panamericana; 2008.
2. Policy statement: Description of physiotherapy | World Physiotherapy [Internet]. Disponible en: <https://world.physio/policy/ps-descriptionPT>
3. Resendiz H, Serrano M. Implicaciones en el movimiento humano de las adaptaciones del esquema e imagen corporal secundarias a una amputación. ARS MEDICA Revista de Ciencias Médicas. 2020;45(3):63-71. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.11565/arsmed.v45i3.1636>
4. Triana J. Cuerpo movimiento: perspectiva funcional y fenomenología. Universidad Autonoma de Manizales; 2002].
5. Sahrmann S. Diagnóstico y tratamiento de alteraciones del movimiento. 1. ed. Badalona, Barcelona: Editorial Paidotribo; 2006. 479 p.
6. Sahrmann SA. The Human Movement System: Our Professional Identity. Physical Therapy. 2014 ;94(7):1034-42. Disponible en: <https://doi.org/10.2522/ptj.20130319>
7. APTA. Physical Therapist Practice and the Movement System. 2015 Disponible en: <https://www.apta.org/patient-care/interventions/movement-system-management/movement-system-white-paper>
8. Pareja, Hernán. Síntesis de los principales elementos del Modelo Función–Disfunción del Movimiento Humano. REEM Revista de educación y movimiento. 2017. 4(1): 7-24. Disponible en: https://www.reem.cl/descargas/reem_v4n1.pdf
9. Guzmán Muñoz E. Análisis del movimiento humano: principios básicos biomecánicos y neurofisiológicos. RIL editores; 2023.
10. Taiar R. Introductory Chapter: Biomechanics, Concepts and Knowledge. Recent Advances in Biomechanics. Intech Open; 2020. Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/recent-advances-in-biomechanics/introductory-chapter-biomechanics-concepts-and-knowledge>
11. Balthazard P, Currat D, Degache F. Fundamentos de biomecánica. EMC - Kinesiterapia - Medicina Física. 2015; 36(4):1-8. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1293-2965\(15\)74142-3](https://doi.org/10.1016/S1293-2965(15)74142-3)
12. Riveros MA. Biomecánica: experiencias para la actividad física y el deporte. Primera edición. Armenia Kinesis; 2017

13. López G, Valencia S. Estudio cinemático de rodilla para la creación de un movilizador pasivo continuo. *Revista de Fisioterapia y Tecnología Médica*. 2019. 3-7: 12-16 Disponible en: https://www.ecorfan.org/taiwan/rj_fisioterapia_vii.php
14. Freitas N. Cinemática Articular. Joints kinematics. *Revista de la Sociedad Venezolana de Ciencias Morfológicas*. 2012; 18(1): 15-20 Disponible en: http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_svc/article/view/3841
15. Hamill J. Biomechanical basis of human movement. 5th edition, International edition. Philadelphia: Wolters Kluwer Health; 2022.
16. Sazo, A. La biomecánica de las articulaciones. 2023. Disponible en : <https://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.31354.67520>
17. Cael C. Functional anatomy: musculoskeletal anatomy, kinesiology, and palpation for manual therapists. Second edition. Burlington, MA: Jones & Bartlett Learning; 2023.
18. Ibáñez M. Biomecánica del músculo y el tendón. Análisis crítico de modelos teórico-numéricos. [masters]. E.T.S.I. Industriales (UPM); 2022]. Disponible en: <https://oa.upm.es/70188/>
19. Gash M, Physiology, Muscle Contraction. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537140/>
20. Arango J. El sistema de palancas base para el analisis mecanico del movimiento corporal humano y sus alteraciones. *Actividad física y desarrollo humano*. 2017;8(1). Disponible en: <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/afdh/article/view/670>
21. Pérez O. Fundamentos de biomecánica deportiva. La Habana: Editorial Universitaria, 2021.
22. Nordin M. Basic biomechanics of the musculoskeletal system. 4th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2012.
23. Estrada Y. Biomecánica: De la física mecánica al análisis de gestos deportivos. Universidad Santo Tomas; 2018. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/12464>

Acerca del Editor Científico

About the Scientific Editor

Pedro Antonio Calero Saa

Editor científico y autor

Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte

© <https://orcid.org/0000-0002-9978-7944>

✉ pcalero22@gmail.com

Fisioterapeuta – Universidad Santiago de Cali. Diplomado en Docencia Universitaria – Universidad de Boyacá. Especialista en Epidemiología – Universidad de Boyacá. Magíster en Intervención Integral en el Deportista – Universidad Autónoma de Manizales. A lo largo de su trayectoria profesional y académica, ha ejercido como fisioterapeuta en atención de emergencias deportivas en diversos torneos de tenis, tanto nacionales como internacionales, incluyendo la III y IV Copa Bionaire (Challenger Internacional Femenino ITF) en 2009 y 2010, la II Parada Suramericana de Tenis COSAT (2009), y varios torneos entre 2009 y 2018, como la Copa Élite Indervalle y la Final Nacional Interclubes.

Inició su carrera en la Clínica Colón de la Universidad Santiago de Cali en 2009 y en 2010 se unió a la Fundación Liga Colombiana contra la Epilepsia (LICCE). Entre 2011 y 2017, se desempeñó en el programa de Fisioterapia de la Universidad de Boyacá como docente de tiempo completo, tutor de egresados, coordinador de laboratorios, investigador del grupo CORPS y director del programa. En 2012, recibió el premio al Mérito Investigativo “Manuel Elkin Patarroyo” por parte de la Universidad de Boyacá y fue reconocido como egresado distinguido en el área investigativa por la Universidad Santiago de Cali.

Ha sido ponente en conferencias nacionales e internacionales, par evaluador en encuentros de semilleros y en revistas académicas. En 2015, contribuyó a la vinculación del Programa de Fisioterapia de la Universidad de Boyacá a la red Internacional Rafa Pana mediante la Jornada de Actividad Física para fisioterapia. Es coautor del libro “Manual de Evaluación de la Aptitud Física, 2.^a Edición” (2016) y ha publicado en revistas tanto nacionales como internacionales.

Entre 2017 y 2021, fue docente e investigador en el Grupo Salud y Movimiento de la Universidad Santiago de Cali, donde coordinó la publicación de “Elementos Básicos de la Rehabilitación Deportiva” (Tomo I y II) y contribuyó

con capítulos en libros sobre modelos teóricos en fisioterapia y ayudas técnicas para la marcha. Fundó el Semillero de Investigación en Actividad Física, Ejercicio Físico, Deporte y Discapacidad (SIAFED). Se desempeñó como docente en el programa de Fisioterapia de la Fundación Universitaria María Cano hasta agosto de 2022. Desde entonces, ha estado impartiendo clases en el Programa de Especialización en Fisioterapia del Deporte y en el Programa de Fisioterapia de la Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Actualmente, el docente presenta clasificación de investigador asociado, según Min Ciencias.

Acerca de los Autores

About the Authors

José Armando Vidarte Claros

Universidad Autónoma de Manizales

© <https://orcid.org/0000-0002-7982-3848>

✉ jovida@autonoma.edu.co

Licenciado en Educación Física – Universidad Surcolombiana de Neiva. Especialista en Investigación y docencia universitaria – Universidad Autónoma de Manizales. Especialista en proyectos de desarrollo con énfasis socio-humanístico- Universidad Autónoma de Manizales. Diploma de estudios avanzados en ciencias de la actividad física y deporte – Universidad de la Coruña España. Doctor en ciencias de la actividad física y deporte – Universidad de la Coruña España. Se desempeña como Profesor-investigador en la Universidad Autónoma de Manizales desde el año 1991 hasta la fecha en el programa académico de Fisioterapeuta, y ha desempeñado cargos de coordinación de programas académicos de maestría en discapacidad y Actividad física y deporte, como también de coordinación de deportes de la institución; en la Universidad Simón Bolívar de Barranquilla desde el años 2011 hasta la fecha en el programa académico de Fisioterapia y docente del Magisterio de la secretaría de Educación de Manizales desde el año 2007 hasta la fecha, realizando actividades de docencia e investigación en actividad física y deporte, discapacidad, entrenamiento deportivo, prescripción del ejercicio entre otros.

Actualmente se encuentra clasificado como investigador Senior por parte del Ministerio de Ciencias y Tecnología de Colombia, es par académico del Ministerio de Educación Nacional en procesos de registro calificado y acreditación de programas académicos universitarios. Así mismo par evaluador de procesos investigativos.

Es autor de más de cincuenta artículos científicos publicados en revistas indexadas, de libros y capítulos de libro productos de investigaciones realizadas. De igual manera es consultor y asesor de procesos académicos e investigativos en las temáticas de su perfil profesional.

Brayan Patiño Palma

Fundación Universitaria del Área Andina

© <https://orcid.org/0000-0002-4476-0867>

✉ bpatino3@areandina.edu.co

Es un fisioterapeuta con una destacada trayectoria académica y profesional. Especialista en Estadística Aplicada, Magíster en Actividad Física y Deporte, y candidato a doctor en ciencias de la salud. Actualmente, se desempeña como docente investigador en la Fundación Universitaria del Área Andina.

Es autor de numerosos artículos de investigación en revistas de alto impacto, tanto a nivel nacional como internacional, siendo galardonado en 2023 con el premio de investigación SEMED por parte de la Sociedad Española de Medicina del Deporte, un reconocimiento a su contribución significativa en el campo de la fisioterapia y la salud.

En el ámbito deportivo, ha trabajado como fisioterapeuta de la selección mayores de pesas durante el ciclo olímpico de Tokio 2020. Asimismo, ha sido fisioterapeuta de las selecciones Colombia sub-20 y sub-18 de atletismo, así como de la Federación Colombiana de Baloncesto.

Actualmente, es el CEO de Physio Sport Lab, un centro de fisioterapia y evaluación biomecánica deportiva reconocido en la ciudad de Cartago, Valle del Cauca. Su liderazgo y experiencia han sido fundamentales para el crecimiento y prestigio de este centro.

Luis Piragauta Ardila

Universidad de Boyacá

© <https://orcid.org/0000-0003-3929-1186>

✉ luipiragauta@uniboyaca.edu.co

Médico – Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud (2012), Especialización en medicina de la actividad física y del deporte - Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud (2013-2016). Se desempeño con Médico deportólogo de forma clínica en el Hospital Infantil Universitario de San José (2016-2018), médico en rehabilitación cardiaca, pulmonar y metabólica en clínica miocardio ahora clínica red humana (2018-2022), coordinador médico deportivo en UMAF LTDA, (2016-2022), medico deportólogo en Fortaleza CEIF, equipo profesional (2016). Médico deportólogo en federación colombiana de fútbol, médico de la selección Colombia de fútbol sala en todas sus categorías incluyendo la mayores, asistiendo a múltiples torneos internacionales como deportólogo de la delegación colombiana (2018-2022), docente universitario en la cátedra

“medicina del deporte”, en la facultad de ciencias del deporte, universidad manuela Beltrán (2018-2019), docente en la Especialidad médica de medicina de la actividad física y del deporte en la fundación universitaria de ciencias de la salud (2016-2022), docente en la especialidad médica de medicina del deporte y la actividad física en la universidad de Boyacá (2019-2022), jurado en múltiples trabajos de grado de especializaciones médicas, integrante activo en el grupo de investigación de la actividad física (GIAF), en la fundación universitaria de ciencias de la salud. Ponente en varios congresos nacionales e internacionales en ciencias del deporte.

Catalina Piraquive Fandiño

Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud

© <https://orcid.org/0009-0007-0202-2480>

✉ cypiraquive@fucsalud.edu.co

Médica, universidad cooperativa de Colombia (2012), Especialización en medicina de la actividad física y del deporte - Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud (2019-2022). Médico en hospitalización clínica meta (2014-2016); médica en IPS materno infantil café salud (2016); medica Hospital departamental de Villavicencio E.S.E. (2014-2016); medica general, UCI neonatal, Hospital Clínica San Rafael (2017-2018); medica general, UCI neonatal, Hospital Universitario Mayor de Méderi (2017-2018); medica general, urgencias adultos, Hospital departamental de Villavicencio E.S.E. (2018-2019); medica general urgencias pediátricas, Clínica Colsubsidio Infantil (2020), Medica en rehabilitación pulmonar en paciente COVID hospitalizado, hospital infantil universitario de san José, (2020-2021).

Andrés Felipe Porto Mercado

Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud

© <https://orcid.org/0009-0007-2016-5653>

✉ afporto@fucsalud.edu.co

Médico, Universidad del Rosario de Bogotá (2015). Médico Consulta Externa Fundación Tiempo de Vida - atención del paciente crónico y con VIH, Médico Hospitalario departamento de especialidades clínicas - Hospital Naval de Cartagena (2016-2017); médico Servicio de Urgencias- Departamento de reanimación y urgencias, Clínica del Country de Bogotá (2017-2018); Médico Hospitalario departamento de medicina Interna - Médico de extensión Hospitalaria Hospital San Ignacio de Bogotá (2019-2022). Especialista en Medicina de la actividad física y del deporte - Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud (2022- 2025).

Elisa Andrea Cobo Mejia

Universidad de Boyacá

© <https://orcid.org/0000-0002-5739-4325>

✉ elisaandrea88@hotmail.com

Fisioterapeuta – Corporación Universitaria Iberoamericana. Especialista en Docencia Universitaria – Corporación Universitaria Iberoamericana. Especialista en Epidemiología – Universidad Autónoma de Bucaramanga-UNAB. Magíster en Investigación Social Interdisciplinaria – Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magíster en Historia – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC. Doctora en Historia – Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-UPTC. Se ha desempeñado como fisioterapeuta en la atención clínica y ha ejercido como docente universitaria en diversas instituciones. Actualmente, ocupa el cargo de docente titular y líder del Grupo de Investigación CORPS, además de ser profesora del semillero de investigación MONCORS y directora del Centro de Investigaciones para el Desarrollo (CIPADE) de la Universidad de Boyacá. A lo largo de su carrera, ha desarrollado múltiples investigaciones y publicaciones en las áreas de la salud y la historia. También ha participado como ponente a nivel nacional e internacional y ha sido par evaluador de trabajos de investigación y tesis, así como par evaluador en revistas académicas tanto nacionales como internacionales. Su constante labor y dedicación le han permitido destacarse en los premios de la Universidad de Boyacá, recibiendo el Mérito Investigativo “Manuel Elkin Patarroyo” en 2009 y 2015, el Mérito Investigativo de la Facultad de Ciencias de la Salud en 2021, y el Mérito Investigativo “Enrique Olaya Herrera” en 2022.

Jennifer Jaramillo Losada

Universidad Santiago de Cali

© <https://orcid.org/0000-0003-4210-9947>

✉ jennifer.jaramillo01@usc.edu.co

Fisioterapeuta - Universidad Santiago de Cali. Magister en Gerontología, Envejecimiento y Vejez - Universidad de Caldas. Experiencia laboral en neuro-rehabilitación en niños y adultos, además de experiencia profesional en consulta externa y procesos de rehabilitación en fisioterapia en adulto mayor.

Ha participado en proyectos de investigación como auxiliar de investigación en la Universidad de Caldas y Universidad Santiago de Cali y como investigadora principal en proyecto interno de la Universidad Santiago de Cali. También ha publicado capítulos de libro, artículos en revistas indexadas y pertenece al Grupo de Investigación Salud y Movimiento,

además de registros de software para apoyar procesos de aprendizaje y enseñanza de la evaluación fisioterapéutica.

Ha sido docente de seminarios de la maestría de Gerontología de la Universidad de Caldas, de cursos para el talento humano en salud de la Territorial de Caldas, conferencista en eventos nacionales e internacionales. Es docente de la Universidad Santiago de Cali desde el 2018, con vinculación tiempo completo desde el 2019. Ha participado en Comité de Ética y Bioética de la misma Universidad, apoyado y liderado procesos de acreditación del programa de fisioterapia y a dirigido más de 10 trabajos de grado.

Alvaro Santiago Solarte Rosero

Universidad Santiago de Cali

© <https://orcid.org/0000-0001-9822-0455>

✉ ssantiago06@hotmail.com

Especialista en Fisioterapia del Deporte – Escuela Nacional del Deporte. Fisioterapeuta – Universidad Santiago de Cali. Diplomado en Fundamentos del Entrenamiento Deportivo. Diplomado en Táctica y Estrategia en Fútbol.

Diplomado en Rehabilitación Deportiva y Prescripción del Ejercicio. Se ha desempeñado como fisioterapeuta en el área de consulta externa y fisioterapia del deporte desde terminar su pregrado hasta la actualidad. Se desempeñó como fisioterapeuta en el campeonato nacional Primera C Copa BetPlay 2023 con el Club Eder Ruales Atlas de la ciudad de Ipiales. Actualmente realiza atención de manera particular y presta sus servicios de acompañamiento deportivo a escuelas de formación de fútbol y diferentes disciplinas deportivas de la ciudad de Cali.

Lina Alejandra Sandoval

Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte

© <https://orcid.org/0009-0006-6832-4898>

✉ lina.sandovalji@gmail.com

Fisioterapeuta – Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Diplomado en Docencia Universitaria – Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Especialista en Ortopedia y Traumatología – Universidad Autónoma de Manizales. Maestrante en Epidemiología – Universidad Areandina. Inició su carrera como fisioterapeuta entre 2016 y 2018, especializándose en rehabilitación mediante el método Pilates en el sur de Cali, atendiendo pacientes con patologías osteomusculares, neurológicas y rehabilitación postquirúrgica, así como desarrollando programas de prevención y recuperación funcional para

diversas poblaciones. Durante su especialización en Ortopedia y Traumatología en la Universidad Autónoma de Manizales (2018), realizó una pasantía en el Centro de Rehabilitación Infantil Teletón en Ciudad de México, donde fue reconocido por su trabajo interdisciplinario en rehabilitación neurológica y ortopédica pediátrica. En 2019 trabajó en la Clínica Colombia (Cali) en fisioterapia cardiopulmonar y ortopédica, incluyendo apoyo en urgencias y UCI pediátrica, y más tarde brindó atención domiciliaria independiente en la IPS Bienestar Integral. En el ámbito deportivo, fue fisioterapeuta del equipo BMX Cali y del Club Guepardos entre 2019 y 2020. Desde 2020, es docente en la Facultad de Salud y Rehabilitación de la Escuela Nacional del Deporte, donde ejerce como asesora de prácticas, tutora y jurado académico. Actualmente cursa una Maestría en Epidemiología en la Universidad Área Andina

Paula Milena Hernández

Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte

© <https://orcid.org/0000-0002-8410-4987>

✉ paulamilenahm@gmail.com

Fisioterapeuta – Universidad Autónoma de Manizales. Diplomado en Ergonomía de la Carga física – Universidad del Valle Especialista en Fisioterapia Cardiopulmonar - Universidad del Valle. Magíster en Salud Ocupacional Universidad Del Valle. Se ha desempeñado como fisioterapeuta clínico en instituciones de alta complejidad, ocupando cargos de coordinación en grupos de rehabilitación. Entre 2015 y 2018 fue docente del programa de Fisioterapia en la Fundación Universitaria María Cano, impartiendo asignaturas relacionadas con salud laboral, intervención cardiovascular y prácticas en empresas multinacionales, fortaleciendo así un perfil académico y profesional integral.

Su trayectoria académica destaca por el primer lugar obtenido en modalidad póster en 2020 con la investigación sobre condiciones sociodemográficas y hábitos de vida saludable en trabajadores informales en Cali, otorgado por la Universidad CES. También fue reconocida en 2020 por la Fundación Rotaria Palmira por liderar una estrategia de actividad física y prevención del COVID-19 dirigida a niños con discapacidad.

Desde 2019, se desempeña como docente en la Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte, donde dirige prácticas en salud laboral y lidera la creación de nuevos programas de especialización, además de actuar como jurado y tutora en proyectos de investigación en áreas cardiopulmonar y de salud laboral.

Cuenta con publicaciones en revistas científicas sobre accidentes biológicos en UCI, experiencias de mujeres gestantes durante la pandemia, eventos adversos en fisioterapia y riesgos ergonómicos en trabajadores informales. Ha presentado ponencias relevantes en temáticas como pausas saludables y salud mental durante la pandemia, inclusión de niños con discapacidad y seguridad en salud laboral.

Su experiencia en salud laboral le ha permitido desarrollar proyectos en municipios para implementar políticas de Seguridad y Salud en el Trabajo, incluyendo el Sistema General de Riesgos Laborales en Montería (2021) y estrategias para rehabilitación e inclusión laboral de personas con discapacidad (2022), así como planes estratégicos para la prevención del trabajo infantil y promoción del trabajo decente entre 2021 y 2022.

Ha participado activamente en investigaciones, desarrollo de guías de atención y eventos académicos. Posee validación oficial de sus credenciales en Florida, EE. UU., donde ha realizado capacitaciones y certificaciones avaladas por la American Physical Therapy Association (APTA), siendo experta en la gestión de la Guía APTA 3.0. En 2025 obtuvo certificación en Realidad Virtual Inmersiva para apoyar la formación y prevención en ambientes laborales de alto riesgo, innovando en el campo de la salud laboral.

Pares Evaluadores

Peer Evaluators

Wilfred Fabian Rivera Martinez

Centro de Desarrollo Tecnológico Creativ. Popayán, Colombia

Investigador Asociado (I)

© <https://orcid.org/0000-0003-2888-7929>

Angie Milena Cárdenas Silva

Fundación Hospital Infantil Los Ángeles. Pasto, Colombia

Investigador Junior (IJ)

© <https://orcid.org/0000-0002-6190-8341>

Rodrigo Andrés Sarria Villa

Universidad del Cauca. Popayán, Colombia

Investigador Junior (IJ)

© <https://orcid.org/0000-0003-1295-7865>

Anibal Vicente Arteaga Noriega

Corporación Universitaria Remington. Medellín, Colombia

Investigador Senior (IS)

© <https://orcid.org/0000-0002-6612-1169>

Nancy Janneth Molano Tobar

Universidad del Cauca. Popayán, Colombia

Investigador Senior (IS)

© <https://orcid.org/0000-0003-1953-4101>

Rosa Mercedes Gomez Fajardo

Fundación Universitaria de Popayán. Popayán, Colombia

Investigador Junior (IJ)

© <https://orcid.org/0000-0002-1211-7164>

Distribución y Comercialización

Distribution and Marketing

Universidad Santiago de Cali
Publicaciones / Editorial USC
Bloque 7 - Piso 5
Calle 5 No. 62 - 00
Tel: (57+) (2+) 518 3000
Ext. 323 - 324 - 414
✉ editor@usc.edu.co
✉ publica@usc.edu.co
Cali, Valle del Cauca
Colombia

Diseño y Diagramación

Design and layout by

Juan Diego Tovar Cardenas
Universidad Santiago de Cali
✉ librosusc@usc.edu.co
Tel. 5183000 - Ext. 322
Cel. 301 439 7925

Este libro fue diagramado utilizando
fuentes tipográficas Literata en el contenido
del texto y Open Sans para los títulos.

Versión digital
agosto de 2026.

Esta obra fue publicada por la Facultad de Salud
de la Universidad Santiago de Cali.