TOMO III

ELEMENTOS BÁSICOS DE LA **REHABILITACIÓN DEPORTIVA**

UNA MIRADA MULTIDISCIPLINARIA

REHABILITACIÓN Y READAPTACIÓN DEPORTIVA



PEDRO ANTONIO CALERO SAA
EDITOR CIENTÍFICO

USC UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI
EDITORIAL

Cita este libro / *Cite this book:*

Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo III: rehabilitación y readaptación deportiva*. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. https://doi.org/10.35985/9786287914179

Palabras Clave / *Keywords:*

Cinética, Terapia Acuática, Medicina Regenerativa, Modelos Epidemiológicos.

Kinetics, Aquatic Therapy, Regenerative Medicine, Epidemiological Models.

Contenido relacionado:

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

TOMO III

ELEMENTOS BÁSICOS DE LA REHABILITACIÓN DEPORTIVA

UNA MIRADA MULTIDISCIPLINARIA

REHABILITACIÓN Y READAPTACIÓN DEPORTIVA

Basic Elements of Sports Rehabilitation:
A Multidisciplinary Perspective. Volume III:
Sports Rehabilitation and Sport-Specific Reconditioning

Pedro Antonio Calero Saa
Editor científico

USC
UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI
EDITORIAL

Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo III: rehabilitación y readaptación deportiva/ Pedro Antonio Calero Saa, Wilson González Marmolejo, Camilo Alberto Camargo Puerto, et al.; [Autores Científico]- Cali, Universidad Santiago de Cali, 3° Edición, 2026

507 páginas; Tablas; Figuras; Fotos; Graficas; Imágenes; Fotos; 24 cm
Incluye Índice; Referencias Bibliográficas

ISBN Digital: 978-628-7914-17-9

1. Estrategias terapéuticas en la rehabilitación deportiva 2. Terapia acuática: mecanismos y aplicaciones en la rehabilitación deportiva 3. Medicina regenerativa en lesiones deportivas. 4. Prevención de lesiones deportivas 5. Rehabilitación deportiva: proceso y metodologías 6. Criterios y estrategias para la readaptación deportiva y el retorno al juego. 7. Diseño integral del proceso de preparación deportiva: planificación, periodización y programación. 8. Procesos psicológicos en la readaptación deportiva. 9. Nutrición y suplementación en la rehabilitación deportiva. 10. Elementos para el abordaje integral del deportista paralímpico. 11. Retos y oportunidades de la tecnología en el deporte y la actividad física. 1. Pedro Antonio Calero Saa, 2. Wilson González Marmolejo, 3. Camilo Alberto Camargo Puerto, et al. / Especialización en Fisioterapia del Deporte. Universidad Santiago de Cali. Facultad de Salud.

CDD 617.10 / P372 Co-CaUSC

JJBV / 2026

USC UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI
EDITORIAL

Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo III: rehabilitación y readaptación deportiva

© Universidad Santiago de Cali

© Editor científico: Pedro Antonio Calero Saa

© Autores: Pedro Antonio Calero Saa, Wilson González Marmolejo, Camilo Alberto Camargo Puerto, Martín Hernán Bonilla Obando, Raúl Yesid Rodríguez Mayorga, Álvaro Santiago Solarte, Julián Andrés Lasprilla, Jorge Enrique Ramírez Malagón, Laura Jimena Rodríguez Romero, Diego Fernando Orejuela Aristizábal, Leidy Tatiana Ordoñez-Mora, Norma Elizabeth Mora Rosas, Luis Hebert Palma Pulido, Olga Lucía Hincapié Gallón, Lina Marcela Tierradentro Gómez y Javier Ferney Castillo-García

1.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*
Julio (July) de 2025

Correcciones de autor / *Improved version submission*
Marzo (March) de 2026

Evaluación de contenidos / *Peer-review outcome*
Febrero (February) 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

— Pedro Antonio Calero Saa

A mi abuelita Fabi,
por inspirarme a perseguir mis metas con la misma valentía
con la que ella enfrenta la vida en estos momentos tan difíciles.
Todo mi amor y fuerzas están contigo

— Álvaro Santiago Solarte R

"Es horrible pensar cómo tanta gente cree que no puede aprender,
y cómo más gente aún cree que el aprender es difícil."

—Frank Herbert

Contenido

Prólogo..... 11

Prefacio..... 13

Un viaje integral por la fisioterapia deportiva y la salud física a modo de introducción..... 15

Capítulo 1
Estrategias terapéuticas en la rehabilitación deportiva..... 19

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

Capítulo 2
Terapia acuática: mecanismos y aplicaciones en la rehabilitación deportiva..... 149

Wilson González Marmolejo. *Fundación Universitaria María Cano. Cali, Colombia*

Capítulo 3
Medicina regenerativa en lesiones deportivas..... 179

Camilo Alberto Camargo Puerto. *CIEDES Hospital Universitario San Rafael de Tunja. Colombia*
Martín Hernán Bonilla Obando. *CIEDES Hospital Universitario San Rafael de Tunja. Colombia*
Raúl Yesid Rodríguez Mayorga. *CIEDES Hospital Universitario San Rafael de Tunja. Colombia*

Capítulo 4
Prevención de lesiones deportivas..... 197

Pedro Antonio Calero Saa. *Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia*
Álvaro Santiago Solarte. *Consultor independiente. Colombia*

Capítulo 5
Rehabilitación deportiva: proceso y metodologías..... 249

Julián Andrés Lasprilla. *Universidad del Valle. Cali, Colombia*
Pedro Antonio Calero Saa. *Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia*

Capítulo 6
Criterios y estrategias para la readaptación deportiva y el retorno al juego..... 285

Jorge Enrique Ramírez Malagón. *Escuela Colombiana de Rehabilitación. Bogotá, Colombia*
Pedro Antonio Calero Saa. *Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia*

Capítulo 7
Diseño integral del proceso de preparación deportiva: planificación, periodización y programación 313

Laura Jimena Rodríguez Romero. *Universidad Santiago de Cali; Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Colombia*
Diego Fernando Orejuela Aristizábal. *Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia*
Leidy Tatiana Ordoñez-Mora. *Universidad Santiago de Cali. Colombia*

Capítulo 8
Procesos psicológicos en la readaptación deportiva 349

Norma Elizabeth Mora Rosas. *Sport Med Centro Médico. Guadalajara Jalisco, México*

Capítulo 9
Nutrición y suplementación en la rehabilitación deportiva 375

Luis Hebert Palma Pulido. *Unidad Central del Valle del Cauca (UCEVA); Universidad del Valle; Nutrición deportiva Inter de Palmira (Cortulua). Colombia*

Capítulo 10
Elementos para el abordaje integral del deportista paralímpico 427

Olga Lucía Hincapié Gallón. *Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Colombia*
Lina Marcela Tierradentro Gómez. *Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Colombia*

Capítulo 11
Retos y oportunidades de la tecnología en el deporte y la actividad física..... 459

Javier Ferney Castillo-García. *Universidad Autónoma de Occidente. Cali, Colombia*
Pedro Antonio Calero Saa. *Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia*

Acerca del editor científico 489

Acerca de los autores..... 491

Pares evaluadores..... 503

Table of Contents

Foreword..... 11

Preface 13

A Comprehensive journey through sports physical therapy and physical health: an introduction 15

Chapter 1
Therapeutic strategies in sports rehabilitation..... 19

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

Chapter 2
Aquatic therapy: mechanisms and applications in sports rehabilitation 149

Wilson González Marmolejo. *Fundación Universitaria María Cano. Cali, Colombia*

Chapter 3
Regenerative medicine in sports injuries..... 179

Camilo Alberto Camargo Puerto. *CIEDES Hospital Universitario San Rafael de Tunja. Colombia*
Martín Hernán Bonilla Obando. *CIEDES Hospital Universitario San Rafael de Tunja. Colombia*
Raúl Yesid Rodríguez Mayorga. *CIEDES Hospital Universitario San Rafael de Tunja. Colombia*

Chapter 4
Sports injury prevention..... 197

Pedro Antonio Calero Saa. *Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia*
Álvaro Santiago Solarte. *Independent consultant. Colombia*

Chapter 5
Sports rehabilitation: process and methodologies 249

Julián Andrés Lasprilla. *Universidad del Valle. Cali, Colombia*
Pedro Antonio Calero Saa. *Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia*

Chapter 6
Criteria and strategies for sports rehabilitation and return to play 285

Jorge Enrique Ramírez Malagón. *Escuela Colombiana de Rehabilitación. Bogotá, Colombia*
Pedro Antonio Calero Saa. *Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia*

Chapter 7
Comprehensive design of the sports preparation process: planning, periodization and scheduling 313

Laura Jimena Rodríguez Romero. *Universidad Santiago de Cali; Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Colombia*
Diego Fernando Orejuela Aristizábal. *Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia*
Leidy Tatiana Ordoñez-Mora. *Universidad Santiago de Cali. Colombia*

Chapter 8
Psychological processes in sports readaptation 349

Norma Elizabeth Mora Rosas. *Sport Med Centro Médico. Guadalajara Jalisco, México*

Chapter 9
Nutrition and supplementation in sports rehabilitation 375

Luis Hebert Palma Pulido. *Unidad Central del Valle del Cauca (UCEVA); Universidad del Valle; Nutrición deportiva Inter de Palmira (Cortulua). Colombia*

Chapter 10
Elements for the comprehensive approach of the paralympic athlete 427

Olga Lucía Hincapié Gallón. *Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Colombia*
Lina Marcela Tierradentro Gómez. *Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Colombia*

Chapter 11
Challenges and opportunities of technology in sport and physical activity 459

Javier Ferney Castillo-García. *Universidad Autónoma de Occidente. Cali, Colombia*
Pedro Antonio Calero Saa. *Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Cali, Colombia*

About the scientific editor 489

About the Authors 491

Peer Evaluators 503

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.

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.
Profesora 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 comprenden 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, nutricioncitas 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

Estrategias Terapéuticas en la Rehabilitación Deportiva

Therapeutic Strategies in Sports Rehabilitation

Pedro Antonio Calero Saa
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
https://orcid.org/0000-0002-9978-7944
pcalero22@gmail.com

Resumen

El documento sobre "Estrategias Terapéuticas en la Rehabilitación Deportiva" resalta la importancia del ejercicio terapéutico como un factor clave en el proceso de rehabilitación deportiva. Los objetivos principales de una propuesta de estrategias terapéuticas incluyen restaurar la funcionalidad y el rendimiento óptimo del deportista, prevenir lesiones recurrentes y mejorar la salud general. Para lograr estos objetivos, se sugiere un eje articulador en la planificación de la rehabilitación del deportista lesionado, adaptado a las necesidades individuales del paciente, y que se realice en fases progresivas de intensidad.

Entre las herramientas esenciales que debe contar el fisioterapeuta deportivo en la intervención a deportistas se encuentran equipos de ejercicio como bandas elásticas, pesas, plataformas de equilibrio y dispositivos de medición de fuerza y movilidad. Además, es crucial disponer de herramientas de evaluación para medir el progreso del deportista, así como recursos educativos que faciliten la comprensión de la relevancia de implementar estrategias preventivas en el ámbito deportivo.

En conclusión, la rehabilitación deportiva efectiva se basa en un enfoque integral que considera tanto los aspectos físicos como psicológicos del deportista. La correcta aplicación de ejercicios terapéuticos, junto con

Cita este capítulo / *Cite this chapter*

Calero Saa PA. Estrategias terapéuticas en la rehabilitación deportiva. En: Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo III: rehabilitación y readaptación deportiva*. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 19-148. https://doi.org/10.35985/9786287914179.1

un monitoreo constante y ajustes en la intensidad del programa, permite optimizar la recuperación y preparar al deportista para su regreso a la actividad competitiva. La educación y la comunicación entre el equipo de rehabilitación y el deportista son clave para el éxito del proceso.

Palabras Clave: Cinética, Ejercicio Isométrico, Ejercicio Terapéutico.

Abstract

The document on "Therapeutic Strategies in Sports Rehabilitation" highlights the importance of therapeutic exercise as a key factor in the sports rehabilitation process. The main objectives of a proposed therapeutic strategy include restoring the athlete's functionality and optimal performance, preventing recurrent injuries, and improving overall health. To achieve these objectives, the document suggests a structured approach to planning the rehabilitation of injured athletes, tailored to the individual needs of each patient, and implemented in progressive stages of intensity.

Among the essential tools that a sports physiotherapist should have for working with athletes are exercise equipment such as elastic bands, weights, balance boards, and devices for measuring strength and mobility. Furthermore, it is crucial to have assessment tools to measure the athlete's progress, as well as educational resources that facilitate understanding of the importance of implementing preventive strategies in sports.

In conclusion, effective sports rehabilitation is based on a holistic approach that considers both the physical and psychological aspects of the athlete. The correct application of therapeutic exercises, along with continuous monitoring and adjustments to the program intensity, allows for optimal recovery and prepares the athlete for a return to competitive activity. Education and communication between the rehabilitation team and the athlete are key to the success of the process.

Keywords: *Kinetics, Exercise, Isometric, Exercise Therapies*

Contexto

"El *gran descubrimiento de la Revolución Científica fue la ignorancia*".

—Yuval Noah Harari, Libro de animales a dioses "Sapiens".

En un proceso de rehabilitación, los tejidos del cuerpo responden al estrés físico mediante adaptaciones que, a la larga, permiten la mejora de su rendimiento. En eso consiste un proceso de rehabilitación, se aplica estrés al tejido que se encuentra en proceso de recuperación, de acuerdo con las tensiones específicas que enfrentará al volver a una actividad exigente. Por lo tanto, este proceso implica reacondicionar el tejido afectado. Una vez que el tejido en recuperación ha alcanzado un estado *óptimo* o maduro, el enfoque rehabilitador avanza hacia un entrenamiento más intenso para preparar al deportista para su regreso al deporte (1).

Entre las diversas estrategias utilizadas por el fisioterapeuta en la intervención con deportistas, el ejercicio terapéutico se destaca como un componente fundamental en los programas destinados a mejorar o recuperar la funcionalidad, así como a prevenir lesiones y deficiencias. El ejercicio terapéutico es crucial en un programa de rehabilitación. Los estudios han indicado que integrar el ejercicio terapéutico con otras intervenciones en las fases iniciales de una lesión contribuye a reducir el tiempo de recuperación y mejora la efectividad de los programas de rehabilitación (2).

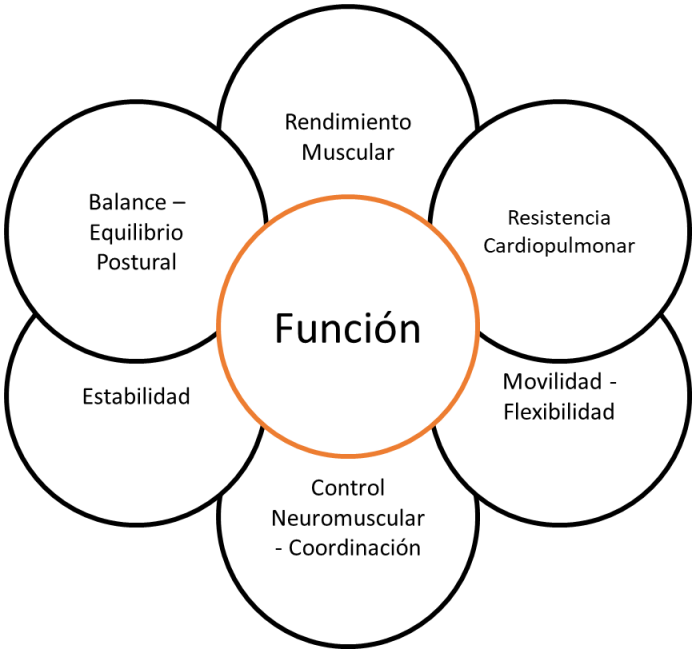
El ejercicio terapéutico es fundamental en la rehabilitación y estrategias preventivas aplicadas al contexto deportivo. Su objetivo es restaurar la función y el rendimiento óptimos del deportista, al mismo tiempo que reducir la probabilidad de lesiones recurrentes.

El ejercicio terapéutico se describe como la ejecución organizada y programada de patrones motores, alineaciones corporales o acciones físicas vinculadas al objetivo de ofrecer a un deportista las herramientas necesarias para (3):

- Evitar el deterioro de las funciones y estructuras del cuerpo.
- Mejorar, restaurar o aumentar la capacidad para realizar actividades y participar.
- Prevenir o disminuir los factores de riesgo asociados a la salud.
- Maximizar la salud general, la condición física y la sensación de bienestar.

La competencia motriz para desarrollar acciones deportivas de forma autónoma está influenciada tanto por la función física como por la psicológica y social. Los diferentes aspectos de la función física son multidimensionales e incluyen diversas áreas que están interconectadas en relación con el rendimiento del movimiento (3).

Figura 1. *Elementos interconectados de la función física*



Fuente: tomado y modificado de Humphrey (3)

Estos aspectos se definen a continuación:

- **Equilibrio:** Capacidad del cuerpo para mantener el centro de gravedad dentro de los límites de la base de sustentación (4).
- **Resistencia Cardiopulmonar:** Es la capacidad de realizar ejercicio dinámico que involucra grandes grupos musculares a una intensidad moderada a alta durante períodos prolongados (5).
- **Coordinación:** Se describe generalmente como la organización del control de las unidades motoras o la distribución de la activación muscular entre músculos específicos para generar un movimiento articular particular (6).

- **Flexibilidad:** La flexibilidad es la habilidad de una articulación, o de un conjunto de articulaciones, para moverse a lo largo de un rango completo de movimiento (ROM) sin experimentar lesiones (7).
- **Movilidad:** La movilidad se refiere a la habilidad de las estructuras o segmentos del cuerpo para moverse o ser movidos, lo que permite un ROM necesario para realizar actividades funcionales. La movilidad pasiva está influenciada por la flexibilidad de los tejidos blandos, tanto contráctiles como no contráctiles, mientras que la movilidad activa implica la activación del sistema neuromuscular (3).
- **Rendimiento Muscular:** La habilidad del músculo para generar tensión y llevar a cabo trabajo físico. El rendimiento muscular incluye aspectos como la fuerza, la potencia y la resistencia (3).
- **Control Neuromuscular:** Es la interacción entre los sistemas sensorial y motor que permite a los músculos sinergistas, agonistas y antagonistas, así como a los estabilizadores y neutralizadores, anticipar o reaccionar a la información propioceptiva y cinestésica, y luego colaborar en el orden adecuado para generar un movimiento coordinado (3).
- **Control Postural:** Capacidad del cuerpo para anticiparse o reaccionar ante condiciones que amenacen la estabilidad y mantener o ajustar la posición del cuerpo para evitar una caída (8).
- **Estabilidad:** La estabilidad articular se refiere a la habilidad del sistema neuromuscular para mantener la alineación correcta de los huesos en una articulación, utilizando tanto componentes pasivos como dinámicos. Esto se logra a través de acciones musculares sinérgicas que permiten mantener un segmento corporal en una posición fija o controlar una base estable durante el movimiento (3).

El ejercicio terapéutico es fundamental en cualquier programa de rehabilitación tras una lesión, desacondicionamiento o deficiencia. Se utiliza en combinación con otras intervenciones y se enseña en entornos clínicos. Aunque algunos ejercicios pueden parecer sencillos inicialmente, los deportistas con deficiencias debido a lesiones deportivas enfrentan dificultades para ejecutarlos correctamente. Para que el ejercicio terapéutico sea seguro y efectivo, es necesaria una instrucción especializada y estrategias de enseñanza adecuadas.

Se debe tener en cuenta que el ejercicio terapéutico se prescribe, y la prescripción del ejercicio constituye una secuencia estructurada que exige un seguimiento continuo y un razonamiento clínico. El fisioterapeuta deportivo,

para la intención de este libro, como especialista en el análisis y comprensión del movimiento, debe elegir ejercicios que se adapten a las necesidades individuales (principio de individualidad) y ajustar la prescripción según las respuestas del deportista (9), teniendo en cuenta aspectos como:

Establecer objetivos personalizados que se modifiquen a medida que el deportista progrese.

1. Seleccionar ejercicios adecuados basados en principios fundamentales.
2. Evaluar la aptitud funcional del paciente para ejecutar las rutinas terapéuticas y determinar la carga correcta.
3. Enseñar a los pacientes a ejecutar los ejercicios de manera segura y eficiente.
4. Monitorear y evaluar las reacciones al ejercicio.

Los fisioterapeutas deportivos cuentan con una amplia gama de ejercicios a su disposición, lo que les brinda la oportunidad de desarrollar programas adaptados a las características funcionales propias de cada paciente, en lugar de depender únicamente de protocolos estándar. Si bien estos protocolos pueden ser útiles al ofrecer directrices y estimaciones de tiempo de recuperación, la implementación de principios de prescripción de ejercicios seguros permite a los terapeutas diseñar programas únicos y motivadores que realmente se alineen con los objetivos de los deportistas.

La intervención por medio del ejercicio terapéutico consta inicialmente de un proceso de evaluación exhaustiva por parte del fisioterapeuta deportivo, que incluye la recopilación de antecedentes y pruebas específicas para identificar el nivel de compromiso y las limitaciones funcionales que afectan el rendimiento del deportista.

Consideraciones Generales

La intervención en la rehabilitación de un deportista por medio del ejercicio terapéutico requiere que el fisioterapeuta deportivo tenga en cuenta aspectos importantes como:

1. **Precauciones en la curación:** Durante la estructuración de un plan de intervención de rehabilitación basado en ejercicio terapéutico, es fundamental que el fisioterapeuta considere las limitaciones fisiológicas que afectan la curación. Generalmente, la fuerza del tejido disminuye tras una lesión, pero aumenta con el tiempo a medida que se recupera.

Factores como la edad, el estado nutricional y la gravedad de la lesión son determinantes en la velocidad de curación, por lo que el programa debe adaptarse a estas condiciones (1).

2. **Tensión o estrés:** El tejido conectivo que se encuentra presente en casi todos los tejidos, responde al estrés de acuerdo con lo establecido con la Ley de Hooke y la curva de tensión-deformación. La disposición de fibras de colágeno influye en cómo el tejido reacciona al estrés; para dar un ejemplo, los ligamentos se elongan un poco más que los tendones bajo la misma fuerza debido a su estructura más irregular (1).

3. **Curva de Tensión-Deformación:** Esta curva ilustra cómo la tensión afecta al tejido conectivo, mostrando diferentes áreas como la región elástica, la región plástica y el punto de falla. La región elástica permite que el tejido regrese a su longitud original, mientras que la región plástica implica una elongación permanente debido a la ruptura de algunas fibras de colágeno. El punto de falla ocurre cuando la tensión que somete al tejido excede entre el 6 y el 10% de la longitud en reposo del tejido, por tal motivo, es crucial que el fisioterapeuta deportivo considere la fragilidad del tejido en curación, ya que su capacidad para soportar tensión se compromete al inicio del proceso (1).

4. **Etapas de la Rehabilitación:** Son fundamentales para la fase de rehabilitación funcional de una lesión, ya que el tiempo y el momento son cruciales. La intervención adecuada por parte del fisioterapeuta deportivo puede incluir modalidades y ejercicios terapéuticos, pero es esencial tener cuidado con la intensidad de estos, ya que un ejercicio mal dosificado en las primeras fases puede dañar el tejido en curación, aumentar la inflamación y prolongar la recuperación. Las etapas de rehabilitación son marcos temporales que guían al fisioterapeuta deportivo en la planificación de intervenciones, aunque no existan transiciones estrictas entre ellas, ya que pueden superponerse y variar según el individuo. Estas fases deben considerarse como guías, donde la experiencia del fisioterapeuta es fundamental para gestionar el proceso de rehabilitación. Estas etapas son progresivas y se ejecutan una sobre otra. Una vez que se logre que el deportista logre tareas básicas como el rango de movimiento, el deportista puede avanzar hacia el fortalecimiento de ese rango. Las fases, generalmente, son las siguientes:

    a. **Fase Aguda:** Esta fase se extiende desde el momento en que se extiende hasta que se controla la hinchazón. El tratamiento inicial se basa en el método RICE (reposo, hielo, compresión, elevación) para aliviar el

dolor y la inflamación, lo que ayuda a reducir el tejido cicatricial. La aplicación de hielo es más efectiva en las primeras 72 horas, aunque puede continuar por más tiempo, y debe hacerse con precaución para evitar quemaduras. Se puede comenzar con movimientos suaves, pero esto es debatido. La inmovilización inicial puede prevenir más daños y limitar el tejido cicatricial, pero si se prolonga, puede causar debilidad muscular y pérdida de movilidad. Se sugiere inmovilizar por un máximo de 3 a 7 días antes de iniciar movimientos suaves. Investigaciones recientes muestran que comenzar a cargar peso pronto, tras cirugías de tendón de Aquiles o fracturas de tobillo, mejora la recuperación sin aumentar riesgos. Por lo tanto, es importante encontrar un balance entre el movimiento y la inmovilización (10, 11).

b. Fase Reparativa: Esta fase de rehabilitación comienza una vez que se ha controlado la hinchazón y se han reducido los efectos inflamatorios. En este momento, el tejido conectivo en curación sigue siendo frágil, pero puede tolerar un estrés controlado, aspecto clave en la restauración de la capacidad muscular. Según la ley de Wolff, aplicar tensión de manera adecuada a los huesos y tejidos lesionados favorece su curación y promueve la hipertrofia, contribuyendo así a su fortaleza. El propósito esencial de esta etapa es restaurar la flexibilidad y la fuerza en la zona afectada, mientras se mantiene un nivel de condición cardiovascular. Los ejercicios deben ser progresivos y, en la medida de lo posible, indoloros, ya que un exceso de tensión podría desencadenar una respuesta inflamatoria. Es crucial aplicar la tensión adecuada para evitar la rigidez del tejido, lo que podría retrasar la recuperación y causar adherencias. Durante esta fase, se proyecta un incremento relevante en la amplitud articular, lo que permite avanzar en el programa de rehabilitación hacia ejercicios de flexibilidad y fuerza. La fuerza se estimula de manera progresiva, utilizando métodos de baja resistencia y más repeticiones. Una vez optimizadas la movilidad y la fuerza, se integran ejercicios específicos para desarrollar la coordinación motriz y la agilidad funcional, esenciales para la funcionalidad y el rendimiento deportivo. Además, se enfatiza la restauración neuromuscular a través de intervenciones propioceptivas, preparando al paciente en el desarrollo de habilidades complejas requeridas en la fase de reincorporación al entrenamiento. Esta fase concluye cuando el rango de movimiento de la extremidad lesionada se puede realizar sin dolor y se ha recuperado la mayor parte de su movilidad (10, 11).

c. **Fase de retorno al Deporte:** Esta fase de rehabilitación comienza una vez que el paciente ha recuperado completamente el rango de movimiento, la fuerza muscular y la propiocepción adecuada. A pesar de sentirse libre de síntomas, es fundamental un retorno gradual y controlado al deporte para prevenir la reaparición de la lesión. Durante esta etapa, se realizan pruebas funcionales y ejercicios específicos del deporte, aumentando la intensidad y enfocándose en actividades de agilidad, coordinación y pliometría, lo que prepara al deportista para las exigencias de su disciplina. Es común que los atletas deseen regresar rápidamente a su nivel anterior, lo que puede generar impaciencia. Para facilitar la actividad sin dolor, se pueden utilizar soportes externos como aparatos ortopédicos o vendajes según sea necesario. Una vez que el atleta está asintomático, se incorporan ejercicios avanzados que refuerzan la resistencia del tejido y optimizan su rendimiento (10, 11).

5. **Inhibición Artrogénica:** Es un mecanismo fisiológico que implica la inhibición o facilitación de los músculos que rodean una articulación lesionada, con el fin de prevenir movimientos que podrían causar daño adicional (12).

6. **Principio de adaptación específica a las demandas impuestas (SAID):** Este principio es crucial en el diseño de programas de rehabilitación, basados en el ejercicio terapéutico. Establece que, para mejorar un aspecto específico del rendimiento, como la potencia muscular, el programa debe estar diseñado para satisfacer las demandas específicas de ese objetivo. En el caso de la potencia, se requiere de ejercicios que incrementen la carga de trabajo y se reduzca el tiempo de ejecución.

   Este principio se basa en la ley de Wolf, que indica que los sistemas corporales se adaptan a las tensiones que se les aplican. Así, este principio ayuda al fisioterapeuta deportivo a establecer parámetros de ejercicio que genere efectos de entrenamiento específicos, alineados con las necesidades y objetivos funcionales del deportista (13).

   Durante la rehabilitación, es fundamental que las tensiones impuestas a una estructura lesionada sean adecuadas para evitar agravar la lesión. Ejercicios demasiado intensos o prolongados pueden obstaculizar el proceso de curación, manifestándose en síntomas como hinchazón, aumento del dolor, estancamiento en la fuerza o rango de movimiento, y laxitud en ligamentos en recuperación. Ante estos signos, es necesario que el entrenador ajuste la intensidad del programa de rehabilitación.

Generalmente, la rehabilitación inicial incluye ejercicios submáximos realizados en sesiones cortas y frecuentes, adaptando la intensidad a medida que avanza la recuperación. Con el tiempo, a medida que el paciente mejora, la intensidad de los ejercicios puede incrementarse, y la frecuencia disminuir, hasta que finalmente se retome un régimen de acondicionamiento que incluya ejercicios de alta intensidad varias veces a la semana (14).

7. **Consideraciones Neuromusculares en la Rehabilitación:** La corteza motora busca lograr movimientos activando grupos musculares, mas no unidades motoras específicas. La coordinación neuromuscular compleja es aprendida con la práctica, pero las lesiones pueden limitar temporalmente esta capacidad. En la rehabilitación es esencial mejorar el control motor y reducir la inhibición artrogénica relacionada con el dolor. Los patrones de movimiento complejos se logran al disminuir la inhibición muscular, y realizar actividades deportivas específicas en etapas avanzadas de rehabilitación ayudan al deportista a recuperar sus habilidades. Es importante que el fisioterapeuta deportivo aplique conceptos de aprendizaje motor, aunque a menudo no es consciente de ello. A partir de instrucciones y realimentación adecuada, se podrá satisfacer las necesidades de aprendizaje del deportista (1).

Elementos Fundamentales del Ejercicio Terapéutico

En un programa de rehabilitación integral, se identifican dos componentes esenciales: las modalidades y el ejercicio terapéuticos. Las modalidades se utilizan para abordar los efectos iniciales de una lesión, como espasmos, dolor y edema. Por otro lado, el ejercicio terapéutico es fundamental con el fin de facilitar la reincorporación del atleta a sus actividades deportivas. Para que este ejercicio sea efectivo, es necesario intervenir en ciertos parámetros de manera secuencial, asegurando que cada uno se restablezca al menos a los niveles previos a la lesión. Esto permitirá al deportista participar de forma segura y normal en sus actividades (15).

Estos parámetros son:

1. Flexibilidad y amplitud de movimiento,
2. Fuerza y resistencia muscular,
3. Equilibrio, coordinación y agilidad,
4. Actividad funcional, y
5. Actividad específica para el rendimiento.

Los parámetros clave en un programa de rehabilitación se organizan de manera jerárquica, simulando una escalera, donde cada escalón depende del éxito del anterior. El primer escalón se encuentra en el alivio de la percepción nociceptiva y la gestión de efectos secundarios de las lesiones, como el derrame articular y el espasmo muscular, que se abordan principalmente mediante modalidades terapéuticas. A medida que se avanza por los escalones, se interviene la flexibilidad y la amplitud de movimiento, seguidas por el desarrollo de la fuerza y la resistencia muscular. Con el progreso se mejora el equilibrio, la coordinación y la agilidad, culminando en actividades funcionales y específicas para el rendimiento deportivo. Es importante mencionar que en el primer escalón se debe incluir también la corrección de deficiencias, sobre todo en patologías crónicas de origen no traumático. En este punto, el grupo interdisciplinario desempeña un papel de investigadores, buscando la causa subyacente de la patología y trabajando para corregir las deficiencias y sus causas (15).

Ejercicio Terapéutico

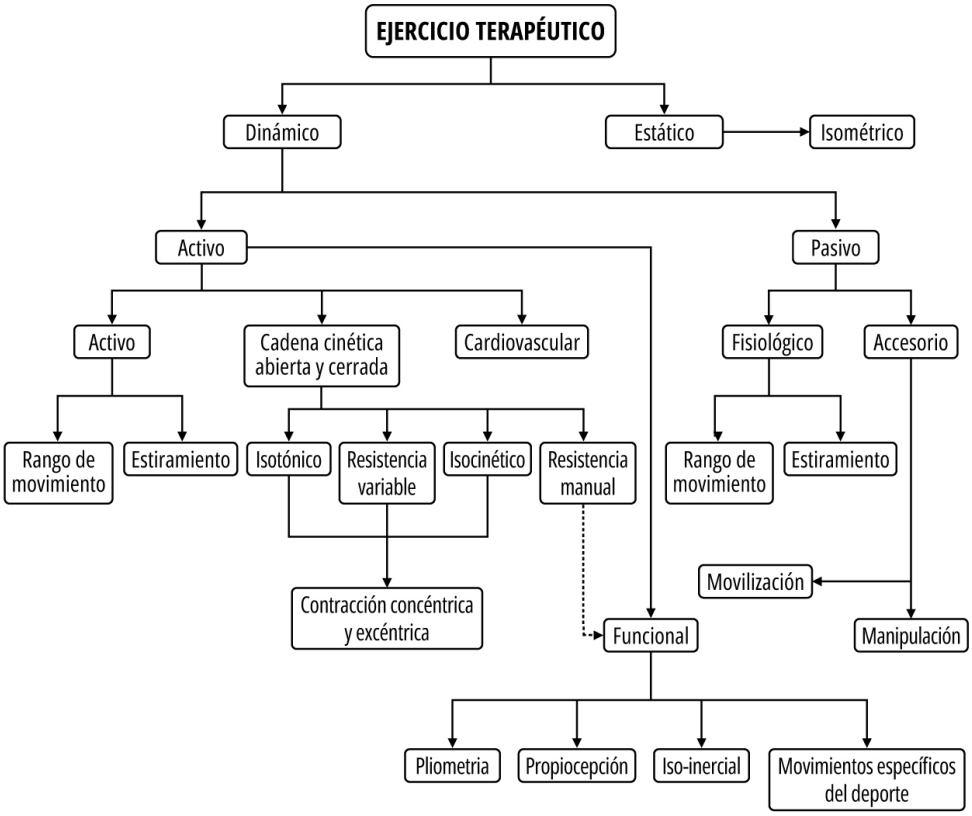
El ejercicio terapéutico se refiere a una actividad física prescrita con el propósito de restaurar o mejorar funciones específicas en un deportista tras haber sufrido una lesión. Un programa de rehabilitación completo debe centrarse en alcanzar metas concretas tanto a corto plazo. Aunque las modalidades terapéuticas son relevantes, no son el aspecto más crucial para el éxito de estos objetivos. La verdadera clave para una rehabilitación efectiva es el ejercicio terapéutico que permite a la estructura anatómica retomar su función habitual (1).

El término "Ejercicio Terapéutico" es comúnmente utilizado para referirse a los ejercicios incluidos en un programa de rehabilitación, que están diseñados específicamente para restaurar la capacidad funcional habitual tras un evento lesivo (14).

El ejercicio terapéutico implica realizar movimientos con el propósito de subsanar limitaciones funcionales, mejorar la función musculoesquelética o mantener el bienestar general. La clave está en el movimiento, que puede ser facilitado de manera pasiva por el fisioterapeuta o activamente por el propio deportista. Durante el movimiento pasivo, los músculos se estiran, mientras que con el movimiento activo, se contraen (16).

La siguiente figura presenta una clasificación de los diferentes ejercicios terapéuticos que un fisioterapeuta deportivo puede integrar en un programa de rehabilitación.

Figura 2. *Clasificación del Ejercicio Terapéutico*



Fuente: Tomado y Modificado de Dale (1)

Ejercicio Pasivo

El ejercicio pasivo, que es asistido por el fisioterapeuta deportivo, se emplea para alcanzar el rango de movimiento necesario cuando el movimiento activo no es recomendable, como tras una cirugía de la cadera, o para conservar el rango cuando el movimiento activo no se puede realizar (17). Este tipo de ejercicio consiste en mover las articulaciones mediante una fuerza externa, con mínima o nula participación del deportista atendido. Este tipo de ejercicio se divide en dos tipos: no forzado y forzado. Al aplicar un no forzado, se ayuda a mantener el movimiento normal de las articulaciones dentro de un rango indoloro, como cuando se realizan movilizaciones articulares de grado I. Por otro lado, los ejercicios pasivos forzados generan

movimiento contra la resistencia del tejido y pueden causar incomodidad; son más agresivos y deben ser realizados por fisioterapeutas deportivos capacitados (1).

El propósito de este tipo de ejercicios es restaurar los movimientos articulares accesorios y fisiológicos. Los movimientos accesorios son esenciales para que se realicen los movimientos fisiológicos, los movimientos accesorios describen cómo una interfaz anatómica entre extremos articulares se desplaza en relación con otra y se conoce como artrocinemática. Estos incluyen el giro, el rodamiento y el deslizamiento. A diferencia del movimiento fisiológico, este es voluntario. Los movimientos accesorios suelen acompañar al movimiento fisiológico y ambos ocurren al mismo tiempo. Aunque no pueden realizarse de manera independiente, los movimientos accesorios pueden ser generados por una fuerza externa (18). La restauración de movimientos como el giro, el rodamiento y el deslizamiento se lleva a cabo mediante movilización y manipulación por parte del fisioterapeuta.

Con relación a las evidencias, un estudio de Lee et al. analizó dos enfoques terapéuticos posteriores a la reparación artroscópica del manguito rotador en 64 hombros. El grupo A recibió rehabilitación pasiva temprana agresiva, mientras que el grupo B tuvo una rehabilitación pasiva limitada. Aunque el grupo A mostró mejoras más rápidas en el rango de movimiento durante los primeros tres meses, no hubo diferencias significativas al año de seguimiento, excepto en rotación interna. Ambos grupos experimentaron disminución del dolor, mejora en el movimiento y la función, pero el movimiento agresivo temprano podría aumentar el riesgo de fallas anatómicas (19).

En un informe de un caso clínico de Qiu & Ma, se describe la rehabilitación de un atleta recreativo de 25 años tras una cirugía por rotura del tendón rotuliano. La restauración del rango de movimiento articular comenzó al día siguiente de la cirugía con ejercicios de rango de movimiento (ROM) pasivo. En la Etapa 1 (0 a 2 semanas), se realizaron ejercicios pasivos de la rodilla. En la Etapa 2 (3 a 5 semanas), se restauró gradualmente la movilidad con ejercicios indoloros. En la Etapa 3 (6 a 11 semanas), el ROM alcanzó los 140°. Finalmente, en la Etapa 4 (12 a 16 semanas), se logró un ROM pasivo de 180° con ejercicios de movilidad articular. Este enfoque estructurado permitió una recuperación efectiva en 16 semanas, y se realizó una segunda cirugía en la semana 19 para retirar alambres de descompresión. La rehabilitación temprana mejoró significativamente la función y fuerza de la rodilla, abordando causas como tendinopatía no tratada y desequilibrios musculares (20).

Ejercicio Activo

Los ejercicios activos y asistidos son útiles para movilizar la articulación afectada, recuperar el control neuromuscular de una extremidad y permitir que el deportista participe en el ejercicio. El ejercicio activo implica la contracción muscular durante el movimiento articular, aunque el deportista puede no tener un control neuromuscular completo, lo que puede requerir asistencia para realizar la actividad. Se lleva a cabo sin la asistencia del fisioterapeuta ni el uso de dispositivos mecánicos (9). Estos ejercicios son generalmente seguros, salvo en casos de reparación muscular y tendinoso, donde el rango de movimiento activo está contraindicado en la etapa preliminar del abordaje rehabilitador (1).

En un proceso de rehabilitación, los ejercicios activos se inician en la etapa reparativa temprana, cuando haya disminución de la inflamación, cuando el dolor ya no es constante y no aumente con el movimiento (21). La etapa subaguda de curación es un período de transición en el que se pueden iniciar ejercicios activos dentro del rango indoloro del tejido lesionado, avanzando con precaución hacia ejercicios de fortalecimiento y resistencia, siempre respetando la tolerancia del tejido en recuperación. Si se mantiene una intensidad y frecuencia seguras, el dolor y la hinchazón tienden a disminuir con el tiempo. La respuesta del paciente es clave para determinar la velocidad y la intensidad del progreso. Si se observan signos de inflamación o una reducción en el rango de movimiento, se requiere una modulación en la carga del entrenamiento, ya que esto puede indicar el desarrollo de inflamación crónica y una cicatrización que limita el movimiento (21).

Ejercicio Estático (Isométrico)

Son aquellos que se realizan sin movimiento articular, manteniendo los músculos en una longitud fija mientras la tensión generada iguala la resistencia. Para optimizar el desarrollo de fuerza, es importante que los deportistas realicen ejercicios estáticos en diferentes ángulos articulares, como por ejemplo 20°, 50°, 110° o 135° de una flexión de codo. La duración de la tensión debe ser entre 3 y 10 segundos, y es fundamental evitar el esfuerzo excesivo durante la contracción, ya que esto puede inducir una elevación transitoria de la tensión arterial. No obstante, el entrenamiento estático con contracciones isométricas controladas puede ayudar a reducir la presión arterial en reposo (1).

La necesidad de fuerza estática y resistencia es crucial en el control corporal durante actividades funcionales, que a menudo requieren un equilibrio entre el control estático en una parte del cuerpo y la actividad dinámica en otra. La pérdida

de fuerza muscular estática puede ocurrir rápidamente con la inmovilización, estimándose una disminución de entre el 5% y el 8% por semana (13).

Las demandas funcionales suelen requerir mantener una posición contra alta resistencia por un corto tiempo o baja resistencia por un período prolongado. En este contexto, la resistencia muscular es más relevante que la fuerza para mantener la estabilidad postural y prevenir lesiones en actividades diarias. Por ejemplo, los músculos posturales del tronco y las extremidades inferiores se contraen isométricamente para mantener la posición erguida y proporcionar estabilidad (13).

Los ejercicios isométricos son una estrategia efectiva para mejorar la función muscular. Este tipo de ejercicios son empleados en el tratamiento inicial de diferentes lesiones, especialmente cuando el dolor limita el rango de movimiento (22). Estudios como el de Pucci et al.; Del Balso & Cafarelli reportaron aumentos significativos en la fuerza, que oscilan entre el 20% y el 35% tras 3 a 4 semanas de entrenamiento físico (23, 24).

Otro estudio realizado por Lee et al. investigó el impacto de diferentes tipos de contracciones musculares (isométricas, isotónicas e isocinéticas) en la fuerza funcional y la masa muscular. a pesar de que se han llevado a cabo múltiples investigaciones, los resultados no son concluyentes debido a la falta de estandarización en los ejercicios. En este estudio se compararon la fuerza muscular, la masa y el rendimiento funcional de 31 hombres no entrenados, quienes fueron asignados a grupos de entrenamiento isotónico, isométrico o isocinético, realizando ejercicios para el cuádriceps tres veces por semana durante ocho semanas. Los resultados mostraron un aumento significativo en la masa muscular magra en los participantes del grupo isométrico (+3,1%) e isotónico (+3,9%), mientras que solo el grupo de isocinético mejoró en la prueba de triple salto. A raíz de este estudio, los autores concluyen que el entrenamiento isométrico es una alternativa efectiva al isotónico para aumentar la masa muscular y al isocinético dirigido a mejorar la funcionalidad en entornos domésticos y de práctica deportiva (25).

Ejercicio Dinámico

Se define por la activación muscular que produce desplazamientos articulares y abarca diversas modalidades, como los ejercicios isotónicos de resistencia variable, manuales e isocinéticos, que se ajustan a la resistencia. Este tipo de ejercicios también pueden tener un enfoque más funcional, incluyendo ejercicios pliométricos, propioceptivos, inerciales y específicos del deporte.

El término "Isotónico" significa "tensión constante" o "misma tensión", pero es un concepto erróneo, ya que la tensión que genera un músculo varía durante el movimiento. La mayor tensión en un ejercicio isotónico se alcanza en la posición más débil del músculo. Por ejemplo, si un individuo logra levantar 18 kg durante una flexión de codo, este peso representa el máximo que los flexores del codo pueden soportar en su punto más débil, que se da cuando el ángulo del codo está a 90° y la gravedad es máxima. Aunque los flexores pueden levantar más peso al inicio y al final del movimiento, donde están en su longitud *óptima*, no logran superar los 18 kg en el punto más débil. Esto también implica que el peso se siente más liviano al principio y al final del movimiento, lo que permite al individuo levantarlo más rápido en estas fases, mientras que el movimiento se vuelve más lento al acercarse y al alejarse de los 90° (26).

En el ejercicio dinámico se producen dos tipos de acciones musculares: las contracciones concéntricas y las acciones **excéntricas**. En la contracción *concéntrica*, se produce una activación dinámica del sistema muscular en respuesta a estímulos que inducen tensión y se acorta físicamente. Esto ocurre cuando una fuerza interna supera una resistencia externa. Por ejemplo, al levantar un peso, el músculo se acorta mientras desarrolla la tensión necesaria para mover la carga (27, 28). Durante este tipo de contracción, la resistencia es menor que la tensión producida por la contracción muscular, por lo tanto, el musculo termina acortándose.

En contraste, las acciones *excéntricas* involucran una activación dinámica del músculo y la generación de tensión que es inferior a la resistencia externa. Esto resulta en un alargamiento del músculo mientras este controla, desacelera o amortigua la carga, como sucede al bajar un peso (13).

En un ejercicio de sentadilla, la contracción concéntrica sucede cuando el deportista extiende las piernas optando la postura bípeda desde las cuclillas. Durante ese movimiento, los músculos de los miembros inferiores, especialmente el grupo de cuádriceps y glúteos, se acortan para levantar el peso del cuerpo. Por otro lado, la acción excéntrica se produce cuando desciendes hacia la posición de cuclillas. Durante esta fase, los mismos grupos musculares (cuádriceps y glúteos) se alargan mientras amortiguan y controlan el descenso del cuerpo, lo que permite que el movimiento sea controlado y seguro. La fase excéntrica es crucial, ya que permite al musculo generar gran cantidad de fuerza para desacelerar el movimiento.

En una contracción concéntrica, las inserciones musculares se acercan entre sí, mientras que en la acción excéntrica se separan (29). Durante la contracción

concéntrica, el músculo activa su capacidad de acortamiento, generando fuerza que se transmite por el tendón hasta la articulación, facilitando el desplazamiento y alterando el ángulo articular. En las acciones excéntricas hay una disipación de energía mecánica al desacelerar los movimientos del cuerpo (30). Este tipo de acciones musculares se identifica o se ejecutan cuando un individuo baja por las escaleras, donde el grupo muscular cuádriceps se alarga generando fuerza y desacelerando el cuerpo. Adicionalmente, las acciones excéntricas permiten convertir la energía cinética en energía elástica que se almacena en los tendones, recuperando parcialmente esa energía y resultando en un menor esfuerzo muscular (31).

En las intervenciones con ejercicio isotónico, debido a la gravedad y las características del tejido, un individuo puede realizar una acción excéntrica con una mayor carga que la que puede realizar en una contracción concéntrica (32). El entrenamiento excéntrico se ha demostrado ser más efectivo que el entrenamiento concéntrico para aumentar la hipertrofia muscular y la fuerza. Las acciones musculares excéntricas requieren menos reclutamiento neuromotor que las concéntricas ante la misma resistencia, lo que refleja una eficiencia superior en la generación de fuerza. Esto resulta en menores requerimientos metabólicos, lo que a su vez se traduce en una menor activación simpática y niveles de lactato en sangre durante las acciones excéntricas (33). Diversas investigaciones han demostrado que el entrenamiento excéntrico demuestra mayor eficacia que el concéntrico en la promoción de la hipertrofia y el desarrollo de fuerza muscular. Las acciones de ejercicio excéntrico generan un mayor torque con menor activación muscular y un retraso electromecánico en comparación con las acciones concéntricas. Además, requieren menos energía metabólica y activan más las fibras musculares Tipo IIx. Esto permite que el ejercicio excéntrico optimice la eficacia del entrenamiento, logrando mejores adaptaciones en menos tiempo para atletas de alto rendimiento. Sin embargo, a pesar de sus beneficios, el entrenamiento ejercicio excéntrico también puede causar hinchazón y reducir el rango de movimiento, lo que está asociado con cambios en la rigidez muscular y una notable pérdida de fuerza entre 24 y 72 horas después del ejercicio (34).

Las contracciones concéntricas se utilizan para acelerar las extremidades, como sucede con el grupo muscular cuádriceps que impulsa la pierna hacia adelante para saltar. Por otro lado, las acciones excéntricas se utilizan para desacelerar las extremidades y adsorber impactos, como el grupo de isquiotibiales que controlan el descenso de la pierna al aterrizar tras un salto. Una diferencia significativa es que las acciones excéntricas pueden generar entre un 14% y un

50% más de fuerza en comparación con las contracciones concéntricas. Esto anterior se debe a dos razones: 1-el trabajo mecánico previo de las proteínas de actina y miosina permite que se separen bajo tensión controlada, lo que requiere menos energía; y 2-se ahora energía gracias a la elongación de los componentes elásticos del músculo (1).

De manera tradicional, el entrenamiento de resistencia se ha centrado en las contracciones concéntricas, sin embargo, en tiempos recientes ha sido destacada la relevancia de las acciones excéntricas, especialmente en la rehabilitación de lesiones deportivas. Estas acciones son cruciales para desacelerar movimientos rápidos, como en el caso de un lanzador de béisbol, el cual depende de las acciones excéntricas de los rotadores externos de la articulación glenohumeral para desacelerar el húmero. En programas de rehabilitación, es fundamental incluir entrenamiento excéntrico para mejorar la fuerza y prevenir lesiones (35).

Para maximizar la hipertrofia, es esencial combinar las contracciones concéntricas y las acciones excéntricas. La literatura indica que el musculo debe ser sobrecargado y fatigado tanto en concéntrico como en excéntrico para lograr mejoras significativas en la fuerza. La recomendación es trabajar una fase concéntrica que dure de 1 a 2 segundos y una fase excéntrica de 2 a 4 segundos, manteniendo una relación 1:2. No obstante, las acciones excéntricas prolongadas afectan negativamente los movimientos explosivos, mientras que las más cortas pueden causar mayor dolor. Fisiológicamente, el músculo se fatiga más rápido durante las contracciones concéntricas que en las acciones excéntricas (35).

Las intervenciones por medio de trabajo concéntrico son efectivas para reducir el dolor (36). Las acciones musculares en fase excéntrica se distinguen por una mayor producción de fuerza rotacional y una menor demanda neuromuscular (37, 38). Adicionalmente, el entrenamiento excéntrico conduce a una mejor adaptación muscular en deportistas de alto rendimiento en un tiempo más corto (39). También hay evidencia que indica que, si se realiza correctamente, el entrenamiento excéntrico puede ayudar a prevenir lesiones (40). A pesar de sus múltiples beneficios, el entrenamiento excéntrico puede provocar dolor, hinchazón y una reducción en el rango de movimiento debido al daño en las fibras musculares, lo que puede resultar en debilidad muscular (41). Por lo tanto, el efecto de los ejercicios excéntricos y concéntricos sobre los parámetros musculares sigue siendo un tema de discusión, y los mecanismos que regulan estas adaptaciones no se han esclarecido completamente (31).

Es importante señalar que los entrenamientos excéntricos en individuos no entrenados se asocian a un mayor riesgo de lesiones en comparación con un entrenamiento de contracciones concéntricas con la misma carga (42), por lo tanto, es fundamental adaptar los programas de entrenamiento o intervención a cada individuo o deportista para maximizar sus beneficios, mejorar la adherencia y reducir el riesgo de lesiones. No obstante, se ha observado que realizar entrenamientos excéntricos o isométricos puede ofrecer un efecto protector contra lesiones musculares en acciones excéntricas posteriores (43).

a) **Carga y desarrollo de la fuerza muscular:** las acciones excéntricas generan más fuerza que las contracciones concéntricas bajo las mismas condiciones, permitiendo controlar cargas mayores al bajarlas. Esta diferencia se debe a que, en el ejercicio excéntrico, la fuerza se regula tanto por los componentes contráctiles del músculo como por el tejido conectivo no contráctil. En contraste, en el ejercicio concéntrico, solo intervienen los componentes contráctiles, lo que requiere reclutar más unidades motoras y resulta en un esfuerzo mayor para controlar la misma carga.

b) **Velocidad del Ejercicio:** la velocidad afecta la capacidad de fuerza de la unidad neuromuscular. Disminuir la resistencia externa permite contracciones concéntricas más rápidas y con menor tensión, mientras que aumentarla permite acciones excéntricas con alta tensión, que requieren *más fuerza a medida que la carga aumenta, hasta alcanzar un límite en la generación de fuerza*.

c) **Requerimiento Energético:** el ejercicio excéntrico es más eficiente metabólicamente que el concéntrico, ya que requiere menos oxígeno y energía. Esto permite que actividades como el descenso de escaleras mejoren la resistencia muscular de forma más efectiva, ya que la fatiga se desarrolla más lentamente.

d) **Entrenamiento por Irradiación:** este efecto se observa tanto en entrenamientos excéntricos como concéntricos, lo cual, provoca un leve aumento de fuerza en el grupo muscular del lado contrario al ejercitado. Este efecto puede deberse a la necesidad de estabilizar el cuerpo durante ejercicios intensos.

e) **Dolor Muscular de Origen Tardío (DOMS):** las acciones excéntricas de alta intensidad tienden a causar más DOMS que las concéntricas, posiblemente debido a un mayor daño muscular. Sin embargo, la intensidad y el volumen son iguales, no hay diferencias significativas en el DOMS. La progresión del ejercicio excéntrico puede prevenir la aparición del DOMS.

Actividad/Ejercicio Isocinético

La actividad isocinética se caracteriza por ser dinámica, ya que implica movimiento. A diferencia de la actividad isotónica, en la isocinética la velocidad del movimiento se mantiene constante. El término "isocinético" significa "*movimiento constante*" y se refiere a la velocidad invariable que se mantiene durante la actividad. Aunque la velocidad es constante, la resistencia que se aplica al grupo muscular a lo largo de su rango de movimiento varía (26).

Por ejemplo, al realizar una extensión de rodilla, en un ejercicio isocinético, la articulación se mueve a una velocidad uniforme. Sin embargo, para mantener esa velocidad, la resistencia debe ajustarse: en las fases donde el ejercicio isotónico sería más sencillo, la resistencia en el ejercicio isocinético será mayor, y en las fases donde el isotónico sería más desafiante, la resistencia isocinética será menor, adaptándose así a la fuerza variable del músculo.

Imagen 1. *Dinamómetro Isocinético*



Fuente: tomado de Biodex, System 4 pro

La resistencia que el músculo enfrenta varía según la fuerza que se aplique al equipo, lo que hace que el ejercicio isocinético también se conozca como "Ejercicio de Resistencia Acomodativa". Cuando un deportista realiza un esfuerzo máximo, el torque producido se ajusta según el desplazamiento articular, en función de la elongación o acortamiento muscular. El dinamómetro isocinético, que es el dispositivo utilizado para las actividades y ejercicio isocinético, mide este momento de fuerza variable y ajusta la resistencia externa para mantener la velocidad constante, teniendo en cuenta la gravedad y la fuerza muscular en movimientos verticales (13).

Los dinamómetros isocinéticos se pueden ajustar para proporcionar actividades concéntricas/concéntricas, concéntricas/excéntricas o excéntricas/excéntricas a diferentes velocidades (1).

El ejercicio o entrenamiento isocinético es fundamental en los procesos de rehabilitación posoperatoria, ayudando a los deportistas a recuperar la potencia y la resistencia necesarias para volver a su nivel deportivo anterior. Los programas de entrenamiento isocinético se enfocan en ejercicios funcionales que abarcan fuerza muscular, equilibrio, propiocepción y pliometría. Este tipo de entrenamiento ha demostrado que el entrenamiento isocinético reduce significativamente el dolor y las deficiencias funcionales en los deportistas con lesiones de ligamento cruzado anterior (45).

La dinamometría isocinética permite ajustar las velocidades de ejercicio desde 0˚/s (nivel isométrico) hasta 500˚/s, clasificándose en lentas, medias y rápidas. Es fundamental que estas velocidades coincidan con las demandas funcionales, ya que las más rápidas simulan movimientos como caminar, donde la velocidad promedio es de 230˚ a 240˚/s. sin embargo, muchas actividades superan las velocidades de entrenamiento deben seleccionarse según el tipo de ejercicio, siendo el rango para el ejercicio concéntrico mayor que para el excéntrico (13).

Tabla 1. *Clasificación de la Velocidad de Entrenamiento en Ejercicios Isocinéticos Concéntricos*

Clasificación	Velocidad Angular
Isométrico	0°/s
Lento	30°-60°/s
Medio	60°-180° o 240°/s
Rápido	180° o 240°-360°/s o más

Nota. Las velocidades de entrenamiento tienden a ser sustancialmente más lentas para el entrenamiento excéntrico, oscilando entre 30˚ y 120˚/s y la mayoría del entrenamiento excéntrico se inicia entre 60˚ y 120˚/s.

Fuente: Tomado de Colby (13)

En un estudio de Mesnard et al (45). evaluaron la fuerza preoperatoria del cuádriceps y los isquiotibiales en pacientes que habían sufrido una lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) antes de su reconstrucción. Los participantes fueron clasificados en tres grupos según el tiempo transcurrido desde la lesión: menos de 3 meses, de 3 a 6 meses y de 6 a 12 meses. Se realizaron pruebas de fuerza muscular isocinética y se compararon el índice de simetría de los isquiotibiales y cuádriceps, así como las relaciones isquiotibiales/cuádriceps. Los resultados mostraron que no había diferencias significativas en edad, índice de masa corporal o rango de movimiento entre los grupos, aunque se observó una mayor proporción de mujeres en el grupo de 6 a 12 meses. Sin embargo, la relación isquiotibial/cuádriceps fue significativamente más alta en este último grupo en comparación con los otros dos, específicamente en pruebas a 240˚/s. No se encontró correlación entre el sexo y los índices de simetría o las relaciones musculares. En conclusión, los pacientes evaluados entre 6 y 12 meses después de la lesión del LCA presentaron una mejor relación isquiotibiales/cuádriceps en comparación con aquellos evaluados antes de los 6 meses, aunque no se observaron diferencias en el índice de simetría de los músculos en función del tiempo transcurrido desde la lesión.

Ejercicio de Resistencia Manual

Son técnicas activas en las que el fisioterapeuta deportivo aplica fuerza durante contracciones musculares del deportista, ya sean dinámicas (isotónicas) o estáticas (isométricas). La resistencia se aplica a lo largo del rango de movimiento permitido de la articulación y puede realizarse en planos anatómicos, patrones

diagonales como la Facilitación Neuro Propioceptiva (FNP), o en combinaciones que imitan actividades funcionales. En la rehabilitación, este tipo de ejercicio que precede a los ejercicios activos asistidos y activos forma parte de un enfoque integral para mejorar o restaurar el rendimiento muscular (13).

Tabla 2. *Ventajas y Desventajas de los Ejercicios de Resistencia Manual*

Ventajas	Desventajas
• Eficaz en las primeras etapas de la rehabilitación, cuando los músculos son débiles (fuerza de 4/5 o menos) • Facilita la transición de movimientos asistidos a aquellos con resistencia mecánica. • Ofrece una resistencia más precisa que la resistencia mecánica. • La resistencia se ajusta a lo largo del rango de movimiento, respondiendo a los esfuerzos del deportista o a áreas dolorosas. • Permite que el músculo trabaje al máximo en todo su rango de movimiento. • El fisioterapeuta deportivo puede controlar cuidadosamente el rango de movimiento de la articulación, protegiendo los tejidos en recuperación y evitando movimientos en áreas inestables. • Es útil para el fortalecimiento dinámico como estático. • La estabilización manual directa previene movimientos compensatorios. • Se puede realizar en diversas posiciones del deportista. • La aplicación de la resistencia se puede ajustar fácilmente. • Permite al fisioterapeuta deportivo interactuar directamente y monitorear continuamente el desempeño del paciente.	• La carga o cantidad de resistencia del ejercicio es subjetiva y no se puede medir ni documentar cuantitativamente, lo que dificulta establecer una línea de base o evaluar mejoras en el rendimiento muscular. • La resistencia está limitada por la fuerza del fisioterapeuta deportivo, lo que puede no ser suficiente para fortalecer grupos musculares ya fuertes. • La velocidad de movimiento es lenta a moderada, lo que puede no ser representativo de la mayoría de las actividades funcionales. • El deportista no puede realizar la mayoría de los ejercicios de forma independiente. • Requiere un considerable esfuerzo y tiempo por parte del fisioterapeuta. • No es práctico para mejorar la resistencia muscular, ya que consume demasiado tiempo

Fuente: Tomado de Colby (13)

Consideraciones en la Aplicación de Ejercicios de Resistencia Manual

Es fundamental asegurarse de que la camilla esté a una altura adecuada para facilitar una correcta mecánica corporal, lo que ayudará a prevenir tensiones en la zona lumbar. La mecánica corporal debe ir acompañada de una base de sustentación amplia, que se logra mediante el uso de los miembros inferiores del fisioterapeuta deportivo. Esto favorece la estabilidad y permite un ajuste de peso adecuado durante la aplicación de técnicas.

En cuanto a la aplicación de resistencia y estabilización, es importante ajustar la resistencia para que coincida con la capacidad muscular del paciente a lo largo de su rango de movimiento. Se debe estabilizar la articulación proximal mientras se aplica resistencia de manera distal. La resistencia debe ser aplicada y liberada de forma gradual. Durante las contracciones isométricas alternas de los músculos agonistas y antagonistas, es crucial mantener el contacto manual y evitar relajaciones bruscas entre las contracciones.

Las órdenes verbales deben estar sincronizadas con la aplicación de la resistencia para mantener un control efectivo del movimiento. Es recomendable utilizar órdenes simples y directas. Además, el fisioterapeuta deportivo debe diferenciar y emplear órdenes específicas para indicar contracciones isométricas, concéntricas y excéntricas.

Finalmente, el número de repeticiones y los intervalos de descanso deben ajustarse según la capacidad del deportista en rehabilitación y la fuerza del fisioterapeuta. Generalmente, se recomienda realizar entre 8 y 12 repeticiones, evitando la aparición de fatiga durante los períodos de descanso.

Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (FNP)

Los términos “técnicas de facilitación propioceptiva” y “rehabilitación neuromuscular” se utilizaron inicialmente para describir lo que hoy conocemos como facilitación neuromuscular propioceptiva (FNP). Para entender la historia de este método, es importante considerar sus orígenes, su desarrollo y la evidencia de su evolución, así como las contribuciones de profesionales a lo largo del tiempo (46).

El Dr. Herman Kabat, M.D., PhD., es el creador del método PNF. Su trayectoria es notable: obtuvo su licenciatura en ciencias en 1932 y su doctorado en neurología en 1935, ambos en instituciones de renombre. Entre 1932 y 1936, fue miembro de neurología y anatomía en la Universidad Northwestern. En 1936, se unió a la

Universidad de Minnesota como profesor de fisiología y continuó sus estudios en medicina, obteniendo su título en 1942. Durante 1942-1943, fue profesor adjunto de fisiología y neuropsiquiatría, convirtiéndose en un neurofisiólogo clínico destacado en su *época* (46).

Las técnicas de la FNP se emplean para establecer demandas específicas que aseguren una respuesta deseada. La facilitación se define como la promoción o aceleración de procesos naturales, opuesta a la inhibición, y se refiere al efecto que un impulso tiene en el tejido nervioso, facilitando una respuesta más rápida a estímulos posteriores. Por otro lado, "propioceptivo" se refiere a la recepción de estímulos dentro de los tejidos del cuerpo, mientras que "neuromuscular" se relaciona con nervios y músculos. En conjunto, las técnicas de FNP se pueden definir como métodos que promueven la respuesta del sistema neuromuscular mediante la estimulación de los propioceptores (46).

La filosofía de la FNP se basa en varios principios fundamentales:

1. **Enfoque integral**: El tratamiento se dirige al individuo en su totalidad, no solo a un problema específico o a una parte del cuerpo.
2. **Movilización de reservas**: El terapeuta se enfoca en activar el potencial no explotado de cada paciente.
3. **Perspectiva positiva**: El tratamiento se centra en lo que el paciente puede lograr, tanto física como psicológicamente.
4. **Máximo funcionamiento**: El objetivo es ayudar a los pacientes a alcanzar su nivel más alto de funcionamiento.
5. **Aprendizaje y control motor**: Para lograr este nivel óptimo, se integran principios de control y aprendizaje motores, abordando el tratamiento a nivel de estructuras corporales, actividades y participación (según la Clasificación Internacional del Funcionamiento de la OMS).

Además, el movimiento es fundamental para la interacción con el entorno, y los procesos sensoriales y cognitivos influyen en la salida motora. La comunicación y el intercambio de información son esenciales en la terapia, especialmente en las etapas iniciales del aprendizaje motor y en la rehabilitación, donde el terapeuta proporciona información externa crucial para el paciente que ha perdido su capacidad de confiar en su información interna (47).

Los principios neurofisiológicos fundamentales en los que se basa la FNP fueron desarrollados por Sir Charles Sherrington (47). Sus definiciones clave incluyen:

1. **Posdescarga:** El efecto de un estímulo persiste incluso después de que este ha cesado. A mayor fuerza y duración del estímulo, mayor será la posdescarga, lo que explica la sensación de mayor potencia tras una contracción estática.
2. **Suma temporal**: Se refiere a la acumulación de estímulos débiles (subliminales) que, al sucederse, generan excitación.
3. **Suma espacial**: Estímulos débiles aplicados simultáneamente en diferentes partes del cuerpo se refuerzan entre sí, provocando excitación. La combinación de suma temporal y espacial puede intensificar la actividad.
4. **Irradiación**: Es la propagación y aumento de la fuerza de una respuesta, que ocurre al incrementar el número o la intensidad de los estímulos, pudiendo resultar en excitación o inhibición.
5. **Inducción sucesiva**: La estimulación de los músculos antagonistas provoca un aumento en la excitación de los músculos agonistas, lo que se utiliza en técnicas que invierten la acción de los agonistas.
6. **Inervación recíproca**: La contracción de un músculo se acompaña de la inhibición de su antagonista, lo cual es esencial para el movimiento coordinado y se aplica en técnicas de relajación.

La FNP se describe como un enfoque de rehabilitación holístico que se centra en el aprendizaje motor. Se distingue por la aplicación de principios y procedimientos de facilitación específicos, junto con técnicas diseñadas para alcanzar objetivos de tratamiento personalizados (48).

Los procedimientos fundamentales del FNP, que incluyen patrones de movimiento rotacionales y diversas técnicas como estabilización rítmica, inversiones dinámicas, combinaciones isotónicas, contracciones repetidas y contracción-relajación, se utilizan para mejorar la flexibilidad, la fuerza muscular y el movimiento. El enfoque del FNP se centra en optimizar la coordinación articular, la fuerza, el control del movimiento, la estabilidad y la movilidad, con el objetivo principal de alcanzar el máximo nivel funcional posible (49).

Los mecanismos teóricos de la FNP comprenden la *Inhibición Autógena* que reduce la excitabilidad del músculo agonista durante el estiramiento o contracción máxima a través de los órganos tendinosos de Golgi; la *Inhibición Reciproca* disminuye la actividad del músculo antagonista al contraer el agonista; y la *Relajación del Estrés* implica la aplicación de tensión continua en los músculos y tendones asociados (50).

Técnicas de la FNP

Iniciación Rítmica: Es un movimiento rítmico en una sola dirección de una extremidad o del cuerpo, que inicia con un movimiento pasivo y avanza hacia un movimiento activo que incluye resistencia.

Los *objetivos* de este enfoque son diversos y se centran en facilitar el proceso de movimiento. En primer lugar, se busca ayudar a los pacientes a iniciar el movimiento de manera efectiva. Además, se pretende mejorar la coordinación y la percepción del movimiento, lo que es fundamental para un desempeño adecuado. Otro objetivo es normalizar la velocidad del movimiento, ya sea incrementándola o reduciéndola según sea necesario. También se incluye la enseñanza de los patrones de movimiento correctos, lo que contribuye al aprendizaje motor. Por último, se busca normalizar la tensión muscular, lo que permite al paciente alcanzar un estado de relajación.

Las *indicaciones* para este enfoque incluyen diversas dificultades que pueden experimentar los pacientes. En primer lugar, se considera a aquellos que tienen problemas para iniciar el movimiento. También se atiende a quienes presentan un movimiento que es excesivamente lento o, por el contrario, demasiado rápido. Además, se abordan los casos de movimiento descoordinado o disrítmico, como la ataxia y la rigidez producto de algún traumatismo en la cabeza. Otro aspecto importante es la necesidad de regular o normalizar el tono muscular, así como la tensión general que pueda estar presente en el paciente.

En la *Ejecución*, el fisioterapeuta deportivo inicia el proceso moviendo al deportista de manera pasiva a través del rango de movimiento, utilizando la velocidad de las órdenes verbales para establecer el ritmo. El objetivo del movimiento se puede comunicar al deportista mediante estímulos verbales, visuales y/o táctiles, permitiendo que el deportista asuma un papel activo desde el punto de vista cognitivo durante la fase de movimiento pasivo.

A continuación, se le solicita al deportista que comience a colaborar, trabajando activamente en la dirección deseada, mientras que el movimiento de retorno es realizado por el fisioterapeuta deportivo. Este último resiste el movimiento activo, manteniendo el ritmo con las órdenes verbales. Para concluir, el deportista debe ser capaz de realizar el movimiento de forma independiente.

Combinación de Isotónicos: Se trata de contracciones combinadas que incluyen movimientos concéntricos, excéntricos y estabilizadores de un grupo de músculos (agonistas) sin permitir la relajación. En el tratamiento, se debe iniciar en el punto donde el deportista tenga mayor fuerza o mejor coordinación.

Los *objetivos* de esta técnica incluyen el desarrollo del control activo del movimiento, la mejora de la coordinación y el aumento del rango de movimiento activo. Además, se busca fortalecer los músculos involucrados y proporcionar un entrenamiento funcional que se enfoque en el control excéntrico del movimiento.

Las *indicaciones* para aplicar esta técnica incluyen la disminución del control excéntrico, la falta de coordinación o la incapacidad para moverse en la dirección deseada. También se considera en casos de reducción del rango de movimiento activo y en situaciones donde hay una falta de movimiento activo dentro del rango de movimiento disponible.

En la *Ejecución*, el fisioterapeuta deportivo resiste activamente el movimiento del deportista a lo largo de un rango de movimiento deseado (contracción concéntrica). Al final del movimiento, el fisioterapeuta le indica al deportista que mantenga esa posición (contracción estabilizadora). Una vez que se logra la estabilidad, el fisioterapeuta le indica al deportista que permita que la parte se mueva lentamente de regreso a la posición inicial (contracción excéntrica). No hay relajación entre los diferentes tipos de actividades musculares y las manos del fisioterapeuta permanecen sobre la misma superficie, controlando con una contracción excéntrica de los músculos extensores del tronco. “Ahora déjame empujarte hacia adelante, pero lentamente”.

Estabilización Rítmica: Consiste en contracciones isométricas alternadas que se realizan contra resistencia, sin buscar un movimiento intencional.

Los objetivos de esta técnica son diversos e incluyen el aumento tanto del rango de movimiento activo como pasivo. Además, se busca incrementar la fuerza del deportista, así como mejorar su estabilidad y equilibrio. Por último, también se pretende reducir el dolor que pueda experimentar durante el proceso de rehabilitación o entrenamiento.

La técnica de estabilización rítmica está *indicada* para aquellos que presentan un rango de movimiento limitado y que experimentan dolor, especialmente al intentar realizar movimientos. También es adecuada para personas con inestabilidad articular, debilidad en el grupo muscular antagonista o disminución del equilibrio.

Sin embargo, es importante tener en cuenta ciertas *contraindicaciones*. Esta técnica puede resultar demasiado difícil para pacientes con afectación cerebelosa. Además, no se recomienda su aplicación en aquellos pacientes que

no pueden seguir instrucciones debido a su edad, dificultades en el lenguaje o disfunciones cerebrales.

En la *Ejecución*, El fisioterapeuta deportivo resiste una contracción isométrica del grupo muscular agonista. El deportista mantiene la posición de la parte afectada sin intentar moverla. La resistencia se incrementa lentamente a medida que el deportista desarrolla una fuerza equivalente.

Cuando el deportista responde completamente, el fisioterapeuta comienza a ajustar la resistencia para que se oponga al movimiento antagonista. Ni el fisioterapeuta ni el deportista se relajan mientras se realiza este cambio en la resistencia. La nueva resistencia se aumenta de manera gradual. Una vez que el deportista vuelve a responder por completo, el fisioterapeuta inicia nuevamente el ajuste de la resistencia para oponerse al movimiento antagonista.

Se puede utilizar tracción o aproximación según lo indique la condición del deportista. Las inversiones se repiten con la frecuencia necesaria. Se debe emplear una orden estática, como "Quédese ahí" o "No intente moverse".

Contraer-Relajar: Para los autores, los músculos antagonistas son restrictivos o contraídos, mientras que los agonistas son músculos opuestos.

Contraer-Relajar/Tratamiento Directo: Esta técnica consiste en realizar una contracción isotónica resistida o una contracción isométrica de los músculos antagonistas (restrictivos), seguida de una fase de relajación y un movimiento hacia un nuevo rango de movimiento ampliado.

El *objetivo* de esta técnica es aumentar el rango de movimiento pasivo.

Esta técnica está *indicada* para aquellos deportistas que presentan una disminución del rango de movimiento pasivo, producto de una lesión.

Para su *ejecución*, el fisioterapeuta deportivo y el deportista mueven la articulación o segmento corporal hasta alcanzar el final del rango de movimiento pasivo. Se prefiere que el movimiento sea activo o que se realice contra una ligera resistencia, debido a la influencia positiva de la inervación recíproca. El fisioterapeuta le solicita al deportista que realice una contracción fuerte del músculo o patrón restrictivo (antagonistas), y se sugiere que esta contracción se mantenga durante al menos 5 a 8 segundos.

Una contracción máxima en la posición más elongada de la cadena muscular puede provocar un cambio estructural en el complejo actina-miosina. Se permite un movimiento mínimo para que el fisioterapeuta esté seguro de que todos los músculos deseados, especialmente los rotadores, están contrayéndose

adecuadamente. Después de un tiempo suficiente, el fisioterapeuta indica al deportista que se relaje, y ambos se toman un momento para relajarse.

A continuación, la articulación o parte del cuerpo se reposiciona, ya sea de manera activa por el deportista o pasivamente por el fisioterapeuta, hasta el nuevo límite del rango pasivo. Se prefiere que este movimiento sea activo y puede incluir resistencia. La técnica se repite hasta que no se logre ganar más rango. Finalmente, se realiza un ejercicio activo con resistencia de los músculos agonistas y antagonistas en el nuevo rango de movimiento, lo que concluye la actividad.

Contraer-Relajar/Tratamiento Indirecto: esta técnica se basa en la contracción de los músculos agonistas en lugar de los músculos que presentan acortamiento.

Se *indica* indirectamente cuando la contracción de los músculos restrictivos resulta demasiado dolorosa o débil para generar una contracción efectiva.

Sostener-Relajar: Los autores denominan "antagonistas" a los músculos restrictivos o contraídos, mientras que los patrones o músculos opuestos son referidos como "agonistas".

Sostener-Relajar/Tratamiento Directo: Se trata de una contracción isométrica resistida de los músculos antagonistas (músculos acortados), seguida de un periodo de relajación.

Los *objetivos* de esta técnica se basan en aumentar el rango de movimiento pasivo y en disminuir el dolor.

Las *indicaciones* para la contracción isométrica resistida incluyen la disminución del rango pasivo de movimiento y la presencia de dolor. Esta técnica también es apropiada si el paciente no tolera el control directo del terapeuta. Además, se puede utilizar cuando las contracciones isotónicas del paciente son demasiado fuertes para que el terapeuta las controle adecuadamente. Por otro lado, una contraindicación importante es que el paciente no pueda realizar una contracción isométrica, lo que impediría la aplicación efectiva de esta técnica.

Para la *Ejecución*, con la intención de aumentar el rango de movimiento, el fisioterapeuta deportivo o el deportista mueve la articulación o el segmento corporal hasta alcanzar el final del rango de movimiento pasivo o sin dolor, siendo preferible el movimiento activo. El fisioterapeuta deportivo puede ofrecer resistencia siempre que esto no cause dolor.

Al llegar al límite del rango posible, el fisioterapeuta deportivo solicita al deportista que realice una contracción isométrica del músculo o patrón restrictivo (antagonistas), con un enfoque en la rotación. Los autores sugieren que esta contracción debe mantenerse durante al menos 5 a 8 segundos. La resistencia se incrementa de manera gradual, y ni el deportista ni el fisioterapeuta deportivo deben intentar realizar ningún movimiento durante este tiempo.

Después de mantener la contracción el tiempo necesario, el fisioterapeuta deportivo le pide al deportista que se relaje, y ambos se relajan progresivamente. Luego, la articulación o parte del cuerpo se reposiciona de forma activa o pasiva hasta el nuevo límite de rango, siendo preferible el movimiento activo si no causa dolor. Se puede ofrecer resistencia al movimiento siempre que no genere dolor. Finalmente, se repiten todos los pasos en el nuevo límite de rango.

Para disminuir el dolor, el deportista se coloca en una posición cómoda. El fisioterapeuta deportivo ofrece resistencia a una contracción isométrica de los músculos que afectan el segmento que presenta dolor.

Sostener-Relajar/Tratamiento Indirecto: En el tratamiento indirecto mediante la técnica de sostener-relajar, se aplica resistencia a los músculos sinérgicos de aquellos que están acortados o que presentan dolor, evitando así los músculos que duelen o el movimiento que causa dolor. Si esta técnica continúa provocando dolor, se ofrece resistencia a los músculos sinérgicos del patrón opuesto.

Esta técnica está i*ndicada* cuando la contracción de los músculos restringidos es demasiado dolorosa.

En la *ejecución*, el deportista se posiciona de manera cómoda. El fisioterapeuta deportivo ofrece resistencia a las contracciones isométricas de los músculos sinérgicos que están alejados del área dolorosa. La resistencia se incremente de forma gradual y se mantiene en un nivel que no causa dolor. Durante la fase de relajación, la resistencia se reduce lentamente.

Patrones de la FNP

Los patrones de FNP consisten en movimientos multiarticulares, multiplanares, diagonales y rotacionales que involucran las extremidades, el tronco y el cuello. Durante estos movimientos, varios grupos musculares se contraen al mismo tiempo. Se identifican dos pares de patrones diagonales para las extremidades superiores e inferiores: diagonal 1 (D1) y diagonal 2 (D2), que pueden ejecutarse en direcciones de flexión o extensión, denominándose D1Flexión, D1Extensión, D2Flexión y D2Extensión. Aunque abarcan el movimiento en todas las

articulaciones de la extremidad, se nombran según la posición del hombro o la cadera al finalizar el patrón. Cada patrón combina flexión o extensión con abducción o aducción, así como rotación externa o interna. Los patrones pueden realizarse de manera unilateral o bilateral, siendo estos últimos simétricos, asimétricos o recíprocos. También hay patrones específicos para la escápula y la pelvis, así como técnicas que integran movimientos diagonales en actividades funcionales como rodar, gatear y caminar. Existen numerosos recursos que detallan y muestran las diversas variaciones y aplicaciones de las técnicas de FNP (13).

Tabla 3. *Patrones de la FNP*

Miembros Superiores	**Hombro**	**Antebrazo/Muñeca**
D1 Flexión	Flexión, aducción y rotación externa	Supinación, flexión de muñeca y dedos y desviación radial
D1 Extensión	Extensión, Abducción y rotación interna	Pronación, extensión de muñeca y dedos, y desviación ulnar
D2 Flexión	Flexión, Abducción y rotación externa	Supinación, extensión de muñeca y dedos, y desviación radial
D2 Extensión	Extensión, aducción y rotación interna	Pronación, extensión de muñeca y dedos, y desviación ulnar
Miembros Inferiores	**Cadera**	**Tobillo/Pie**
D1 Flexión	Flexión, aducción y rotación externa	Dorsiflexión, inversión y extensión de dedos
D1 Extensión	Extensión, Abducción y rotación interna	Plantiflexión, eversión y flexión de dedos
D2 Flexión	Flexión, Abducción y rotación externa	Dorsiflexión, inversión y extensión de dedos
D2 Extensión	Extensión, aducción y rotación interna	Plantiflexión, eversión y flexión de dedos

Fuente: tomado y modificado de Dunleavy & Slowik (9)

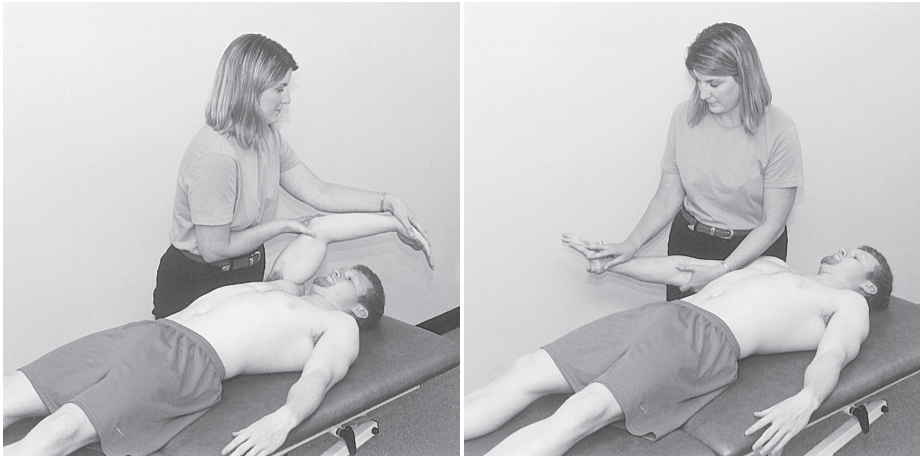
A continuación, se ilustran los patrones de la FNP:

Imagen 2. *D1 Flexión de Miembro Superior*



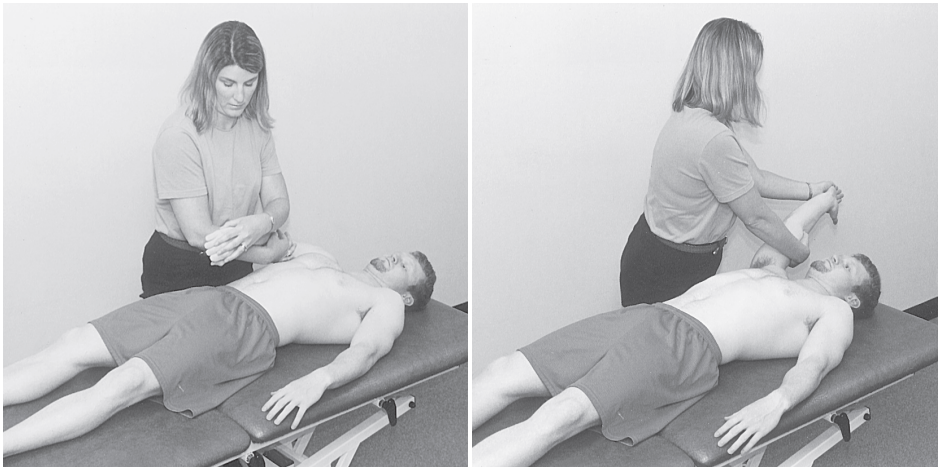
Nota. El patrón D1 de flexión del miembro superior se origina a partir del patrón D1 de extensión. Esta secuencia es fundamental para asegurar una correcta activación muscular y un rango de movimiento óptimo en la extremidad superior.

Imagen 3. *D1 Extensión de Miembro Superior*



Nota. El patrón D1 de extensión del miembro superior se inicia a partir del patrón D1 de flexión.

Imagen 4. *D2 Flexión de Miembro Superior*



Nota. El patrón D2 de flexión del miembro superior se origina a partir del patrón D2 de extensión.

Imagen 5. *D2 Extensión de Miembro Superior*



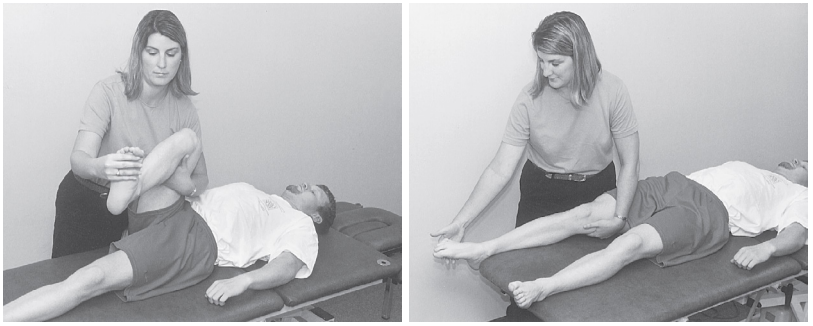
Nota. El patrón D2 de extensión del miembro superior se desarrolla a partir del patrón D2 de flexión

Imagen 6. *D1 Flexión de Miembro Inferior*



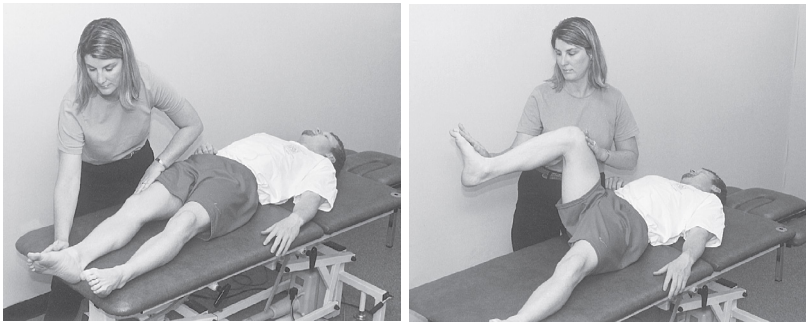
Nota. El patrón D1 de flexión del miembro inferior se origina a partir del patrón D1 de extensión

Imagen 7. *D1 Extensión de Miembro Inferior*



Nota. El patrón D1 de extensión del miembro inferior se inicia a partir del patrón D1 de flexión.

Imagen 8. *D2 Flexión de Miembro Inferior*



Nota. El patrón D2 de flexión del miembro inferior se origina a partir del patrón D2 de extensión.

Imagen 9. *D2 Extensión de Miembro Inferior*



Nota. El patrón D2 de extensión del miembro inferior se inicia a partir del patrón D2 de flexión.

Cadena Cinética (Abierta/Cerrada)

El concepto de cadena cinética se introdujo en los años 70 por ingenieros mecánicos, quienes inicialmente se referían a un sistema de enlace. En analogía con las articulaciones del cuerpo humano, estas actúan como eslabones que conectan segmentos rígidos. En este sistema, si ambos extremos están fijos a un marco, no hay movimiento en ninguno de los extremos. En este sistema cerrado, cada segmento en movimiento recibe y transfiere fuerzas a los segmentos adyacentes, lo que influye en el movimiento general (51).

Figura 3. *Sistema Cerrado en el sistema de cadena cinética*

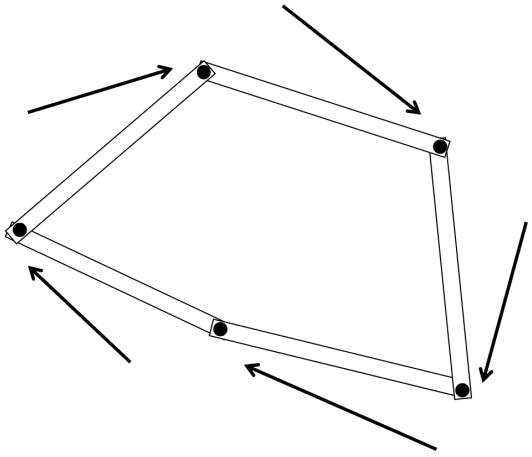
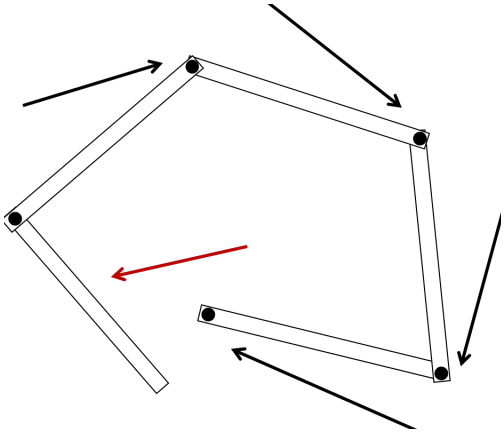


Figura 4. *Sistema Abierto en el sistema de cadena cinética*

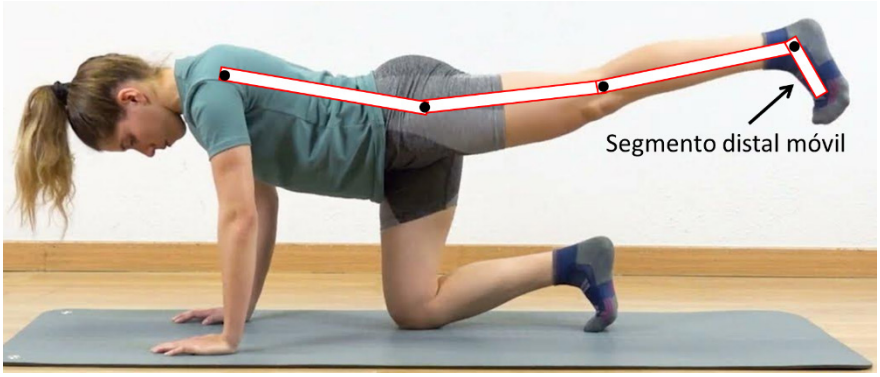


Una cadena cinética es un conjunto de segmentos rígidos conectados por articulaciones móviles, representando una descripción mecánica del cuerpo (26). Una cadena se divide en dos tipos: Cadena Cinética Abierta (CCA) y Cadena Cinética Cerrada (CCC). En la CCA, las articulaciones periféricas de la extremidad distal pueden moverse libremente sin sostener peso corporal, mientras que, en las CCC, los segmentos distales se apoyan en una superficie sólida y hay soporte del peso corporal (52, 53). En otras palabras, en la CCA las articulaciones están dispuestas secuencialmente en donde el segmento distal puede moverse libremente y la CCC implica que el segmento distal se somete a una resistencia externa significativa, lo que restringe su movimiento (13).

Imagen 10. *Representación de una Cadena Cinética Cerrada*



Imagen 11. *Representación de una Cadena Cinética Abierta*



Los ejercicios (tanto para la prevención de lesiones como para la rehabilitación) basados en CCC proporcionan más realimentación propioceptiva, mayor activación muscular, mejor sincronización de las unidades motoras, estabilidad articular frente a fuerzas de compresión y simulan patrones de movimiento funcionales, adicionalmente, los ejercicios de CCC activan los músculos antagonistas en varias articulaciones, lo que previene el aislamiento o el enfoque en un solo grupo muscular y son ejercicios aplicados frecuentemente en miembros inferiores, considerados más apropiados ya que las posiciones estáticas de los pies son comunes en muchas actividades (54) en contraste con los ejercicios de CCA (55). En términos generales, las actividades o ejercicios de CCA tienden a generar movimientos de alta velocidad, mientras que las CCC son más funcionales y ejercen menores fuerzas de corte sobre las articulaciones, lo que las hace más seguras para incluir al inicio de un programa de ejercicios terapéuticos (26).

Las actividades de CCA y de CCC establecen una interrelación entre las articulaciones dentro de una cadena. Este aspecto es importante en el ejercicio terapéutico, ya que ignorar la influencia de otras articulaciones puede dificultar el éxito de la rehabilitación. Es decir, una articulación no trabaja de manera aislada, su desempeño afecta otras articulaciones de la cadena. En este sentido, las tensiones anormales en una articulación lesionada pueden transmitirse a otras estructuras, las cuales pueden adsorber estas tensiones que, al no ser toleradas, pueden generar disfunciones adicionales (26). Por ejemplo, un deportista que presenta debilidad de los músculos de la cadera no podrá mantener el miembro inferior en la posición adecuada durante un gesto, debido a que podría experimentar alguna disfunción o dolor en la rodilla,

resultado de la tensión adicional que es provocada por fuerzas anormales que se originan desde la cadera.

En el sistema de cadena cinética, la función de un músculo varía según el estado del segmento distal, es decir, si está libre o fijo. Para dar un ejemplo, en una cadena cinética abierta, el grupo muscular cuádriceps genera extensión de rodilla, mientras que, en una cadena cinética cerrada, este grupo muscular desacelerará la flexión de rodilla al descender escaleras.

Características

El fisioterapeuta deportivo debe basar la elección entre ejercicios de CCA y CCC en los objetivos que quiere alcanzar con el deportista, haciendo un análisis de los beneficios y limitaciones de cada tipo de ejercicio. Teniendo en cuenta que las actividades funcionales conciertan ambos tipos de movimientos, es recomendable incluir ejercicios específicos de CCA y CCC en los programas de prevención y rehabilitación. A continuación, se resumen algunas características de cada tipo de cadena cinética:

- Los ejercicios de CCA son más eficaces para mejorar el rendimiento de músculos individuales o grupos musculares en comparación con los de CCC. En los ejercicios de CCC, hay un mayor riesgo de que se utilicen movimientos compensatorios que oculten las debilidades de fuerza de músculos específicos (13).
- En los ejercicios de resistencia de CCA, se logra un mayor control del movimiento al involucrar una sola articulación, a diferencia de los ejercicios de CCC que implican múltiples articulaciones. En la CCA, la estabilización se realiza generalmente de manera externa, por ejemplo, a través de la asistencia de un fisioterapeuta. En contraste, en los ejercicios de CCC, el deportista utiliza su propia musculatura para estabilizar las articulaciones cercanas a la articulación objetivo. Esta capacidad de aislar el movimiento en la articulación específica es especialmente beneficiosa en las primeras etapas de la rehabilitación (13).
- Casi todas las contracciones musculares generan un componente compresivo que aproxima las superficies articulares, proporcionando estabilidad tanto en ejercicios de CCA como en CCC. La carga de peso adicional también favorece esta aproximación articular, lo que se asocia con menores fuerzas de cizallamiento en la articulación en movimiento. Por ejemplo, en la rodilla, se observa una reducción en la

traslación tibiofemoral durante actividades de carga. Se considera que la aproximación articular resultante de la carga axial y de peso en ejercicios de CCC aumenta la congruencia articular, lo que contribuye a una mayor estabilidad durante el ejercicio (13).

- La coactivación y estabilización dinámica se asocian comúnmente con ejercicios de CCC, que se realizan bajo carga de peso. Estos ejercicios estimulan los mecanorreceptores en las articulaciones y músculos, promoviendo la co-contracción de los músculos agonistas y antagonistas, lo que mejora la estabilidad dinámica. Por ejemplo, durante una sentadilla, el cuádriceps y los isquiotibiales se activan simultáneamente para controlar el movimiento de la rodilla y la cadera, lo que favorece la estabilidad de la rodilla (13).

- La propiocepción y la cinestesia son fundamentales para el aprendizaje motor y el control neuromuscular, especialmente en las etapas iniciales del entrenamiento funcional. Tras una lesión en tejidos blandos o articulaciones, estas capacidades pueden verse afectadas, lo que compromete el control neuromuscular. Por ello, restablecer la capacidad de utilizar la información sensorial de la zona lesionada es crucial en la rehabilitación (13).

- Investigaciones han demostrado que la propiocepción y la cinestesia mejoran tras la rehabilitación de la rodilla después de una reconstrucción del ligamento cruzado anterior. Se considera que el entrenamiento de CCC proporciona una retroalimentación sensorial más efectiva que el de CCA, ya que involucra múltiples grupos musculares y articulaciones en movimiento. Esto activa más receptores sensoriales en los músculos y estructuras articulares, y el componente de carga de peso en estos ejercicios favorece la estimulación de mecanorreceptores, mejorando así la información sensorial necesaria para un control adecuado del movimiento (13).

Tabla 4. *Características de las Cadenas Cinéticas: Abierta vs Cerrada*

Cadena Cinética Abierta
• El segmento distal se desplaza en el espacio. • El movimiento es independiente de las articulaciones; no se observa un movimiento predecible en las articulaciones cercanas. • El movimiento se limita a los segmentos corporales distales a la articulación que está en movimiento. • La activación muscular se concentra principalmente en el músculo principal responsable del movimiento y se restringe a los músculos que cruzan la articulación en cuestión. • Generalmente, se lleva a cabo en posiciones sin carga. • Se aplica resistencia al segmento distal que se está moviendo. • Es común que haya una carga rotacional externa en las articulaciones. • A menudo se necesita estabilización externa, ya sea manual o mediante el uso de equipos.
Cadena Cinética Cerrada
• El segmento distal se mantiene fijo o en contacto con la superficie de apoyo. • Los movimientos articulares son interdependientes, lo que genera patrones de movimiento relativamente predecibles en las articulaciones cercanas. • El movimiento de los segmentos corporales puede ocurrir tanto distal como proximal a la articulación que está en movimiento. • La activación muscular involucra a múltiples grupos musculares, tanto en la parte distal como en la proximal de la articulación en movimiento. • Generalmente, aunque no siempre, se realiza en posiciones que soportan peso. • Se aplica resistencia de manera simultánea a varios segmentos móviles. • Es común que haya una carga axial en las articulaciones debido al peso corporal. • La estabilización interna se logra a través de la acción muscular, la compresión y la congruencia de las articulaciones, así como el control postural.

Fuente: tomado y modificado de Colby (13)

El fisioterapeuta deportivo debe considerar aspectos importantes al implementar estrategias terapéuticas, como en el caso de las CCC y las CCA. A continuación, se presentan algunas consideraciones clave a tener en cuenta:

1. **Principio de Sobrecarga:** El entrenamiento de resistencia es una herramienta efectiva para aumentar el tamaño muscular, la fuerza, la resistencia y la potencia, así como para lograr otros beneficios. En la intención de asegurar que estas adaptaciones se mantengan, es esencial que un programa de entrenamiento incluya algún tipo de progresión en el estímulo. Esto se conoce como el principio de sobrecarga e implica ajustar el estímulo para alinearlo con la capacidad de adaptación del cuerpo. Actualmente la sobrecarga progresiva se implementa a través

de diversos esquemas de progresión y modelos de periodización que, generalmente, incluyen manipulaciones de la carga (56). La sobrecarga se puede ajustar mediante tres variables clave del ejercicio: frecuencia, intensidad y duración. Por ejemplo, aumentar el número de sesiones de entrenamiento por semana, incrementar el peso levantado o aumentar el número de repeticiones son formas efectivas de aplicar este principio. Además, se puede utilizar el enfoque FITT (Frecuencia, Intensidad, Tiempo y Tipo) para modificar la sobrecarga, considerando también el tipo de ejercicio realizado, ya sea aeróbico, de fuerza, resistencia muscular o flexibilidad (57).

2. **Principio SAID:** el principio de "Adaptaciones Específicas a las Demandas Impuestas" denominado SAID por sus siglas en inglés, es fundamental en el acondicionamiento y entrenamiento físico, ya que establece que el cuerpo se adapta de manera específica a las tensiones y sobrecargas a las que se somete. Por ejemplo, si una persona realiza ejercicios de fuerza para una articulación en un rango de movimiento limitado, los músculos involucrados mejorarán principalmente en ese rango específico, con escasas ganancias en otros aspectos de la aptitud física, como la flexibilidad o la resistencia cardiorrespiratoria (57). Es crucial diseñar programas de ejercicio que se alineen con los objetivos específicos de adaptación deseados, ya que la adaptación puede ser positiva o negativa. Demandas inapropiadas o excesivas pueden causar lesiones, mientras que demandas insuficientes pueden resultar en mejoras mínimas (27). Por lo tanto, al entrenar a un cliente, es esencial que los ejercicios estén directamente relacionados con sus objetivos, como mejorar la capacidad para correr largas distancias, lo que requiere un programa centrado en la carrera (58).

3. **Principio de Especificidad:** La especificidad del ejercicio está íntimamente relacionada con el principio SAID, que indica que las adaptaciones fisiológicas y metabólicas del cuerpo son específicas al tipo de ejercicio realizado y a los grupos musculares involucrados. Los componentes de la aptitud física, como la fuerza, la resistencia y la flexibilidad, son particulares de cada zona corporal y grupo muscular, lo que implica que, al diseñar un programa de ejercicios, es fundamental considerar las necesidades individuales de cada persona. Esto a menudo requiere un análisis de la técnica y habilidades del individuo para seleccionar ejercicios adecuados que satisfagan sus objetivos específicos. Los objetivos del programa deben definirse en función de las áreas del cuerpo que se desean mejorar y de

las necesidades de aptitud física, que pueden incluir fuerza, resistencia, potencia, agilidad, equilibrio, coordinación, flexibilidad, resistencia cardiorrespiratoria y composición corporal. Una vez establecidos los objetivos, se puede prescribir un régimen que contemple variables como la frecuencia, intensidad y duración, asegurando que se aborden tanto el cuerpo completo como áreas específicas. Además, es crucial realizar observaciones y análisis regulares del movimiento para garantizar la correcta técnica y hacer ajustes cuando sea necesario (57, 59)

Biomecánica de los Ejercicios de Cadena Cinética Abierta y Cerrada en las Extremidades Inferiores

Los ejercicios de CCA y CCC afectan de manera diferente las articulaciones de la extremidad inferior. Las actividades como caminar o cambiar de dirección requieren un movimiento articular coordinado y una activación muscular precisa. Factores como la absorción de impactos, la flexibilidad del pie, la estabilización y el movimiento en múltiples planos en las extremidades de los miembros inferiores, son importantes para un adecuado funcionamiento.

- **Pie y Tobillo:** Durante la marcha, el pie cumple dos funciones principales: amortiguar el impacto al aterrizar y actuar como una palanca rígida al impulsarse. En el impacto del talón, el pie se pronuncia, lo que permite la absorción de impactos y la adaptación a superficies irregulares. Esto conlleva una rotación interna de la tibia y una ligera flexión de la rodilla. En una CCA, el pie se mueve en dorsiflexión y abducción, mientras que, en una CCC, la supinación implica una inversión del calcáneo y una extensión de la rodilla (51).
- **Rodilla:** Entender las fuerzas en la articulación de la rodilla es esencial para los fisioterapeutas deportivos. De acuerdo con Palmitier, existen dos fuerzas claves: una fuerza de cizallamiento posterior que puede desplazar la tibia hacia adelante si no es controlada por el ligamento cruzado anterior y una fuerza de compresión a lo largo de la tibia (52). Los ejercicios de pesas aumentan esta compresión, mejorando la estabilidad articular. En ejercicios de CCA, aplicar resistencia a la tibia distal maximiza las fuerzas de cizallamiento y compresión, mientras que hacerlo más proximalmente las reduce. La co-contracción de los isquiotibiales ayuda a estabilizar la rodilla y contrarrestar el desplazamiento anterior de la tibia (51).

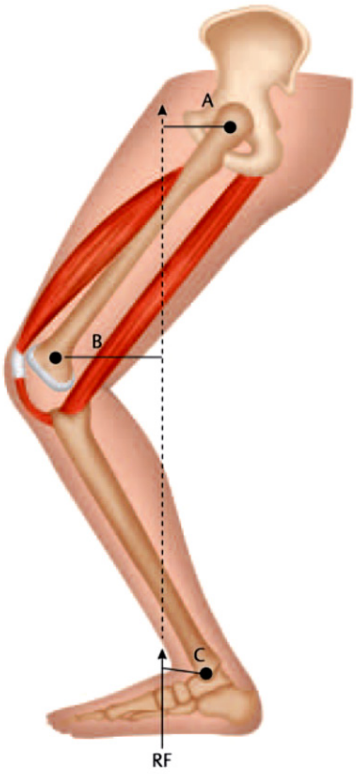
Imagen 12. *Modelo matemático que muestra los vectores de fuerza de corte y compresión*



Nota. C=Compresión, S=Cizallamiento, RF=Fuerza Resistiva. *Fuente*: *Tomado y modificado de Prentice* (51)

Los ejercicios de CCC promueven la contracción de los isquiotibiales, estabilizando la cadera y la rodilla. La flexión del tronco puede aumentar la tensión en los isquiotibiales, disminuyendo el momento de flexión de la rodilla y la fuerza de cizallamiento. Al aplicar resistencia en el tobillo, se genera un momento de extensión de la rodilla que neutraliza la fuerza de cizallamiento anterior. En contraste, los ejercicios de CCA, como las extensiones de piernas, generan un momento de flexión en la rodilla, aumentando la fuerza de cizallamiento. Se ha demostrado que las fuerzas de cizallamiento son mayores en ejercicios de cadena cinética abierta que en los cerrados, y que la co-contracción en estos últimos reduce el desplazamiento tibial anterior durante la flexión de la rodilla (51).

Imagen 13. *Fuerzas en Cadena Cinética Cerrada*



Nota. Los ejercicios de cadena cinética cerrada provocan la contracción de los isquiotibiales al generar un momento de flexión en (A) la cadera, (B) la rodilla y (C) el tobillo. RF se refiere a la fuerza resistiva. *Fuente: tomado y modificado de Prentice* (51)

Patelofemoral: La articulación patelofemoral se ve afectada de manera diferente por los ejercicios de CCA y CCC. En los ejercicios de CCA, como la extensión de rodilla, el momento de flexión aumenta al extender la rodilla desde 90 grados hasta la extensión completa, lo que incrementa la tensión en el cuádriceps y el tendón rotuliano. Esto resulta en un aumento de las fuerzas de reacción en la articulación patelofemoral, alcanzando su máximo a los 36 grados de flexión. A medida que la rodilla se extiende completamente, el área de contacto entre la rótula y el fémur disminuye, aumentando la tensión de contacto por unidad de área. Por otro lado, en los ejercicios de CCC, el momento de flexión también aumenta al flexionar la rodilla, lo que eleva la tensión en el cuádriceps y el tendón rotuliano, y, por

ende, las fuerzas de reacción en la articulación patelofemoral. Sin embargo, en este caso, la rótula mantiene un área de contacto más amplia con el fémur, lo que reduce la tensión de contacto. Por lo tanto, los ejercicios de CCC son generalmente mejor tolerados por la articulación patelofemoral debido a esta menor tensión de contacto (51).

Biomecánica de los Ejercicios de Cadena Cinética Abierta y Cerrada en las Extremidades Superiores

Aunque los ejercicios de CCC son más comunes en la rehabilitación de lesiones de las extremidades inferiores, también deben incluirse en los protocolos de rehabilitación de las extremidades superiores en diversas situaciones. A diferencia de la extremidad inferior, la superior funciona mejor como un sistema de CCA, donde la mano se mueve libremente en actividades dinámicas. Ejemplos de ejercicios de CCC en la extremidad superior incluyen fondos en paralelas y escaladas en roca, donde la mano se estabiliza y los músculos proximales, como los del codo y hombro, ayudan en el movimiento. Además, actividades como el baloncesto y el ciclismo combinan movimientos de CCA y CCC, similar a lo que ocurre al correr. En rehabilitación, los ejercicios de CCC se enfocan en fortalecer y controlar neuromuscularmente los músculos que estabilizan la cintura escapular, como los estabilizadores de la escápula y el manguito rotador. Es crucial desarrollar fuerza y control en estos músculos para permitir movimientos más dinámicos en los segmentos distales.

Recientemente, los programas de rehabilitación han comenzado a integrar ejercicios de CCC con ejercicios de estabilización del núcleo y movimientos funcionales. Los profesionales de la salud deben reconocer la importancia de las piernas y el tronco en la función de las extremidades superiores, incorporando ejercicios que aborden toda la CCC.

Hombro: Las actividades de carga en CCC son efectivas para promover y mejorar la estabilidad dinámica de la articulación. Generalmente, estos ejercicios se realizan con la mano fija, evitando el movimiento, y la resistencia se aplica de manera axial o rotacional. Esto genera compresión y aproximación en la articulación, lo que favorece la co-contracción muscular y, por ende, la estabilidad dinámica. Es crucial restablecer dos pares de fuerzas alrededor de la articulación glenohumeral: el deltoides anterior con el infraespinoso y el redondo menor en el plano frontal, y el subescapular contrarrestado por el infraespinoso y el redondo menor en el plano transversal. Estos músculos opuestos ayudan a estabilizar la articulación al mantener la cabeza humeral

comprimida dentro de la cavidad glenoidea mediante la co-contracción. Además, los músculos de la escápula son responsables de posicionar dinámicamente la cavidad glenoidea en relación con el húmero en movimiento, lo que permite un ritmo normal de movimiento escapulohumeral. Sin embargo, también deben proporcionar una base estable para el húmero, que es altamente móvil. Si la escápula presenta hipermovilidad, la función de toda la extremidad superior se verá comprometida. Por lo tanto, las interacciones entre el trapecio inferior y superior, así como el elevador de la escápula, son esenciales para mantener la estabilidad de la escápula. Para mejorar esta estabilidad, es recomendable realizar actividades de CCC con la mano fija (51).

Codo: El codo es una articulación que permite una flexión de hasta 145 grados desde una posición completamente extendida. En casos de hiperelasticidad articular, puede hiperextenderse ligeramente más allá de la posición neutral. Esta articulación está compuesta por las articulaciones humero-cubital, humero-radial y radiocubital. La cabeza radial, que es cóncava, se articula con la superficie convexa del capitellum del húmero distal y se conecta al cúbito proximal mediante el ligamento anular. La articulación radiocubital proximal permite alrededor de 90 grados de pronación y 80 grados de supinación, funcionando en conjunto con el codo. En ciertas actividades, el codo opera en CCA, mientras que, en otras, necesita mantener estabilidad estática y una fuerza dinámica adecuada para transferir fuerza a un objeto en movimientos de golpeo (51).

En el ámbito del entrenamiento físico y la rehabilitación, la elección entre ejercicios de CCA y CCC es fundamental para optimizar el rendimiento y la recuperación muscular. A continuación, se describirán algunos estudios que detallan los efectos de la aplicación de estas estrategias:

En un estudio llevado a cabo por Pozzi et al. (60), se investigó la activación muscular del hombro y del tronco al comparar seis pares de ejercicios de CCC y CCA para la extremidad superior, seleccionados en función de sus características de rendimiento. El objetivo principal del estudio fue evaluar la activación de los músculos durante ambos tipos de ejercicios, mientras que los objetivos secundarios se centraron en comparar la activación muscular y las proporciones de activación del hombro en cada par de ejercicios.

Para llevar a cabo la investigación, se reclutaron veintidós adultos jóvenes sanos. En la primera visita, se estableció la resistencia máxima para cinco repeticiones de cada ejercicio, tanto de CCC como de CCA. Durante la segunda visita, se registró la activación electromiográfica de varios músculos, incluyendo el

infraespinoso, deltoides, serrato anterior, trapecio (en sus tres porciones: superior, media e inferior), erector de la columna y oblicuo externo, mientras los participantes realizaban la repetición máxima de cinco de cada ejercicio. Se calculó la activación promedio durante las fases concéntrica y excéntrica de cada ejercicio, así como las razones de activación entre los músculos. Para analizar los datos, se utilizaron modelos mixtos lineales que compararon la activación muscular en los ejercicios de CCC y CCA, y se aplicó una prueba t pareada para evaluar las diferencias en la activación y las razones de activación entre los pares de ejercicios.

Los resultados del estudio revelaron que los músculos infraespinosos, trapecio inferior, erector de la columna y oblicuo externo mostraron una mayor activación durante las fases concéntrica ($p = 0,03$) y excéntrica ($p < 0,01$) en los ejercicios de CCA en comparación con los ejercicios de CCA. Además, se observó que las razones de activación fueron más bajas en los ejercicios de CCC en comparación con los de CCA en varios pares de ejercicios.

En conclusión, los ejercicios de CCC para las extremidades superiores generaron una mayor activación de los músculos del hombro y del tronco en comparación con los ejercicios de CCA. Sin embargo, algunos de los ejercicios de CCC presentaron índices de activación más bajos en comparación con sus contrapartes de CCA.

Un estudio reciente evaluó el impacto de los ejercicios de CCA y de CCC en la fuerza de los cuádriceps e isquiotibiales durante la rehabilitación temprana tras la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA). Se incluyeron dos grupos: uno que realizó ejercicios de CCA y CCC (51 participantes) y otro que solo hizo CCC (52 participantes). Los ejercicios de CCA comenzaron a las cuatro semanas postoperatorias.

Los resultados mostraron que, a los tres y seis meses, el grupo de intervención presentó una mayor fuerza en los cuádriceps e isquiotibiales en comparación con el grupo control, sin diferencias significativas en la laxitud del injerto entre ambos grupos. Esto sugiere que la incorporación temprana de ejercicios de OKC mejora la fuerza muscular sin aumentar la laxitud del injerto (61).

Otro estudio tuvo como objetivo evaluar si la combinación de ejercicios CCA y de CCC mejora la fuerza de los cuádriceps y los isquiotibiales en las fases tempranas de rehabilitación tras la reconstrucción del LCA, y si el uso temprano de ejercicios CCA influye en la laxitud del injerto a los 3 y 6 meses postoperatorios en pacientes con injerto de tendón de la corva.

Se llevó a cabo un estudio de cohorte con un nivel de evidencia 3. Se formaron dos grupos: uno de intervención que realizó ejercicios CCA y CCC (51 participantes) y otro de control que solo realizó ejercicios CCC (52 participantes). En el grupo de intervención, los ejercicios CCA comenzaron a las 4 semanas postcirugía. A los 3 y 6 meses, se realizaron pruebas isocinéticas para evaluar la simetría de las extremidades y la relación entre el par máximo y el peso corporal (PT/BW) de los cuádriceps y los isquiotibiales, además de medir la laxitud anterior de la rodilla con un artrómetro.

Los resultados mostraron que, a los 3 y 6 meses, la fuerza de los cuádriceps y los isquiotibiales fue significativamente mayor en el grupo de intervención en comparación con el grupo de control, sin diferencias significativas en la laxitud del injerto entre ambos grupos. Esto indica que la incorporación temprana de ejercicios CCA, junto con los ejercicios CCC convencionales, mejora la fuerza muscular sin comprometer la estabilidad del injerto (61).

Pliometría

Los ejercicios pliométricos emergieron de la necesidad de controlar la gravedad en contextos tanto deportivos como de supervivencia, exigiendo a los atletas desarrollar estrategias para superar la inercia, lo que implica un esfuerzo considerable. Aunque a primera vista puede parecer un enfoque simple, los mecanismos fisiológicos detrás de la pliometría son complejos y requieren una coordinación precisa de las acciones musculares para lograr resultados óptimos. Este tipo de entrenamiento, que combina un estiramiento rápido de la unidad músculo-tendón seguido de un acortamiento, forma parte del ciclo de estiramiento-acortamiento (SSC) (62) y permite generar fuerza máxima en el menor tiempo posible, actuando como un puente entre la fuerza pura y la potencia deportiva (63, 64).

En una contracción pliométrica, el término "pliométrico" se refiere a la capacidad del músculo para variar su longitud durante la contracción, lo que implica un proceso de pretensión que aumenta la fuerza generada durante el movimiento. Este tipo de contracción se caracteriza por una fase excéntrica inicial, donde el músculo se alarga y se "pretensa" antes de realizar una contracción concéntrica más potente. Este mecanismo es similar al funcionamiento de un resorte, donde el estiramiento previo permite un retroceso más efectivo y potente. La sincronización entre el retroceso del músculo y el inicio de la contracción concéntrica es crucial para maximizar la generación de fuerza. Un ejemplo claro de este principio se observa en el salto de longitud, donde un saltador de élite realiza un "hundimiento" en la fase

final antes del despegue. Este movimiento de pretensión activa los músculos involucrados, lo que resulta en una mayor fuerza en el despegue y, por ende, en una mejora en la distancia del salto. Así, la contracción pliométrica se convierte en un componente esencial para optimizar el rendimiento en actividades que requieren explosividad y potencia (65).

La pliometría, cuyo término proviene de las palabras griegas "plio" (más o aumentar) y "métrica" (medir), se define como una técnica de ejercicio que combina modalidades de ejercicio balístico y el ciclo de estiramiento-acortamiento. Durante la fase de carga del SSC, se produce un estiramiento repentino de los componentes elásticos de la unidad músculo-tendón, junto con una activación muscular excéntrica. El objetivo en esta fase es absorber y almacenar el impulso del cuerpo y cualquier carga externa, como un balón medicinal, para detener la velocidad. Tras esta detención, hay un breve período isométrico transitorio antes de que comience la actividad muscular concéntrica. La característica distintiva de la pliometría es que la fase concéntrica, o fase de rebote, implica la producción de carga corporal o externa en un espacio libre, en un modo balístico (66).

El término "pliométrico" fue introducido por Fred Wilt en 1975 y se utiliza a menudo de manera intercambiable con "ciclo de estiramiento-acortamiento". Sin embargo, algunos autores prefieren el segundo término en contextos específicos, lo que puede generar confusión, especialmente en relación con la fase de amortización, que es la transición entre las fases excéntricas y concéntricas del ejercicio. A lo largo del tiempo, la pliometría ha evolucionado, integrándose en programas de acondicionamiento atlético y rehabilitación, enfocándose en la técnica biomecánica adecuada y la prevención de lesiones. Este entrenamiento, que se realiza frecuentemente a niveles submáximos, ha demostrado ser eficaz para reducir lesiones en las extremidades inferiores y mejorar el rendimiento atlético (66).

La pliometría tiene sus raíces en Rusia y Europa del Este, donde se utilizó para entrenar a atletas de pista y campo, contribuyendo al éxito de estos en competiciones internacionales durante las décadas de 1950 y 1960. A pesar de su popularidad, la investigación sobre su eficacia y seguridad ha mostrado resultados mixtos, lo que sugiere que el desarrollo atlético es único para cada individuo y que es esencial establecer expectativas realistas basadas en la edad, nivel de habilidad y antecedentes de lesiones de cada atleta (63, 64).

Fases de la Pliometría

Las acciones musculares en la pliometría son esenciales para el rendimiento atlético y se dividen en tres fases: excéntrica, isométrica y concéntrica.

1. ***Fase Excéntrica***: Ocurre al aterrizar durante una zancada, donde los músculos de la pierna se alargan rápidamente debido a la gravedad, amortiguando el impacto. Esta contracción excéntrica actúa como un amortiguador, reduciendo las fuerzas sobre los tejidos conectivos y esqueléticos, lo que es crucial para prevenir lesiones, ya que estas fuerzas pueden ser significativamente mayores que en otras acciones musculares.
2. ***Fase de Transición:*** Tras la fase excéntrica, hay un breve período en el que los músculos no cambian de longitud, conocido como contracción isométrica. Durante esta fase, las articulaciones permanecen fijas, y la tensión estática es vital para preparar el cuerpo para la siguiente fase de movimiento, generando la potencia necesaria para las contracciones musculares posteriores.
3. ***Fase Concéntrica:*** En esta fase, los músculos se acortan, generando el impulso necesario para el salto o el movimiento hacia adelante. Aunque a menudo se enfatiza esta fase, su efectividad depende de la correcta sincronización y ejecución de las fases anteriores.

El entrenamiento pliométrico se centra en maximizar la activación y sincronización de las unidades motoras, lo que es fundamental para alcanzar la velocidad máxima en el rendimiento deportivo. A diferencia del entrenamiento de fuerza máxima, que busca el crecimiento muscular, la pliometría se enfoca en la velocidad y explosividad, utilizando situaciones que permiten una alta tasa de contracción muscular. Este entrenamiento se estructura en tres fases: excéntrica (carga), de transición (conversión) y concéntrica (sin carga). Es crucial evitar la fatiga excesiva, ya que las fibras de contracción rápida se fatigan rápidamente, por lo que se recomienda un descanso adecuado entre series y realizar ejercicios de velocidad-fuerza al inicio de la sesión para optimizar el rendimiento. Un ejemplo de un ejercicio pliométrico podría incluir 4 segundos en la fase excéntrica, seguido de 0 segundos de espera, 2 segundos en la fase concéntrica, y nuevamente 0 segundos de espera, lo que permite una mejor activación muscular y sincronización de las unidades motoras durante el ejercicio (63, 67).

Tabla 5. Ciclo de Alargamiento-Acortamiento

Fase Excéntrica
- Alargamiento rápido de los músculos
- Amortiguación del impacto
- Preparación para la siguiente fase
Este es el intervalo de precarga durante el cual el huso muscular se alarga antes de ser activado.
Fase de Transición
- Breve período entre la fase excéntrica y la concéntrica
- Minimizar el tiempo para evitar pérdida de potencia
Este es el período que transcurre entre la contracción excéntrica y el comienzo de la fuerza concéntrica. La rapidez del estiramiento es más importante que el tiempo que dure el estiramiento. Así, cuanto más rápido logre un atleta superar la fuerza excéntrica que disminuye y generar una fuerza concéntrica, más intensa será la respuesta.
Fase Concéntrica
- Contracción muscular para generar impulso
- Movimiento explosivo (salto, lanzamiento)
- Sincronización y activación de fases previas
Esto representa la combinación de las fases excéntrica y de amortización, resultando en una contracción concéntrica optimizada.

Características Mecánicas

Las características mecánicas de un músculo se describen mediante un modelo de tres componentes: un componente contráctil, un componente elástico en serie (CES) y un componente elástico paralelo. Estos componentes interactúan para generar fuerza, siendo el componente contráctil el principal en el control motor, mientras que el CES y el componente paralelo contribuyen a la estabilidad de las fibras musculares durante el alargamiento. Al estirarse, los músculos almacenan energía cinética, que se libera durante la contracción concéntrica, donde la mayor parte de la fuerza proviene del deslizamiento de los filamentos musculares.

La producción total de fuerza es la suma de la fuerza del componente contráctil y la del CES estirado. Este proceso se asemeja al estiramiento de una banda elástica, donde la energía potencial se almacena y se libera al volver a su longitud original. Se ha observado que la producción de fuerza concéntrica

aumenta significativamente cuando se precede de una contracción excéntrica, gracias al almacenamiento de energía elástica en el CES. La efectividad de esta energía almacenada depende de tres factores: tiempo, magnitud y velocidad del estiramiento.

Estudios han demostrado que los saltos amortiguados, que implican una mayor flexión de la rodilla, resultan en menor potencia de salida en comparación con saltos no amortiguados, donde la flexión es mínima y se produce un rebote inmediato. Además, el tipo de fibra muscular también influye en el almacenamiento de energía elástica, siendo las fibras de contracción rápida más eficientes en responder a estiramientos rápidos y cortos, mientras que las fibras de contracción lenta utilizan mejor la energía elástica en movimientos balísticos con estiramientos largos y lentos (68).

Mecanismos Neurofisiológicos

Imagina que los músculos son como un resorte: cuando se estiran, almacenan energía que luego se libera para impulsarlos. Este proceso se basa en dos componentes clave: los husos musculares y los órganos tendinosos de Golgi (68).

1. ***Husos Musculares:*** Estos son los sensores de estiramiento que se encuentran dentro de los músculos. Cuando se estiran, envían señales al sistema nervioso central (SNC) sobre cuánto y qué tan rápido se están alargando. Cuanto más rápido se estira el músculo, más fuerte es la respuesta que genera, lo que resulta en una contracción muscular más potente.
2. **Órganos Tendinosos de Golgi**: Situados en los tendones, estos sensores actúan como un freno. Cuando detectan que la tensión en el músculo es demasiado alta, envían señales al SNC para inhibir la contracción, protegiendo así al músculo de lesiones.

¿Cómo Funciona Todo Esto?

- ***Estiramiento y Contracción:*** Cuando se realiza un movimiento, como saltar, primero se estira el músculo (fase excéntrica) y luego se contrae (fase concéntrica). La rapidez con la que se cambia de estiramiento a contracción es crucial. Este intervalo se llama fase de amortización. Si es muy largo, se pierde energía y fuerza.
- ***Producción de Fuerza:*** La fuerza máxima que se puede generar durante este ciclo depende de cómo interactúan los husos musculares y los órganos

tendinosos de Golgi. Ambos trabajan en conjunto, pero en direcciones opuestas: uno activa y el otro inhibe. La clave está en encontrar el equilibrio adecuado.

Diseño de Programas Pliométricos

El diseño de un programa de entrenamiento pliométrico puede ajustarse mediante diversas variables, tales como la dirección del movimiento, el peso del individuo, la velocidad de ejecución, la carga externa, la intensidad, el volumen, la frecuencia, la edad de entrenamiento y el tiempo de recuperación.

1. **Dirección del Movimiento**: Los movimientos laterales son menos exigentes que los verticales, dependiendo del peso del deportista y su habilidad técnica. Se ha comprobado que los saltos en diferentes direcciones (laterales, diagonales y combinados) mejoran significativamente la explosividad, el equilibrio y la agilidad, siendo la combinación de saltos laterales y saltos en diagonal la más efectiva.

2. **Peso del Deportista**: Un mayor peso corporal incrementa la demanda del entrenamiento. Un salto que es de baja exigencia para una persona ligera puede ser muy demandante para alguien más pesado. Por ejemplo, un salto lateral sobre una línea puede ser más fácil para un deportista ligero que para uno con mayor peso.

3. **Velocidad de Ejecución**: Aumentar la velocidad en ejercicios como saltos en profundidad, donde el deportista salta desde una plataforma y aterriza en el suelo, incrementa la carga del entrenamiento.

4. **Carga Externa**: Incorporar elementos como un chaleco lastrado o una pelota medicinal puede aumentar la demanda del ejercicio, pero debe hacerse sin comprometer la velocidad de movimiento. Por ejemplo, realizar saltos verticales sosteniendo una pelota medicinal puede ser un buen ejercicio.

5. **Intensidad**: La intensidad se refiere al esfuerzo aplicado. En pliometría, se puede ajustar según el tipo de ejercicio; por ejemplo, realizar saltos en la caja es más exigente que saltar en el lugar. Es importante progresar de ejercicios simples a complejos y se puede aumentar la intensidad añadiendo más altura a la caja o aumentando el número de repeticiones.

6. **Volumen**: Este se refiere a la cantidad total de trabajo en una sesión, medido por el número de contactos de los pies. Se recomienda que los

principiantes realicen entre 50 y 75 contactos, aumentando a 150-200 a medida que mejoran.

7. **Frecuencia**: Se refiere a cuántas veces se entrena en un ciclo. Aunque no hay estudios específicos sobre la frecuencia en pliometría, se sugiere un descanso de 48 a 72 horas entre sesiones para una recuperación adecuada. Los principiantes deben esperar al menos 48 horas entre entrenamientos para evitar la fatiga muscular y asegurar un rendimiento óptimo.

Imagen 14. *Pliometría en Miembros Superiores*



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

Imagen 15. *Pliometría en Miembros Inferiores*

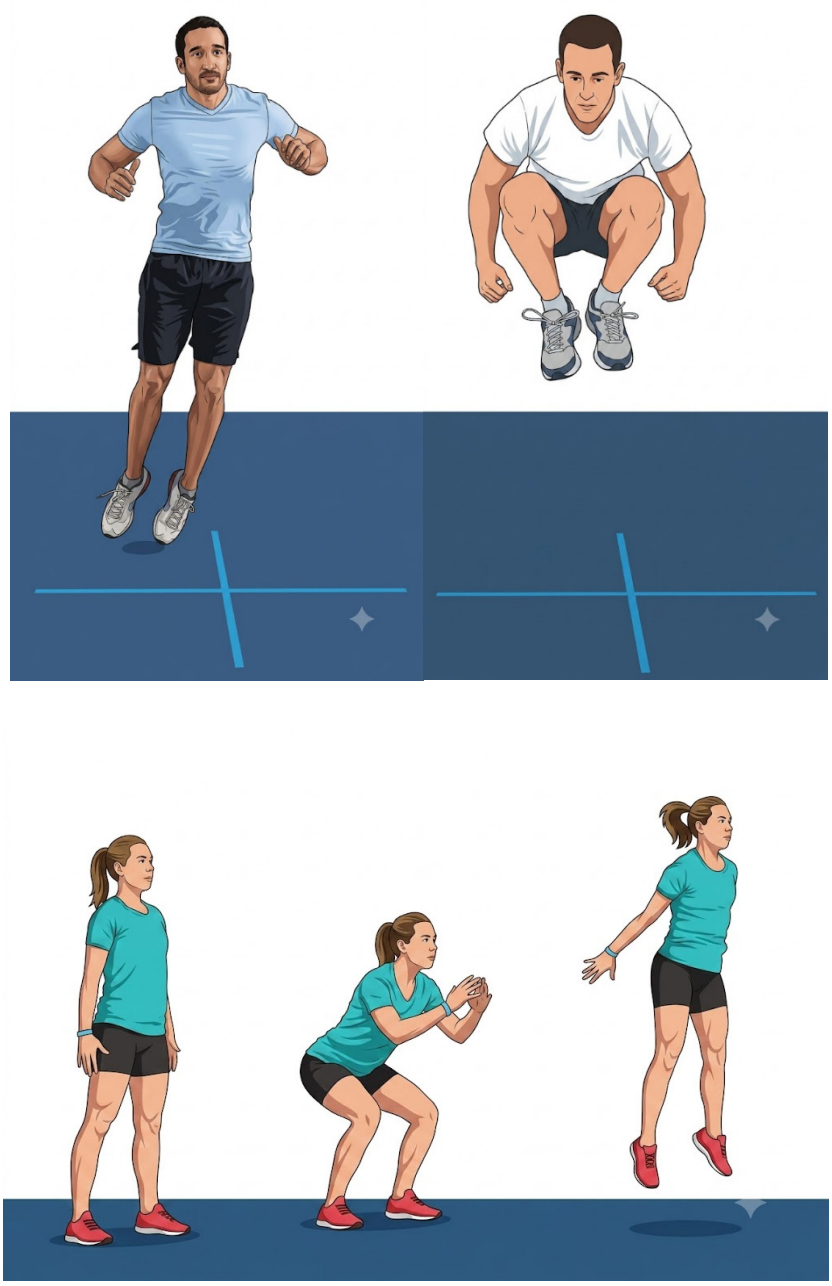


Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Tabla 6. *Ejercicios Pliométricos para Miembro Superior e Inferior*

Miembros Superiores	Miembros Inferiores
• Realizar ejercicios de atrapar y lanzar una pelota pesada, primero con un compañero y luego contra una pared, alternando entre el uso de ambas manos y luego con una sola. • Llevar a cabo movimientos de estiramiento y contracción utilizando bandas elásticas, aplicando patrones de movimiento anatómicos y diagonales. • Balancear un objeto pesado, como una pelota, un palo de golf o un bate. • Botar una pelota contra el suelo o una pared. • Realizar empujes contra una pared o una superficie elevada mientras se está de pie. • Hacer flexiones de brazos que incluyan una caída desde una plataforma baja hacia el suelo y luego regresar a la plataforma. • Ejecutar flexiones de brazos que incluyan palmadas.	• Realizar saltos repetidos en el suelo, incluyendo saltos en el mismo lugar, hacia adelante y hacia atrás, de lado a lado, en diagonal a las cuatro esquinas, saltos con rotación y en zigzag; posteriormente, practicar sobre una superficie de espuma. • Realizar saltos verticales, asegurando un aterrizaje adecuado. • Ejecutar múltiples saltos rebotando a través de una superficie. • Realizar saltos sobre una caja, comenzando desde la parte superior y manteniendo la posición, luego saltar de nuevo sobre la caja, aumentando la velocidad y la altura progresivamente. • Hacer saltos laterales, moviéndose de la caja al suelo y de regreso. • Saltar sobre objetos colocados en el suelo. • Realizar actividades de salto en el mismo lugar, sobre una superficie y sobre objetos en el suelo. • Practicar saltos de profundidad (nivel avanzado), que consisten en saltar desde una caja, aterrizar en cuclillas para absorber el impacto y luego saltar lo más alto posible.

Fuente: tomado y modificado de Colby (69)

Entrenamiento con Resistencia Isoinercial

La NASA y la comunidad de medicina espacial han reconocido desde hace décadas que la pérdida muscular y la disfunción neuromuscular tras los vuelos espaciales son problemas serios que podrían afectar las misiones espaciales. Aunque se sabía que el ejercicio aeróbico de baja intensidad no genera hipertrofia muscular ni mejora la fuerza, se pensó que podría mitigar el desacondicionamiento físico típico del espacio. En 1990, los Dres. Dudley y Tesch propusieron varias soluciones para combatir la atrofia muscular en el espacio, concluyendo que el ejercicio de resistencia era la opción más efectiva. Sin embargo, la falta de gravedad en el espacio limita el uso de equipos de ejercicio convencionales, lo que significa que aún no hay una solución definitiva para estos efectos.

El entrenamiento excéntrico ha demostrado ser más efectivo que el ejercicio concéntrico debido a varias ventajas significativas. Las acciones excéntricas pueden generar picos de fuerza más altos con menor activación muscular y un costo metabólico reducido, lo que las convierte en una opción más eficiente para el desarrollo de fuerza y masa muscular. Además, el entrenamiento excéntrico se asocia con un mayor reclutamiento de fibras musculares Tipo IIx y un efecto de educación cruzada, donde el entrenamiento en un lado del cuerpo puede beneficiar al otro. Aunque el entrenamiento excéntrico puede causar un mayor daño muscular y dolor inicial, también se ha vinculado a mecanismos que previenen el daño muscular a largo plazo y a incrementos más rápidos en la masa muscular en comparación con el ejercicio concéntrico. Sin embargo, la capacidad de producir fuerza en la fase concéntrica limita la carga que se puede utilizar, lo que implica que las cargas en el entrenamiento tradicional pueden ser subóptimas durante la fase de entrenamiento excéntrico (70).

Para optimizar el entrenamiento de resistencia con un enfoque en el entrenamiento excéntrico, se han propuesto varios métodos, como ajustar la velocidad del movimiento y utilizar dispositivos que asistan en la fase concéntrica. Dispositivos isoinerciales, como "The Flywheel Exercise Device" y "VersaPulley", han sido desarrollados para proporcionar una sobrecarga excéntrica efectiva, permitiendo que el entrenamiento se realice de manera más eficiente y segura. Estos dispositivos utilizan el principio del volante de inercia para ofrecer resistencia durante todo el rango de movimiento, facilitando acciones efectivas de frenado en el entrenamiento excéntrico (70).

Imagen 16. *Dispositivo The Flywheel Exercise Device*



Fuente: tomado de Exerfly (71)

Imagen 17. *Dispositivo VersaPulley*



Fuente: Tomado de Iberian Sportech (72)

Los dispositivos que no dependen de la gravedad utilizan un volante de inercia, que está montado en un eje fijo y conectado a una correa, para ofrecer resistencia durante el trabajo muscular. En términos simples, cuando se realiza la fase concéntrica del movimiento (cuando los músculos se contraen y acortan), la correa se desenrolla, lo que hace que el volante de inercia gire. Una vez que se completa esta fase concéntrica, la correa comienza a enrollarse nuevamente, lo que inicia la fase excéntrica del movimiento (cuando los músculos se alargan mientras resisten una carga).

Figura 5. *Funcionamiento del dispositivo de volante*



Fuente: tomado y modificado de Buonsenso (73)

Durante la fase excéntrica, la resistencia que se siente proviene de la energía cinética que se había acumulado en el volante de inercia durante la fase anterior. Esto significa que cuanto más esfuerzo se haya invertido en la fase concéntrica, mayor será la cantidad de energía que el volante de inercia tendrá almacenada. Como resultado, se requerirá un esfuerzo adicional para desacelerar y controlar el movimiento del volante durante la fase excéntrica. En resumen, el diseño de estos dispositivos permite que la resistencia se ajuste dinámicamente, dependiendo de la intensidad del esfuerzo realizado en la fase concéntrica, lo que proporciona un entrenamiento efectivo y adaptable (74).

Imagen 18. *Dispositivo IsoInercial*



Fuente: Tomado de Valenzuela (75)

La preservación de la función del músculo esquelético es vital para la salud y el metabolismo, ya que la pérdida muscular, que puede ocurrir por envejecimiento, desuso o enfermedades, representa una amenaza para la salud. El ejercicio de resistencia se considera una estrategia clave no farmacológica para combatir estos efectos. En este contexto, la tecnología isoinercial YoYo™ ha demostrado ser eficaz, especialmente para la tripulación espacial, ofreciendo beneficios fisiológicos *únicos* (76). El desarrollo del YoYo™ surgió de la necesidad de un método de ejercicio que no dependiera de la gravedad, enfrentando desafíos operativos y fisiológicos en el espacio. Se buscaba un aparato compacto y ligero que no requiriera un uso excesivo de recursos limitados como energía y oxígeno.

Investigaciones previas habían demostrado que el ejercicio excéntrico era más efectivo para aumentar la fuerza muscular que el concéntrico, lo que llevó a estudios en la década de 1980 sobre el entrenamiento excéntrico y concéntrico acoplado, mostrando que este último provocaba una mayor hipertrofia muscular y fuerza. Entre las diversas tecnologías que facilitan la sobrecarga excéntrica, el entrenamiento de resistencia con volante isoinercial se destaca como uno de los métodos más empleados, con una eficacia comprobada en varios contextos, incluyendo la prevención y rehabilitación de lesiones, así como en el rendimiento deportivo (77). Aunque el uso de la inercia de un volante como fuente de resistencia se remonta a 1796, fue en 1994 cuando Berg y Tesch reintrodujeron este concepto para ejercicios de resistencia, específicamente para ayudar a astronautas. El hardware del YoYo™ fue probado en el espacio durante la misión STS-78 en 1996, validando su efectividad en condiciones de microgravedad (76).

El entrenamiento Isoinercial es un método efectivo para mejorar la hipertrofia, las funciones neuromusculares, la potencia y el tiempo de sprint, gracias a su capacidad para aplicar una resistencia adaptada y una sobrecarga excéntrica individualizada (78). Este método utiliza un dispositivo que genera sobrecargas excéntricas mediante volantes giratorios, permitiendo cargas de resistencia lineales ilimitadas y ajustables en cada repetición. La fuerza de resistencia en la fase excéntrica es proporcional al esfuerzo concéntrico del atleta, y el diseño del volante permite movimientos en tres dimensiones. La carga se puede modificar aumentando la velocidad o añadiendo peso al volante. Además, la ausencia de fricción asegura que la energía en ambas fases de movimiento sea equivalente, facilitando un esfuerzo excéntrico significativo con un bajo coste metabólico (79).

Durante los últimos 20 años, se ha investigado extensamente el impacto del entrenamiento inercial con dispositivos de volante, especialmente en la masa muscular de la parte inferior del cuerpo en individuos sanos y activos. La mayoría de los estudios utilizaron un protocolo de 4 series de 7 repeticiones máximas durante un período de 5 a 15 semanas. Los hallazgos muestran que el entrenamiento con sobrecarga excéntrica mediante tecnología de volante puede resultar en aumentos del 5-13% en masa muscular, del 11-39% en contracción voluntaria máxima, del 12-25% en una repetición máxima (1 RM), del 21-90% en fuerza excéntrica, del 10-33% en potencia muscular, del 6-15% en capacidad de salto, del 2-10% en velocidad de carrera y hasta un 35% en actividad electromiográfica. Aunque la sobrecarga excéntrica puede causar un daño muscular significativo y respuestas inflamatorias al inicio del entrenamiento,

estos efectos se reducen considerablemente poco después, lo que sugiere que no hay consecuencias negativas para el músculo (70).

Estos dispositivos también se han utilizado en la prevención y tratamiento de lesiones musculares y tendinosas (76). En general, se han observado mejoras en el rendimiento atlético y una reducción en la incidencia de lesiones al utilizar dispositivos FW, independientemente de las diversas cargas de entrenamiento aplicadas en los estudios (80, 81, 76).

La gestión adecuada de las variables del ejercicio es crucial para lograr respuestas musculares específicas, como el aumento de potencia y la optimización del rendimiento en tareas deportivas (82).

Un estudio de Martín-San et al. llevó a cabo un estudio transversal con un nivel de evidencia 4, donde evaluaron la activación muscular de los músculos bíceps femoral, semitendinoso, glúteo mayor y gracilis durante ejercicios de extensión de cadera bajo diferentes condiciones de carga. La hipótesis planteada era que el entrenamiento inercial provocaría una mayor activación muscular en comparación con el entrenamiento gravitacional. Participaron quince hombres entrenados en resistencia. Los sujetos realizaron ejercicios de puente de rodilla unilateral, extensión de cadera a 45° y peso muerto con piernas rígidas, evaluando la actividad electromiográfica en diferentes fases de los ejercicios, bajo condiciones de carga gravitacional e inercial. Los resultados mostraron que, en la fase concéntrica, la carga inercial generó una mayor activación muscular en los músculos bíceps femoral, semitendinoso y glúteo mayor en comparación con la carga gravitacional. Además, los ejercicios de puente de rodilla y extensión de cadera activaron más los músculos bíceps femoral y semitendinoso que el peso muerto. En la fase excéntrica, la carga inercial también resultó en una mayor activación del glúteo mayor. En conclusión, el entrenamiento inercial es más efectivo que el gravitacional para activar los músculos isquiotibiales de manera concéntrica. Por lo tanto, se sugiere que los ejercicios de extensión de cadera y puente de rodilla con carga inercial sean considerados en los programas de entrenamiento para fortalecer los isquiotibiales. Desde una perspectiva clínica, se destaca la importancia del entrenamiento de fuerza, especialmente con carga inercial, en la prevención de lesiones en esta musculatura (83).

En una revisión sistemática, evaluaron la efectividad del entrenamiento con volante de inercia, que simula movimientos deportivos específicos y sobrecarga tanto en fases concéntricas como excéntricas. Los hallazgos sugieren que el entrenamiento con volante de inercia es efectivo para mejorar el rendimiento

deportivo, ofreciendo variabilidad en las metodologías de entrenamiento y fomentando la adherencia de los atletas. Sin embargo, se requieren más investigaciones para establecer pautas sobre la modalidad, frecuencia, volumen y carga de inercia (73).

Estrategias de Movilización y Tracción Articular

Para la realización de movilizaciones articulares, es importante reconocer que existen dos tipos de movimientos que afectan a las articulaciones: estos son los *Movimientos Fisiológicos* u *Osteocinemáticos* que resultan de contracciones musculares activas y permiten el movimiento de un hueso alrededor de un eje, generando que se produzca la flexión, la extensión, la abducción, la aducción y rotación; y los *Movimientos Accesorios* que se refieren a como una superficie articular se desplaza con relación a otra superficie articular y suelen acompañar a los movimientos fisiológicos.

Los dos tipos de movimientos suceden de manera simultánea, pero los movimientos accesorios no pueden realizarse de forma independiente y pueden ser inducidos por fuerzas externas. Para que pueda lograrse un rango de movimiento fisiológico completo, es necesario que los movimientos accesorios sean normales. Si existen restricciones en los movimientos accesorios, los movimientos fisiológicos también estarán afectados. Por tal motivo, es decisivo que el fisioterapeuta deportivo evalúe si las limitaciones en el movimiento son debidas a restricciones musculotendinosas o a problemas en la cápsula articular y ligamentos.

En este contexto, el fisioterapeuta deportivo debe evaluar no solo la flexión y la extensión, sino también las limitaciones en el giro y deslizamiento. Si hay restricciones en el movimiento fisiológico, es indicado realizar estiramientos para mejorar la flexibilidad, especialmente al final del rango de movimiento. Si las limitaciones son causadas por la cápsula articular o los ligamentos, es recomendable utilizar técnicas de movilización, que son más seguras y efectivas (18).

Las técnicas de movilización articular son un tipo de actividad pasiva que se utiliza para aumentar la amplitud de movimiento y mejorar la artrocinemática. Su uso adecuado puede facilitar la curación, reducir la discapacidad, aliviar el dolor y restaurar la amplitud de movimiento completa (84).

La movilización y la manipulación son conceptos que pueden usar de manera intercambiable, definiéndose como un continuo de movimientos pasivos aplicados a diferentes velocidades y amplitudes, incluyendo movimientos de pequeña amplitud y alta velocidad. Por lo general, las intervenciones por medio de la movilización articular son bien toleradas por los deportistas (85).

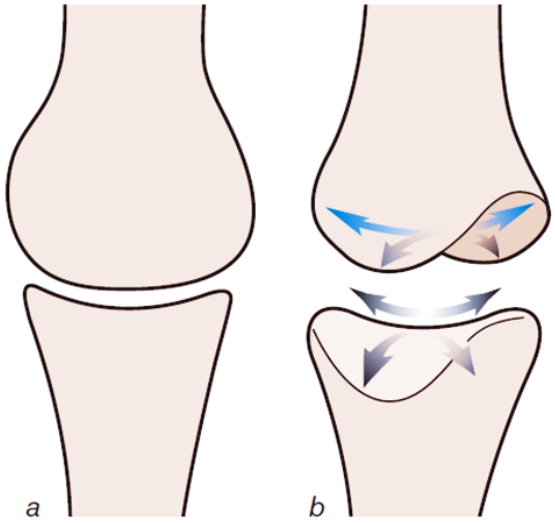
Maitland definió la *Movilización Articular* como un movimiento pasivo de pequeña amplitud que se aplica externamente para producir deslizamiento o tracción en una articulación. Tradicionalmente, la *Manipulación Articular* se ha considerado una técnica específica que implica un estiramiento pasivo de la cápsula articular mediante una maniobra de empuje rápida. Esta técnica ha sido vista como un tipo particular de movilización articular (86).

Conceptos Artrocinemáticos

La artrocinemática hace referencia a los movimientos que ocurren entre los huesos de una articulación. Existen cinco tipos de movimientos artrocinemáticos: rodamiento, deslizamiento, giro, compresión y distracción. Estos movimientos son esenciales para permitir un rango de movimiento adecuado en la articulación y dependen del complejo articular.

Las superficies articulares pueden ser cóncavas, convexas o una combinación de ambas. Las articulaciones con una superficie cóncava y otra convexa se conocen como ovoides, mientras que las que presentan una cóncava en una dirección y convexa en otra, similar a una silla de montar, se denominan articulaciones en silla de montar. La forma de la articulación influye en los movimientos artrocinemáticos que puede realizar (87).

Figura 6. *Superficies articulares*



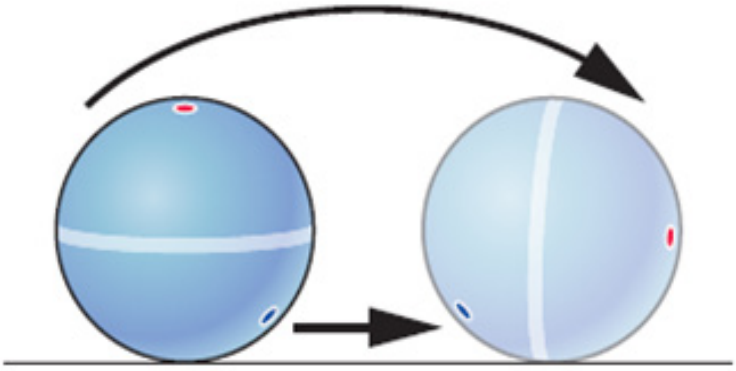
Nota. (a) articulación ovoide, (b) articulación en silla de montar. *Fuente: tomado de Houglum* (87)

Tipos de Movimiento: Cuando una palanca ósea se mueve sobre un eje, también se produce un movimiento entre las superficies óseas de la articulación opuesta. La cantidad de movimiento se mide en grados con un goniómetro y se conoce como rango de movimiento. El movimiento de las superficies óseas en la articulación es una combinación de rodamiento, deslizamiento y giro (88).

Rodamiento (88): las características del rodamiento de un hueso sobre otro son las siguientes:

- Las superficies óseas son incongruentes.
- Nuevos puntos de una superficie se encuentran con nuevos puntos en la superficie opuesta.
- El rodamiento genera un movimiento angular del hueso (oscilación).
- Este movimiento siempre ocurre en la misma dirección que la oscilación del hueso, ya sea que la superficie sea convexa o cóncava.
- Si el rodamiento ocurre de forma aislada, provoca compresión en las superficies del lado hacia el que se inclina el hueso y separación en el lado opuesto. El estiramiento pasivo que utiliza solo la angulación del hueso puede generar fuerzas de compresión que estresan ciertas áreas de la superficie articular, lo que puede causar daños en la articulación.

Figura 7. *Rodamiento*

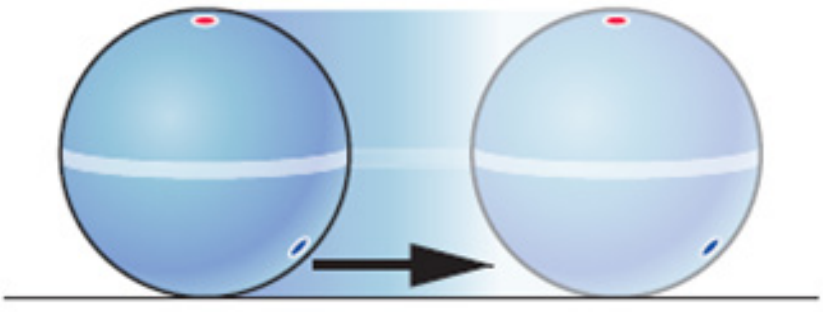


Nota. En un rodamiento, diferentes puntos de una superficie hacen contacto con diferentes puntos de la otra superficie. *Fuente*: t*omado de Houglum* (87)

Deslizamiento (88): las características del deslizamiento de un hueso sobre otro incluyen las siguientes:

- Para un deslizamiento puro, las superficies deben ser congruentes, ya sean planas o curvas.
- El mismo punto en una superficie entra en contacto con los nuevos puntos en la superficie opuesta.
- El deslizamiento puro no ocurre en las articulaciones porque las superficies no son completamente congruentes.
- La dirección del deslizamiento depende de la forma de la superficie en movimiento, a lo que se establece dentro de la ley cóncavo-convexo:
    - Si la superficie es convexa, el deslizamiento ocurre en dirección opuesta al movimiento angular del hueso.
    - Si la superficie es cóncava, el deslizamiento se produce en la misma dirección que el movimiento angular del hueso.

Figura 8. *Deslizamiento*



Nota. En un deslizamiento, un punto de una superficie se encuentra en contacto con varios puntos de la otra superficie.

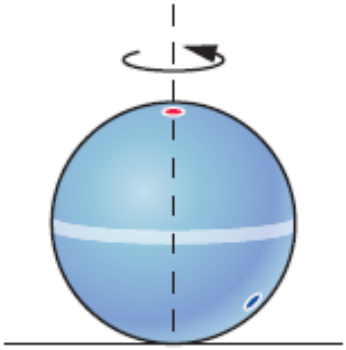
Fuente: tomado de Houglum (87)

Giro (88): Las características de un hueso que rota sobre otro son las siguientes:

- Se produce la rotación de un segmento alrededor de un eje mecánico fijo.
- Un mismo punto en la superficie en movimiento describe un arco circular mientras el hueso gira.

- El giro rara vez ocurre de manera aislada en las articulaciones, sino que se presenta junto con el rodamiento y el deslizamiento.
- Tres ejemplos de giro en las articulaciones del cuerpo son el hombro durante la flexión/extensión, la cadera en flexión/extensión y la articulación radio humeral en pronación/supinación.

Figura 9. *Giro*



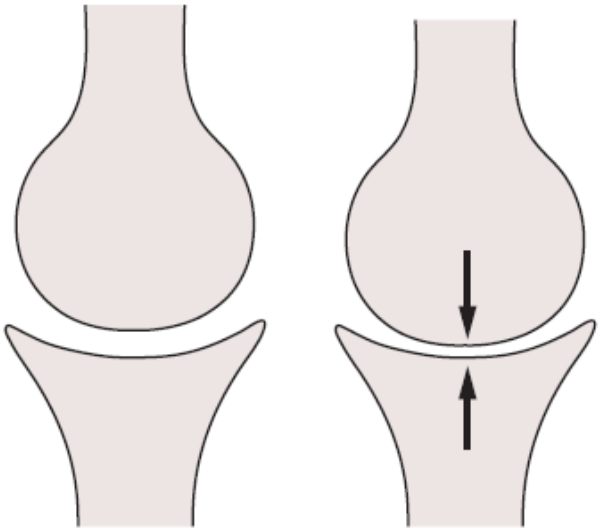
Nota. En un giro, un segmento rota en torno a un eje mecánico fijo.

Fuente: tomado de Houglum (87)

Compresión (88): La compresión se refiere a la reducción del espacio articular entre los huesos conectados.

- Este fenómeno ocurre comúnmente en las articulaciones de las extremidades y la columna vertebral cuando se aplica peso.
- Se genera cierta compresión cuando los músculos se contraen, lo que contribuye a la estabilidad de las articulaciones.
- Al girar un hueso sobre otro, también se produce compresión en el lado hacia el cual se inclina el hueso.
- Las cargas de compresión intermitentes normales facilitan el movimiento del líquido sinovial, lo que ayuda a mantener la salud del cartílago.
- Sin embargo, las cargas de compresión excesivamente altas pueden causar cambios y deterioro en el cartílago articular.

Figura 10. *Compresión*

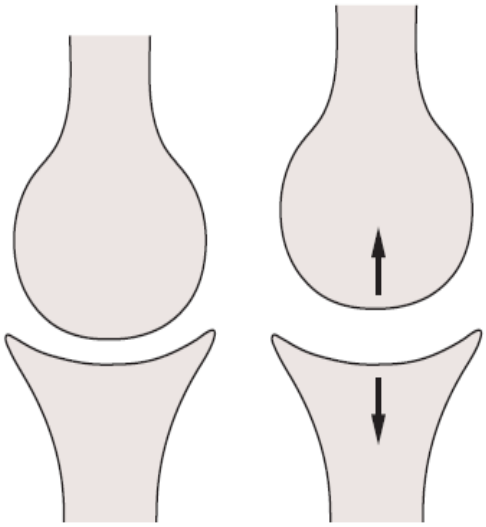


Fuente: tomado de Houglum (87)

Distracción/Tracción (88): Tracción y distracción no son términos equivalentes. La tracción se refiere a un tirón a lo largo del eje, mientras que la distracción implica una separación o alejamiento.

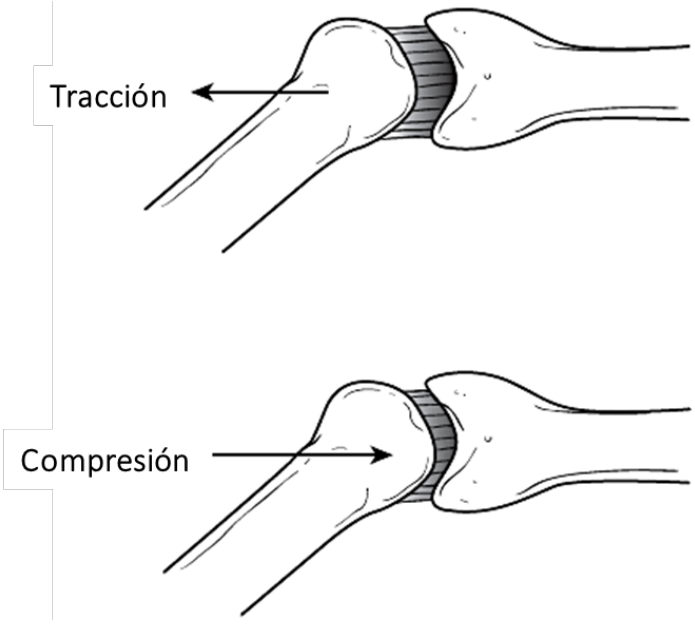
- La separación de las superficies articulares (distracción) no siempre ocurre al aplicar una fuerza de tracción a lo largo del eje de un hueso. Por ejemplo, al aplicar tracción al eje del húmero con el brazo a un lado, se produce un deslizamiento de la superficie articular. La distracción de la articulación glenohumeral, en cambio, requiere que se aplique una fuerza perpendicular a la fosa glenoidea.
- Para mayor claridad en este texto, cuando se necesite aplicar una fuerza de tracción a lo largo del eje de un hueso, se utilizará el término "tracción del eje largo". En cambio, cuando se trate de separar las superficies, se emplearán los términos "distracción", "tracción articular" o "separación articular".

Figura 11. *Tracción*



Fuente: tomado de Houglum (87)

Figura 12. *Aplicación de la tracción y la compresión en una articulación*

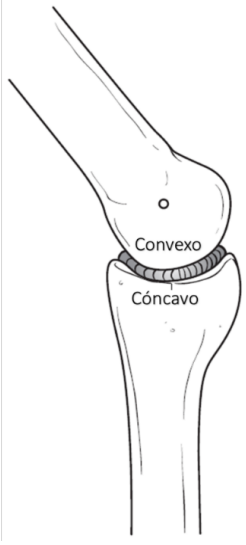


Fuente: tomado de Edmond (89)

Regla de Cóncavo-Convexo

La mayoría de las superficies articulares sinoviales en el cuerpo humano son convexas o cóncavas, aunque algunas no se ajustan perfectamente a estas formas. Por ejemplo, la cabeza humeral es convexa y la fosa glenoidea es cóncava. En articulaciones donde la forma no es claramente convexa o cóncava, a menudo hay estructuras como discos que ayudan a modificar el contorno articular (90).

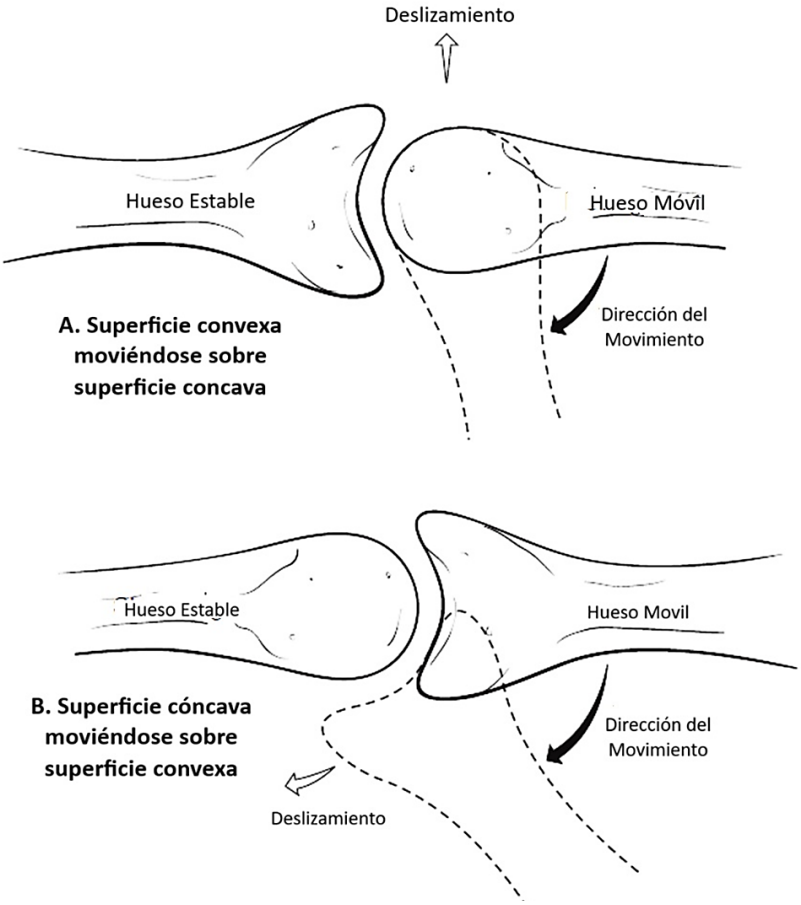
Figura 13. *Articulación ovoide*



Fuente: tomado y modificado de Edmond (89)

Las reglas de concavidad y convexidad son fundamentales para aplicar correctamente las técnicas de movilización en las articulaciones. Estas reglas indican que, en una articulación, una superficie se mueve mientras que la otra permanece fija. Según la regla de concavidad sobre convexidad, cuando la superficie cóncava se desplaza, su deslizamiento ocurre en la misma dirección que el movimiento del hueso, mientras que la superficie convexa se mantiene estable. En contraste, en la regla de convexidad sobre concavidad, la superficie convexa se desliza en dirección opuesta al movimiento del hueso, mientras que la cóncava permanece en su lugar (87).

Figura 14. *Regla de Cóncavo-Convexo*



Fuente: tomado y modificado de Edmond (89)

Por ejemplo, al estabilizar el muslo para evitar el movimiento del fémur en la rodilla, la tibia, que tiene una superficie cóncava, se desliza hacia atrás al pasar de la extensión a la flexión. Por otro lado, si se estabiliza la cavidad glenoidea en el hombro, la cabeza humeral, que es convexa, se desliza hacia abajo mientras el húmero se mueve hacia arriba en abducción. Para aumentar la flexión de la rodilla, se debe aplicar una fuerza de movilización en dirección anteroposterior sobre la tibia, mientras que, para favorecer la extensión, la fuerza debe ser postero-anterior. De manera similar, al movilizar el astrágalo en el tobillo, se aplica una fuerza anteroposterior para incrementar la dorsiflexión y una fuerza postero-anterior para aumentar la flexión plantar (87).

Tabla 7. *Tipos de Articulaciones: Cóncavas y Convexas en Movimiento*

Articulación	Segmento Estable	Segmento Móvil	Regla de Movilización Articular
Glenohumeral	Fosa glenoidea	Cabeza del húmero	Convexo sobre cóncavo: La cabeza humeral se desliza en sentido opuesto al movimiento del húmero.
Antebrazo: articulación proximal	Ulna	Cabeza del radio	Convexo sobre cóncavo: la cabeza radial redonda se desliza en sentido opuesto al movimiento del antebrazo.
Antebrazo: articulación distal	Cabeza de la Ulna	Escotadura cubital del radio	Cóncavo sobre convexo: la escotadura cubital convexa se desliza en la misma dirección que el movimiento del antebrazo.
Articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas	La convexidad meta-carpal	Concavidad proximal de las falanges	Cóncava sobre convexa: la falange cóncava se desliza en la misma dirección que el movimiento del dedo.
Cadera	Acetábulo	Cabeza del fémur	Convexo sobre cóncavo: la cabeza femoral se desliza en sentido opuesto al movimiento del eje femoral.
Rodilla	Fémur	Tibia	Cóncava sobre convexo: el deslizamiento de la tibia se realiza en la misma dirección que el movimiento tibial.
Talocrural	Mortaja tibio-fibular	Cúpula del astrágalo	Convexo sobre cóncavo: el astrágalo se desliza en sentido opuesto al movimiento del pie.
Articulaciones metatarsofalángicas e interfalángicas	Metatarso convexo	Falange proximal cóncava	Cóncava sobre convexa: la falange cóncava se desliza en la misma dirección que el movimiento de los dedos.

Fuente: tomado y modificado de Houglum (87)

Efectos de la Movilización Articular

La movilización articular es la terapia manual con mayor respaldo científico en cuanto a su eficacia. Diversos estudios han demostrado sus beneficios en deportistas con problemas en la columna, así como en miembros inferiores y superiores. Además, muchos fisioterapeutas deportivos reportan de manera anecdótica resultados positivos y consistentes en sus tratamientos. Aunque aún no se ha determinado con precisión la causa de estos beneficios, se sugiere que las técnicas de movilización articular generan cambios químicos, fisiológicos o mecánicos favorables.

Los fisioterapeutas deportivos emplean la movilización y manipulación articular principalmente para tratar el dolor y la hipomovilidad articular. Los efectos de estas técnicas se pueden clasificar en tres categorías: mecánicos, neurofisiológicos y psicológicos (87, 89).

- **Efectos mecánicos de la movilización articular:** Las técnicas de movilización más intensas pueden mejorar la movilidad en articulaciones hipomóviles, que a menudo desarrollan adherencias colágenas y tejido conectivo engrosado debido a la inmovilización. Estas técnicas no solo estiran los tejidos capsulares, sino que también ayudan a aflojar o romper adherencias, facilitando así el movimiento articular. La aplicación de la fuerza adecuada es crucial para restaurar la flexibilidad y movilidad de la cápsula y otros tejidos blandos, como ligamentos y tendones, que pueden acortarse tras una lesión. Además, se ha propuesto que la movilización puede liberar atrapamientos meniscales en articulaciones facetarias, lo que podría aliviar el dolor y mejorar la movilidad. Sin embargo, la evidencia actual sugiere que los efectos biomecánicos de la movilización son transitorios y no generan cambios posicionales duraderos. Por lo tanto, es importante considerar también los efectos neurofisiológicos y psicológicos que pueden influir en la recuperación de la movilidad articular (87, 89).

- **Efectos neurofisiológicos:** Las movilizaciones y manipulaciones articulares generan efectos neurofisiológicos tanto locales como distales, especialmente cuando se aplican en la columna vertebral, que está altamente inervada y proporciona una significativa entrada aferente al sistema nervioso central. Esta entrada proviene de mecanorreceptores y terminaciones nerviosas en las articulaciones y músculos, que al ser activados durante el movimiento, envían información propioceptiva y nociceptiva a la médula espinal. El área gris periacueductal del mesencéfalo juega un papel crucial en la mediación de la analgesia endógena, coordinando sistemas nociceptivos, autónomos y motores. Aunque algunos estudios sugieren que la movilización puede inducir la liberación de péptidos opioides, como la beta-endorfina, que contribuyen a la analgesia, la evidencia es controvertida, ya que no todos los estudios han podido replicar estos hallazgos. Además, la movilización puede alterar los patrones de activación muscular, inhibiendo ciertos músculos y facilitando otros que son esenciales para el control neuromuscular. En general, se postula que la movilización articular puede aliviar el dolor al activar mecanorreceptores que inhiben la transmisión de señales nociceptivas, lo que a su vez puede reducir el espasmo y la protección muscular, promoviendo así la relajación y disminuyendo el dolor (87, 89).

Orientación Articular y Mecanismos de Aplicación de Fuerza

Cada articulación del cuerpo tiene una posición específica conocida como Posición de Relajación, en la cual la cápsula articular y los ligamentos están relajados o distendidos, permitiendo el máximo rango de movimiento. Esta posición es fundamental para realizar pruebas de movilidad articular y tratamientos para articulaciones hipomóviles, ya que en ella las superficies articulares están separadas al máximo. En contraste, en la posición de máxima congruencia, hay un contacto máximo entre las superficies articulares y los ligamentos están tensos, lo que limita el movimiento (18).

La posición de relajación es ideal para las técnicas de movilización y tracción, que implican un movimiento de traslación entre las superficies articulares. Este movimiento puede ser perpendicular o paralelo al plano de tratamiento, el cual se define en relación con el eje de rotación de las superficies articulares. Las técnicas de movilización utilizan deslizamientos paralelos al plano de tratamiento, mientras que las técnicas de tracción se mueven perpendicularmente a este (84). Ambas técnicas requieren que la articulación esté en una posición suelta para ser efectivas.

La efectividad de la movilización articular depende de la posición de la articulación, así como de la dirección y la magnitud de la fuerza aplicada. Las articulaciones pueden encontrarse en una posición compacta, donde las superficies están alineadas y los ligamentos tensos, lo que no es adecuado para la movilización. En cambio, la posición de relajación permite que los tejidos circundantes se relajen y maximiza el espacio intracapsular (18).

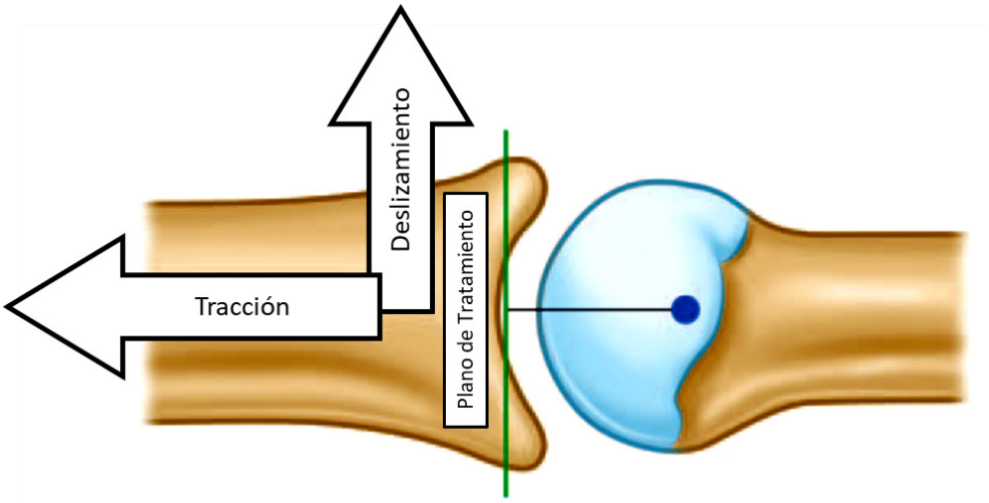
La dirección de la fuerza aplicada durante la movilización se basa en la forma de las superficies articulares, que suelen ser cóncavas y convexas. Según la regla cóncava-convexa, si la superficie cóncava permanece fija y se moviliza la convexa, el deslizamiento debe ser en dirección opuesta a la restricción del movimiento. Por el contrario, si la convexa está fija y se moviliza la cóncava, el deslizamiento debe ser en la misma dirección que la restricción (18, 84).

Las movilizaciones se realizan generalmente en series de tres a seis, con duraciones de hasta 30 segundos y oscilaciones de una a tres por segundo. La tracción se utiliza junto con las movilizaciones para tratar articulaciones con movilidad reducida, estirando la cápsula articular y aumentando el espacio entre las superficies articulares, lo que facilita la movilización. Oscilaciones de grado III y IV, siempre dentro de los límites del dolor, pueden mejorar de manera efectiva la movilidad articular (18, 84).

Técnicas de Movilización Articular

Las técnicas de movilización articular se emplean para mejorar la movilidad y reducir el dolor en las articulaciones; esto se logra restaurando los movimientos accesorios y permitiendo un rango de movimiento completo y sin dolor. Estas técnicas pueden tener diversos objetivos, como aliviar el dolor, disminuir la protección muscular, estirar el tejido alrededor de la articulación y mejorar la conciencia postural y kinestésica (18).

Figura 15. *Plano de Tratamiento/Movilización Articular*



Fuente: tomado y modificado de Prentice (18)

Las articulaciones pueden ser clasificadas como hipomóviles (con movimiento limitado), normales o hipermóviles (con movimiento excesivo). En general, las articulaciones hipomóviles suelen beneficiarse de técnicas de movilización, mientras que las hipermóviles requieren ejercicios de fortalecimiento y estabilidad (18).

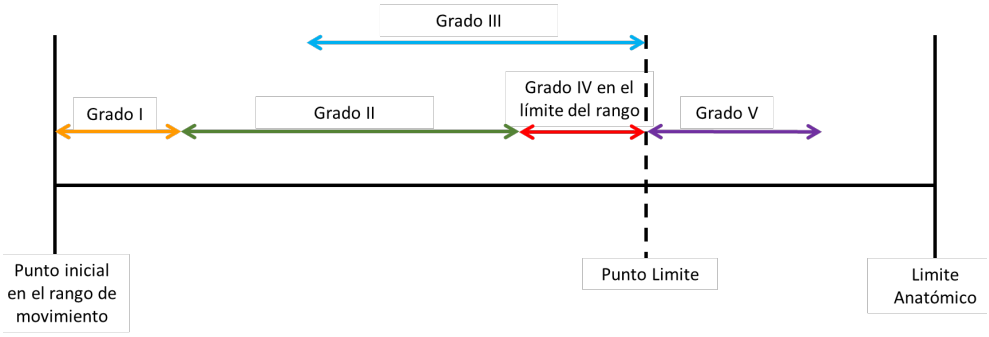
En cuanto a las técnicas de movilización, estas implican movimientos lentos y de pequeña amplitud, que se realizan dentro del rango de movimiento total de la articulación. Maitland clasifica estas movilizaciones en cinco grados, que varían en amplitud y se aplican según la limitación del movimiento (91):

Tabla 8. *Grados según Maitland*

Grado	Descripción
I	Movimiento de baja amplitud realizado al inicio del rango de movimiento, empleado cuando el dolor y el espasmo restringen la movilidad en esa zona.
II	Movimiento de amplia amplitud que se lleva a cabo en la parte media del rango de movimiento, utilizado cuando el dolor que se intensifica gradualmente limita la movilidad en esa área.
III	Movimiento de amplia amplitud que se extiende hasta el límite patológico del rango de movimiento, utilizado cuando el dolor y la resistencia provocados por un espasmo, la tensión en los tejidos inertes o la compresión de los tejidos restringen la movilidad cerca del final del rango.
IV	Movimiento de baja amplitud realizado al final del rango de movimiento, empleado cuando la resistencia restringe la movilidad sin la presencia de dolor o espasmo.
V	Un empuje rápido de baja amplitud que se realiza al final del rango de movimiento, el cual suele ir acompañado de un sonido de estallido conocido como cavitación.

Fuente: tomado y modificado de Konin (84)

Figura 16. *Grados de movilidad según Maitland*



Fuente: tomado y modificado de Prentice (18)

Esta clasificación se basa en la amplitud del movimiento y en el punto del rango de movimiento donde se aplica la fuerza. Los grados I y IV corresponden a movimientos de pequeña amplitud, realizados al inicio y al final del rango de movimiento, respectivamente. En contraste, los grados II y III son de gran amplitud, donde el grado II no alcanza los límites del rango y el grado III se realiza hasta el límite disponible. Los grados I y II se utilizan principalmente para aliviar el dolor articular, ya que estimulan los mecanorreceptores para inhibir la retroalimentación nociceptiva. Estos grados son útiles antes y después

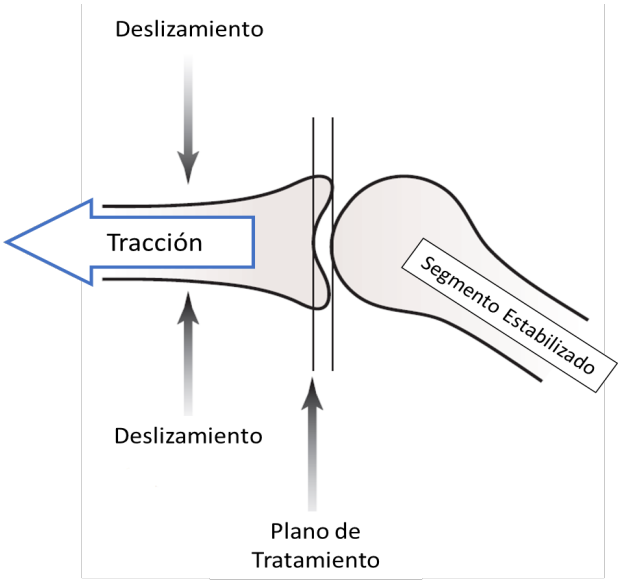
de aplicar los grados III y IV, que se enfocan en ganar movimiento articular al estirar la cápsula y los tejidos conectivos que limitan la movilidad. Aunque los grados III y IV pueden ser incómodos, no deben causar dolor (87).

Es importante señalar que, si la movilización en la dirección correcta provoca un aumento del dolor o la rigidez, el entrenador deportivo debe aplicar la técnica en la dirección opuesta hasta que el paciente pueda tolerar el movimiento adecuado. En general, la movilización articular consiste en realizar de 3 a 6 series de oscilaciones, cada una con una duración de 20 a 60 segundos, manteniendo una frecuencia de 1 a 3 oscilaciones por segundo (18).

Técnicas de Tracción Articular

Según Kalterborn-Evjenth, la tracción es un método seguro y efectivo para evaluar el estado de la cápsula articular. Esta técnica consiste en separar una superficie articular de la otra, permitiendo así, como tratamiento aliviar el dolor o mejorar la movilidad articular (92).

Figura 17. *Plano de Tratamiento/Tracción Articular*



Fuente: tomado y modificado de Houglum (87)

Aunque los deslizamientos de movilización se llevan a cabo en paralelo al plano de tratamiento, la tracción se realiza de manera perpendicular a dicho plano (ver Figura). Al igual que las técnicas de movilización, la tracción

puede emplearse para aliviar el dolor o para mejorar la hipomovilidad articular. Kalterborn ha propuesto un sistema que combina la tracción con la movilización como un método para reducir el dolor o movilizar articulaciones con hipomovilidad. Como se mencionó anteriormente, todas las articulaciones poseen un cierto grado de juego o flexibilidad, que Kalterborn denominó holgura. Un nivel adecuado de holgura es esencial para el movimiento normal de la articulación. Los tres grados de tracción según Kalterborn se definen de la siguiente manera (18):

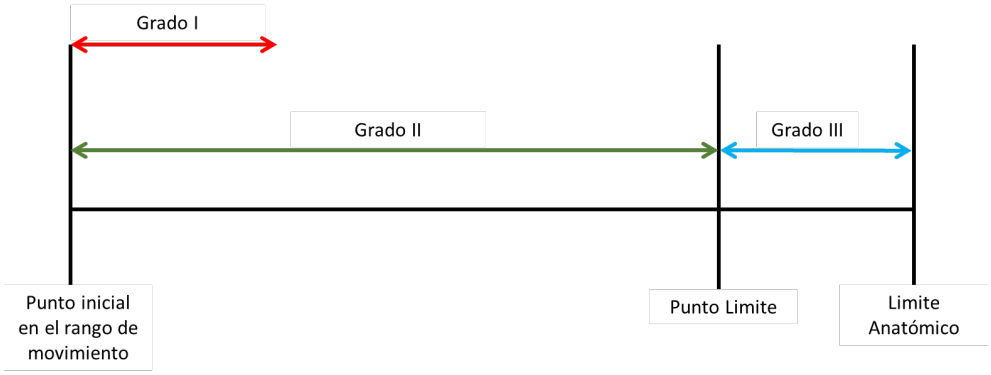
Tabla 9. *Grados según Kalterborn*

Grado	Descripción
I	**Aflojar -** Este tipo de tracción alivia la presión en la articulación sin separar las superficies articulares, con el objetivo de reducir el dolor al disminuir las fuerzas de compresión durante la movilización. Se utiliza en combinación con todos los grados de movilización y es similar a una movilización de grado I.
II	**Tensar o reducir la holgura -** Esta tracción separa efectivamente las superficies articulares y elimina la holgura en la cápsula articular. Se emplea en el tratamiento inicial para evaluar la sensibilidad de la articulación y también se utiliza para aliviar el dolor, siendo equivalente a una movilización de grado IV.
III	**Estiramiento -** Este tipo de tracción implica estirar el tejido blando que rodea la articulación para mejorar la movilidad en articulaciones con hipomovilidad.

Fuente: tomado y modificado de Konin (84)

La tracción de grado I se recomienda en el tratamiento inicial para minimizar el riesgo de dolor. Se sugiere aplicar tracción intermitente de grado I y II durante 10 segundos, separando las superficies articulares hasta alcanzar la tracción de grado III, y luego liberar la tensión hasta que la articulación vuelva a su posición de reposo. Kalterborn destaca que la tracción de grado III debe combinarse con deslizamientos de movilización para abordar la hipomovilidad articular. Este tipo de tracción estira la cápsula articular y aumenta el espacio entre las superficies articulares, permitiendo que la articulación esté en una posición más suelta y compacta. Además, las oscilaciones de grado III y IV, dentro de los límites del dolor del paciente, deberían maximizar la movilidad articular (18).

Figura 18. *Grados de tracción según Kalterborn*



Fuente: tomado y modificado de Prentice (18)

Control Neuromuscular y la Propiocepción

Julio César Scaliger fue el primero en describir la sensación de posición-movimiento como una "sensación de locomoción" en 1557. Posteriormente, en 1826, Charles Bell propuso que la información sobre la posición del músculo se transmitía desde los músculos al cerebro, en dirección opuesta a los comentarios motores, lo que representó un avance significativo al explicar uno de los primeros mecanismos de retroalimentación fisiológica.

Más tarde, en 1880, Henry Charlton Bastian sugirió el término "cinestesia" en lugar de "sensación muscular", para indicar que la información aferente provenía no solo de los músculos, sino también de las articulaciones, la piel y los tendones. En 1889, el neurólogo alemán Alfred Goldscheider clasificó la cinestesia en sensibilidad muscular, tendinosa y articular. Finalmente, en 1906, Charles Scott Sherrington introdujo los términos "propiocepción", "interocepción" y "exterocepción". Los "exteroceptores" son órganos sensoriales como los ojos, oídos, boca y piel, que reciben información del entorno, mientras que los "interoceptores" informan sobre los órganos internos. Por su parte, la "propiocepción" se define como la conciencia del movimiento y la postura, derivada de los músculos, tendones y articulaciones (67).

Los movimientos de las partes del cuerpo son regulados por las funciones de los sistemas somatosensorial y sensoriomotor, cuyo funcionamiento conjunto es crucial para un sentido propioceptivo eficiente. El sistema somatosensorial está compuesto por receptores sensoriales, neuronas en estructuras

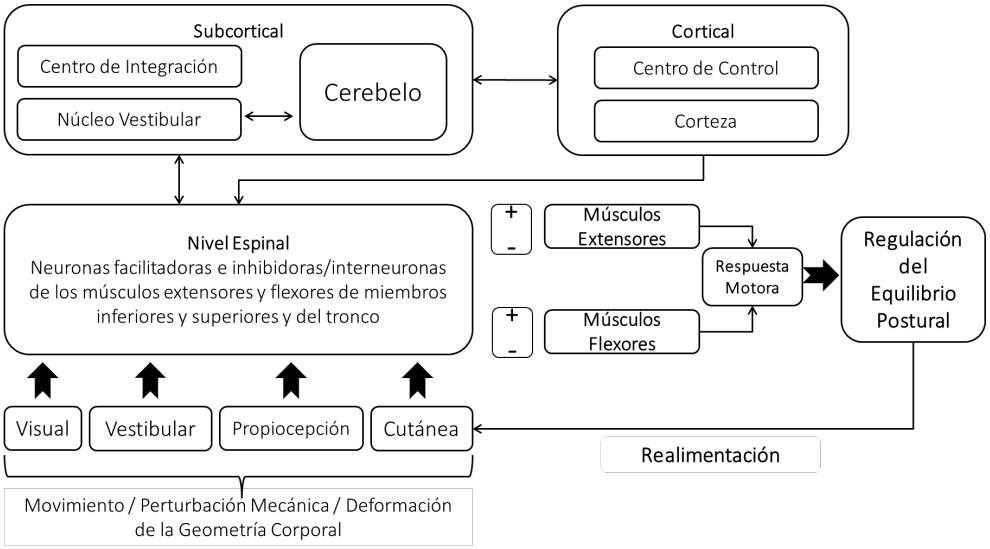
periféricas y neuronas en áreas corticales más profundas. Estos receptores se dividen en termorreceptores, fotorreceptores, mecanorreceptores y quimiorreceptores, y son responsables de recibir información sensorial somestésica periférica, que incluye datos propioceptivos, táctiles, térmicos y nociceptivos provenientes de la piel, músculos, huesos, articulaciones, órganos internos y el sistema cardiovascular. Esta información es transmitida a las estructuras corticales a través de receptores especializados, como los corpúsculos de Meissner, Pacini, discos de Merkel y corpúsculos de Ruffini, que informan al sistema nervioso central sobre el tacto, la presión, la vibración y la tensión cutánea (67).

Por otro lado, el sistema sensoriomotor opera de manera jerárquica, donde la corteza de asociación emite comandos generales, mientras que las neuronas motoras y los músculos se ocupan de los detalles específicos. Esta organización permite que las estructuras superiores se concentren en funciones complejas, generando una salida motora que se guía por la entrada sensorial y aprendiendo sobre los cambios en el control sensoriomotor (93). Además, el sistema sensoriomotor, que forma parte del sistema nervioso periférico, está relacionado con el control voluntario de los movimientos corporales a través de los músculos esqueléticos. Este sistema incluye nervios eferentes que estimulan la contracción muscular, abarcando todas las neuronas no sensoriales conectadas a los músculos esqueléticos y la piel. Así, la información sensorial desempeña un papel fundamental en la ejecución de las respuestas motoras (67).

En la siguiente Imagen , las flechas representan la dirección de la información eferente, mientras que los signos (+) y (-) indican activación e inhibición, respectivamente. La información de los sistemas visuales, propioceptivos, vestibulares y cutáneos se integra en los núcleos vestibulares, que son responsables de las conexiones vestíbulo-ocular, vestíbulo-espinal y vestíbulo-cerebelosa. La oculomotricidad se regula a través de reflejos vestíbulo-oculares y viso-oculares. A nivel espinal, las neuronas facilitadoras e inhibidoras controlan los reflejos tendinosos, de estiramiento, así como los reflejos de flexión y extensión. La excitabilidad espinal se puede medir con el reflejo H. El comando motor voluntario requiere la colaboración de los ganglios basales (selección del movimiento), el cerebelo (control del movimiento) y la corteza motora (activación del tracto corticoespinal), formando así el centro de control del equilibrio postural. La activación de los músculos extensores del cuerpo asegura la función postural, mientras que sus antagonistas son inhibidos por neuronas a través del reflejo de inhibición recíproca. La musculatura axial es

regulada por los tractos reticuloespinal y vestibuloespinal, así como por una parte de la vía piramidal, mientras que la musculatura distal es controlada por los núcleos rojo y el tracto rubroespinal para acciones motoras finas. En resumen, las respuestas posturales automáticas son principalmente gestionadas por estructuras subcorticales (94).

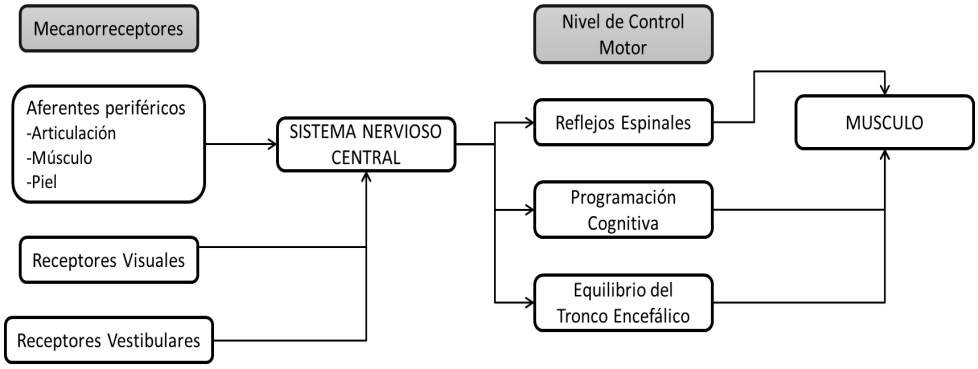
Figura 19. *Representación de los elementos clave de la función postural y su interacción funcional*



Fuente: tomado y modificado de Paillard (94)

La propiocepción se logra a través de estímulos aferentes de receptores ubicados en la cápsula articular, músculos, tendones, ligamentos, estructuras intraarticulares (como los meniscos) y la piel. Estos receptores incluyen mecanorreceptores, que detectan posición y movimiento, y nociceptores, que transmiten el dolor (95).

Figura 20. *Representación de la Vía de control neuromuscular*



Fuente: tomado y modificado de Gülenç (95)

Tras una lesión y un periodo de inmovilización, el sistema nervioso central puede perder la capacidad de integrar información sensorial de mecanorreceptores y otras señales. El Control Neuromuscular es la habilidad del sistema nervioso para procesar la información sensorial, lo que permite coordinar el movimiento y asegurar la estabilidad de las articulaciones, además de que la mente guía al cuerpo en la ejecución consciente de movimientos específicos (96, 97). Esto puede lograrse por medio de práctica repetida, comenzando con movimientos simples y avanzando a los más complejos. Es esencial realizar ejercicios de fortalecimiento funcional para restablecer patrones sensoriales aprendidos y ajustar la ejecución del movimiento según la intención.

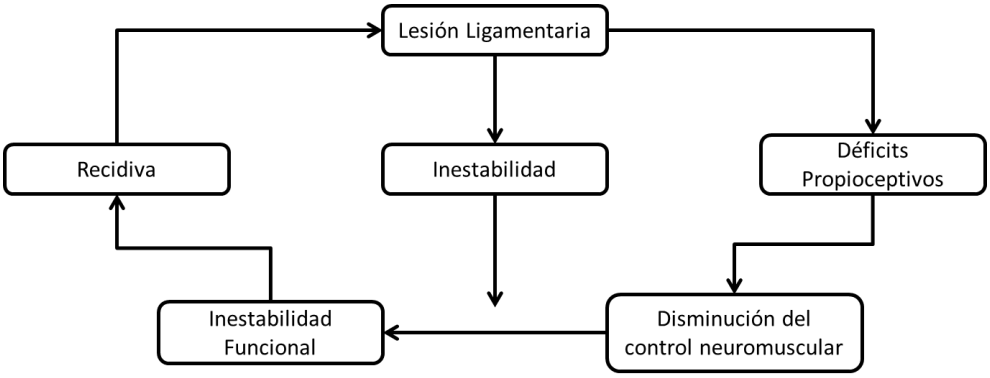
El restablecimiento del control neuromuscular es fundamental en la rehabilitación de articulaciones patológicas, ya que ayuda a los deportistas a reconectar con las sensaciones periféricas y a procesar estas señales para realizar movimientos más coordinados. Esto protege las articulaciones de tensiones excesivas y previene lesiones recurrentes. Las actividades de control neuromuscular complementan tratamientos tradicionales que abordan el dolor, la inflamación y la restauración de la flexibilidad, fuerza y resistencia, así como aspectos psicológicos (97).

Los mecanorreceptores en las estructuras articulares son esenciales para este control, ya que envían información sobre movimiento y posición al sistema nervioso central. Las estructuras como cápsulas y ligamentos no solo estabilizan los segmentos esqueléticos, sino que también detectan movimiento y posición. Lesiones en estas áreas pueden provocar laxitud articular y pérdida

de sensibilidad, afectando la realimentación necesaria para un control neuromuscular adecuado (97).

La patología articular puede comprometer la estabilidad mecánica y funcional. Por ejemplo, algunos pacientes con ligamento cruzado anterior (LCA) deficiente pueden funcionar bien a pesar de la inestabilidad, mientras que otros con LCA reconstruido pueden sentir inestabilidad funcional a pesar de la estabilidad mecánica. La cirugía reconstructiva y la rehabilitación pueden favorecer la reinervación del injerto y mejorar las características neuromusculares.

Figura 21. El *paradigma de Estabilidad Funcional*



Nota. El paradigma de estabilidad funcional explica cómo la inestabilidad mecánica y los déficits en la propiocepción afectan el control neuromuscular y la estabilidad funcional, lo que aumenta el riesgo de lesiones recurrentes en la rodilla.

Fuente: *Tomado y modificado de Prentice* (97)

La estabilidad postural se logra mediante interacciones complejas entre diversos sistemas sensoriales, motores e integradores. En este contexto, la fuerza muscular, la sensación táctil y la propiocepción juegan un papel importante. En primer lugar, la capacidad de los músculos para generar la fuerza adecuada es esencial para mantener el equilibrio. Además, la propiocepción es clave para realizar movimientos coordinados, mantener una postura corporal adecuada y regular el equilibrio. Por otro lado, las articulaciones de la rodilla y el tobillo son fundamentales para el soporte de las extremidades inferiores, y la información propioceptiva que reciben es crucial para el control postural y la estabilidad articular (98).

La comunicación bidireccional entre los sistemas sensoriales y motores es fundamental para un control motor adecuado. En este contexto, la información visual se destaca como uno de los elementos más relevantes de la propiocepción. Además, la información proveniente del aparato vestibular, que indica la posición de la cabeza en relación con la gravedad y los movimientos de esta, también juega un papel crucial. Por otro lado, los receptores somatosensoriales son otro sentido corporal significativo, ya que se encuentran en la piel, los músculos, las articulaciones, así como en los ligamentos y tendones. Estos receptores sensoriales proporcionan al SNC información sobre la deformación del tejido, lo que contribuye al control del movimiento (99).

Sistema Propioceptivo

El sistema propioceptivo incluye receptores nerviosos ubicados en el complejo musculotendinoso, los ligamentos y las articulaciones. Entre los más destacados se encuentran el huso muscular, que se relaciona con el reflejo miotático o de estiramiento, y los órganos Tendinosos de Golgi (OTG), que están asociados con el reflejo miotático inverso. Los mecanorreceptores en los ligamentos y la cápsula articular adquieren mayor importancia cuando hay daño en el complejo musculotendinoso.

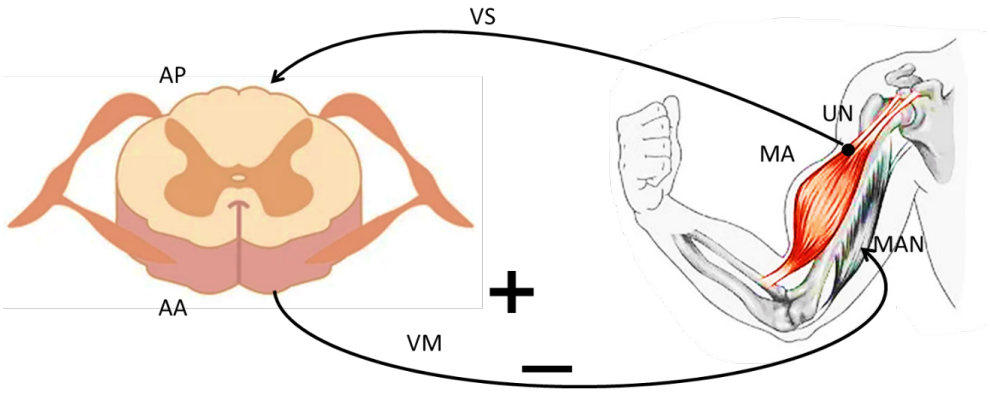
Los mecanorreceptores son neuronas especializadas que convierten la deformación mecánica, como la rotación articular provocada por cambios de posición y movimiento, en señales eléctricas. Existen cinco tipos de mecanorreceptores, cada uno de los cuales responde a distintos estímulos y envía información aferente específica que influye en la función neuromuscular. Para que estos receptores actúen, requieren un estímulo que altere su potencial de membrana, lo que genera un potencial de acción que se transmite al sistema nervioso central (SNC). Además, los mecanorreceptores pueden ser activados por variaciones en la longitud muscular, incluyendo la velocidad de cambio en la tensión y la longitud (99).

Estos receptores detectan la tensión y el estiramiento muscular, enviando esta información a la médula espinal y al cerebro para su procesamiento. Posteriormente, el cerebro envía señales a los músculos para realizar los ajustes necesarios en tensión y estiramiento, facilitando así el movimiento deseado. En resumen, los mecanorreceptores son parte de un mecanismo de control del movimiento que opera de manera subconsciente y refleja, permitiendo respuestas rápidas y automáticas (100).

Los propioceptores, también llamados mecanorreceptores, se describen a continuación:

- **Huso Muscular:** es un receptor sensorial ubicado dentro del músculo, que se activa ante estiramientos significativos. Su función principal es medir la longitud del músculo, el grado de estimulación mecánica y la velocidad del estiramiento, enviando esta información al SNC. Clásicamente, su papel es inhibir la musculatura antagonista durante un movimiento, permitiendo así que este se realice de manera eficiente. En situaciones de estiramiento rápido, los husos generan una contracción refleja del músculo, conocida como reflejo miotático o de estiramiento, que actúa como un mecanismo de protección ante estiramientos bruscos, como en el caso de un tirón en el hombro (100).

Figura 22. *Representación del Reflejo Miotático*



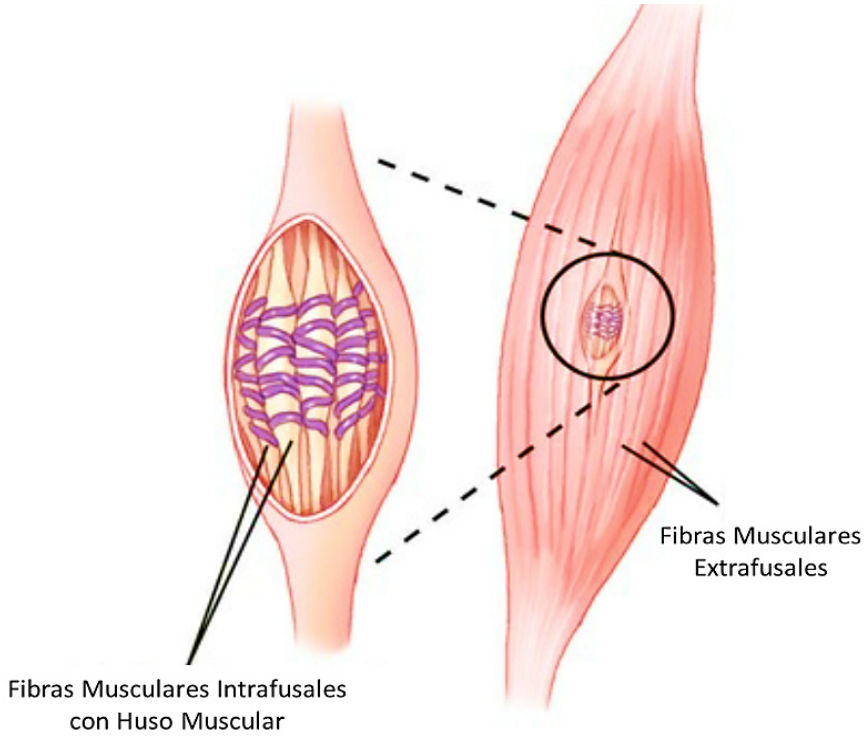
Nota. VS: vía Sensitiva; VM: Vía Motora; AA: Asta Anterior; AP: Asta Posterior; MA: Músculo Agonista; MAN: Músculo Antagonista; UN: Uso Muscular.

Fuente: tomado y modificado de Tarantino (100)

Además, la información que los husos envían al SNC también estimula la musculatura sinergista, mejorando la contracción muscular. Este principio es utilizado en técnicas de facilitación neuromuscular en rehabilitación, como las técnicas de Kabat, que se basan en que un músculo preestirado puede contraerse con mayor fuerza. En esencia, el huso muscular compara su longitud con la del músculo circundante y está compuesto por entre 2 y 12 fibras musculares esqueléticas especializadas, llamadas fibras intrafusales. Estas fibras, que no contienen actina ni miosina en su porción central, no pueden contraerse, pero generan tensión sobre el huso (101).

Las fibras intrafusales se dividen en dos tipos: las fibras de bolsa nuclear, que actúan como medidores de sensibilidad del músculo, y las fibras de cadena nuclear, que tienen una fila de núcleos y están conectadas a las fibras de bolsa. Mientras que las neuronas motoras alfa inervan los músculos, los husos musculares cuentan con un suministro motor propio a través de neuronas motoras gamma. La estimulación del huso puede ocurrir de dos maneras: estirando todo el músculo, lo que activa la porción media del huso, o contrayendo solo la parte final de las fibras intrafusales, lo que también excita el receptor sin necesidad de cambiar la longitud del músculo (101).

Figura 23. *Ubicación y Estructura del Huso Muscular en Relación con las Fibras Musculares Extrafusales*

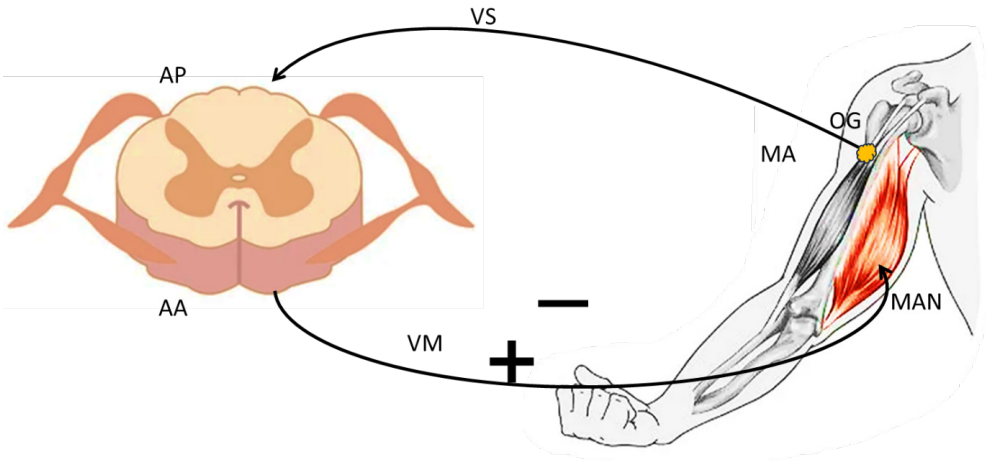


Fuente: tomado y modificado de Muscolino (102)

- **Órgano Tendinoso de Golgi:** Los OTG son receptores sensoriales ubicados en los tendones, que desempeñan un papel crucial en la medición de la tensión generada por los músculos. Se activan principalmente ante tensiones peligrosas, especialmente cuando estas son generadas

activamente por el sujeto, actuando como un mecanismo de protección que provoca la relajación de las fibras musculares en respuesta a excesos de tensión. Este proceso se conoce como reflejo miotático inverso. A diferencia del huso muscular, que responde de manera inmediata, los OTG requieren un período de estimulación de aproximadamente 6 a 8 segundos para inducir la relajación muscular (102).

Figura 24. *Representación del Reflejo Miotatico Inverso*

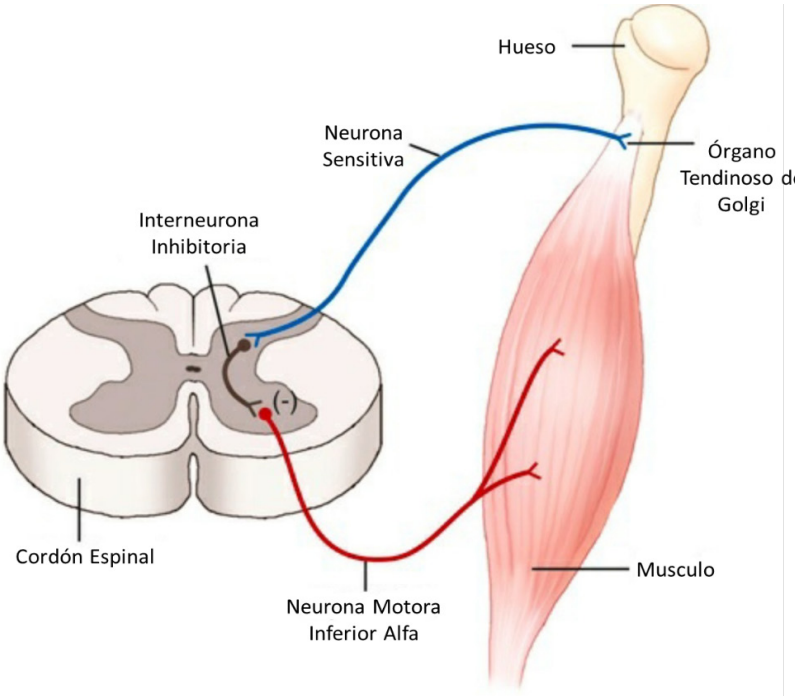


Nota. VS: Vía Sensitiva; VM: Vía Motora; AA: Asta Anterior; AP: Asta Posterior; MA: Músculo Agonista; MAN: Músculo Antagonista; UN: Uso Muscular.

Fuente: tomado y modificado de Tarantino (100)

Los OTG están dispuestos en serie con las fibras musculares extrafusales, lo que les permite enviar información al SNC sobre la tensión muscular a lo largo de todo el rango de movimiento, no solo en sus extremos. Además, cumplen una función protectora al facilitar la inhibición adecuada en momentos críticos, como al cambiar de movimientos de flexión a extensión durante actividades como caminar o correr. Durante la fatiga, la producción de fuerza muscular disminuye, lo que a su vez reduce la actividad de los OTG y, por ende, la inhibición, permitiendo que el músculo genere más fuerza (100).

Figura 25. *Ilustración de las vías neuronales del reflejo del órgano tendinoso de Golgi*



Fuente: tomado y modificado de Muscolino (102)

Los OTG también están involucrados en un proceso conocido como inhibición autógena, que es la respuesta refleja de una unidad motora ante una tensión excesiva en las fibras musculares que inerva. Este mecanismo, que antes se consideraba exclusivo para prevenir lesiones, ahora se entiende que ocurre cuando la inhibición autógena supera la excitación del reflejo de estiramiento. En resumen, los órganos tendinosos de Golgi son esenciales para la regulación de la actividad muscular y la protección contra lesiones, al detectar la contracción del vientre muscular y responder a las fuerzas de tracción aplicadas sobre el tendón (101).

- **Los Corpúsculos de Pacini:** se encuentran alrededor de las cápsulas articulares, ligamentos, vainas de tendones y debajo de la piel, se activan ante cambios rápidos en el ángulo de la articulación y variaciones de presión en la cápsula. Sin embargo, esta activación es temporal y no es efectiva para detectar la presión constante. A pesar de esto, los corpúsculos de Pacini son valiosos para ofrecer información sobre la posición de una

parte del cuerpo en el espacio tras movimientos rápidos, como al correr o saltar (57).

- **Los corpúsculos de Ruffini:** situados en las capas profundas de la piel y en la cápsula articular, se activan ante movimientos articulares intensos y repentinos, así como por variaciones de presión (57).
- **Los corpúsculos de Meissner y los bulbos terminales de Krause:** localizados en la piel y en los tejidos subcutáneos, son esenciales para la recepción de estímulos táctiles (57).

Para restaurar el control neuromuscular y la estabilidad funcional, es crucial trabajar en la sensibilidad articular, la estabilidad dinámica, las características musculares y los patrones de movimiento.

Los deportistas que han sufrido daños en las estructuras articulares de las extremidades, tanto superiores como inferiores, presentan déficits característicos en propiocepción y función neuromuscular. La alteración de las estructuras articulares provoca la desaferenciación de los mecanorreceptores en los ligamentos y, posiblemente, en la cápsula articular. Durante la fase aguda de curación, la inflamación y el dolor en las articulaciones pueden agravar los déficits sensoriales; sin embargo, esto no explica los déficits crónicos en propiocepción que se observan en articulaciones patológicas. Estas características propioceptivas, junto con la inestabilidad mecánica, pueden resultar en inestabilidad funcional (103).

El desarrollo o restablecimiento de la propiocepción y el control neuromuscular en deportistas lesionados es fundamental para reducir el riesgo de nuevas lesiones. El objetivo de la rehabilitación neuromuscular es mejorar las características aferentes y eferentes que optimizan las capacidades de restricción dinámica frente a las cargas in vivo (103). Para lograr un control neuromuscular efectivo y estabilidad funcional, se identifican cuatro elementos clave:

1. La sensación propioceptiva
2. La estabilización articular dinámica
3. El control neuromuscular reactivo
4. Los patrones motores funcionales

En articulaciones patológicas, estos mecanismos dinámicos pueden verse afectados por la desaferenciación, lo que puede resultar en una articulación que, aunque funcionalmente estable, no opera de manera óptima.

Diversas características aferentes y eferentes, como la sensibilidad de los mecanorreceptores y la coactivación de músculos agonistas y antagonistas, son esenciales para mantener un control neuromuscular eficiente (103).

La plasticidad del sistema neuromuscular permite cambios rápidos durante la rehabilitación, mejorando la actividad muscular tanto preparatoria como reactiva. Estas técnicas incluyen actividades de cadena cinética abierta y cerrada, entrenamiento de equilibrio, ejercicios excéntricos y de alta repetición/baja carga, así como facilitación refleja a través de entrenamiento reactivo.

Propiocepción y Fuerza

Estas dos variables están interrelacionadas. El aumento de la fuerza se origina en una estimulación neuromuscular. Aunque a menudo asociamos la fuerza con la masa muscular, es crucial recordar que esta última está controlada por el sistema nervioso. En este sentido, la mejora de la fuerza mediante el entrenamiento implica tanto adaptaciones funcionales, que se centran en aspectos neurológicos, como adaptaciones estructurales, que se relacionan con cambios físicos como la hipertrofia y la hiperplasia.

Asimismo, los procesos reflejos de la propiocepción están conectados con las mejoras funcionales en el entrenamiento de la fuerza. Estas mejoras se logran a través de la coordinación intermuscular, que se refiere a la interacción entre diferentes grupos musculares durante un movimiento específico, y la coordinación intramuscular, que implica la interacción de las unidades motoras dentro de un mismo músculo. Por último, la propiocepción, a través de procesos reflejos, mejora el control del reflejo de estiramiento y del reflejo miotático inverso, lo que puede generar adaptaciones en ambas coordinaciones, intermuscular e intramuscular (100).

Propiocepción y Flexibilidad

El reflejo de estiramiento, que se activa a través de los husos musculares ante un estiramiento excesivo, provoca una contracción muscular como mecanismo de protección, conocido como reflejo miotático. Sin embargo, si se realiza un estiramiento prolongado de manera gradual, se pueden anular estas respuestas reflejas y activar las respuestas del aparato de Golgi, que facilitan la relajación muscular. Esta relajación es fundamental para mejorar la flexibilidad, ya que permite aumentar la amplitud de movimiento durante el estiramiento (100).

Para potenciar aún más la respuesta del aparato de Golgi, se pueden emplear técnicas de estiramiento que incorporan mecanismos propioceptivos. Estas técnicas consisten en alternar breves períodos de contracción de los músculos agonistas que se desean estirar con períodos de relajación. Las contracciones generan tensión que activa los receptores de Golgi, lo que a su vez incrementa la relajación posterior y facilita un estiramiento más efectivo (100).

Propiocepción y Coordinación

La coordinación se refiere a nuestra habilidad para manejar situaciones inesperadas y variables, y su desarrollo depende de varios factores que pueden ser mejorados a través del entrenamiento propioceptivo. Este tipo de entrenamiento es fundamental, ya que se basa en la información somatosensorial (propioceptiva) que el cuerpo recoge en respuesta a estas situaciones, así como en la información proporcionada por los sistemas visual y vestibular (100).

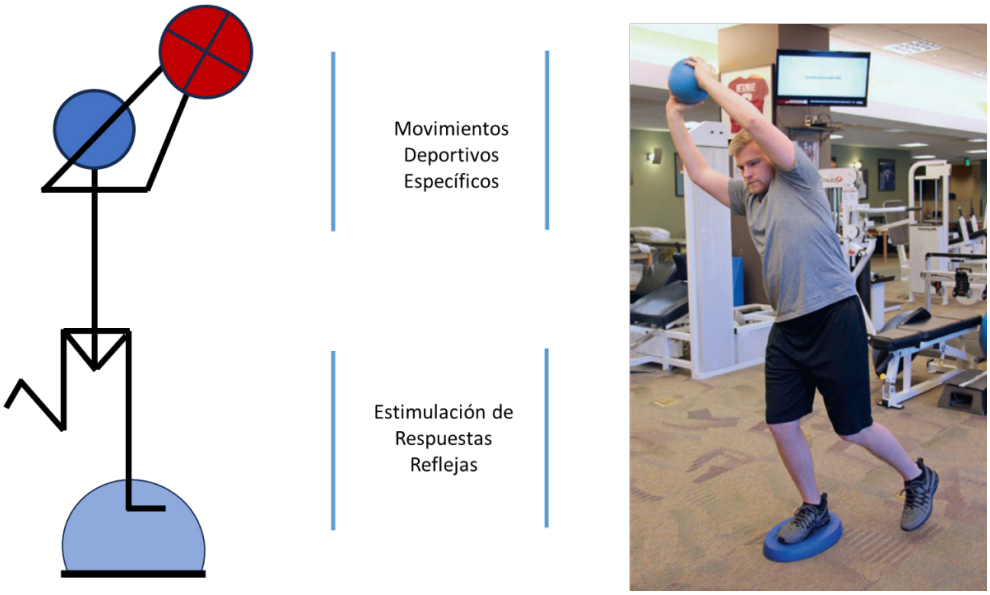
Es común que el entrenamiento propioceptivo se centre en una articulación específica, especialmente después de haber sufrido una lesión. Sin embargo, es fundamental considerar la participación global de los sistemas, tanto desde una perspectiva neurológica como del aparato locomotor, al diseñar el entrenamiento, especialmente en el ámbito deportivo. Esto es crucial debido a la complejidad y riqueza que implica la práctica de ciertos deportes, especialmente a nivel competitivo.

Como fisioterapeutas deportivos debemos tener en cuenta no solo la lesión que se está recuperando, sino también todos los sistemas involucrados y la coordinación de las articulaciones que contribuyen a la estabilidad de un movimiento específico. Por ejemplo, al reentrenar a un atleta tras una lesión en la rodilla, si realizamos un ejercicio en una superficie inestable, no solo debemos observar la respuesta de la rodilla, sino también la posición de las articulaciones adyacentes, como el tobillo y la cadera, que son esenciales para la estabilización. Además, es importante considerar la alineación de la pelvis y el tronco, la activación de los músculos del abdomen, la orientación de los hombros y la posición de la cabeza, ya que estas variables influyen en la estabilidad general del cuerpo.

Los mecanismos propioceptivos incluyen tanto vías inconscientes como conscientes. Por lo tanto, al diseñar ejercicios, es beneficioso trabajar ambas vías, incorporando secuencias establecidas y también alteraciones inesperadas en las posiciones articulares para estimular las respuestas reflejas. Por ejemplo, realizar una serie de movimientos específicos de un deporte mientras se

mantiene el equilibrio sobre una pierna en una superficie inestable integraría ambas vías neuronales. Un caso concreto podría ser recibir y pasar un balón mientras se está de pie sobre una pierna en una plataforma inestable, o golpear el balón con la pierna libre (100).

Figura 26. *Estimulación de vías conscientes e inconscientes*



Fuente: *Tomado y modificado de Tarantino* (100)

Mejorando la Propiocepción: Estrategias de Ejercicio para Miembros Inferiores y Superiores

Las técnicas de rehabilitación para las extremidades inferiores se enfocan en el control neuromuscular y la mejora de la mecánica articular. Se emplean métodos como el entrenamiento cinestésico y el reposicionamiento articular para restaurar las vías reflejas y aumentar la sensibilidad muscular. Se sugiere iniciar con ejercicios sin peso y avanzar hacia actividades asistidas, utilizando cadenas cerradas para simular entornos funcionales. Los ejercicios de estabilización dinámica deben comenzar en superficies estables y luego progresar a inestables, incluyendo actividades como patear. La biorretroalimentación ayuda a mejorar la activación muscular y el control neuromuscular. Los ejercicios de estiramiento-acortamiento son fundamentales y deben incluir actividades pliométricas a medida que avanza la rehabilitación.

En las etapas iniciales, se deben realizar ejercicios de estabilización rítmica y coordinación en plataformas inestables para desafiar el equilibrio. En las etapas finales, se integran saltos en trampolín y actividades complejas que mejoran la marcha y la activación muscular reactiva. La restauración de la marcha es esencial, utilizando espejos o instrucciones verbales para facilitar la cinemática adecuada.

Para las extremidades superiores, especialmente la articulación glenohumeral, es crucial mantener la estabilidad funcional mediante la activación muscular coordinada. Se identifican dos tipos de músculos en la cintura escapular: estabilizadores, como el manguito rotador, y motores primarios. Es vital equilibrar las fuerzas externas e internas para evitar la traslación excesiva de la cabeza humeral. Las lesiones en estructuras estáticas pueden afectar la retroalimentación sensorial y aumentar el riesgo de lesiones. Aunque la cirugía puede restaurar la función, el control neuromuscular se desarrolla a través de ejercicios de rehabilitación.

Se recomienda lograr el control escapular al inicio de la rehabilitación, incorporando ejercicios que promuevan la retracción escapular. Ejercicios como la rotación externa y la flexión en decúbito lateral son útiles para activar los músculos estabilizadores. Las actividades de cadena cinética cerrada, como cambios de peso y deslizamientos, mejoran la conciencia propioceptiva. También se deben incluir ejercicios pliométricos y de reposicionamiento articular para maximizar el rango de movimiento y fortalecer el manguito rotador.

Las actividades funcionales que combinan entrenamiento de fuerza, equilibrio y estabilidad central deben involucrar toda la cadena cinética, comenzando a velocidades lentas y controladas, y progresando hacia velocidades funcionales. Es crucial priorizar la técnica sobre la velocidad para asegurar patrones de activación muscular correctos y evitar mecánicas inadecuadas. La reeducación de los patrones motores es esencial para el control neuromuscular y la restricción dinámica, reduciendo el riesgo de lesiones al volver a la actividad. La velocidad y complejidad de los movimientos en la competencia atlética requieren una rápida integración de la información sensorial, y cualquier alteración en la cinemática articular puede afectar la estabilidad funcional (103).

Tarantino propone una serie de progresiones con relación a la recuperación propioceptiva (104):

Primera fase: Se busca restablecer el equilibrio y la estabilización dinámica de las articulaciones. Inicialmente, se realizarán ejercicios sin el uso de plataformas inestables, y posteriormente se incorporarán estas plataformas para mejorar el equilibrio.

Segunda fase: Se introducirán ejercicios de equilibrio que incluyan elementos de inestabilidad, trabajando en diferentes planos y realizando cambios de dirección.

Tercera fase: Se incrementará la intensidad de los ejercicios, aumentando las cargas de trabajo, así como las aceleraciones, desaceleraciones, cambios de dirección y giros, además de trabajar con un rango de movimiento articular más amplio.

Cuarta fase: En esta fase final, se aplicarán diversas variables de entrenamiento propioceptivo en condiciones que simulen la actividad deportiva específica del atleta.

Figura 27. *Progresión del entrenamiento propioceptivo*



Fuente: tomado y modificado de Tarantino (100) Imagen mejorada digitalmente utilizando [NotebookLM].

Core Stability (Núcleo Central)

La Estabilidad del Core o Estabilidad Central o Núcleo Central se ha vuelto fundamental en el fitness y la medicina deportiva, con beneficios como la mejora del rendimiento atlético, la prevención de lesiones y el alivio del dolor lumbar. El Core se puede visualizar como una caja muscular que incluye los abdominales, músculos paraespinales, glúteos, diafragma y musculatura del suelo pélvico, con 29 pares de músculos que estabilizan la columna y la pelvis (105).

El "núcleo", o complejo lumbopélvico-cadera, es un espacio tridimensional delimitado por estructuras musculares que incluyen el diafragma en la parte superior, los músculos abdominales y oblicuos en la parte anterior-lateral, los músculos paraespinales y glúteos en la parte posterior, y el suelo pélvico junto con la cintura pélvica en la parte inferior (106). Esta disposición muscular actúa como un corsé, proporcionando estabilidad al tronco y la columna. La estabilidad central se refiere a la capacidad de las articulaciones en la zona media del cuerpo, que abarca los hombros, el tronco, las caderas y la pelvis, junto con sus músculos y ligamentos, para resistir perturbaciones externas, como la gravedad, y mantener una postura adecuada en diferentes planos (frontal, sagital y transversal), tanto en situaciones estáticas como dinámicas (107).

La inestabilidad espinal severa se caracteriza por un desplazamiento radiográfico evidente de las vértebras, a menudo acompañado de déficits neurológicos y deformidades. En contraste, la inestabilidad funcional o clínica es más difícil de definir. Esta se refiere a la incapacidad de la columna para mantener sus patrones de desplazamiento bajo cargas fisiológicas, sin que haya déficits neurológicos, deformidades significativas o dolor incapacitante (105).

El sistema de estabilidad de la columna está compuesto por tres elementos interrelacionados: el control neuromuscular (elementos neurales), el subsistema pasivo (elementos óseos y ligamentosos) y el subsistema activo (elementos musculares). Esto implica que la estabilidad de la columna no depende únicamente de la fuerza muscular, sino también de la información sensorial que permite al sistema nervioso central percibir la interacción entre el cuerpo y el entorno, proporcionando retroalimentación constante para refinar el movimiento. Por lo tanto, un programa integral de estabilización del núcleo debe considerar tanto los componentes sensoriales como los motores para lograr una estabilización espinal óptima (105).

Anatómicamente, el núcleo se asemeja a una caja compuesta por huesos, ligamentos, músculos y nervios organizados en capas. La capa externa incluye músculos de fuerza, como el recto abdominal; la capa media está formada

por músculos abdominales y estabilizadores de la espalda; y la capa interna comprende músculos intersegmentarios y estructuras propioceptivas, como los multífidos y los nervios. Esta configuración no solo proporciona estabilidad a la columna, sino que también permite el movimiento en múltiples planos y facilita la transferencia de energía durante la actividad física (108).

La estabilidad del Core es fundamental para optimizar el rendimiento deportivo y prevenir lesiones, ya que permite un control efectivo del tronco, estabiliza la postura y actúa como una base sólida para la transferencia de fuerza entre las extremidades. En el ámbito deportivo, el Core ofrece "estabilidad proximal para la movilidad distal", siendo vital en situaciones de inestabilidad espinal, que puede manifestarse de manera severa con desplazamientos vertebrales o de forma funcional sin déficits neurológicos. Esta estabilidad se logra a través de la interacción entre el control neuromuscular y los subsistemas pasivos (huesos y ligamentos) y activos (músculos), lo que resalta la importancia tanto de la fuerza muscular como de la información sensorial para ajustar el movimiento. Así, los músculos del tronco y la pelvis son esenciales para mantener la estabilidad de la columna y la pelvis, así como para la generación y transferencia de energía en diversas actividades deportivas (105, 107, 109).

Tabla 10. *Grupo de Músculos del Core*

Músculos Anteriores del Core	**Músculos Laterales del Core**
Recto Abdominal	Glúteo Máximo
Oblicuo Externo	Glúteo Mínimo
Oblicuo Interno	Glúteo Medio
Transverso del Abdomen	Oblicuo Externo
Músculos posteriores del Core	Oblicuo Interno
Grupo erector de la espina	Transverso Abdominal
Iliopsoas	**Músculos Superiores del Core**
Cuadrado Lumbar	Diafragma
Multífidos	**Músculos del piso del Core**
Fascia Toracolumbar	Diafragma Pélvico/Músculos del Piso Pélvico

Fuente: tomado y modificado de Malanga (108)

Beneficios del Entrenamiento del Core

Los beneficios del entrenamiento de estabilidad del Core incluyen:

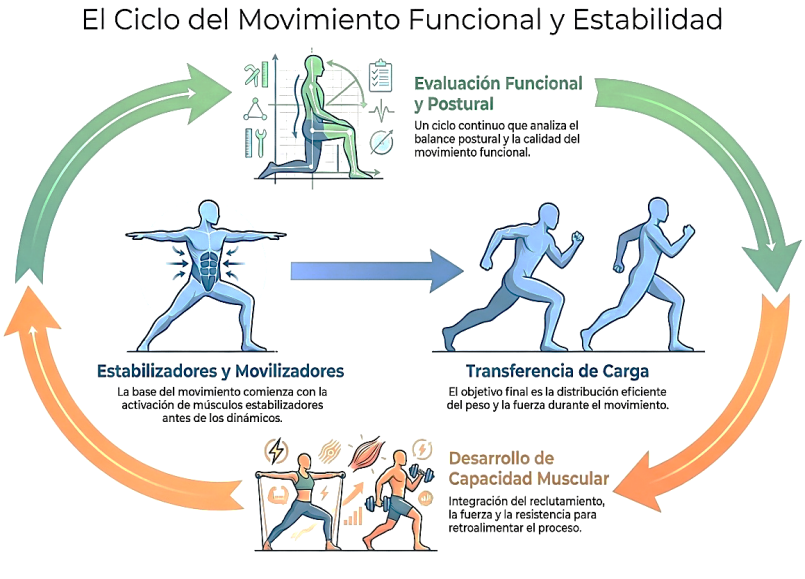
1. Mejora la postura y ayuda a mantener una alineación pélvica correcta.
2. Aumenta la fuerza de las correas musculares funcionales que conectan el núcleo superior e inferior.
3. Mejora la conciencia cinestésica, lo que ayuda a centrar la articulación y absorber el estrés.
4. Aumenta la estabilidad en una posición funcional de cadera extendida.
5. Mejora la capacidad de contrarrotar o disociar el torso superior e inferior y las extremidades.
6. Mejora el equilibrio dinámico y la eficiencia del movimiento.
7. Agrega vectores de fuerza adicionales de resistencia a los métodos de entrenamiento tradicionales.
8. Ayuda a mejorar el rendimiento atlético y permite al cuerpo reaccionar ante eventos inesperados.
9. Proporciona ejercicios que son versátiles, prácticos, transportables y asequibles.

Evaluación Funcional del Core

Los programas de prevención enfocados en la estabilidad del núcleo buscan mejorar el reclutamiento de los músculos estabilizadores locales y globales, así como los movilizadores y los de transferencia de carga. Esto se logra restaurando la fuerza y resistencia muscular, y recuperando la postura y el equilibrio mediante la regulación del sistema de control neuromuscular, lo que resulta en mejoras generales en la función. Para desarrollar estos programas, es fundamental identificar primero los factores de riesgo y los déficits específicos (110).

Evaluar con precisión esta estabilidad también presenta desafíos, ya que existen numerosas pruebas que la miden, muchas de las cuales son confiables y válidas. Estas pruebas suelen centrarse en diferentes aspectos de la estabilidad del núcleo, como el reclutamiento muscular, la fuerza, la resistencia, el control postural, el equilibrio y los patrones de movimiento.

Figura 38. *Componentes Funcionales del Core*



Fuente: Tomado y modificado de Huxel (106) Imagen mejorada digitalmente utilizando [NotebookLM].

Reclutamiento Muscular

La evaluación más básica de la función muscular central consiste en determinar si un atleta puede realizar una contracción voluntaria de los músculos centrales, específicamente del transverso abdominal y del músculo multifido lumbar. Se ha observado que en individuos con dolor lumbar (LBP) o con estabilidad central comprometida, existen patrones de reclutamiento alterados de estos músculos. Además, las respuestas reflejas musculares del tronco pueden ser una condición preexistente, en lugar de una adaptación que surge tras el inicio del LBP.

Evidencias preliminares indican que el control neuromuscular de los músculos del tronco se reorganiza en la corteza motora de aquellos que padecen LBP, y que el reclutamiento selectivo de los músculos flexos se asocia con niveles de activación más altos. Para evaluar la contracción voluntaria del transverso abdominal, se palpan los músculos profundos, situados medial e inferiormente a las espinas ilíacas, justo al lado del recto abdominal, mientras el atleta realiza una contracción sin tomar una respiración profunda. Por otro lado, la evaluación del músculo multífido se lleva a cabo con el deportista en

posición prona, palpando los músculos paraespinales durante la contracción. Sin embargo, debido a la profundidad del multifido, esta evaluación puede resultar difícil de realizar clínicamente. Estas pruebas iniciales son útiles para identificar a los deportistas con reclutamiento o función muscular anormal, lo que puede señalar la necesidad de una evaluación más detallada (106).

Fuerza y Resistencia Muscular

Además de evaluar la contracción voluntaria de los músculos centrales, existen diversas pruebas que miden la fuerza y resistencia del núcleo. Entre las más utilizadas por los médicos se encuentran el puente lateral (derecho e izquierdo), la prueba de resistencia de los flexores y la prueba de resistencia de los extensores.

La prueba de resistencia extensora, adaptada de la prueba de Biering-Sorenson, consiste en colocar al atleta en posición prona, con la parte inferior del cuerpo fijada a una mesa y la parte superior extendida sobre el borde. El atleta debe mantener una posición horizontal con los brazos cruzados sobre el pecho el mayor tiempo posible. En el puente lateral, el atleta se acuesta de lado y levanta las caderas, apoyándose sobre los pies y el codo flexionado. Por otro lado, la prueba de resistencia flexora se realiza con el atleta sentado, con las caderas y rodillas flexionadas a 90° y el torso en un ángulo de 60° respecto a la mesa, utilizando una correa para estabilizar los pies. En esta prueba, el objetivo es mantener la posición durante el mayor tiempo posible. Los tiempos de resistencia promedio y las proporciones entre las pruebas ayudan a interpretar los resultados (106).

Las evaluaciones de McGill se centran en medir la fuerza isométrica del core. En este contexto, la resistencia muscular puede ser un factor más relevante que la fuerza muscular en lo que respecta a la estabilidad del core (Prueba de resistencia extensora, Prueba de puente lateral y Prueba de resistencia de los flexores).

Imagen 19. *Evaluación del Núcleo Central (Prueba de McGill)*



Fuente: tomado y modificado de Huxel (106)

Evaluación del Movimiento Funcional

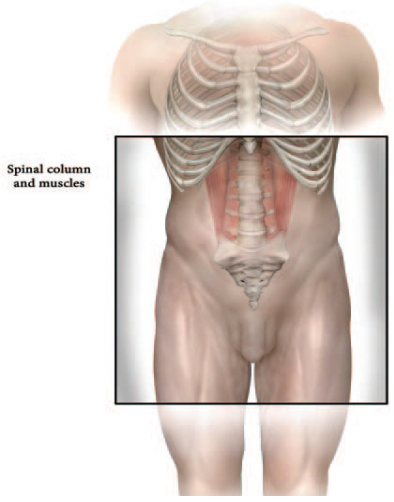
Las pruebas de reclutamiento muscular, fuerza y resistencia pueden ofrecer una visión limitada de la estabilidad central de un atleta, ya que no consideran su desempeño en diferentes cargas, posiciones y tareas. Recientemente, ha habido un cambio hacia la evaluación de patrones de movimiento, que proporciona una perspectiva más completa al examinar la estabilidad y movilidad, así como la capacidad funcional. La estabilidad del núcleo es fundamental para la

transferencia de carga en la cadena cinética y está relacionada con el control neuromuscular, la propiocepción, la estabilidad articular, la movilidad, la fuerza y el equilibrio (106).

El Functional Movement Screen (FMS) se ha desarrollado como una herramienta para detectar el riesgo de lesiones, identificando puntuaciones por debajo de 14 como indicadores de riesgo. Estudios han demostrado que programas de intervención que mejoran la movilidad y estabilidad del núcleo pueden optimizar los patrones de movimiento. Por ejemplo, en un estudio con bomberos, se observó una reducción del 62% en lesiones tras un programa de entrenamiento enfocado en la estabilidad del núcleo. En jugadores de fútbol profesional, se lograron mejoras en las puntuaciones FMS y una disminución en la asimetría. La confiabilidad del FMS sugiere que es una herramienta útil para evaluar el riesgo de lesiones en atletas. En resumen, es esencial adoptar un enfoque equilibrado que considere la fuerza muscular, la resistencia y el sistema sensoriomotor en diversas posturas para evaluar adecuadamente la estabilidad central (106).

Mecanismo Funcional del Núcleo y la Cadena Cinética

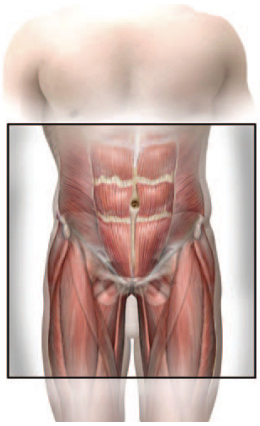
Para entender la función del núcleo, es crucial ver el cuerpo como un sistema interconectado de músculos, fascia y tejidos conectivos. Los patrones de contracción muscular permiten un movimiento coordinado en un espacio tridimensional, donde las extremidades se conectan al tronco, estabilizado por el núcleo. Este vínculo asegura que el movimiento de una parte del cuerpo influya en las demás, tanto del mismo lado como del opuesto.



Los movimientos son generados por fuerzas contráctiles en los músculos, que distribuyen energía de manera distal y proximal. Las áreas clave para esta transferencia incluyen la columna vertebral, la cadera, la pelvis y el tronco. Así, el núcleo actúa como un transmisor de fuerza desde las extremidades inferiores hacia el tronco. La activación de las extremidades se precede por una contracción inconsciente de los músculos centrales, destacando el papel del núcleo en la estabilización del tronco.



La teoría de la cadena cinética enfatiza la interrelación del movimiento musculoesquelético entre extremidades y tronco, como se observa en un lanzador que transfiere fuerza desde la extremidad inferior a la superior a través de un núcleo estabilizado. En un sistema óptimo, no hay puntos débiles en la transmisión de fuerzas. Sin embargo, interrupciones en esta cadena pueden llevar a compensaciones musculares, aumentando el riesgo de lesiones y afectando el rendimiento, especialmente en atletas con un núcleo débil (108).



Para comprender la interrupción de los patrones de movimiento en pacientes con dolor en las extremidades o en la región lumbar, es fundamental observar cómo estas lesiones afectan el control neuromuscular del núcleo y las extremidades. En particular, los atletas que presentan inestabilidad en las extremidades inferiores, como el tobillo o la rodilla, muestran un retraso en la activación del glúteo medio, que es crucial para la abducción de la cadera y la estabilidad del tronco, así como de los músculos abdominales anteriores. Esta disfunción en el control neuromuscular del núcleo interrumpe la cadena cinética, lo que resulta en patrones de activación muscular anormales y retardados, así como en una retroalimentación neuronal deficiente y una mala propiocepción. Como consecuencia, se incrementa la inestabilidad en la columna y en otras articulaciones.



Además, el núcleo no solo se encarga de generar o transmitir fuerza, sino que también proporciona estabilidad a la columna y a otras articulaciones. Para un funcionamiento óptimo, las articulaciones requieren fuerzas estabilizadoras de los músculos y retroalimentación propioceptiva de las neuronas. La aparición temprana de artritis o disfunción articular suele ser consecuencia de desalineación, movimientos indeseados y altos niveles de estrés de corte. Un núcleo fuerte, con suficiente resistencia y patrones adecuados de control neuromuscular, es esencial para mantener la estabilidad espinal. Los músculos como el diafragma, el suelo pélvico, y los oblicuos, al contraerse, aumentan la presión intraabdominal, lo que genera tensión en la columna y en la fascia toracolumbar, reduciendo la laxitud y proporcionando estabilidad a la columna lumbar. Este proceso es

comparable a inflar un neumático: al añadir aire, se incrementa la tensión en las paredes, evitando que el neumático se hunda y permitiendo un rodaje firme y eficiente (108).

Progresión de Ejercicios

Al comienzo, el enfoque del entrenamiento para mejorar la estabilidad en la zona central debe centrarse en aumentar tanto la fuerza como la resistencia de los músculos. Se puede iniciar con ejercicios que impliquen contracciones isométricas, enfatizando la importancia de mantener el control postural. Un ejercicio que el paciente puede realizar consiste en mantener una contracción isométrica del músculo transverso del abdomen, mientras respira de manera normal.

A medida que el paciente avanza, es fundamental que ejecute correctamente estos ejercicios. La progresión puede incluir la participación de los miembros inferiores o superiores, realizando deslizamientos sobre una superficie plana, todo mientras se mantiene la postura en decúbito prono. Un signo de que el paciente está realizando el movimiento de manera adecuada es la capacidad de mantener la curvatura natural de la zona lumbar. Si el paciente no puede sostener esta curvatura, se debe reducir la resistencia o carga aplicada.

La resistencia puede incrementarse de forma gradual, lo que aumentará la fuerza necesaria para realizar el movimiento, al mismo tiempo que se extiende la duración de los ejercicios, mejorando así la resistencia muscular.

Ejercicios como el lanzamiento del balón medicinal, ya sea en dirección vertical u horizontal, son ejemplos de actividades que se pueden incorporar en estas etapas de progresión. A continuación, se presentan varios ejercicios de estabilidad del núcleo central, basados en la posición de plancha. Esta posición puede ajustarse según la progresión del ejercicio y las capacidades del individuo. La intensidad del ejercicio se determina por el tiempo que se puede mantener la posición, comenzando con intervalos de 15 a 20 segundos en las primeras etapas del entrenamiento del núcleo central.

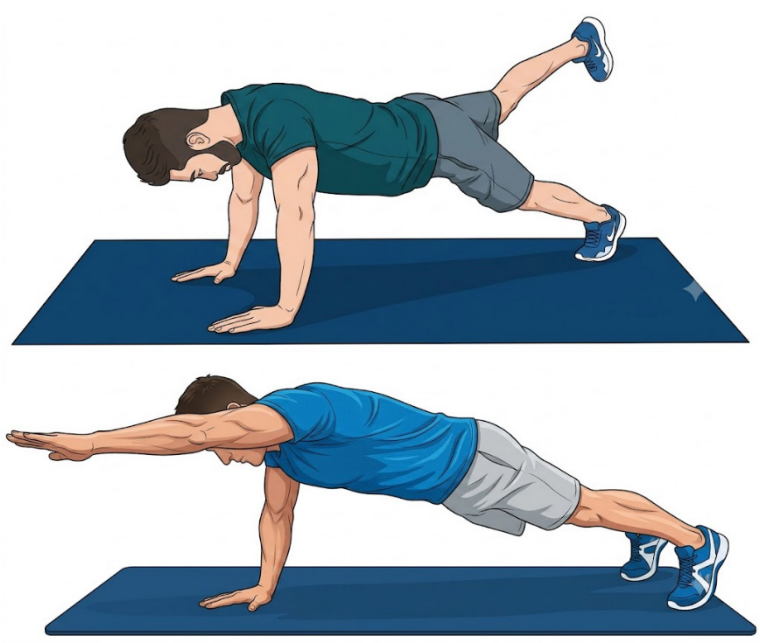
Imagen 20. *Plancha básica inicial*



Nota. La base de sustentación comprendida por los puntos de apoyo de las palmas de las manos y las puntas de los pies se puede ampliar por medio de la separación de estos últimos, promoviendo mayor estabilidad al individuo.

Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 21. *Progresión de la Plancha básica inicial*



Nota. La disminución de los puntos de apoyo exige un mayor control postural

Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 22. *Plancha con apoyo de antebrazos*



Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 23. *Progresión de la Plancha con apoyo de antebrazos*



Nota. La disminución de los puntos de apoyo exige un mayor control postural

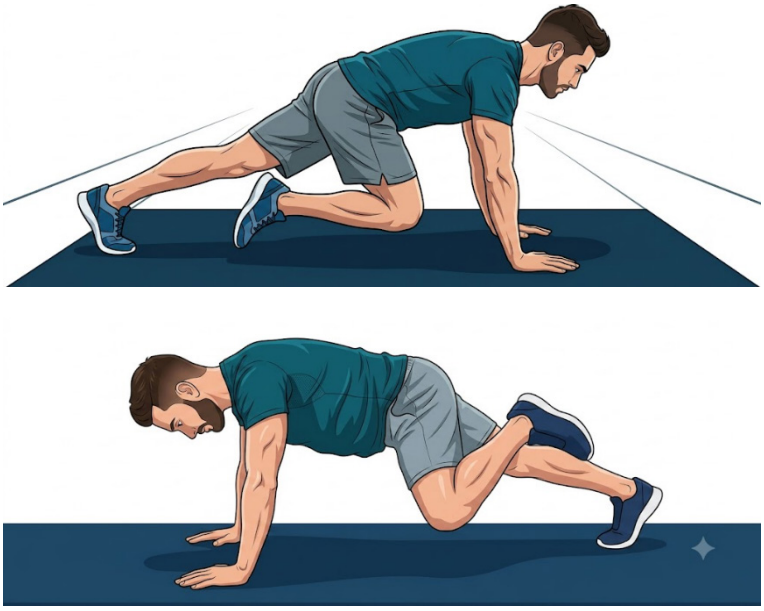
Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 24. *Progresión de la Plancha con apoyo cruzado*



Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 25. *Trabajo dinámico hacia los oblicuos*



Nota. El deportista realizara movimientos de miembros inferiores en Abd y Add de cadera. Podrá realizarse simultanea o alternado.

Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 26. *Plancha Lateral*

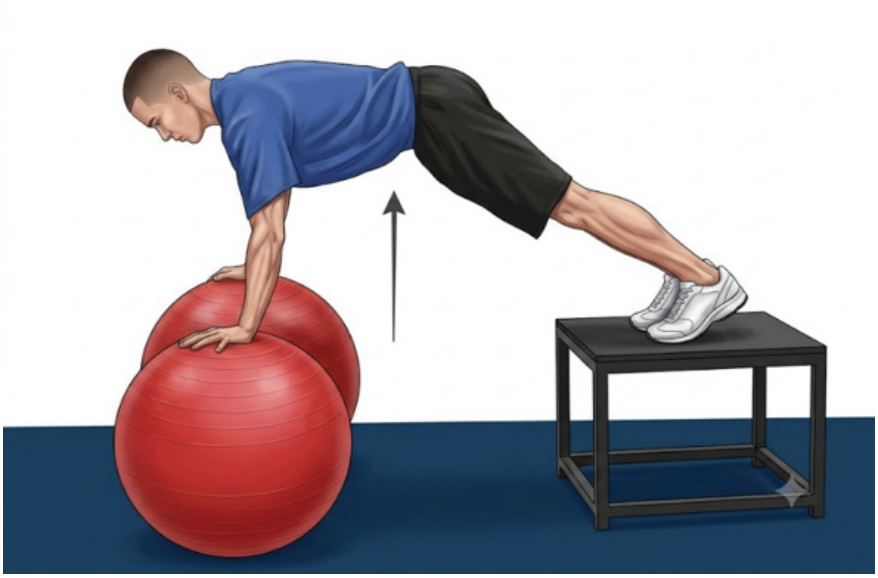




Nota. Se incorpora movimiento de miembro superior para reforzar el trabajo funcional de oblicuos.

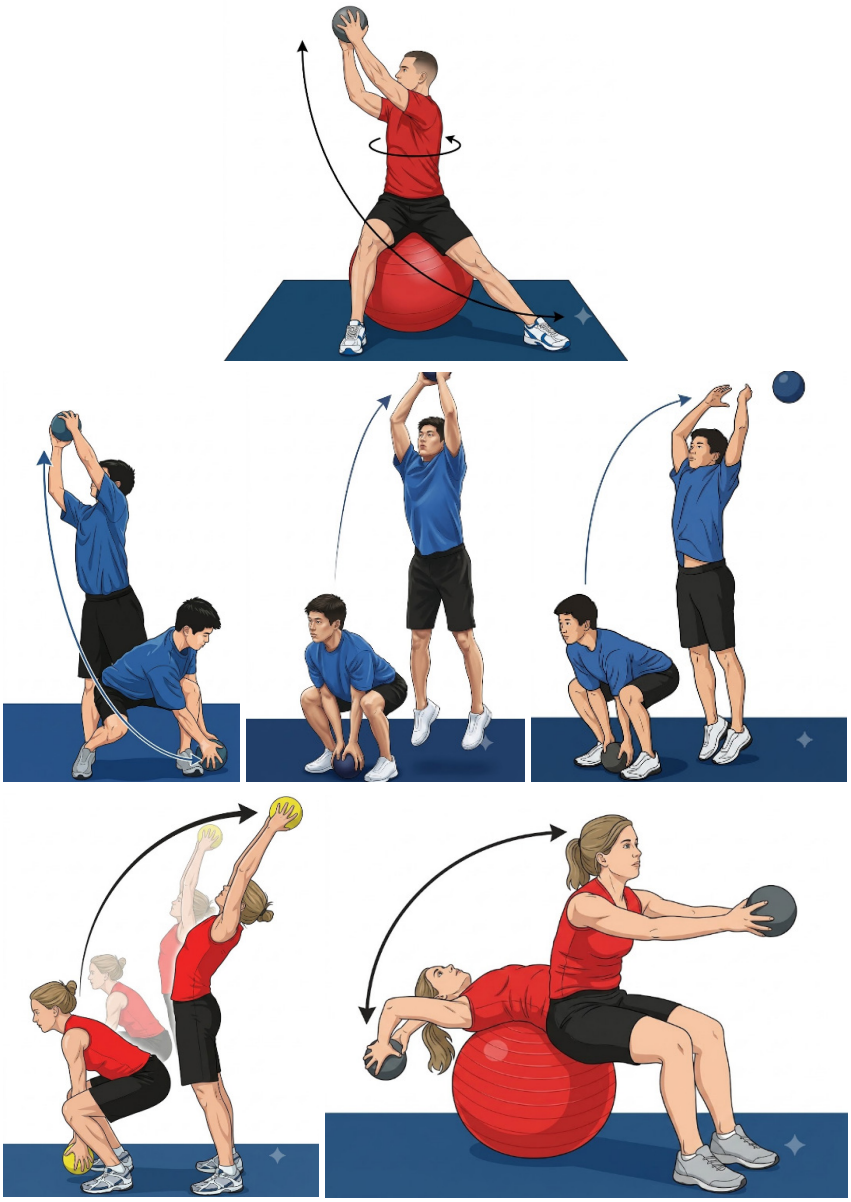
Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 27. *Entrenamiento Dinámico de Core con fitball*



Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Imagen 28. *Entrenamiento Dinámico de Core con balón medicinal*



Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Gemini].

Mantenimiento del Componente Cardiopulmonar

Tras una lesión musculoesquelética, los deportistas a menudo reducen su actividad física, lo que puede llevar a una rápida disminución de su resistencia cardiopulmonar. Por ello, es crucial que el fisioterapeuta deportivo desarrolle o ajuste actividades alternativas para que el individuo pueda preservar su capacidad aeróbica durante la rehabilitación. Además, la necesidad de mantener y mejorar la capacidad funcional se ha vuelto cada vez más clara, sin importar la gravedad de la lesión (111).

El sistema cardiopulmonar es fundamental para proporcionar oxígeno a los tejidos del cuerpo, lo que permite que las células realicen sus funciones vitales; sin este suministro, las células mueren. Además, el ejercicio es un proceso energético que impulsa la regulación de la oxidación de los sustratos metabólicos necesarios para la actividad física. El oxígeno facilita reacciones químicas que generan enlaces de alta energía en compuestos como el ATP, que es crucial para la transformación de energía. Durante el ejercicio, se requiere una rápida conversión de energía química en energía cinética a gran escala. Cuando se utilizan fuentes anaeróbicas alternativas para obtener energía, esta también debe ser compensada (111, 112).

Función Cardiovascular

El sistema cardiovascular está formado por el corazón, arterias, capilares y venas, y contiene entre 4,7 y 5,7 litros de sangre, que representa hasta el 8% del peso corporal de un adulto. Su función principal es garantizar que cada célula reciba oxígeno y nutrientes, impulsando la sangre mediante la contracción del ventrículo izquierdo a través de las arterias. En los capilares, se realiza el intercambio de oxígeno y nutrientes con los tejidos, mientras que se recogen desechos como el dióxido de carbono para su eliminación.

Este sistema es esencial en el deporte y la salud, ya que transporta el 98,5% del oxígeno unido a la hemoglobina y aporta nutrientes vitales para el cuerpo. También juega un papel importante en la respuesta inmunitaria, transportando glóbulos blancos a áreas infectadas, y regula la temperatura corporal mediante la dilatación y constricción de los vasos sanguíneos, adaptándose a las necesidades del organismo (113).

Función Pulmonar

El sistema pulmonar está compuesto por conductos de aire, vasos pulmonares, pulmones y músculos respiratorios, siendo los pulmones los principales

responsables del intercambio de gases. Este sistema se divide en dos áreas: las vías respiratorias (tráquea, bronquios y bronquiolos) y los alvéolos, donde se produce el intercambio de gases.

Las funciones clave del sistema pulmonar incluyen entregar oxígeno a las células y eliminar dióxido de carbono (CO_2). Además de la respiración, los pulmones regulan el equilibrio ácido-base, filtran embolias, producen inmunoglobulina A, almacenan sangre y eliminan impurezas mediante mucosidad y cilios. Al inhalar, el aire se calienta y humidifica, generando una presión parcial de oxígeno (PO_2) de ~150 mmHg al entrar por la tráquea (114).

Rol del Sistema Cardiovascular en la Respuesta al Ejercicio Intenso

Mecanismos de Vasodilatación y Regulación del Gasto Cardíaco

En estado de reposo, muchos capilares musculares presentan un flujo sanguíneo reducido, pero su función principal se activa durante el ejercicio intenso cuando se vasodilatan, facilitando el transporte de oxígeno y nutrientes a los músculos en contracción. Este proceso de vasodilatación se desencadena por una disminución de oxígeno en los tejidos, que es rápidamente utilizado por los músculos. En situaciones de hipoxia, se liberan sustancias como adenosina, que inician la vasodilatación, junto con otros compuestos como iones de potasio, ATP, ácido láctico y dióxido de carbono, que ayudan a mantener esta dilatación durante el ejercicio.

Al comienzo de la actividad, el cerebro no solo pone en marcha el movimiento a través de la corteza motora, sino que también activa el centro vasomotor del sistema nervioso simpático. Esto resulta en un aumento del gasto cardíaco y la presión arterial. La estimulación simpática incrementa la fuerza de contracción del corazón y la frecuencia cardíaca; dado que el gasto cardíaco se calcula multiplicando el volumen sistólico por la frecuencia cardíaca, la actividad efectiva del sistema simpático es fundamental para el rendimiento físico.

A su vez, los nervios simpáticos provocan vasoconstricción mediante la liberación de noradrenalina, lo que afecta principalmente a las arteriolas de la circulación periférica. Sin embargo, las arteriolas de los músculos activos son favorecidas por un efecto vasodilatador local, redirigiendo así el flujo sanguíneo y aumentando significativamente el suministro a los músculos, que puede alcanzar cerca de 2 litros por minuto. Además, sistemas circulatorios como los coronarios y cerebrales están protegidos de la vasoconstricción debido a su escasa inervación.

Las venas, que contienen aproximadamente dos tercios del volumen sanguíneo total, juegan un papel crucial en este proceso. La vasoconstricción venosa incrementa la presión de llenado venoso, mejorando el retorno de sangre al corazón, esencial para aumentar el gasto cardíaco y eliminar dióxido de carbono. Así, el aumento de la presión arterial sistémica favorece la perfusión muscular durante el ejercicio, mientras que el diámetro de los vasos asegura un alto flujo en arterias y arteriolas.

Por último, durante el ejercicio, los atletas de resistencia pueden necesitar hasta 35 litros por minuto de gasto cardíaco para sostener un alto nivel de actividad. Esto se logra a través de un incremento tanto en el volumen sistólico como en la frecuencia cardíaca. La regulación del volumen sistólico se basa en factores intrínsecos, como la relación de Frank-Starling, que ajusta la fuerza contráctil según el retorno venoso, y factores extrínsecos que inducen inotropía positiva mediante el sistema nervioso simpático, aprovechando los numerosos receptores β1-adrenérgicos en el miocardio que responden a adrenalina y noradrenalina (112).

Ventilación e Intercambio Gaseoso durante el Ejercicio

El oxígeno es fundamental para liberar energía en las células y regenerar el ATP. La ventilación desempeña un papel vital al asegurar un suministro adecuado de oxígeno y facilitar la eliminación de dióxido de carbono, elementos esenciales para mantener la homeostasis ácido-base. En condiciones saludables, los pulmones satisfacen fácilmente las demandas ventilatorias, alcanzando niveles de más de 100 l/min durante el ejercicio intenso, cuando en reposo se encuentran alrededor de 6 l/min. Este aumento en la profundidad y frecuencia de la ventilación no solo permite reponer oxígeno, sino que también es crucial para la eliminación de dióxido de carbono. Además, el control de la respiración durante el ejercicio involucra múltiples vías y reflejos neuroanatómicos complejos.

Cuando se acumula ácido láctico por encima del umbral anaeróbico, los iones de bicarbonato lo amortiguan inicialmente, lo que provoca un aumento en la concentración de dióxido de carbono. Este incremento es detectado por quimiorreceptores en los cuerpos carotídeos, que, a su vez, estimulan un incremento en la ventilación a través del centro respiratorio medular. Si la capacidad de amortiguación del ácido láctico se excede durante un ejercicio máximo, el pH sanguíneo disminuye, lo que actúa como un fuerte activador para la hiperventilación, mediada por los quimiorreceptores. Este aumento notable en la ventilación, que puede observarse en pruebas de ejercicio

cardiopulmonar, se denomina compensación respiratoria para la acidosis o umbral de compensación ventilatoria.

En ejercicios de baja intensidad, la ventilación aumenta inicialmente por un incremento en la profundidad de la respiración, conocido como volumen corriente. Una vez que este volumen alcanza entre el 50% y el 60% de la capacidad vital, se logra un aumento adicional en la frecuencia respiratoria. Así, la ventilación minuto (VE), que es el producto del volumen corriente y la frecuencia respiratoria, continúa en aumento hasta alcanzar la capacidad respiratoria máxima. Además, el intercambio de gases se optimiza durante el ejercicio mediante un incremento en la perfusión capilar pulmonar y un mejor reclutamiento alveolar, lo que resulta en una correspondencia más uniforme entre ventilación y perfusión. Esta mejora en el equilibrio de ventilación-perfusión depende no solo de un aumento en la superficie alveolar para el intercambio de gases, sino también de un adecuado retorno venoso al ventrículo derecho y de una correcta función ventricular derecha, junto con una vasculatura pulmonar receptiva (112).

Ejercicio Aeróbico: Guía de Práctica y Recomendaciones

El ejercicio aeróbico, que implica el movimiento de los grandes grupos musculares del cuerpo durante períodos prolongados, contribuye significativamente a la mejora de la aptitud cardiorrespiratoria. Este tipo de actividad, también conocido como ejercicio de resistencia o cardiovascular, abarca no solo el ejercicio continuo de intensidad moderada, sino también actividades anaeróbicas como el entrenamiento de intervalos de alta intensidad (HIIT) que también favorecen la condición cardiorrespiratoria.

Las formas comunes de ejercicio aeróbico incluyen correr, montar bicicleta, caminar a paso ligero, y la participación en deportes, especialmente de conjunto (115).

Estrategias para Mantener la Resistencia Cardiorrespiratoria

Existen diversas técnicas de entrenamiento que se pueden integrar en un programa de rehabilitación para preservar la resistencia cardiorrespiratoria. La lesión del deportista es un factor clave: si afecta la extremidad superior, se pueden realizar ejercicios que soporten peso, como caminar, correr y subir escaleras. En cambio, para lesiones en la extremidad inferior, es preferible optar por actividades sin soporte de peso, como nadar o andar en bicicleta estática. El objetivo principal del fisioterapeuta deportivo es asegurar que la resistencia cardiorrespiratoria se mantenga durante la rehabilitación, y los

principios de estas técnicas son aplicables en actividades como correr, nadar y subir escaleras, entre otras (111).

Frecuencia del Entrenamiento

El Colegio Estadounidense de Medicina del Deporte (ACSM) recomienda que la mayoría de los adultos realicen entrenamiento cardiorrespiratorio de intensidad moderada durante al menos 30 minutos al día, cinco días a la semana, alcanzando un total de 150 minutos semanales. Alternativamente, se sugiere realizar entrenamiento de intensidad vigorosa durante 20 minutos al día, al menos tres días a la semana (75 minutos semanales), o una combinación de ambos tipos de ejercicio que totalice entre 500 y 1000 MET/minutos por semana. Un deportista competitivo debe estar preparado para entrenar hasta seis veces por semana, aunque es esencial que todos incorporen al menos un día de descanso semanal para permitir la recuperación de los tejidos dañados (111).

Intensidad del Entrenamiento

La intensidad del ejercicio es un aspecto fundamental, aunque las recomendaciones pueden variar. Esto es especialmente relevante en las primeras etapas de entrenamiento, cuando el cuerpo debe adaptarse a nuevas cargas de trabajo. Según las pautas del ACSM, se recomienda mantener la intensidad del ejercicio entre el 55% y el 90% de la frecuencia cardíaca máxima, o entre el 40% y 85% de la reserva de consumo de oxígeno (VO2R) o de frecuencia cardíaca máxima. Para calcular la FCR y el VO2R, se determina la diferencia entre la frecuencia cardíaca y el VO2 en reposo y el máximo. Para estimar la intensidad, se suma un porcentaje de estos valores a la frecuencia cardíaca en reposo o al VO2 en reposo.

Para personas no entrenadas, los valores de intensidad más bajos (40%-49% del VO2R o frecuencia cardíaca máxima, y 55%-64% de la frecuencia cardíaca máxima) son más adecuados. Es crucial que el fisioterapeuta deportivo conozca los máximos individuales o utilice ecuaciones de predicción, aunque es preferible basarse en datos reales. Dada la relación entre frecuencia cardíaca, consumo de oxígeno e intensidad, identificar una carga de trabajo específica que estabilice la frecuencia cardíaca es relativamente sencillo. Además, el fisioterapeuta deportivo debe considerar factores como el nivel de condición física, medicamentos, riesgo cardiovascular y objetivos del paciente antes de determinar la intensidad del ejercicio (111).

Tipo de Actividad

El entrenamiento de resistencia debe centrarse en actividades aeróbicas, que consisten en movimientos repetitivos que involucran grandes grupos musculares y requieren grandes cantidades de oxígeno, elevando y manteniendo la frecuencia cardíaca durante períodos prolongados. Ejemplos de estas actividades incluyen caminar, correr, trotar, andar en bicicleta, nadar, saltar la cuerda, hacer step, danza aeróbica, patinaje en línea y esquí de fondo.

Las actividades aeróbicas tienen la ventaja de que son más fáciles de regular en términos de intensidad, permitiendo ajustes en el ritmo para mantener la frecuencia cardíaca en un nivel objetivo. En contraste, las actividades intermitentes, como el ráquetbol, el squash, el baloncesto o el tenis, presentan cambios en velocidad e intensidad que provocan fluctuaciones significativas en la frecuencia cardíaca. Aunque estas actividades intermitentes también mejoran la resistencia cardiorrespiratoria, son más difíciles de controlar. Sin embargo, es importante destacar que cualquier actividad, desde jardinería hasta ejercicio aeróbico, puede contribuir a mejorar la condición física (111).

Tiempo (Duración)

Para lograr una mejora mínima, el deportista debe realizar al menos 20 minutos de actividad continúa manteniendo una frecuencia cardíaca elevada. El ACSM aconseja que la duración del entrenamiento sea de 20 a 60 minutos de actividad aeróbica, ya sea continua o intermitente, acumulando al menos 10 minutos por sesión a lo largo del día. La duración de la actividad depende de su intensidad: las actividades de menor intensidad requieren un tiempo más prolongado (30 minutos o más), mientras que aquellas de mayor intensidad deben realizarse durante al menos 20 minutos.

Se destaca que para favorecer la “aptitud física total”, las sesiones de ejercicio más largas son más efectivas, especialmente para adultos que no se entrenan para competir. En general, a mayor duración del entrenamiento, mayor será la mejora en la resistencia cardiorrespiratoria (111).

Entrenamiento en Intervalos de Alta Intensidad (HIIT)

A diferencia del entrenamiento de resistencia continuo, el entrenamiento en intervalos de alta intensidad incluye actividades más intermitentes. Este tipo de entrenamiento consiste en alternar períodos de esfuerzo intenso con fases de recuperación activa, lo que permite realizar más trabajo en un tiempo más

prolongado gracias a una carga de trabajo más intensa. Se recomienda que, en el entrenamiento de resistencia, el deportista trabaje a una intensidad entre el 60% y 80% de su frecuencia cardíaca máxima. Mantener esta intensidad de manera continua durante 20 minutos puede ser muy difícil.

La ventaja del entrenamiento en intervalos de alta intensidad es que permite al deportista alcanzar intensidades superiores al 80% durante intervalos cortos, seguidos de períodos de recuperación donde la intensidad puede disminuir a un 30% o 45% de la frecuencia cardíaca máxima. Esto facilita que tanto la intensidad como la duración del entrenamiento sean mayores en comparación con el entrenamiento de resistencia tradicional. Es fundamental considerar el período de entrenamiento (tiempo en actividad continua) y el período de recuperación (tiempo entre esfuerzos), así como la relación entre ambos.

Por ejemplo, en un entrenamiento en intervalos, un deportista podría pedalear en una bicicleta estática con 10 repeticiones de 20 segundos a máxima velocidad, seguidas de 90 segundos a un 40% de esa velocidad. Durante estos intervalos, la frecuencia cardíaca podría alcanzar entre el 85% y el 95% del máximo, reduciéndose al 35% al 45% durante la recuperación.

Es importante que los adultos mayores sean cautelosos al aplicar el entrenamiento en intervalos de alta intensidad, ya que los niveles de esfuerzo alcanzados durante los períodos activos podrían ser demasiado altos y presentar riesgos innecesarios (111).

Conclusiones

Un buen fisioterapeuta deportivo es aquel que analiza e identifica las necesidades específicas de cada deportista, adaptando las estrategias terapéuticas a sus condiciones individuales. Este proceso no solo implica la aplicación de técnicas y ejercicios, sino también una profunda comprensión del contexto en el que se desenvuelve el deportista, incluyendo su historia clínica, su nivel de competencia y sus objetivos personales.

Las herramientas terapéuticas son fundamentales para el desarrollo profesional del fisioterapeuta, ya que permiten implementar intervenciones efectivas y personalizadas. Sin embargo, el verdadero desafío radica en la capacidad del fisioterapeuta para integrar su conocimiento de la biomecánica, la anatomía y la fisiología básica en su práctica diaria. Este conocimiento no solo es esencial para la correcta aplicación de las herramientas, sino que también es crucial para la evaluación y el seguimiento del progreso del deportista.

La responsabilidad profesional del fisioterapeuta deportivo es cada vez más relevante en un contexto donde la demanda de atención especializada en el ámbito deportivo crece. Este rol no solo implica la rehabilitación de lesiones, sino también la promoción de la salud y el bienestar general del deportista. La capacidad de innovar y adaptar las estrategias a las circunstancias particulares de cada deportista es crucial, y el principal límite en este sentido es la creatividad del profesional.

Además, el fisioterapeuta debe ser consciente de su impacto en la vida del deportista, no solo en términos de recuperación física, sino también en su bienestar emocional y psicológico. La relación de confianza que se establece entre el fisioterapeuta y el deportista es fundamental para el éxito del proceso de rehabilitación. En este sentido, el fisioterapeuta debe actuar con ética y responsabilidad, asegurando que sus intervenciones sean siempre en beneficio del deportista.

En resumen, la rehabilitación y prevención de lesiones deportivas no solo dependen de la aplicación de técnicas y ejercicios, sino también de la habilidad del fisioterapeuta para comprender y responder a las necesidades del deportista. Este enfoque reflexivo y responsable asegura un proceso de recuperación óptimo y efectivo, reafirmando el papel crucial del fisioterapeuta en el ámbito deportivo contemporáneo.

Referencias

1. Dale B. Principles of Rehabilitation. En: Andrews J, Harrelson G, Wilk K. Physical Rehabilitation of the Injured Athlete. 4th edition. Edit. Elsevier. 2012. pag. 41-66

2. Jankaew A, Chen JC, Chamnongkich S, Lin CF. Therapeutic Exercises and Modalities in Athletes With Acute Hamstring Injuries: A Systematic Review and Meta-analysis. Sports Health. 2023 Jul-Aug;15 (4):497-511. doi: 10.1177/19417381221118085.

3. Humphrey V, Colby L. Therapeutic Exercise: Foundational Concepts. En: Kisner C, Colby L, Borstad J. Therapeutic Exercise: Foundations and Techniques. 6th edition. Edit. F.A. Davis Company. 2018 pág. 1-42

4. Pollock AS, Durward BR, Rowe PJ, Paul JP. What is balance? Clin Rehabil. 2000 Aug;14 (4):402-6. doi: 10.1191/0269215500cr342oa.

5. Heyward V, Gibson A. Assessing Cardiorespiratory Fitness. En: Advanced Fitness Assessment Exercise Prescription. 7th Edition. Edit. Human Kinetics. 2014. pag. 79-119

6. Promsri A. Analysis of bilateral muscle coordination for characterizing neuromuscular function in postural control. MethodsX. 2022 Nov 28;9:101944. doi: 10.1016/j.mex.2022.101944.

7. Heyward V, Gibson A. Assessing Flexibility En: Heyward V, Gibson A. Advanced Fitness Assessment Exercise Prescription. 7th Edition. Edit. Human Kinetics. 2014. P. 305-324

8. Comber L, Sosnoff J, Galvin R, Coote S. Postural control deficits in people with Multiple Sclerosis: A systematic review and meta-analysis. Gait & Posture. 2018; Vol. 61: p. 445-452. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.02.018

9. Dunleavy K. Introduction to therapeutic exercise for rehabilitation. En: Dunleavy K, Slowik A, editors. Therapeutic exercise prescription. 1st ed. Amsterdam: Elsevier; 2019. p 2-11.

10. Fournier M. Principles of Rehabilitation and Return to sports Following Injury. Clin Podiatr Med Surg. 2015; Vol. 32: pag. 261-268. http://dx.doi.org/10.1016/j.cpm.2014.11.009

11. Bandy W, Sanders B, O´Kelley E, Taylor J. Introduction to Therapeutic Exercise. En: Therapeutic Exercise for Physical Therapist Assistants. Techniques for Intervention. 3rd Edition. Edit. Wolters Kluwer. 2013 p. 2-14.

12. Rice DA, McNair PJ. Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: neural mechanisms and treatment perspectives. Semin Arthritis Rheum. 2010 Dec;40 (3):250-66. doi: 10.1016/j.semarthrit.2009.10.001.

13. Colby L, Borstad J. Resistance exercise for Impaired Muscle Performance. En: Kisner C, Colby L, Borstad J. Therapeutic Exercise. Foundations and Techniques. 7th edition. Edit. F. A. Davis Company. 2018. pag. 166-245

14. Prentice W. Essential Considerations in Designing a Rehabilitation Program for the Injured Patient. En: Rehabilitation Techniques for Sports Medicine and Athletic Training. 7th edition. Edit. Slack Incorporated. 2020. p. 3-22

15. Houglum P. Concepts of Rehabilitation. En: Therapeutic Exercise for Musculoskeletal Injuries. 4th Edition. Edit. Human Kinetics. 2017. Pag. 3-25

16. Buratovich M. Injury Treatments – Standard. En: Principles of Sports Medicine & Exercise Science. Edit. Salem Press. 2022. pag. 347-385

17. Dunleavy K, Slowik A. Exercise Prescription. Selection of Exercise Type and Parameters. En: Therapeutic Exercise Prescription. Edit. Elsevier. 2019. pag. 127-159

18. Prentice W. Joint Mobilization and traction Techniques in Rehabilitation. En: Rehabilitation Techniques for Sports Medicine and Athletic Training. 7th edition. Edit. Slack Incorporated. 2020. pag. 329-353

19. Lee BG, Cho NS, Rhee YG. Effect of two rehabilitation protocols on range of motion and healing rates after arthroscopic rotator cuff repair: aggressive versus limited early passive exercises. Arthroscopy. 2012 Jan;28 (1):34-42. doi: 10.1016/j.arthro.2011.07.012.

20. Qiu Z, Ma H. Rehabilitation exercise program after surgical treatment of patellar tendon rupture: A case report. Phys Ther Sport. 2024 Mar;66:17-24. doi: 10.1016/j.ptsp.2024.01.001.

21. Kisner C. Soft Tissue Injury, Repair, and Management. En: Kisner C, Colby L, Borstad J. Therapeutic exercise Foundation and Techniques. Edit. F. A. Davis Company. 2018. pag. 321-335

22. Van Ark M, Cook JL, Docking SI, Zwerver J, Gaida JE, van den Akker-Scheek I, Rio E. Do isometric and isotonic exercise programs reduce pain in athletes with patellar tendinopathy in-season? A randomised clinical trial. J Sci Med Sport. 2016 Sep;19 (9):702-6. doi: 10.1016/j.jsams.2015.11.006.

23. Del Balso C, Cafarelli E. Adaptations in the activation of human skeletal muscle induced by short-term isometric resistance training. J Appl Physiol (1985). 2007 Jul;103 (1):402-11. doi: 10.1152/japplphysiol.00477.2006.

24. Pucci AR, Griffin L, Cafarelli E. Maximal motor unit firing rates during isometric resistance training in men. Exp Physiol. 2006 Jan;91 (1):171-8. doi: 10.1113/expphysiol.2005.032094.

25. Lee SEK, Lira CAB, Nouailhetas VLA, Vancini RL, Andrade MS. Do isometric, isotonic and/or isokinetic strength trainings produce different strength outcomes? J Bodyw Mov Ther. 2018 Apr;22 (2):430-437. doi: 10.1016/j.jbmt.2017.08.001.

26. Houglum P. Muscle Strength and Endurance. En: Therapeutic Exercise for Musculoskeletal Injuries. 4th Edition. Edit. Human Kinetics. 2017. pag. 175-219

27. Prentice W. Preventing Injuries Through Fitness Training. En: Essentials of Athletic Injury Management. 12th Edition. Edit. Mc Graw Hill. 2023. pag. 46-85

28. Gidson A, Wagner D, Heyward V. Chapter 6: Assessing Muscular Fitness. En: Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription. 9th Edition. Edit. Human Kinetics. 2024.

29. Franchi MV, Atherton PJ, Reeves ND, Flück M, Williams J, Mitchell WK, Selby A, Beltran Valls RM, Narici MV. Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. Acta Physiol (Oxf). 2014 Mar;210 (3):642-54. doi: 10.1111/apha.12225.

30. Konow N, Roberts TJ. The series elastic shock absorber: tendon elasticity modulates energy dissipation by muscle during burst deceleration. Proc Biol Sci. 2015 Apr 7;282 (1804):20142800. doi: 10.1098/rspb.2014.2800.

31. Pakosz P, Konieczny M, Domaszewski P, Dybek T, Gnoiński M, Skorupska E. Comparison of concentric and eccentric resistance training in terms of changes in the muscle contractile properties. J Electromyogr Kinesiol. 2023 Dec;73:102824. doi: 10.1016/j.jelekin.2023.102824.

32. Hollander DB, Kraemer RR, Kilpatrick MW, Ramadan ZG, Reeves GV, Francois M, Hebert EP, Tryniecki JL. Maximal eccentric and concentric strength discrepancies between young men and women for dynamic resistance exercise. J Strength Cond Res. 2007 Feb;21 (1):34-40. doi: 10.1519/R-18725.1.

33. Kraemer RR, Castracane VD. Endocrine alterations from concentric vs. eccentric muscle actions: a brief review. Metabolism. 2015 Feb; 64 (2): p. 190-201. doi: 10.1016/j.metabol.2014.10.024.

34. Piqueras-Sanchiz F, Martín-Rodríguez S, Martínez-Aranda LM, Lopes TR, Raya-González J, García-García Ó, Nakamura FY. Effects of moderate vs. high iso-inertial loads on power, velocity, work and hamstring contractile function after flywheel resistance exercise. PLoS One. 2019 Feb 7;14 (2):e0211700. doi: 10.1371/journal.pone.0211700

35. Prentice W. Regaining Muscular Strength, Endurance, and Power. En: Essentials of Athletic Injury Management. 12th Edition. Edit. Mc Graw Hill. 2023. p. 237-259

36. Vincent KR, Vincent HK. Concentric and Eccentric Resistance Training Comparison on Physical Function and Functional Pain Outcomes in Knee Osteoarthritis: A Randomized Controlled Trial. Am J Phys Med Rehabil. 2020 Oct;99 (10):932-940. doi: 10.1097/PHM.0000000000001450.

37. Borysiuk Z, Konieczny M, Kręcisz K, Pakosz P, Królikowska B. Effect of six-week intervention program on postural stability measures and muscle coactivation in senior-aged women. Clin Interv Aging. 2018 Sep 12;13:1701-1708. doi: 10.2147/CIA.S167782.

38. Pakosz P, Konieczny M. Training induced fatigability assessed by sEMG in Pre-Olympic ice-skaters. Sci Rep. 2020 Aug 26;10 (1):14199. doi: 10.1038/s41598-020-71052-4.

39. Mendez-Villanueva A, Suarez-Arrones L, Rodas G, Fernandez-Gonzalo R, Tesch P, Linnehan R, Kreider R, Di Salvo V. MRI-Based Regional Muscle Use during Hamstring Strengthening Exercises in Elite Soccer Players. PLoS One. 2016 Sep 1;11 (9):e0161356. doi: 10.1371/journal.pone.0161356.

40. Hu C, Du Z, Tao M, Song Y. Effects of Different Hamstring Eccentric Exercise Programs on Preventing Lower Extremity Injuries: A Systematic Review and Meta-Analysis. Int J Environ Res Public Health. 2023 Jan 23;20 (3):2057. doi: 10.3390/ijerph20032057.

41. Paulsen G, Eidsheim HØ, Helland C, Seynnes O, Solberg PA, Rønnestad BR. Eccentric cycling does not improve cycling performance in amateur cyclists. PLoS One. 2019 Jan 2;14 (1):e0208452. doi: 10.1371/journal.pone.0208452.

42. Peake J, Nosaka K, Suzuki K. Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans. Exerc Immunol Rev. 2005;11:64-85. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://eir-isei.de/2005/eir-2005-064-article.pdf

43. Chen TC, Chen HL, Pearce AJ, Nosaka K. Attenuation of eccentric exercise-induced muscle damage by preconditioning exercises. Med Sci Sports Exerc. 2012 Nov;44 (11):2090-8. doi: 10.1249/MSS.0b013e31825f69f3.

44. Ong MT, Chan JS, Man GC, Qiu J, He X, Wang Q, Yung PS. Effect of eccentric isokinetic exercise on muscle strength and functional recovery

after anterior cruciate ligament reconstruction. Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol. 2023 Nov 24;35:20-26. doi: 10.1016/j.asmart.2023.11.002.

45. Mesnard G, Fournier G, Cance N, Magnussen R. Lustig S, Servien E. Isokinetic testing following ACL injury demonstrated a higher hamstrings/quadriceps ratio at 240°/s over 6 months from injury but no difference of limb symmetry index. Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation. 2024; https://doi.org/10.1016/j.asmr.2024.101063

46. Voss D. Ionta M, Myers B. Introduction. En: Proprioceptive Neuromuscular Facilitation. Patterns and Techniques. 3rd Edition. Harper & Row, Publishers. 1985 Pag. 1-7

47. Beckers D, Buck M. Introduction. En: PNF in practice. An Illustrated Guide. 5th Edition. Edit. Springer. 2021. Pag. 2-15

48. Sipko T, Glibowski E. Immediate Effects of Single-Session Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Exercises on the Sit-to-Stand Strategy in Patients With Chronic Lumbar Spinal Disc Disease: A Preliminary Study. Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics. 2022; Vol. 45 (6): pag: 415-424. https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2022.09.004

49. Arcanjo FL, Martins JVP, Moté P, Leporace G, Oliveira DA, Sousa CS, Saquetto MB, Gomes-Neto M. Proprioceptive neuromuscular facilitation training reduces pain and disability in individuals with chronic low back pain: A systematic review and meta-analysis. Complement Ther Clin Pract. 2022 Feb;46:101505. doi: 10.1016/j.ctcp.2021.101505.

50. Alexandre de Assis IS, Luvizutto GJ, Bruno ACM, Sande de Souza LAP. The Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Concept in Parkinson Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. J Chiropr Med. 2020 Sep;19 (3):181-187. doi: 10.1016/j.jcm.2020.07.003.

51. Prentice W. Open vs Closed Kinetic Chain Exercise in Rehabilitation. En: Rehabilitation Techniques for Sports Medicine and Athletic Training. 7th edition. Edit. Slack Incorporated. 2020. pag. 305-327

52. Palmitier RA, An KN, Scott SG, Chao EY. Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. Sports Med. 1991 Jun;11 (6):402-13. doi: 10.2165/00007256-199111060-00005.

53. Khademi Kalantari K, Berenji Ardestani S. The effect of base of support stability on shoulder muscle activity during closed kinematic chain

exercises. J Bodyw Mov Ther. 2014 Apr;18 (2):233-8. doi: 10.1016/j.jbmt.2013.08.005.

54. Alashram AR. Effects of closed kinetic chain exercises on balance and gait in people with multiple sclerosis: A randomized controlled trial. J Bodyw Mov Ther. 2024 Oct;40:914-920. doi: 10.1016/j.jbmt.2024.06.013.

55. Farina GR, Arrivabene NC, Delunardo AR, Rinaldi NM. Acute effect of an intervention with open and closed kinetic chain muscle strength exercises on postural control and muscle power in elderly people: A randomized clinical trial. J Bodyw Mov Ther. 2024 Oct;40:992-1001. doi: 10.1016/j.jbmt.2024.07.016.

56. Plotkin D, Coleman M, Van Every D, Maldonado J, Oberlin D, Israetel M, Feather J, Alto A, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ. Progressive overload without progressing load? The effects of load or repetition progression on muscular adaptations. PeerJ. 2022 Sep 30;10:e14142. doi: 10.7717/peerj.14142.

57. Floyd R. Muscular analysis of selected exercises and related concept. En: Manual of Structural Kinesiology. 22nd Edition. Edit. Mc Graw Hill. 2023. pag. 387-421

58. Charmoz A, Muscolino J. Principles of Strengthening Exercise. En: Kinesiology The Skeletal System and Muscle Function. 4th Edition. Edit. Elsevier. 2023. pag. 2468-2584

59. Heyward V, Gidson A. Principles of Assessment, Prescription, and Exercise Program Adherence. En: Advanced Fitness Assessment Exercise Prescription. 7th Edition. Edit. Human Kinetics. 2014. pag. 47-77

60. Pozzi F, Plummer HA, Sanchez N, Lee Y, Michener LA. Electromyography activation of shoulder and trunk muscles is greater during closed chain compared to open chain exercises. J Electromyogr Kinesiol. 2022 Feb;62:102306. doi: 10.1016/j.jelekin.2019.05.007.

61. Forelli F, Barbar W, Kersante G, Vandebrouck A, Duffiet P, Ratte L, Hewett TE, Rambaud AJM. Evaluation of Muscle Strength and Graft Laxity With Early Open Kinetic Chain Exercise After ACL Reconstruction: A Cohort Study. Orthop J Sports Med. 2023 Jun 27;11 (6):23259671231177594. doi: 10.1177/23259671231177594.

62. Huang PY, Jankaew A, Lin CF. Effects of Plyometric and Balance Training on Neuromuscular Control of Recreational Athletes with Functional Ankle

Instability: A Randomized Controlled Laboratory Study. Int J Environ Res Public Health. 2021 May 15; 18 (10):5269. doi: 10.3390/ijerph18105269.

63. Hansen D, Kenelly S. Physiological Mechanism of Plyometrics. En: Plyometric Anatomy. Your Illustrated guide to explosive power. Edit. Human Kinetics. 2017. p. 1-7

64. Chu D, Myer G. Anatomy and Physiology of Plyometrics. En: Plyometrics. Edit. Huma Kinetics. 2013. p. 13-25.

65. Draper N, Williams C, Marshall H. The Movement Systems. Skeletal and Muscular. En: Exercise Physiology. For Health and Sports Performance. 2nd Edition. Edit. Routledge Taylor & Francis Group. 2024. Pag. 119-163

66. Davies G, Riemann B. Current Concepts of Plyometric Exercises for the Lower Extremity. En: Noyes F, Barber-Westin S. Return to Sport after ACL Reconstruction and other Knee Operations. Limiting the Risk of Reinjury and Maximizing Athletic Performance. Edit. Springer. 2019. pag. 277-304

67. Kaya D. Description, Types, and Prescription of the Exercise. En: Functional Exercise Anatomy and Physiology for Physiotherapists. Edit. Springer. 2023. pag. 3-18

68. Voight M, Tippett S. Plyometric Exercise in Rehabilitation. En: Prentice W. Rehabilitation Techniques for Sports Medicine and Athletic Training. 7th edition. Edit. Slack Incorporated. 2020. pag. 279-304

69. Colby L, Kisner C, Borstad J. Advanced Functional Training. En: Therapeutic Exercise. Foundations and Techniques. 7th Edition. Edit. F. A. Davis Company. 2018 pag. 905-937

70. Maroto-Izquierdo S, García-López D, Fernandez-Gonzalo R, Moreira OC, González-Gallego J, de Paz JA. Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. J Sci Med Sport. 2017 Oct;20 (10):943-951. doi: 10.1016/j.jsams.2017.03.004.

71. Exerfly. Ultimate. Exerfly [Internet]. [fecha de acceso: 30/1272024]. Disponible en: https://exerflysport.com/ultimate/

72. Iberian Sportech. Versapulley portatil. Iberian Sportech [Internet]. [fecha de acceso: 30/12/2024]. Disponible en: https://www.iberiansportech.com/shop/versapulley-portatil/#iLightbox[product-gallery]/3

73. Buonsenso A, Centorbi M, Iuliano E, Di Martino G, Della Valle C, Fiorilli G, Calcagno G, di Cagno A. A Systematic Review of Flywheel Training Effectiveness and Application on Sport Specific Performances. Sports (Basel). 2023 Mar 30;11 (4):76. doi: 10.3390/sports11040076.

74. Annibalini G, Contarelli S, Lucertini F, Guescini M, Maggio S, Ceccaroli P, Gervasi M, Ferri Marini C, Fardetti F, Grassi E, Stocchi V, Barbieri E, Benelli P. Muscle and Systemic Molecular Responses to a Single Flywheel Based Iso-Inertial Training Session in Resistance-Trained Men. Front Physiol. 2019 May 9;10:554. doi: 10.3389/fphys.2019.00554.

75. Valenzuela R. Entrenamiento isoinercial. Rubens Valenzuela [Internet]. [fecha de acceso: 30/12/2024]. Disponible en: http://rubensvalenzuela.com/web/articulos/preparacion-fisica/entrenamiento-isoinercial/

76. Tesch PA, Fernandez-Gonzalo R, Lundberg TR. Clinical Applications of Iso-Inertial, Eccentric-Overload (YoYo™) Resistance Exercise. Front Physiol. 2017 Apr 27;8:241. doi: 10.3389/fphys.2017.00241.

77. Maroto-Izquierdo S, Fernández-Gonzalo R, Magdi HR, Manzano-Rodríguez S, González-Gallego J, De Paz JA. Comparison of the musculoskeletal effects of different iso-inertial resistance training modalities: Flywheel vs. electric-motor. Eur J Sport Sci. 2019 Oct;19 (9):1184-1194. doi: 10.1080/17461391.2019.1588920.

78. Hu Z, Liu Y, Huang K, Huang H, Li F, Yuan X. Comparing the Effect of Isoinertial Flywheel Training and Traditional Resistance Training on Maximal Strength and Muscle Power in Healthy People: A Systematic Review and Meta-Analysis. Life (Basel). 2024 Jul 21;14 (7):908. doi: 10.3390/life14070908.

79. Fiorilli G, Mariano I, Iuliano E, Giombini A, Ciccarelli A, Buonsenso A, Calcagno G, di Cagno A. Isoinertial Eccentric-Overload Training in Young Soccer Players: Effects on Strength, Sprint, Change of Direction, Agility and Soccer Shooting Precision. J Sports Sci Med. 2020 Feb 24;19 (1):213-223. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7039027/pdf/jssm-19-213.pdf

80. Illera-Domínguez V, Nuell S, Carmona G, Padullés JM, Padullés X, Lloret M, Cussó R, Alomar X, Cadefau JA. Early Functional and Morphological Muscle Adaptations During Short-Term Inertial-Squat Training. Front Physiol. 2018 Sep 10;9:1265. doi: 10.3389/fphys.2018.01265.

81. Petré H, Wernstål F, Mattsson CM. Effects of Flywheel Training on Strength-Related Variables: a Meta-analysis. Sports Med Open. 2018 Dec 13;4 (1):55. doi: 10.1186/s40798-018-0169-5.

82. Beato M, Bianchi M, Coratella G, Merlini M, Drust B. Effects of Plyometric and Directional Training on Speed and Jump Performance in Elite Youth Soccer Players. J Strength Cond Res. 2018 Feb;32 (2):289-296. doi: 10.1519/JSC.0000000000002371.

83. Martín-San Agustín R, Castillo-Ballesta L, Llobat Sancho J, Esbri-Navarro R, Sánchez-Barbadora M. Comparison of Electromyographic Activity During Hip Extension Exercises Under Gravitational or Inertial Loading Conditions. Sports Health. 2022 Mar-Apr;14 (2): p. 246-253. doi: 10.1177/19417381211011407.

84. Konin J, Jessee B. Range of Motion and Flexibility. En: Andrews J, Harrelson G, Wilk K. Physical Rehabilitation of the Injured Athlete. 4th Edition. Edit. ElSevier. 2012. p. 74-88

85. Basic science behind joint mobilization and manipulation. En: pag. 3-8

86. Edmond S. General Concepts. En: Joint Mobilization/Manipulation. Extremity and Spinal Techniques. Edit. Mosby. 2006. p. 5-17

87. Houglum P. Manual Therapy. En: Therapeutic Exercise for Musculoskeletal Injuries. 4th Edition. Edit. Human Kinetics. 2017. p. 383-450

88. Kisner C. Peripheral Joint Mobilization/Manipulation. En: Kisner C, Colby L, Borstad J. Therapeutic Exercise. Foundations and Techniques. 7th edition. Edit. F. A. Davis Company. 2018. p. 127-165

89. Edmond S. Principles of Examination, Evaluation, and Intervention. En: Joint Mobilization/Manipulation. Extremity and Spinal Techniques. Edit. Mosby. 2006. p. 18-35.

90. Manske R, Reiman M, Loudon J. Basic Science Behind Joint Mobilization And Manipulation. En: Orthopedic joint mobilization and manipulation. An evidence-based approach. Edit. Human Kinetics. 2019. pag. 3-8

91. Hengeveld E, Banks K. Maitland´s Vertebral Manipulation. Management of Neuromusculoskeletal Disorders – Volume One. 8th Edition. Edit. Churchill Livingstone ElSevier. 2014

92. Moon GD, Kim TH, Lim JY. Changes in joint space width during Kaltenborn traction according to traction grade in healthy adults. J Phys Ther Sci. 2016 Jan;28 (1):246-9. doi: 10.1589/jpts.28.246.

93. Weiss C, Tsakiris M, Haggard P, Schütz-Bosbach S. Agency in the sensorimotor system and its relation to explicit action awareness. Neuropsychologia. 2014 Jan;52:82-92. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2013.09.034.

94. Paillard T. Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience. Neurosci Biobehav Rev. 2017 Jan;72:129-152. doi: 10.1016/j.neubiorev.2016.11.015.

95. Gülenç B, Kuyucu E, Erdil M. Proprioception After Soft Tissue Regenerative Treatment. En: Proprioception in Orthopaedics, Sports Medicine and Rehabilitation. Kaya D, Yosmaoglu B, Doral M. Edit. Springer. 2018. pag. 165-173

96. Prentice W. Using Therapeutic Exercise in Rehabilitation. En: Principles of Athletic Training: A Guide to Evidence-Based Clinical Practice. 16th edition. Edit. McGraw Hill. 2017 Pag. 430-462

97. Prentice W. Reestablishing Neuromuscular Control. En: Rehabilitation Techniques for Sports Medicine and Athletic Training. 7th edition. Edit. Slack Incorporated. 2020. pag. 145-172

98. Wang Q, Li L, Mao M, Sun W, Zhang C, Mao D, Song Q. The relationships of postural stability with muscle strength and proprioception are different among older adults over and under 75 years of age. J Exerc Sci Fit. 2022 Oct;20 (4): p. 328-334. doi: 10.1016/j.jesf.2022.07.004.

99. Halabchi F, Hassabi M. Acute ankle sprain in athletes: Clinical aspects and algorithmic approach. World J Orthop. 2020 Dec 18;11 (12): p. 534-558. doi: 10.5312/wjo.v11.i12.534.

100. Tarantino F. Bases fisiológicas y beneficios del entrenamiento propioceptivo. En: Entrenamiento Propioceptivo. Principios en el diseño de ejercicios y guías prácticas. Edit. Medica Panamericana. 2017. p. 11-16.

101. Dutton M. The Nervous System. En: Orthopaedic for the Physical Therapist Assistant. 2nd Edition. Edit. Jones & Bartlet Learning. 2019. p. 55-92.

102. Muscolino J. The Neuromuscular System. En: Kinesiologia. The Skeletal System and Muscle Function. 4th Edition. Edit. Elsevier. 2023. p. 2173-2272.

103. Lephart S, Swanki C, Blackburn T. Reestablishing Neuromuscular Control. En: Prentice W. Rehabilitation Techniques for Sports

Medicine and Athletic Training. 7th edition. Edit. Slack Incorporated. 2020. p. 145-172.

104. Tarantino F. Diseño de Ejercicios. En: Entrenamiento Propioceptivo. Principios en el diseño de ejercicios y guías prácticas. Edit. Medica Panamericana. 2017. p. 24-35.

105. Akuthota V, Ferreiro A, Moore T, Fredericson M. Core stability exercise principles. Curr Sports Med Rep. 2008 Feb;7 (1): p. 39-44. doi: 10.1097/01.CSMR.0000308663.13278.69.

106. Huxel Bliven KC, Anderson BE. Core stability training for injury prevention. Sports Health. 2013 Nov;5 (6):514-22. doi: 10.1177/1941738113481200.

107. Lee J, Wang L, Zhang X. Exploring the relationship between core stability and vertical jump in recreationally active male college students based on a suite of novel core stability assessments. Heliyon. 2024 Jan 28;10 (3):e25236. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e25236.

108. Malanga G, Aydin S, Holder Erick, Petrin Z. Functional Therapeutic and Core Strengthening. En: Seidenberg P, Bowen J, King D. The Hip and Pelvis in Sports Medicine and Primary Care. 2nd Edition. Edit. Springer. 2017. p. 185-214.

109. Petersen C, Nittinger N. Strength and Conditioning of the Hips and Core (Practical Applications). En: Di Giacomo G, Ellenbecker T, Kibler W. Tennis Medicine. A Complete Guide to Evaluation, Treatment, and Rehabilitation. Edit. Springer. 2018. p. 627-678.

110. Hebert JJ, Koppenhaver SL, Magel JS, Fritz JM. The relationship of transversus abdominis and lumbar multifidus activation and prognostic factors for clinical success with a stabilization exercise program: a cross-sectional study. Arch Phys Med Rehabil. 2010 Jan;91 (1):78-85. doi: 10.1016/j.apmr.2009.08.146.

111. Sells P, Prentice W. Maintaining Cardiorespiratory Fitness During Rehabilitation En: Rehabilitation Techniques for Sports Medicine and Athletic Training. 7th edition. Edit. Slack Incorporated. 2020. p. 261-275.

112. Pellicia A, Heidbuchel H, Corrado D, Borjesson M, Sharma S. Cardiovascular response induced by exercise. En: The ESC Textbook of Sports Cardiology. Edit. Oxford. 2019.p. 3-8.

113. Saghiv M, Sagiv M. Cardiovascular Function. En: Basic Exercise Physiology. Clinical and Laboratory Perspectives. Edit. Springer. 2020. p. 285-369.

114. Saghiv M, Sagiv M. Pulmonary Function. En: Basic Exercise Physiology. Clinical and Laboratory Perspectives. Edit. Springer. 2020. p. 207-249.

115. Alomar-Jiménez W, Fry A, Miranda-Comas G. Exercise Prescription. En: Miranda-Comas G, Cooper G, Herrera J, Curtis S. Essentials Sports Medicine. A clinical Guide for Students and Residents. 2nd edition. Edit Springer. 2021 p. 31-43.

CAPÍTULO 2

Terapia Acuática: Mecanismos y Aplicaciones en la Rehabilitación Deportiva

Aquatic Therapy: Mechanisms and Applications in Sports Rehabilitation

Wilson González Marmolejo
Fundación Universitaria María Cano
https://orcid.org/0000-0002-8960-5801
wilsongonzalezmarmolejo@fumc.edu.co

Resumen

Este capítulo explora el uso del agua como medio terapéutico, su historia y sus propiedades físicas. Se resalta la importancia de la temperatura del agua en la respuesta fisiológica del cuerpo. Aborda la rehabilitación de lesiones de hombro en el medio acuático, resaltando ventajas como la relajación corporal, la reducción del peso del miembro superior y la posibilidad de realizar movimientos activos tempranos de forma segura. Se enfatiza la necesidad de adaptar la intensidad de los ejercicios a las necesidades individuales y de contar con supervisión profesional para garantizar una recuperación efectiva.

Además, se exploran ejercicios específicos para la recuperación de lesiones de rodilla y columna lumbar, como la activación de glúteos e isquiosurales, desplazamientos en el agua, controles rotacionales y ejercicios pliométricos adaptados. También se destaca la importancia de estructurar las sesiones de terapia acuática de manera cuidadosa para maximizar los beneficios terapéuticos, incluyendo un calentamiento inicial, control postural y ejercicios propioceptivos. Por último, se examina el impacto de la inmersión en agua fría

Cita este capítulo / *Cite this chapter*

González Marmolejo W. Terapia acuática: mecanismos y aplicaciones en la rehabilitación deportiva. En: Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo III: rehabilitación y readaptación deportiva*. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 149-177. https://doi.org/10.35985/9786287914179.2

en los diferentes sistemas corporales, teniendo en cuenta la evidencia científica y las diferentes posturas académicas.

Palabras clave: Terapia Acuática, Especialidad de Fisioterapia, Rehabilitación.

Abstract

This chapter explores the use of water as a therapeutic medium, its history, and its physical properties. The importance of water temperature in the body's physiological response is highlighted. It addresses the rehabilitation of shoulder injuries in an aquatic environment, highlighting benefits such as body relaxation, weight reduction on the upper limb, and the possibility of safe early active movements. Emphasizes the need to adapt exercise intensity to individual needs and to have professional supervision to ensure effective recovery.

In addition, specific exercises for recovery from knee and lumbar spine injuries are explored, such as gluteal and hamstring activation, water displacements, rotational controls, and adapted plyometric exercises. The importance of carefully structuring aquatic therapy sessions to maximize therapeutic benefits is also highlighted, including an initial warm-up, postural control, and proprioceptive exercises. Finally, the impact of cold-water immersion on different body systems is examined, taking into account scientific evidence and different academic positions.

Keywords: *Aquatic Therapy, Physical Therapy Specialty, Rehabilitation.*

Introducción

> "El agua es el medio en el que nacimos. En el agua, el hombre encuentra la sensación de seguridad y la libertad que no tiene en tierra firme."
>
> —Jacques-Yves Cousteau

La terapia acuática emerge como un recurso invaluable en el campo de la rehabilitación deportiva, ofreciendo un entorno único que potencia la recuperación y el rendimiento de los atletas. En el presente capítulo, se aborda de manera detallada la relevancia de la terapia acuática en el ámbito de la rehabilitación deportiva, destacando los mecanismos fisiológicos y las diversas aplicaciones que la hacen una herramienta fundamental en el proceso de recuperación de los deportistas. Desde la mitigación del impacto articular hasta la optimización de la circulación sanguínea y la capacidad cardiovascular, se examina minuciosamente el papel crucial que desempeña

el agua en la mejora del rendimiento deportivo y la prevención de lesiones. A través de la implementación de ejercicios específicos, la terapia acuática emerge como un componente esencial para potenciar la excelencia física y garantizar la integridad física de los atletas. Adentrémonos en las profundidades de la rehabilitación deportiva y exploremos el impacto significativo que la terapia acuática puede tener en la trayectoria deportiva de los individuos.

Definición de Terapia Acuática

La terapia acuática, a menudo confundida con la hidroterapia, es un enfoque terapéutico que se lleva a cabo en el medio acuático con el propósito de mejorar la salud y el bienestar de las personas. Es importante diferenciar entre estos dos términos, ya que, aunque comparten el agua como elemento común, sus enfoques y objetivos son distintos.

La hidroterapia se centra en el uso del agua en sus diferentes formas (caliente, fría, contrastes, etc.) con fines terapéuticos, como la estimulación circulatoria, la recuperación muscular o el alivio del dolor. Por otro lado, la terapia acuática abarca un enfoque más específico que incluye el uso del agua como medio para realizar ejercicios terapéuticos, promover la rehabilitación física y mejorar la funcionalidad del paciente.

La hidroterapia, por lo tanto, es un término más general, que incluye tratamientos que involucran el cuerpo del paciente en su totalidad y tratamientos que se centran en el uso del agua en áreas específicas del cuerpo. A esto le denominamos hidroterapia general y local, como se puede ver en la tabla 1, clasificación de la hidroterapia.

Tabla 1. *Clasificación de la hidroterapia*

	Tipo	Subtipo
Hidroterapia general	Balneoterapia	Baños salados
		Baños carbogaseosos
		Baños de oxígeno
		Baños medicamentosos
		Baños a presión
		Baños galvánicos
		Baños de hidromasaje
		Baños de Kneipp
		Baños de contraste

	Tipo	Subtipo
Hidroterapia general	Hidrocinesiterapia	Tanque de Hubbard Piscinas terapéuticas Piscinas de natación
Hidroterapia local	Compresas	Húmedas Secas
	Baños	De turbina Con chorros De contraste

Nota. la tabla muestra las diferentes clasificaciones de la hidroterapia. *Fuente: Tomado de Pico Segovia* (18)

Por otro lado, en la terapia acuática, se emplean técnicas específicas adaptadas al medio acuático para trabajar la fuerza, la flexibilidad, el equilibrio y la coordinación, entre otras cualidades, con el objetivo de mejorar la condición física y la calidad de vida de los individuos. Entre las técnicas más utilizadas en la terapia acuática se encuentran métodos especializados como Halliwick, Bad Ragaz y Watsu, cada uno con enfoques y beneficios específicos (22).

El método Halliwick se centra en la enseñanza de habilidades acuáticas básicas para promover la independencia y la confianza en el agua. Se basa en principios de equilibrio, flotación y control postural. Por su parte, el método Bad Ragaz se enfoca en el fortalecimiento muscular y la mejora de la movilidad a través de ejercicios específicos realizados en el agua, caracterizándose por el uso de resistencia controlada y movimientos precisos; y Watsu combina elementos de shiatsu y terapia acuática para promover la relajación, la modulación del tono muscular y el bienestar emocional, donde realizan movimientos suaves y fluidos en el agua, con el paciente flotando y siendo guiado pasivamente por el terapeuta.

La terapia acuática se destaca por ofrecer un enfoque holístico, lo que significa que considera a la persona en su totalidad, abordando no solo los aspectos físicos de la salud, sino también los aspectos mentales, emocionales y sociales. Al utilizar el medio acuático como herramienta terapéutica, se logra un tratamiento integral que beneficia tanto el cuerpo como la mente.

Breve Historia y Evolución de la Terapia Acuática

La historia de la terapia acuática se remonta a la antigüedad, donde diversas civilizaciones ya reconocían los beneficios terapéuticos del agua. Hipócrates, considerado el padre de la medicina, utilizaba baños de contraste con agua caliente y fría para tratar enfermedades. Los romanos, por su parte, desarrollaron complejos sistemas de baños termales con diferentes temperaturas para usos recreativos y curativos.

Durante la edad media, la hidroterapia continuó siendo utilizada en Europa, especialmente en monasterios y centros de salud. Sin embargo, fue en el siglo XVII cuando Luis Septala introdujo los chorros fríos en la terapéutica, marcando un avance significativo en el uso del agua con propósitos terapéuticos. En el siglo XVIII, el Dr. Wright publicó sus hallazgos sobre el uso del frío en el tratamiento de la viruela, estimulando a otros médicos como el Dr. Currie a investigar los efectos del agua fría y caliente como remedio para la fiebre. En 1830, Vicent Pressnitz instaló un centro para el empleo del agua caliente y ejercicios vigorosos, recibiendo apoyo en su país. (3).

En el siglo XX, la terapia acuática experimentó un auge con la creación de programas especializados en piscinas terapéuticas. Autores como Hoeger et al. (1993), Sanders (1993) y Barreta (1993) demostraron la efectividad de la terapia acuática en mejorar la fuerza muscular y la flexibilidad lumbar. Estudios electromiográficos realizados por Poyhonen et al. (2001) objetivaron una menor activación de la musculatura antagonista durante los movimientos en el agua, lo que permite una potenciación muscular más progresiva y menos dolorosa (19).

En la actualidad, la terapia acuática se ha consolidado como una disciplina reconocida y ampliamente utilizada en la rehabilitación y el tratamiento de diversas condiciones de salud. Profesionales especializados diseñan programas personalizados que aprovechan las propiedades terapéuticas del agua para mejorar la fuerza, la flexibilidad, el equilibrio y la coordinación de los pacientes. La terapia acuática se ha convertido en una opción terapéutica segura y efectiva, integrándose en los sistemas de salud en muchos países.

Principios físicos del agua

Los principios físicos del agua son fundamentales para comprender los efectos terapéuticos y fisiológicos de la terapia acuática. A continuación, se explica la relevancia que tienen en el contexto de la terapia acuática:

Densidad: La densidad del agua es un concepto fundamental en la terapia acuática debido a su influencia en la flotabilidad y la resistencia experimentada por el cuerpo en inmersión. Aunque el cuerpo humano está compuesto principalmente de agua, su densidad es ligeramente menor que la del agua, aproximadamente 0.95 kg/m3. (16). Esta disparidad en densidad es crucial, ya que permite que el cuerpo flote en el agua, lo que tiene varios efectos beneficiosos en el contexto de la terapia acuática.

Cuando un individuo se sumerge en agua, la diferencia en densidad entre el cuerpo y el agua resulta en una fuerza de flotación que contrarresta parcialmente la fuerza de la gravedad. Esta fuerza ascendente ayuda a sostener el cuerpo y reduce la carga sobre las articulaciones, lo que resulta en una sensación de ligereza y facilita el movimiento. Al disminuir la carga sobre las articulaciones, la flotabilidad del agua permite realizar ejercicios de forma más fácil y segura, especialmente para personas con limitaciones físicas. Se debe tener en cuenta también que las diferentes partes del cuerpo no tienen la misma densidad, por lo tanto, hay partes que tienden a flotar unas más que otras.

Tabla 2. *Densidad de segmentos corporales*

Segmento	Mujer	Hombre	Promedio
Miembro superior	1.0596	1.0880	1.0766
Antebrazo	1.0714	1.1086	1.0937
Mano	1.1130	1.1126	1.1128
Cadera	1.0541	1.0686	1.0628
Pierna	1.0822	1.1002	1.0930
Pie	1.1006	1.0893	1.0922
Cabeza	1.1300	1.0851	1.1075

Nota: La tabla muestra las diferentes densidades según segmentos corporales. Elaboración propia.

Presión hidrostática: La presión hidrostática se refiere a la presión que un líquido ejerce en función de su densidad y la profundidad de inmersión. En el caso del agua, la presión hidrostática aumenta a medida que se incrementa linealmente la profundidad (aproximadamente hay un aumento de 1 mm Hg por cada 1.36 cm de profundidad). Cuando una persona se sumerge en agua, la presión hidrostática actúa sobre su cuerpo de manera uniforme en todas las direcciones. Esta presión externa puede tener efectos positivos en la resolución

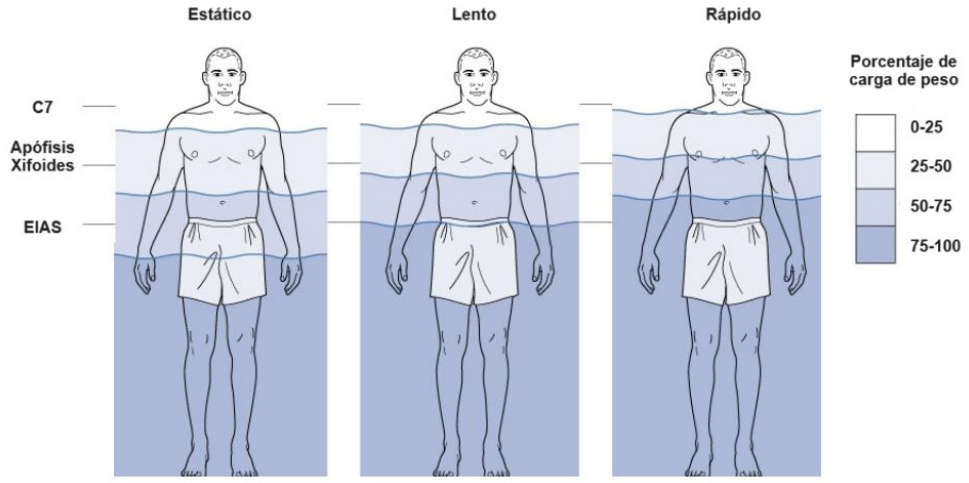
de edemas, mejora la circulación sanguínea, reduce la acumulación de líquido en tejidos inflamados o lesionados y favorece el retorno venoso al corazón.

Además, la presión hidrostática también puede influir en la postura y la estabilidad del cuerpo durante la terapia acuática. Al ejercer una fuerza externa sobre el cuerpo inmerso, la presión hidrostática puede ayudar a mejorar la alineación corporal, promover una postura adecuada y aumentar la estabilidad durante el movimiento.

Flotabilidad: La flotabilidad es la capacidad de un cuerpo para mantenerse a flote en un líquido. En el agua, la flotabilidad contrarresta la fuerza de la gravedad, lo que reduce la carga sobre las articulaciones y facilita el movimiento. Cuando una persona se sumerge en agua, la flotabilidad actúa como una fuerza ascendente que contrarresta parcialmente la fuerza de la gravedad. Al disminuir la carga gravitatoria, la flotabilidad en el agua proporciona una sensación de disminución de la carga de peso y facilita el movimiento, lo que resulta en una menor compresión sobre las articulaciones y una mayor libertad de movimiento. Es importante resaltar que este efecto disminuye a medida que las personas aumentan la velocidad de movimiento dentro del medio acuático, lo que significa que, a mayor velocidad, mayor carga de peso en sus pies.

Lo anterior está explicado en la figura 1, porcentaje de carga de peso, donde se muestra la carga de peso a diferentes niveles de profundidad de agua y con diferentes velocidades de movimiento.

Figura 1. *Porcentaje de carga de peso*



Fuente: tomado de Harrison & Bulstrode (12)

Viscosidad: La viscosidad del agua es una propiedad que se refiere a la resistencia que ofrece el líquido al flujo o al movimiento de un cuerpo a través de él. En el contexto de la terapia acuática, la viscosidad del agua juega un papel importante en la forma en que el cuerpo interactúa con el medio acuático y en los beneficios terapéuticos que se pueden obtener.

Cuando un cuerpo se mueve en el agua, experimenta una resistencia al movimiento debido a la viscosidad del líquido. Esta resistencia viscosa actúa como una fuerza de fricción que se opone al movimiento del cuerpo, lo que requiere que los músculos trabajen más para superar esta resistencia. Al realizar ejercicios en el medio acuático, la viscosidad proporciona una resistencia uniforme en todas las direcciones, lo que significa que los músculos deben trabajar de manera integrada para moverse a través del agua.

Al ejercitarse en un medio viscoso como el agua, los músculos se ven desafiados de manera diferente en comparación con el ejercicio en tierra firme. Esta resistencia uniforme en todas las direcciones promueve la co-contracción muscular, la estabilidad articular y el control del cuerpo. Además, la viscosidad del agua también puede contribuir a la mejora de la propiocepción, ya que, al moverse a través del agua y experimentar la resistencia viscosa, el cuerpo desarrolla una mayor conciencia de su posición y movimiento.

Termodinámica: La termodinámica es una rama de la física que estudia las interacciones entre el calor y otras formas de energía, así como las propiedades de los sistemas que experimentan cambios en su temperatura, presión y volumen. En el contexto del agua y su temperatura, se refiere a la capacidad del agua para retener y transferir calor de manera eficiente. El agua tiene una capacidad calorífica significativamente mayor que el aire, lo que la convierte en un medio altamente efectivo para la transferencia de calor.

La capacidad del agua para retener y transferir calor la hace ideal para aplicaciones terapéuticas, como la crioterapia (aplicación de frío) y la termoterapia (aplicación de calor). La variación de la temperatura del agua puede influir en la respuesta fisiológica del cuerpo y en la eficacia de la terapia. Por ejemplo, al utilizar agua fría, se puede reducir la temperatura de la piel y los tejidos subyacentes, lo que puede ayudar a disminuir la inflamación, aliviar el dolor y reducir el metabolismo tisular. Por otro lado, al utilizar agua caliente, se puede aumentar la temperatura de los tejidos, lo que puede ayudar a relajar los músculos, probar vasodilatación, lo que aumenta el flujo sanguíneo y la entrega de nutrientes a los tejidos, aliviar el dolor y promover la curación.

La variación de la temperatura del agua en las aplicaciones terapéuticas puede influir en la respuesta fisiológica del cuerpo de diversas maneras, ya sea estimulando la respuesta del sistema nervioso, modificando la circulación sanguínea, aliviando el dolor o promoviendo la relajación muscular. En la tabla 3, se resume en qué tipo de actividades se utilizan las diferentes temperaturas del agua.

Tabla 3. *Temperatura del agua*

Temperaturas del agua					
Actividades	**Fría (10° a 15° C)**	**Tibia (26° a 29.5° C)**	**Neutral (33.5° a 35.5° C)**	**Templada (36° a 38.5° C)**	**Caliente (37.5° a 41° C)**
Recuperación post ejercicio	x				
Baños de contraste	x			x	x
Ejercicio vigoroso		x			
Ejercicio en artritis			x		
Terapia acuática tradicional			x		
Rehabilitación cardiaca			x		
Ejercicio en esclerosis múltiple		x			
Rehabilitación en trauma raquimedular			x		
Rehabilitación en Parkinson			x		
Relajación			x	x	x

Nota. La tabla muestra las diferentes temperaturas del agua y en qué casos se pueden utilizar. *Fuente: modificado de Becker* (3)

Efectos Fisiológicos de la Inmersión

Tanto la inmersión en agua termoneutral como en agua fría tienen efectos significativos en el sistema cardiaco, pulmonar, musculoesquelético y renal. Estos efectos pueden variar dependiendo de la temperatura del agua y la duración de la inmersión y pueden ofrecer beneficios tanto para la salud física como para la recuperación después de la práctica deportiva. (3)

Efectos en el Sistema Cardiaco

Durante la inmersión en agua termoneutral, se produce una disminución en la presión arterial debido a la vasodilatación periférica que ocurre en respuesta

al contacto con el agua. Esto conlleva a una reducción en la carga de trabajo del corazón, lo que puede resultar en una disminución de la frecuencia cardíaca y una mejora en la eficiencia cardiovascular. En contraste, la inmersión en agua fría puede desencadenar una respuesta de vasoconstricción periférica para conservar el calor corporal. Esta vasoconstricción puede aumentar la presión arterial y la frecuencia cardíaca para mantener el flujo sanguíneo adecuado a los órganos vitales. Pero en general, si la persona está en posición vertical con el nivel del agua en el tórax o por encima de este, el efecto de la presión hidrostática genera redistribución de la sangre venosa de miembros inferiores hacia el corazón causando aumento del volumen central de sangre, aumento del gasto cardiaco y disminución en la presión arterial y frecuencia cardiaca.

Efectos en el Sistema Pulmonar

La inmersión en agua termoneutral puede aumentar el trabajo de la respiración al ejercer presión sobre el tórax y los pulmones. Este aumento en el trabajo respiratorio puede fortalecer los músculos inspiratorios, mejorando así la función pulmonar a largo plazo. La exposición al agua fría puede provocar una respuesta de hiperventilación inicial debido al reflejo de inmersión, que es una respuesta involuntaria del cuerpo a la exposición al agua fría. Esta hiperventilación puede afectar temporalmente la función pulmonar. El trabajo pulmonar durante la inmersión en posición vertical con el agua a nivel de C7 aumenta aproximadamente un 60% el trabajo respiratorio, debido a la presión hidrostática ejercida sobre el tórax y al aumento de volumen de sangre en el mediastino que empuja los pulmones hacia el tórax (7).

Sistema Musculoesquelético

La inmersión en agua termoneutral aumenta el flujo sanguíneo hacia los músculos, lo que puede mejorar la perfusión tisular y ayudar en la recuperación muscular después del ejercicio. La inmersión en agua fría puede tener un efecto analgésico y antiinflamatorio en los músculos y articulaciones, lo que puede ser beneficioso para la recuperación después de actividades físicas intensas. La flotabilidad del agua reduce la carga gravitatoria sobre las articulaciones, lo que disminuye el impacto y el estrés mecánico en las estructuras musculoesqueléticas, permitiendo realizar ejercicios con menor riesgo de lesiones. Además, la estimulación de los receptores sensoriales en la piel durante la inmersión puede modular la percepción del dolor, promover la relajación muscular y mejorar la propiocepción, lo que contribuye a la rehabilitación de lesiones musculoesqueléticas. (3)

Sistema Renal

La inmersión en agua termoneutral genera una redistribución del volumen sanguíneo hacia la periferia del cuerpo debido a la presión hidrostática del agua. Esta redistribución reduce la presión arterial y la presión intravascular en el riñón, lo que disminuye la liberación de renina por las células yuxtaglomerulares. Además, la inmersión en agua también puede estimular la liberación de péptido natriurético atrial (ANP) y péptido natriurético cerebral (BNP) debido al aumento en la presión intracavitaria cardíaca, lo que a su vez inhibe la liberación de renina y la producción de angiotensina II. Estos cambios en la actividad del sistema renina-angiotensina-aldosterona durante la inmersión contribuyen a la supresión de este sistema y pueden tener efectos beneficiosos en la regulación del equilibrio hídrico y la presión arterial

En la inmersión en agua fría, el sistema renina-angiotensina-aldosterona puede experimentar una respuesta diferente en comparación con la inmersión en agua termoneutral. La exposición al agua fría puede desencadenar una respuesta de vasoconstricción periférica para conservar el calor corporal, lo que puede resultar en un aumento en la presión arterial y una mayor activación del sistema renina-angiotensina-aldosterona. La vasoconstricción periférica en la inmersión en agua fría puede provocar una disminución en el flujo sanguíneo renal y una mayor liberación de renina por las células yuxtaglomerulares del riñón para intentar mantener la presión arterial. (3)

Prescripción del Ejercicio en el Medio Acuático

La prescripción del ejercicio en el medio acuático es un proceso complejo que involucra consideraciones específicas sobre los parámetros cardiorrespiratorios de los individuos. La resistencia y flotabilidad del agua impactan directamente en la respuesta cardiovascular y respiratoria durante la actividad física, lo que puede resultar en una disminución de la frecuencia cardíaca y una menor demanda de oxígeno en comparación con el ejercicio en tierra firme. Esta diferencia en la respuesta fisiológica es crucial al diseñar programas de entrenamiento acuático personalizados, especialmente para aquellos con condiciones médicas que requieren una carga reducida en el sistema cardiovascular.

La temperatura y la profundidad del agua también influyen en la frecuencia cardíaca durante el ejercicio acuático. Se ha observado que la frecuencia cardíaca puede variar en función de la temperatura del agua, con temperaturas más cálidas pudiendo provocar una disminución en la frecuencia cardíaca en

reposo. Además, la profundidad del agua afecta la resistencia al movimiento y, por lo tanto, la intensidad del ejercicio, lo que se refleja en cambios en la frecuencia cardíaca en diferentes niveles de inmersión. Ajustar la intensidad del entrenamiento en función de la profundidad del agua es esencial para garantizar un estímulo adecuado y seguro para el sistema cardiovascular.

Comparado con la prescripción del ejercicio en tierra, la prescripción en el medio acuático requiere una comprensión detallada de cómo el agua afecta los parámetros cardiorrespiratorios y la respuesta fisiológica del cuerpo. Al adaptar la prescripción del ejercicio acuático en función de la frecuencia cardíaca, la temperatura y la profundidad del agua, los profesionales de la salud pueden diseñar programas de entrenamiento efectivos y seguros que aprovechen los beneficios únicos del medio acuático para la salud cardiovascular y respiratoria de los individuos.

Para calcular la frecuencia cardíaca de trabajo en el medio acuático se puede utilizar la fórmula propuesta por Kruel, descrita a continuación:

$$[\,(\text{FCM} - \text{FCR} - \textit{Reducción acuática}) * \textit{Porcentaje de trabajo deseado}\,] + \text{FCR}$$

La frecuencia cardiaca máxima (FCM) se puede calcular con la fórmula de Karvonen: 220-edad o la fórmula de Tanaka: 208 – (edad * 0.7). La frecuencia cardiaca en reposo (FCR) se debe tomar antes de ingresar a la piscina, en posición bípeda y la reducción acuática es la diferencia en latidos entre la FCR y la frecuencia cardiaca tomada en posición bípeda, con el agua hasta las axilas, después de estar en la piscina por tres minutos.

Esta fórmula ajustada tiene en cuenta la reducción en la frecuencia cardíaca que ocurre en el agua debido a factores como la presión hidrostática y los ajustes termo regulatorios, permitiendo una prescripción más precisa e individualizada del ejercicio acuático. Al utilizar la fórmula de Kruel para calcular la frecuencia cardíaca de trabajo en el medio acuático, los profesionales de la salud y del ejercicio pueden adaptar de manera óptima la intensidad del entrenamiento a las condiciones únicas que ofrece el agua, brindando a los individuos una experiencia de ejercicio segura, efectiva y personalizada en el entorno acuático (13).

Rehabilitación Deportiva en el Medio Acuático

La rehabilitación deportiva en el medio acuático se ha convertido en una modalidad terapéutica cada vez más popular y efectiva para atletas que buscan recuperarse de lesiones deportivas de manera segura y rápida. Al combinar

los beneficios terapéuticos del agua con ejercicios específicos diseñados para abordar las necesidades de los atletas, se logra mejorar la fuerza, flexibilidad, resistencia y propiocepción, en un entorno que es propicio para la recuperación óptima de los deportistas. Además, los atletas que se someten a rehabilitación en el medio acuático pueden experimentar una serie de beneficios, como la reducción del impacto en las articulaciones, la mejora de la circulación sanguínea, la aceleración de la recuperación muscular y el aumento de la resistencia cardiovascular.

En este contexto, es fundamental explorar en profundidad los fundamentos, beneficios y aplicaciones de la rehabilitación deportiva en el medio acuático. Esto incluye comprender las propiedades físicas del agua, los principios de la hidrodinámica aplicados a la terapia acuática, así como los protocolos específicos y consideraciones clave para garantizar una implementación exitosa en el ámbito deportivo. Algunos de estos beneficios son:

- **Reducción del impacto en las articulaciones durante el ejercicio:** El agua proporciona un entorno de baja gravedad que reduce significativamente el impacto en las articulaciones durante el ejercicio. Esto es especialmente beneficioso para atletas que están rehabilitando lesiones en las articulaciones, como rodillas, caderas o tobillos. Al realizar ejercicios en el agua, se disminuye la carga sobre las articulaciones, lo que puede ayudar a acelerar la recuperación y minimizar el riesgo de lesiones adicionales.
- **Mejora de la circulación sanguínea y la recuperación muscular:** La resistencia natural del agua al movimiento proporciona un efecto de masaje suave en los músculos, lo que puede mejorar la circulación sanguínea y promover la recuperación muscular. Este efecto de masaje ayuda a reducir la inflamación, aliviar la rigidez muscular y acelerar la eliminación de productos de desecho metabólico, lo que contribuye a una recuperación más rápida y efectiva después del ejercicio o lesión.
- **Aumento de la resistencia cardiovascular y la capacidad pulmonar:** La resistencia al movimiento en el agua requiere un mayor esfuerzo cardiovascular y respiratorio en comparación con el ejercicio en tierra firme. Al realizar ejercicios acuáticos, los atletas pueden mejorar su resistencia cardiovascular y su capacidad pulmonar de manera efectiva. Esto puede traducirse en una mejora en la capacidad aeróbica, la resistencia física y la eficiencia del sistema cardiovascular, lo que es fundamental para el rendimiento deportivo y la recuperación óptima.

Rehabilitación Acuática en Lesiones Deportivas Comunes

Rehabilitación de Lesiones de Rodilla en el Medio Acuático

La terapia acuática es un enfoque altamente efectivo para la rehabilitación de la articulación de la rodilla que aprovecha las propiedades únicas del agua para promover la recuperación y la funcionalidad. La flotabilidad del agua reduce la carga sobre las articulaciones, lo que disminuye el impacto en la rodilla durante el ejercicio y facilita el movimiento sin ejercer una compresión excesiva.

La terapia acuática también se destaca por su capacidad para reducir el dolor y la inflamación en la rodilla. La presión hidrostática del agua ayuda a movilizar hacia proximal el edema y la sangre, lo que facilita la realización de ejercicios terapéuticos y promueve una recuperación más rápida. Asimismo, la temperatura termoneutral del agua puede tener un efecto analgésico, aliviando el dolor en la rodilla y permitiendo una mayor amplitud de movimiento durante las sesiones de rehabilitación. La terapia acuática también nos permite trabajar en la estabilidad y propiocepción de la rodilla. La naturaleza inestable del agua desafía al cuerpo a mantener el equilibrio, promoviendo la activación de los músculos estabilizadores y la propiocepción de la articulación. Esta mejora en la estabilidad y el equilibrio no solo ayuda a prevenir futuras lesiones, sino que también contribuye a una recuperación más completa y a una mejor funcionalidad de la rodilla a largo plazo. (2)

Entre las patologías más comunes de rodilla que se trabajan en el medio acuático encontramos:

Condromalacia Patelar

La terapia acuática desempeña un papel importante en el tratamiento de la condromalacia patelar debido a sus beneficios en la reducción del dolor, la mejora de la función articular y el fortalecimiento muscular. La terapia acuática proporciona un entorno terapéutico de baja gravedad que reduce el impacto en las articulaciones, fortalece los músculos de miembros inferiores, mejora la flexibilidad y la amplitud de movimiento, controla el dolor a través de la presión hidrostática, mejora el equilibrio y la coordinación, contribuyendo así a mejorar los síntomas asociados con la condromalacia patelar. (15)

Entre los ejercicios recomendados están:

- **Ejercicios de fortalecimiento de cuádriceps:** como sentadillas parciales en el agua para fortalecer los músculos como el vasto medial oblicuo (VMO), crucial para la estabilidad de la patela.

- **Ejercicios de flexibilidad:** como extensión de cadera y flexión de rodilla bajo el agua con la técnica Watsu para mejorar la flexibilidad y la amplitud de movimiento de la articulación.

Imagen 29. *Flexibilidad del cuádriceps con la técnica Watsu*



Nota: Movilidad y flexibilidad articular con técnica Watsu.

Imagen 30. *Equilibrio sobre flotación en posición de sentadilla*



Nota: Ejercicios de equilibrio rotacional y control neuromuscular: sentadillas sobre flotación o realizar ejercicios de equilibrio en una pierna para mejorar la estabilidad y la coordinación.

Rehabilitación Posquirúrgica del Ligamento Cruzado Anterior

En el proceso de rehabilitación posquirúrgica de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior (ACLR), la terapia acuática emerge como un aliado invaluable para optimizar la recuperación funcional de los pacientes. A través de la reducción del dolor y la hinchazón, la terapia acuática facilita la restauración de la movilidad articular y contribuye a la recuperación de un ciclo de marcha normal, aspectos cruciales para la rehabilitación exitosa tras la cirugía de ACL. Además, al ofrecer un entorno propicio para el mantenimiento y desarrollo de la condición cardiovascular, así como para el entrenamiento de patrones de movimiento y coordinación, la terapia acuática se convierte en una herramienta esencial para mejorar la funcionalidad y acelerar la recuperación de los pacientes.

Por otro lado, la introducción temprana de entrenamiento pliométrico mediante la terapia acuática permite una progresión adecuada en la rehabilitación, preparando al paciente para un retorno seguro a la actividad deportiva. Es fundamental integrar la terapia acuática como parte integral de un programa de rehabilitación completo, alineado con las actividades terrestres para maximizar los beneficios y garantizar una transición fluida entre las diferentes etapas de recuperación. En este contexto, la terapia acuática se posiciona como un componente clave en la rehabilitación posquirúrgica de la ACLR, proporcionando un enfoque holístico y efectivo para la recuperación funcional y el retorno exitoso a las actividades cotidianas y deportivas. (6)

Algunos de los ejercicios recomendados en una rehabilitación posquirúrgica de la reconstrucción del ligamento cruzado anterior son:

- Ejercicios para la recuperación del ciclo de marcha normal, que pueden incluir caminar en el agua con diferentes niveles de profundidad para mejorar la biomecánica de la marcha.
- Ejercicios en cadenas cinéticas cerradas con activación de glúteo medio, máximo e isquiosurales.

Imagen 31. *Activación de glúteos e isquiosurales*



- Ejercicios de desplazamientos en el agua en posiciones verticales y horizontales, para el mejorar la resistencia cardiovascular.
- Ejercicios pliométricos adaptados al agua, que permiten una introducción temprana de entrenamientos de salto y aterrizaje para mejorar la fuerza y la estabilidad.

Recuperación de Lesiones de Hombro mediante Ejercicios Acuáticos

La terapia acuática es un proceso crucial para la recuperación completa y efectiva de los deportistas que han sufrido lesiones en el complejo articular del hombro. En los últimos años, el uso del medio acuático como herramienta terapéutica ha ganado popularidad en el campo de la fisioterapia, especialmente en el tratamiento de lesiones de hombro. La capacidad única del agua para proporcionar un entorno de baja gravedad, resistencia natural y soporte para el cuerpo ha demostrado ser beneficioso en la rehabilitación de estas lesiones.

En la estructuración de una sesión de terapia acuática es fundamental seguir un enfoque cuidadosamente planificado y personalizado para maximizar los beneficios terapéuticos. La sesión debe comenzar con un calentamiento

que permita al paciente adaptarse al entorno acuático, incluyendo ejercicios como la abducción libre de los miembros superiores en la superficie del agua. Posteriormente, se pueden prescribir ejercicios específicos para la rehabilitación de la propiocepción, que incluyan la rotación externa e interna del hombro contra resistencia del agua.

Imagen 32. *Abducción de hombro con soporte de flotación*



Es crucial ajustar la intensidad y la dificultad de cada ejercicio de acuerdo con las necesidades y capacidades individuales del paciente, asegurando una progresión gradual y segura. Además, se pueden incluir ejercicios de fortalecimiento muscular, como la retracción escapular y la flexión del hombro contra resistencia, utilizando métodos de resistencia progresiva. La sesión debe finalizar con ejercicios de estiramiento y relajación para promover la recuperación y el bienestar del paciente. Es importante que cada ejercicio sea prescrito y supervisado por un profesional capacitado, considerando la condición específica de la lesión de hombro de cada paciente y ajustando la sesión en función de su progreso y respuesta individual (11).

Rehabilitación Posquirúrgica del Manguito Rotador

La rehabilitación posquirúrgica del manguito rotador en el medio acuático presenta varias ventajas significativas. En primer lugar, el agua termoneutral utilizada en la terapia acuática permite la relajación del cuerpo, lo que promueve una mayor comodidad y bienestar para el paciente durante la rehabilitación. Además, la flotabilidad del agua reduce el peso del miembro superior, lo que ayuda a minimizar el estrés en el tendón reparado del manguito rotador. Otra ventaja importante es que la terapia acuática permite iniciar movimientos activos en una etapa más temprana en comparación con los ejercicios terrestres, sin comprometer la integridad de la reparación del tendón. Esto puede ayudar a prevenir la rigidez y la capsulitis adhesiva en el hombro después de la cirugía, lo que es especialmente beneficioso para ciertos grupos de pacientes con mayor riesgo de desarrollar esta complicación, como aquellos pacientes con inmovilización prolongada (8).

Para estructurar una sesión de terapia acuática para un posquirúrgico de manguito rotador, se deben seguir varios pasos y consideraciones importantes. La prescripción de cada ejercicio debe ser cuidadosamente seleccionada para garantizar una recuperación efectiva y segura. A continuación, se detalla cómo se puede estructurar una sesión de terapia acuática para este tipo de pacientes:

- **Evaluación inicial:** Antes de comenzar la terapia acuática, es crucial realizar una evaluación inicial para determinar el estado del paciente, incluyendo el conocimiento de la historia clínica posquirúrgica, la técnica quirúrgica utilizada por el ortopedista, el rango de movimiento, la fuerza muscular y cualquier otra condición relevante que determine el terapeuta.
- **Calentamiento:** Iniciar la sesión con un calentamiento en el agua para preparar los músculos y articulaciones del hombro. Esto puede incluir movilizaciones pasivas con la técnica de Watsu.

Imagen 33. *Movilización pasiva de miembro superior con Watsu*



- **Ejercicios de movilización activa asistida:** Progresar a ejercicios de movilización activa asistida, donde el paciente comienza a participar activamente en los movimientos del hombro con la asistencia del terapeuta.
- **Ejercicios de fortalecimiento:** Incluir ejercicios de fortalecimiento específicos para los músculos del manguito rotador y los músculos estabilizadores del hombro. Esto puede incluir ejercicios de resistencia en el agua utilizando dispositivos de flotación.
- **Enfriamiento y relajación:** Concluir la sesión con movimientos lentos de abducción, flexión y extensión de miembros superiores sobre la superficie del agua, para ayudar a reducir la tensión muscular y promover la relajación.

Es importante adaptar la intensidad y la dificultad de los ejercicios de acuerdo con las necesidades y capacidades individuales de cada paciente. El progreso en la terapia acuática debe ser gradual y supervisado por un fisioterapeuta

especializado en rehabilitación posoperatoria de manguito rotador para garantizar una recuperación segura y efectiva.

Tratamiento de Lesiones de Columna Lumbar con Terapia Acuática

La rehabilitación en el medio acuático ofrece ventajas significativas para deportistas con dolor lumbar. Al reducir la carga en la columna y las articulaciones, el agua proporciona un entorno de ejercicio con menor impacto, lo que puede ser beneficioso para su recuperación. Además, la flotabilidad y la presión hidrostática del agua mejoran el equilibrio y la movilidad, aspectos cruciales para deportistas que buscan rehabilitarse de lesiones lumbares.

Otra ventaja importante es el control del dolor que proporciona la inmersión en agua, ya que esta puede reducir la percepción del dolor y brindar alivio a los deportistas con dolor lumbar. Asimismo, los ejercicios en el medio acuático contribuyen a mejorar la fuerza y la función muscular, elementos esenciales para la recuperación y prevención de lesiones en este grupo. Por tanto, la terapia acuática se presenta como una opción adecuada, especialmente en las etapas iniciales de rehabilitación, para deportistas con dolor lumbar, ofreciendo un entorno propicio para la recuperación y el fortalecimiento muscular. (20)

Para estructurar un programa de rehabilitación acuática para dolor lumbar, es fundamental comenzar con una evaluación inicial del paciente para comprender su condición actual, incluyendo el nivel de dolor, la movilidad, la fuerza muscular y cualquier limitación funcional asociada con el dolor lumbar. Esta evaluación proporcionará información crucial para personalizar el programa de rehabilitación y establecer objetivos específicos y alcanzables.

Estos objetivos deben estar orientados a reducir el dolor, mejorar la movilidad, mejorar la fuerza de los músculos de la columna y mejorar la función general del paciente. Una vez establecidos los objetivos, se procede al diseño del programa de ejercicios acuáticos, que debe incluir una variedad de ejercicios de flexibilidad, fortalecimiento, control postural y movilidad para la zona lumbar.

Una sesión de terapia acuática para dolor lumbar puede estructurarse de la siguiente manera:

- **Ejercicios de movilidad y flexibilidad:** Iniciar la sesión con ejercicios de movilidad de la columna vertebral, que pueden hacerse de manera pasiva con la técnica de Watsu o de manera activa en diferentes posiciones dentro del agua. Estos ejercicios ayudan a mantener la flexibilidad y la amplitud de movimiento en la zona lumbar.

Imagen 34. *Movilización pasiva de columna lumbar con Watsu*



- **Ejercicios de fortalecimiento:** Llevar a cabo ejercicios de fortalecimiento de los músculos de la espalda baja, los abdominales y los glúteos, como la extensión de cadera y ejercicios de abdominales adaptados para el agua. Durante estos ejercicios, se enfatiza el fortalecimiento muscular para mejorar la estabilidad y el soporte de la columna vertebral.
- **Control postural:** Integrar el control postural en todos los ejercicios realizados, centrándose en mantener una postura adecuada y una alineación correcta durante cada movimiento. El control postural se puede trabajar dentro del medio acuático con técnicas como Halliwick y terapia específica en el agua.

Imagen 35. *Efecto metacéntrico para control postural*



Efectos de la Inmersión en Agua Fría

La inmersión en agua fría ha sido durante mucho tiempo una práctica común entre deportistas de diversas disciplinas como una estrategia de recuperación post-ejercicio. Esta técnica, que implica sumergirse en agua fría después de una sesión de entrenamiento intenso o una competencia, ha despertado un gran interés en la comunidad deportiva debido a sus posibles beneficios fisiológicos.

A continuación, exploraremos en profundidad la utilización de la inmersión en agua fría por parte de los deportistas, centrándonos en los efectos que esta práctica puede tener en la recuperación muscular, la inflamación, el rendimiento físico, la adaptación al entrenamiento y la respuesta hormonal.

- La inmersión en agua fría es una estrategia popular entre los deportistas para mejorar la recuperación muscular después de sesiones intensas de entrenamiento o competiciones. Se ha observado que la exposición al frío puede ayudar a reducir el dolor muscular, disminuir la hinchazón y acelerar la reparación de los tejidos dañados, lo que contribuye a una recuperación más rápida y efectiva. Esta práctica puede ser especialmente beneficiosa para deportistas que realizan entrenamientos de alta intensidad o que compiten con frecuencia, ya que les permite recuperarse más rápidamente y mantener un nivel óptimo de rendimiento físico (14).

- En cuanto a la inflamación, la inmersión en agua fría ha demostrado tener efectos antiinflamatorios al reducir la respuesta inflamatoria del cuerpo después del ejercicio intenso. Al sumergirse en agua fría, se produce vasoconstricción periférica que ayuda a limitar la inflamación y el edema en los músculos, lo que puede contribuir a una recuperación más rápida y a la reducción de la sensación de dolor muscular. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la inflamación es un proceso natural y necesario para la reparación y adaptación muscular, por lo que la supresión excesiva de la inflamación a través de la inmersión en agua fría podría interferir con los procesos de adaptación a largo plazo (14).
- En relación con el rendimiento físico, la inmersión en agua fría ha mostrado beneficios al mantener la función muscular y reducir la fatiga, lo que puede ser especialmente útil para deportistas que necesitan recuperarse rápidamente entre sesiones de entrenamiento o competiciones. Al mejorar la recuperación muscular y reducir la sensación de fatiga, los deportistas pueden mantener un rendimiento óptimo a lo largo de su temporada deportiva. Sin embargo, algunos estudios han planteado preocupaciones sobre los posibles efectos negativos de la inmersión en agua fría en las adaptaciones musculares y la fuerza a largo plazo, lo que sugiere la necesidad de evaluar cuidadosamente su inclusión en los protocolos de recuperación (9).
- En cuanto a la adaptación al entrenamiento, la inmersión en agua fría puede tener un impacto en las respuestas fisiológicas al ejercicio y en las adaptaciones musculares a largo plazo. Algunos estudios han sugerido que la supresión de la inflamación y la respuesta anabólica inducida por la inmersión en agua fría podrían interferir con los procesos de adaptación muscular, especialmente en el contexto del entrenamiento de resistencia. Por lo tanto, es importante considerar de manera individualizada los posibles beneficios y limitaciones de la inmersión en agua fría al diseñar estrategias de recuperación post-ejercicio para optimizar el rendimiento y la salud de los deportistas.
- A nivel hormonal, Se ha observado que la exposición al frío puede influir en la liberación de diversas hormonas, lo que a su vez puede afectar la recuperación muscular, la inflamación y el rendimiento físico de los deportistas. Uno de los principales efectos de la inmersión en agua fría en la respuesta hormonal es la reducción de la liberación de hormonas catabólicas, como el cortisol. El cortisol es una hormona asociada con el estrés y la degradación muscular, y su disminución a través de la

inmersión en agua fría puede contribuir a una recuperación muscular más rápida y efectiva. Además, se ha observado que la exposición al frío puede estimular la liberación de hormonas como la adrenalina y la noradrenalina, que pueden tener efectos estimulantes en el cuerpo y ayudar a combatir la fatiga.

Por otro lado, algunos estudios han sugerido que la inmersión en agua fría puede afectar la liberación de hormonas anabólicas, como la testosterona. Se ha observado que la exposición al frío puede disminuir los niveles de testosterona en sangre, lo que podría tener implicaciones en la recuperación muscular y la adaptación al entrenamiento a largo plazo. Sin embargo, la relación entre la inmersión en agua fría y los niveles de testosterona no está completamente esclarecida y se requiere más investigación. (14)

Inmersión en Agua Fría Post-Ejercicio

La inmersión en agua fría después del ejercicio ha sido ampliamente utilizada por deportistas debido a sus posibles beneficios en la recuperación muscular y la reducción de la inflamación. Autores como Wilcock et al. (2006) y Peiffer et al. (2009) han respaldado la eficacia de la inmersión en agua fría para disminuir el dolor muscular, mejorar la recuperación y potencialmente acelerar la recuperación del rendimiento físico. Estudios han sugerido que la vasoconstricción periférica inducida por el agua fría puede ayudar a reducir la inflamación y el daño muscular, lo que podría ser beneficioso para los deportistas que buscan optimizar su recuperación (17) (24)

Por otro lado, autores como Brophy-Williams et al. (2011) y Broatch et al. (2017) han planteado preocupaciones sobre los posibles efectos negativos de la inmersión en agua fría en las adaptaciones al entrenamiento de fuerza. Se ha sugerido que la reducción de la inflamación mediante la inmersión en agua fría podría interferir con los procesos de reparación muscular y la señalización de adaptación al ejercicio de resistencia. Estos autores han cuestionado si la inmersión en agua fría podría limitar las adaptaciones beneficiosas del entrenamiento de fuerza a largo plazo. (4,5)

Inmersión en Agua Fría después de Temporada

La inmersión en agua fría después de una temporada de competencia puede ofrecer beneficios significativos en la recuperación de los deportistas al ayudar a reducir la inflamación, el dolor muscular y acelerar el proceso de regeneración. Autores como Siqueira et al. (2018) y Abaïdia et al. (2017) han respaldado la efectividad de la inmersión en agua fría para atenuar el daño

muscular y facilitar la recuperación sin afectar negativamente la función muscular. Estos estudios sugieren que la inmersión en agua fría puede ser una estrategia útil para acelerar la recuperación después de períodos intensos de competencia (1) (23).

Por otro lado, autores como Fuchs et al. (2019) y Roberts et al. (2015) han planteado preocupaciones sobre los posibles efectos negativos de la inmersión en agua fría en las adaptaciones musculares y la fuerza después de un entrenamiento de resistencia. Se ha sugerido que la inmersión en agua fría puede interferir con los procesos anabólicos y la hipertrofia muscular, lo que podría limitar los beneficios a largo plazo del entrenamiento de fuerza. Estos autores han cuestionado si la inmersión en agua fría es la mejor estrategia de recuperación en el contexto de la adaptación al entrenamiento (10) (21).

A pesar de los posibles beneficios de la inmersión en agua fría, existen opiniones encontradas en la literatura científica. Mientras algunos autores respaldan su uso para mejorar la recuperación y reducir el dolor muscular, otros plantean dudas sobre su impacto en las adaptaciones al entrenamiento. Es fundamental considerar tanto los beneficios potenciales como las posibles limitaciones de la inmersión en agua fría al diseñar estrategias de recuperación post-ejercicio para deportistas, tomando en cuenta las especificidades de cada disciplina deportiva y los objetivos individuales de entrenamiento.

Conclusiones

- La terapia acuática nos presenta un entorno terapéutico que optimiza la recuperación funcional en usuarios con lesiones deportivas, aprovechando las propiedades físicas del agua, como la flotabilidad, la presión hidrostática y la temperatura, para facilitar movimientos activos tempranos y reducir el estrés en las estructuras musculoesqueléticas, lo que favorece una rehabilitación segura y efectiva.
- La elección adecuada de la temperatura del agua, específicamente en el rango termoneutral, resulta fundamental para modular las respuestas fisiológicas del organismo, incluyendo la regulación de sistemas cono el neuroendocrino y el cardiovascular, promoviendo la recuperación del usuario en las diferentes fases de su rehabilitación.
- La estructuración cuidadosa de las sesiones de terapia acuática, mediante una progresión controlada de ejercicios específicos y adaptados individualmente, es un factor clave para maximizar los beneficios

terapéuticos, reducir la probabilidad de recaídas o complicaciones, y asegurar una recuperación funcional integral en usuarios con lesiones deportivas.

- La aplicación de la terapia acuática en el contexto de la rehabilitación deportiva ofrece beneficios fisiológicos comprobados, como la disminución del impacto articular, la mejora de la circulación sanguínea y la capacidad cardiovascular, que contribuyen a un proceso de recuperación más rápido, eficiente y con menor riesgo de lesiones secundarias.

Referencias

1. Abaïdia AE, Lamblin J, Delecroix B, Leduc C, McCall A, Nédélec M, Dawson B, Baquet G, Dupont G. Recovery from exercise-induced muscle damage: cold-water immersion versus whole-body cryotherapy. Int J Sports Physiol Perform. 2017;12 (3):402-9.
2. Amras A, Kamalakannan R. Role of aquatic therapy in knee rehabilitation: a narrative review. Indian J Physiother Occup Ther. 2023;17 (4).
3. Becker BE. Aquatic therapy: scientific foundations and clinical rehabilitation applications. PM R. 2009;1 (9):859-72.
4. Broatch JR, Petersen A, Bishop DJ. Cold-water immersion following sprint interval training does not alter endurance signaling pathways or training adaptations in human skeletal muscle. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 2017;313 (4):R372-84.
5. Brophy-Williams N, Landers G, Wallman K. Effect of immediate and delayed cold-water immersion after a high-intensity exercise session on subsequent run performance. J Sports Sci Med. 2011;10 (4):665-71.
6. Buckthorpe M, Pirotti E, Della Villa F. Benefits and use of aquatic therapy during rehabilitation after ACL reconstruction: a clinical commentary. Int J Sports Phys Ther. 2019;14 (6):978-87.
7. Cole AJ, Becker BE, editors. Comprehensive aquatic therapy. Boston: Butterworth-Heinemann; 2004.
8. Dufournet A, Chong XL, Schwitzguébel A, Bernimoulin C, Carvalho M, Bothorel H, Lädermann A. Aquatic therapy versus standard rehabilitation after surgical rotator cuff repair: a randomized prospective study. Biology. 2022;11 (4):610.

9. Espeland D, de Weerd L, Mercer JB. Health effects of voluntary exposure to cold water: a continuing subject of debate. Int J Circumpolar Health. 2022;81 (1):2111789.

10. Fuchs CJ, Kouw IW, Churchward-Venne TA, Smeets JS, Senden JM, Lichtenbelt WD, Verdijk LB, van Loon LJ. Postexercise cooling impairs muscle protein synthesis rates in recreational athletes. J Physiol. 2020;598 (4):755-72.

11. Gliga AC, Neagu NE, Popoviciu HV, Bataga T. Effects of adding aquatic-to-land-based physiotherapy programs for shoulder joint position sense rehabilitation. Healthcare (Basel). 2022;10 (2):332.

12. Harrison R, Bulstrode S. Percentage weight-bearing during partial immersion in the hydrotherapy pool. Physiother Pract. 1987;3 (2):60-3.

13. Kruel LF, Peyré-Tartaruga LA, Coertjens M, Dias AB, da Silva RC, Rangel AC. Using heart rate to prescribe physical exercise during head-out water immersion. J Strength Cond Res. 2014;28 (1):281-9.

14. Malta ES, Dutra YM, Broatch JR, Bishop DJ, Zagatto AM. The effects of regular cold-water immersion use on training-induced changes in strength and endurance performance: a systematic review with meta-analysis. Sports Med. 2021;51 (1):161-74.

15. Nikam S, Yadav TS. Efficacy of aquatic therapy and VMO strengthening in patellofemoral arthritis. Int J Physiother Res. 2022;10 (6):4409-16.

16. Nunez C, Kovera AJ, Pietrobelli A, Heshka S, Horlick M, Kehayias JJ, Wang Z, Heymsfield SB. Body composition in children and adults by air displacement plethysmography. Eur J Clin Nutr. 1999;53 (5):382-7.

17. Peiffer JJ, Abbiss CR, Watson G, Nosaka K, Laursen PB. Effect of cold-water immersion duration on body temperature and muscle function. J Sports Sci. 2009;27 (10):987-93.

18. Pico Segovia CI. Los beneficios de la hidroterapia en pacientes con discapacidad física en lumbalgia del centro de fisio-kinesio e hidroterapia de la ciudad de Manta [tesis doctoral]. Manta: Universidad; 2017.

19. Pöyhönen T, Kyröläinen H, Keskinen KL, Hautala A, Savolainen J, Mälkiä E. Electromyographic and kinematic analysis of therapeutic knee exercises under water. Clin Biomech. 2001;16 (6):496-504.

20. Psycharakis SG, Coleman SG, Linton L, Valentin S. The water study: which aquatic exercises increase muscle activity and limit pain for people with low back pain? Physiotherapy. 2022;116:108-18.

21. Roberts LA, Nosaka K, Coombes JS, Peake JM. Cold-water immersion enhances recovery of submaximal muscle function after resistance exercise. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 2014;307 (8):R998-1008.

22. Rodica-Georgeta CU, Gheorghe SI. Aquatic therapy: some theoretical considerations about Bad Ragaz Ring Method. Ovidius Univ Ann Ser Phys Educ Sport Sci Mov Health. 2022;22 (2).

23. Siqueira AF, Vieira A, Bottaro M, Ferreira-Júnior JB, Nobrega OD, de Souza VC, Marqueti RD, Babault N, Durigan JL. Multiple cold-water immersions attenuate muscle damage but not alter systemic inflammation and muscle function recovery: a parallel randomized controlled trial. Sci Rep. 2018;8 (1):10961.

24. Wilcock IM, Cronin JB, Hing WA. Water immersion: does it enhance recovery from exercise? Int J Sports Physiol Perform. 2006;1 (3):195-206.

CAPÍTULO 3

Medicina Regenerativa en Lesiones Deportivas

Regenerative Medicine in Sports Injuries

Camilo Alberto Camargo Puerto
CIEDES Hospital Universitario San Rafael de Tunja
https://orcid.org/0000-0002-9607-1692
dc.camilocamargo@gmail.com

Martín Hernán Bonilla Obando
CIEDES Hospital Universitario San Rafael de Tunja
https://orcid.org/0000-0001-6577-0127
mhbonilla@uniboyaca.edu.co

Raúl Yesid Rodríguez Mayorga
CIEDES Hospital Universitario San Rafael de Tunja
https://orcid.org/0000-0002-2605-2461
raurodriguez@uniboyaca.edu.co

Resumen

Los ortobiológicos son terapias desarrolladas a partir de sustancias biológicas (naturales) que pueden ser utilizadas por especialistas para ayudar a aliviar el dolor y otros síntomas de ciertas patologías osteo–musculo-articulares, con lo que se busca mejorar la clínica del paciente y lo que puede ayudar a retrasar la necesidad de cirugía, también se ha usado con el fin de mejorar la respuesta fisiológica y la capacidad del cuerpo para tener mejores resultados entorno de una lesión como una distensión de ligamentos o tendones, lesiones de cartílago o fracturas con lo que se busca estimular los distintos factores de crecimientos del tejidos óseo, muscular y articular para mejorar los resultados clínicos, proponer un proceso de curación y favorecer los resultados a corto, mediano y largo plazo evaluado mediante una mejoría de la calidad de vida de los

Cita este capítulo / *Cite this chapter*

Camargo Puerto CA, Bonilla Obando MH, Rodríguez Mayorga RY. Medicina regenerativa en lesiones deportivas. En: Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo III: rehabilitación y readaptación deportiva*. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 179-196. https://doi.org/10.35985/9786287914179.3

pacientes, la satisfacción sobre el control sintomatológico de su enfermedad, un mayor rango en los arcos de movimiento de las distintas estructuras musculares y articulares, disminuyendo la tasa de recidivas y manteniendo una baja posibilidad de nuevas intervenciones quirúrgicas.

Estas terapias deben ser administradas por médicos especializados en el tema y que tengan experiencia y práctica para realizar este tipo de procedimientos, adicionalmente, se propone el uso de elementos biomédicos como la ecografía con lo que se busca facilitar la identificación de las distintas zonas y estructuras anatómicas para tener certeza del lugar en el que se aplica disminuyendo el riesgo de complicaciones o secuelas y, mejorando los resultados de estos procedimientos.

Palabras clave: Medicina Regenerativa, Traumatismos en Atletas, Plasma Rico en Plaquetas.

Abstract

Orthobiologics are therapies developed from biological (natural) substances that can be used by specialists to help relieve pain and other symptoms of certain osteo-musculo-articular pathologies, which seeks to improve the patient's clinical picture and which can help delay the need for surgery. It has also been used to improve the physiological response and the body's ability to have better results in the environment of an injury such as a ligament or tendon sprain, cartilage injuries or other injuries. It seeks to stimulate the different growth factors of bone, muscle and joint tissues to improve clinical results. They propose a healing process and favor short, medium and long-term results evaluated by an improvement in the quality of life of patients, satisfaction with the symptomatic control of their disease, a greater range in the arcs of movement of the different muscular and joint structures, decreasing the rate of recurrences and maintaining a low possibility of new surgical interventions.

These therapies must be administered by doctors who are specialized in the subject and have experience and practice in performing this type of procedure. Additionally, the use of biomedical elements such as ultrasound is proposed, which seeks to facilitate the identification of the different areas and anatomical structures to be certain of the place where it is applied, reducing the risk of complications or sequelae and improving the results of these procedures.

Keywords: *Regenerative Medicine, Athletic Injuries, Platelet-Rich Plasma.*

Los ortobiológicos son agentes biológicos aplicados a las lesiones musculo esqueléticas, generalmente en forma de inyección guiada por ecografía (US), para reducir el dolor y facilitar la curación. Dichos agentes incluyen plasma rico en plaquetas, toxina botulínica y proloterapia. Estas sustancias se utilizan para tratar una variedad de problemas musculoesqueléticos, como tendinopatías, osteoartritis (OA) y lesiones musculares agudas, y su uso es cada vez más relevante tanto para grupos de edad jóvenes como mayores. Las patologías musculoesqueléticas, incluida la artritis, las molestias articulares y las lesiones traumáticas, están aumentando en prevalencia en los Estados Unidos, especialmente a medida que la población envejece (1, 2).

Plasma Rico en Plaquetas

El plasma rico en plaqueta ha ganado popularidad debido a su proceso de preparación simplificado y la ausencia de modificaciones bioquímicas, además contiene muchos tipos de factores de crecimiento, como el factor de crecimiento derivado de plaquetas (PDGF-a/b y c), el factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF), el factor de crecimiento de hepatocitos (HGF), el factor de crecimiento epidérmico (EGF), el factor de crecimiento del tejido conectivo (CTGF), el factor de crecimiento de fibroblastos (FGF), el factor de crecimiento similar a la insulina (IGF) y el factor de crecimiento transformante β1 (TGF-β1). Estos factores de crecimiento se transforman en etapas activas después de la activación plaquetaria y tienen muchas funciones, como la mediación de la proliferación y el crecimiento celular, la angiogénesis, la cicatrización de heridas y el metabolismo óseo, lo cual le ha generado un potencial terapéutico en la medicina regenerativa, especialmente en la regeneración musculoesquelética, lo que significa que tienen aplicaciones clínicas prometedoras. Además, muchos estudios han informado que la PRF tiene un efecto positivo no solo en las lesiones musculoesqueléticas sino también en otros campos, como las úlceras diabéticas, la cirugía estética, la cirugía maxilofacial y la cirugía cardíaca (3, 4).

Entre sus componentes se distingue por su matriz de fibrina, que contiene una cantidad concentrada de plaquetas, factores de crecimiento, citocinas y otras moléculas bioactivas. Además, las plaquetas son las células primarias responsables de la actividad biológica de este producto, las cuales son células multifuncionales que no solo contribuyen a la coagulación, sino que también tienen un impacto significativo en las respuestas inmunitarias, la cicatrización de heridas y la regeneración tisular. Estas se almacenan mediante tres tipos de partículas (alfa, delta y lambda) ubicadas dentro de las plaquetas. Los gránulos

alfa son los más abundantes y contienen fibrinógeno, inmunoglobulinas y factores de crecimiento, que se liberan a través de la exocitosis cuando se activan las plaquetas y son responsables de regenerar los tejidos blandos y duros después de una lesión. Los gránulos delta contienen difosfato de adenosina, activador del plasminógeno tisular, serotonina y menos gránulos lambda que contienen enzimas lisosomales, motivo por el cual ayudan a la regeneración de tejidos de tipo osteoarticular (5).

Como resultado, estas terapias se utilizan en el tratamiento de afecciones musculoesqueléticas, como lesiones condrales, tendinopatías, regeneración tisular y otras lesiones relacionadas con el deporte (6 - 8). Además de esto, sus aplicaciones se han ampliado para incluir los campos de la cirugía estética reconstructiva, la cicatrización de heridas en pacientes diabéticos y las cirugías maxilofaciales, donde ha demostrado beneficios y efectos favorables (9, 10).

Lisado de Plaquetas

Un lisado de plaquetas implica la preparación de un concentrado de plaquetas con factores de crecimiento plaquetario a partir del gránulo alfa y su reconstitución en plasma. Luego, el plasma se filtra y se crea un plasma rico en factores de crecimiento. Esto se ha utilizado ampliamente en cultivos celulares, especialmente en cultivos de células madre mesenquimales (MSC), como reemplazo del suero bovino fetal. Esta preparación acelular es rica en moléculas bioactivas derivadas de plaquetas, incluidos factores de crecimiento, formulada mediante la lisis de plaquetas (11).

Se ha encontrado que estudios in vitro han demostrado el potencial del lisado plaquetario como una alternativa no xenogénica al suero bovino fetal para cultivar células madre mesenquimales (MSC), cultivadas y/o expandidas para evaluar su potencial para aplicaciones de medicina regenerativa, incluido el manejo de la OA de la rodilla, donde se evidenció que puede promover la proliferación de condrocitos e inhibir la apoptosis, mejorar el metabolismo de la matriz del cartílago y promover la reparación del cartílago, y aumentar la autofagia de los condrocitos y mejorar la senescencia. Adicionalmente, la administración de estos biológicos resultaron en una restauración significativa de la alodinia mecánica, hiperalgesia térmica y comportamiento relacionado con el dolor (actividad espontánea y parámetros de la marcha) hacia niveles normales en comparación con los niveles del modelo, demostrando una reversión significativa en la degeneración del cartílago articular (evaluada a través del número de condrocitos, masa de la matriz de colágeno y superficie

del cartílago), con puntuaciones de Mankin y OARSI (The Osteoarthritis Research Society International) significativamente reducidas de manera dependiente de la dosis (12, 13).

Este grupo farmacológico puede usarse y ha mostrado beneficios en muchas patologías osteoarticulares dentro de las que se incluyen desgarros del manguito rotador, síndrome de pinzamiento del hombro, epicondilitis del codo, reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA), tendinopatía rotuliana, tendinopatía aquílea y reparación quirúrgica de rotura aguda del tendón de Aquiles, entre otras (14, 15).

Terapia con Exosomas

Los exosomas son vesículas extracelulares de pequeño tamaño (30-150 nm) derivadas de células madre mesenquimales (MSCs) y otros tipos celulares. En los últimos años, han despertado un gran interés en la medicina regenerativa debido a su capacidad para modular la inflamación, estimular la regeneración tisular y mejorar la reparación de tejidos dañados. En el ámbito de las patologías osteomusculares y articulares, los exosomas han emergido como una alternativa prometedora a las terapias convencionales, incluyendo el plasma rico en plaquetas (PRP) y el ácido hialurónico (HA) (16).

Los exosomas pueden ser obtenidos de diferentes fuentes celulares, incluyendo MSCs derivadas de médula ósea, tejido adiposo y cordón umbilical. Es fundamental utilizar técnicas de aislamiento y purificación estandarizadas para garantizar su calidad y eficacia (17); La principal vía de administración en patologías articulares es la infiltración intraarticular. También se han evaluado otras rutas, como la administración intravenosa y peritendinosa, dependiendo de la condición tratada (18).

Los exosomas ejercen su acción terapéutica a través de múltiples mecanismos celulares y moleculares, lo que explica su eficacia en la reparación y regeneración de tejidos articulares, sin embargo, aún se desconocen gran parte de sus mecanismos de acción in vivo (18, 19):

- ***Modulación de la Respuesta Inflamatoria***: Los exosomas derivados de MSCs contienen microARNs (miRNAs) y proteínas que inhiben la expresión de citoquinas proinflamatorias como IL-1β, TNF-α e IL-6, promoviendo un ambiente antiinflamatorio dentro de la articulación.
- ***Estimulación de la Regeneración Cartilaginosa:*** Estudios han demostrado que los exosomas pueden inducir la proliferación y

diferenciación de condrocitos, favoreciendo la producción de colágeno tipo II y proteoglicanos esenciales para la estructura del cartílago (20).

- ***Efecto Analgésico:*** Los exosomas han demostrado disminuir la activación de nociceptores y reducir la sensibilización periférica del dolor, ofreciendo un alivio prolongado en pacientes con osteoartritis (17 - 20).
- ***Interacción con la Matriz Extracelular***: Los exosomas mejoran la homeostasis de la matriz extracelular al reducir la actividad de metaloproteinasas (MMPs) y favorecer la deposición de proteínas estructurales (17 - 20).
- ***Estimulación de la Angiogénesis***: Promueven la formación de nuevos vasos sanguíneos, lo que mejora la nutrición y oxigenación del tejido dañado, favoreciendo la reparación tisular (17 - 20).

Los usos clínicos de los exosomas están en creciente aumento, pero son muy limitados debido a la falta de estudios solidos que respalden su uso. La administración intraarticular de exosomas ha mostrado efectos beneficiosos en la reducción del dolor y la inflamación en pacientes con Osteoartritis (OA) de rodilla y cadera, en comparación con las infiltraciones de ácido hialurónico y PRP, los exosomas han demostrado una mayor capacidad regenerativa y efectos más duraderos (17 - 20).

El uso de exosomas en defectos focales del cartílago ha mostrado resultados prometedores, facilitando la regeneración del tejido articular y reduciendo la degeneración progresiva de la articulación. Los exosomas han sido investigados en el tratamiento de tendinopatías crónicas y lesiones musculares. Se ha observado que mejoran la organización de las fibras de colágeno y reducen la fibrosis, favoreciendo la recuperación funcional del tejido afectado. Los exosomas han sido utilizados en el postoperatorio de cirugías ortopédicas con el objetivo de reducir la inflamación y mejorar la reparación tisular. En atletas, han mostrado acelerar la recuperación de lesiones osteomusculares, permitiendo un reintegro más rápido a la actividad deportiva (21 – 23).

La dosificación óptima aún está en fase de investigación, aunque estudios sugieren que una administración de 2 a 3 infiltraciones separadas por semanas podría ser efectiva en el tratamiento de la osteoartritis. Los exosomas han mostrado un perfil de seguridad favorable, con una baja incidencia de reacciones adversas. No obstante, se requiere más investigación para establecer su seguridad a largo plazo. La terapia con exosomas representa una de las estrategias más innovadoras en la medicina regenerativa para el tratamiento

de patologías osteomusculares y articulares, su capacidad para modular la inflamación, promover la regeneración del cartílago y mejorar la función articular la convierte en una opción terapéutica con un enorme potencial clínico; Sin embargo, se requieren estudios adicionales para estandarizar sus protocolos de administración y evaluar su eficacia a largo plazo (21 – 23).

Ácido Hialurónico

El ácido hialurónico (AH) es un polisacárido de alto peso molecular compuesto por unidades repetitivas de ácido D-glucurónico y N-acetil-D-glucosamina. Se encuentra de manera natural en el líquido sinovial, donde desempeña un papel crucial en la lubricación, amortiguación de cargas y mantenimiento de la homeostasis articular. Su uso terapéutico ha cobrado relevancia en el tratamiento de diversas patologías osteomusculares y articulares, especialmente en la osteoartritis (OA), tendinopatías y lesiones cartilaginosas (24).

El AH ejerce su efecto terapéutico a través de múltiples mecanismos de acción, lo que explica su eficacia en diversas patologías articulares y osteomusculares (25, 26):

- ***Viscosuplementación:*** La administración exógena de AH restaura la viscoelasticidad del líquido sinovial, facilitando el movimiento articular y reduciendo la fricción entre las superficies cartilaginosas.
- ***Acción antiinflamatoria:*** Modula la respuesta inflamatoria al inhibir la actividad de citoquinas proinflamatorias como la interleucina-1 (IL-1) y el factor de necrosis tumoral alfa (TNF-α). Estudios han demostrado que reduce la migración leucocitaria y la producción de óxido nítrico (NO), lo que contribuye a un entorno menos inflamatorio en la articulación.
- ***Efecto analgésico:*** Actúa sobre los receptores del AH (CD44 y RHAMM) en los condrocitos y sinoviocitos, lo que disminuye la sensibilidad de los nociceptores y reduce la percepción del dolor en pacientes con osteoartritis.
- ***Protección y regeneración del cartílago:*** Disminuye la degradación de la matriz extracelular al inhibir la acción de metaloproteinasas (MMPs) y otras enzimas proteolíticas. Además, promueve la proliferación de condrocitos y la síntesis de proteoglicanos y colágeno tipo II, esenciales para la integridad estructural del cartílago.
- ***Estimulación de la síntesis de AH endógeno:*** Su administración intraarticular estimula la producción de AH autólogo por parte de los sinoviocitos, prolongando sus efectos terapéuticos.

La osteoartritis (OA) es la patología más estudiada en relación con el uso de AH. La infiltración intraarticular de AH en rodilla, cadera y otras articulaciones ha demostrado ser una alternativa efectiva a los antiinflamatorios no esteroides (AINEs) y corticosteroides intraarticulares. En pacientes con OA leve a moderada, el AH ha mostrado efectos beneficiosos en la reducción del dolor y la mejora de la funcionalidad articular, con efectos que pueden durar hasta seis meses. El AH se ha utilizado como terapia adyuvante en el tratamiento de defectos cartilaginosos focales, ya sea como agente viscosuplementador o en combinación con procedimientos quirúrgicos como el microfracturing o el implante de condrocitos autólogos. El AH se ha investigado en el tratamiento de tendinopatías crónicas, como la epicondilitis lateral y la tendinopatía del manguito rotador. Su administración peritendinosa ha demostrado reducir la inflamación y mejorar la calidad de la matriz extracelular del tendón, favoreciendo la regeneración tisular. Se ha propuesto el uso de AH en el postoperatorio de cirugías ortopédicas con el fin de mejorar la recuperación funcional y reducir la fibrosis intraarticular. En el ámbito de la medicina deportiva, se ha utilizado en atletas para acelerar la recuperación de lesiones articulares y tendinosas, reduciendo el tiempo de reintegro a la actividad deportiva (26 – 29).

En cuanto a la dosificación y Regímenes de Administración**,** existen diferentes esquemas de administración de AH, que varían según la concentración y el peso molecular del producto. Los protocolos más comunes incluyen la administración de una dosis única (single-shot) o de múltiples dosis (3 a 5 aplicaciones semanales o mensuales) (Concoff et al., 2019); Efectos Adversos del AH es generalmente son poco frecuentes e incluyen dolor transitorio postinyección, inflamación y, en casos raros, reacciones pseudoinflamatorias autolimitadas (26 – 29).

Toxina Botulínica

La toxina botulínica (TB) actúa sobre las terminaciones nerviosas motoras y parasimpáticas, y la liberación de acetilcolina de las vesículas presinápticas en la unión neuromuscular es inhibida por el serotipo A de TB. Cuando se inyecta TB-A en el músculo, el extremo C de la cadena pesada se une a la proteína receptora en la membrana plasmática de la neurona motora alfa, y la toxina sufre endocitosis. A medida que la toxina cambia en el entorno, el enlace disulfuro disminuye, lo que hace que la cadena pesada y la cadena ligera se separen. La cadena ligera pasa de la vesícula endocítica al citosol neuronal. En el citosol, la cadena ligera, actuando como endopeptidasa de zinc, descompone SNAP-25, la proteína del complejo SNARE, que permite la asociación de

vesículas que contienen acetilcolina (ACh) con la membrana presináptica. Por lo tanto, la vesícula de ACh no puede unirse a la membrana presináptica y la ACh no puede liberarse en la unión neuromuscular. Esta inhibición impide los impulsos nerviosos y causa una parálisis muscular reversible, que depende de la dosis y favorece en muchas patologías donde se encuentra incremento de la tensión muscular (30).

Adicionalmente, se afirma que esta terapia tiene efecto analgésico, la cual se produce a través de la inhibición de los neuropéptidos nociceptivos locales, como el glutamato, la sustancia P y el péptido relacionado con el gen de la calcitonina (CGRP). Las neuronas de los ganglios de la raíz dorsal, principalmente las fibras C, producen sustancia P y CGRP, por tanto, la inhibición de la liberación de estos neurotransmisores en áreas donde se concentran los mediadores del dolor hace que la sensibilidad y el dolor disminuyan. Además, la entrega del receptor de potencial transitorio vanilloide 1 (TRPV1) a las membranas celulares de las neuronas podría disminuir lo cual responde controlando el estímulo ante estímulos nocivos, como el calor y las sustancias proalgésicas. Este mecanismo podría inhibir la inflamación neurogénica, el dolor y la sensibilización periférica (31 – 33).

Este tipo de medidas farmacológicas se ha indicado en distintas patologías donde sirve para reducir la espasticidad en afecciones neurológicas como parálisis cerebral, esclerosis múltiple y accidente cerebrovascular, en el tratamiento de la distonía cervical y el blefaroespasmo, en la reducción de la intensidad y frecuencia del dolor de cabeza en la migraña crónica, en el temblor esencial de la cabeza, en la hiperhidrosis y el síndrome de descamación de la piel acral, en problemas urológicos como incontinencia, eyaculación precoz o vejiga hiperactiva, y en el tratamiento de enfermedades como estrabismo, trastornos de la articulación temporomandibular, pérdida de cabello, neuropatía periférica diabética, síndrome de dolor miofascial y neuralgia del trigémino (34, 35).

Adicionalmente, se ha venido utilizando con fines cosméticos para reducir las arrugas, y en trastornos del movimiento, siendo eficaz para el tratamiento de la distonía, el bruxismo, los temblores, los tics, el mioclono, el síndrome de las piernas inquietas, la discinesia tardía y una variedad de síntomas asociados con la enfermedad de Parkinson (36).

La toxina botulínica actúa inhibiendo la liberación de acetilcolina en la placa motora terminal, lo que provoca parálisis muscular. Sin embargo se pueden presentar distintas complicaciones, entre las que se encuentran una posible

parálisis muscular adyacente, efectos de hipersensibilidad, necrosis cutánea inducida por relleno debido a una inyección intravascular inadvertida, edema local, eritema, hematomas y dolor en el lugar de la inyección. En la práctica estética según la zona de aplicación se puede presentar ptosis palpebral, disfagia, ronquera, asimetría (36).

Proloterapia

La proloterapia es una técnica regenerativa no quirúrgica que permite inyectar pequeñas cantidades de una solución irritante en el lugar de inserción de tendones y ligamentos dolorosos para promover el crecimiento de células y tejidos sanos. Algunos de los mecanismos propuestos mediante los cuales hacen efecto son los siguientes (37, 38):

Inicialmente generan una estimulación celular y de la matriz extracelular, inducido por la acción mecánica durante la introducción de la aguja, estimulando la cascada inflamatoria y la liberación de diversos factores de crecimiento, adicionalmente, la compresión de las células generado por el volumen de proliferante aplicado, así como expansión o constricción celular por las propiedades osmóticas del mismo con la producción de factores de crecimiento intracelulares. Favorece la regeneración del tejido al incrementar su fuerza de tensión y elasticidad. Este efecto puede ser el resultado de la estimulación mecánica (mecanotransducción) y la respuesta inflamatoria y finamente, la neurólisis temporal de los nociceptores y quimioneuromodulación, es un proceso mediante el cual se busca la destrucción de los nociceptores generadores de dolor crónico y la posterior inducción de receptores al dolor con menor sensibilización, este fenómeno se encuentra bien descrito en las técnicas de denervación con fenol (38).

De esta forma, todos los agentes quimiotácticos y las soluciones utilizadas en la proloterapia tienen el efecto universal de incitar la irritación local del tejido, mecanismo que conduce a la afluencia de diversas células inflamatorias, que se convierte en el primer paso en el proceso de curación de las heridas con la subsecuente formación de tejido de granulación, así como la formación y remodelación de la matriz extracelular. El proceso inflamatorio provoca la afluencia de granulocitos y posteriormente monocitos y macrófagos, los cuales secretan diversos factores de crecimiento que a su vez atraen y activan fibroblastos que depositan colágeno nuevo que con el tiempo se contrae provocando que el tejido se acorte, con la tensión generada en el nuevo tejido, las fibras de colágeno se alinean progresivamente en la dirección de la tensión

que se ejerce sobre las mismas, lo que finalmente aumentaría la resistencia del tejido a la tracción (39).

Los diferentes agentes o sustancias utilizados durante estos procesos se pueden organizar de acuerdo con su composición, entre los agentes osmóticos, incluyen la dextrosa hiperosmolar, el sulfato de zinc, y glicerina, actúan por deshidratación de células locales hasta el punto de ruptura en un proceso denominado «choque osmótico». Por su parte, los agentes irritantes como fenol y guayacol, su mecanismo de acción es generado al dañar directamente las membranas celulares o provocar que las células locales se vuelvan antigénicas. Finalmente, los agentes quimiotácticos son la tercera clase, incluye el morruato de sodio. Se postula que esta clase sea un agente quimiotáctico directo de diversas células inflamatorias (40).

El objetivo de la proloterapia es estimular los factores de crecimiento que pueden fortalecer las inserciones y reducir el dolor. La técnica de inyección de proloterapia se centra en un examen físico específico y un sólido conocimiento anatómico para maximizar los resultados. La proloterapia es beneficiosa en una variedad de diferentes afecciones musculoesqueléticas, que incluyen, entre otras, epicondilosis lateral, tendinopatía del manguito rotador, fascitis plantar, tendinopatía de Aquiles, osteoartritis, dolor lumbar, dolor en la articulación sacroilíaca y laxitud de la ATM (41).

Conclusiones

Los ortobiológicos son terapias desarrolladas a partir de sustancias biológicas (naturales) que pueden ser utilizadas por especialistas para ayudar a aliviar el dolor y otros síntomas de ciertas patologías osteo – musculo-articulares, con lo que se busca mejorar la clínica del paciente y lo que puede ayudar a retrasar la necesidad de cirugía, también se ha usado con el fin de mejorar la respuesta fisiológica y la capacidad del cuerpo para tener mejores resultados entorno de una lesión como una distensión de ligamentos o tendones, lesiones de cartílago o fracturas con lo que se busca estimular los distintos factores de crecimientos del tejidos óseo, muscular y articular para mejorar los resultados clínicos, proponer un proceso de curación y favorecer los resultados a corto, mediano y largo plazo evaluado mediante una mejoría de la calidad de vida de los pacientes, la satisfacción sobre el control sintomatológico de su enfermedad, un mayor rango en los arcos de movimiento de las distintas estructuras musculares y articulares, disminuyendo la tasa de recidivas y manteniendo una baja posibilidad de nuevas intervenciones quirúrgicas.

Tabla 14. *Terapias biológicas: clasificación, uso clínico y mecanismos de acción*

Terapia biológica	Efectos	Usos	Componentes
Plasma rico en plaquetas	Las plaquetas son las células primarias responsables de la actividad biológica de este producto, las cuales son células multifuncionales que no solo contribuyen a la coagulación, sino que también tienen un impacto significativo en las respuestas inmunitarias, la cicatrización de heridas y la regeneración tisular. Estas se almacenan mediante tres tipos de partículas (alfa, delta y lambda) ubicadas dentro de las plaquetas.	Lesiones musculoesqueléticas sino también en otros campos, como las úlceras diabéticas, la cirugía estética, la cirugía maxilofacial y la cirugía cardíaca	Matriz de fibrina, que contiene una cantidad concentrada de plaquetas, factores de crecimiento, citocinas y otras moléculas bioactivas.
Lisado de plaquetas	Promover la proliferación de condrocitos e inhibir la apoptosis, mejorar el metabolismo de la matriz del cartílago y promover la reparación del cartílago, y aumentar la autofagia de los condrocitos y mejorar la senescencia. Adicionalmente, la administración de estos biológicos resultó en una restauración significativa de la alodinia mecánica, hiperalgesia térmica y comportamiento relacionado con el dolor (actividad espontánea y parámetros de la marcha)	Desgarros del manguito rotador, síndrome de pinzamiento del hombro, epicondilitis del codo, reconstrucción del ligamento cruzado anterior (LCA), tendinopatía rotuliana, tendinopatía aquílea y reparación quirúrgica de rotura aguda del tendón de Aquiles	Esta preparación acelular es rica en moléculas bioactivas derivadas de plaquetas, incluidos factores de crecimiento, formulada mediante la lisis de plaquetas
Exosomas	Ayudan mediante distintos mecanismos que incluyen una modulación de la respuesta inflamatoria, generar estimulación de la regeneración cartilaginosa, efecto analgésico, interacción con la Matriz extracelular y estimulación de la Angiogénesis	Reducción del dolor y la inflamación en pacientes con Osteoartritis (OA) de rodilla y cadera, en comparación con las infiltraciones de ácido hialurónico y PRP	vesículas extracelulares de pequeño tamaño (30-150 nm) derivadas de células madre mesenquimales (MSCs) y otros tipos celulares
Ácido hialurónico (AH)	• Viscosuplementación. • Acción antiinflamatoria. • Efecto analgésico • Protección y regeneración del cartílago. • Estimulación de la síntesis de AH endógeno.	Osteoartritis, epicondilitis lateral y la tendinopatía del manguito rotador. Se ha propuesto el uso en el postoperatorio de cirugías ortopédicas. Utilizado en atletas para acelerar la recuperación de lesiones articulares y tendinosas	Un polisacárido de alto peso molecular compuesto por unidades repetitivas de ácido D-glucurónico y N-acetil-D-glucosamina.

Terapia biológica	Efectos	Usos	Componentes
Toxina botulínica (TB)	Actúa sobre las terminaciones nerviosas motoras y parasimpáticas, y la liberación de acetilcolina de las vesículas presinápticas en la unión neuromuscular es inhibida por el serotipo A de TB. Por lo tanto, la vesícula de ACh no puede unirse a la membrana presináptica y la ACh no puede liberarse en la unión neuromuscular. Esta inhibición impide los impulsos nerviosos y causa una parálisis muscular reversible	Reducir la espasticidad en afecciones neurológicas y lesiones deportivas, control en la migraña crónica, problemas urológicos y en el tratamiento de enfermedades como estrabismo, trastornos de la articulación temporomandibular, neuropatía periférica diabética, síndrome de dolor miofascial y neuralgia del trigémino.	Toxina botulínica: La cadena ligera pasa de la vesícula endocítica al citosol neuronal. En el citosol, la cadena ligera, actuando como endopeptidasa de zinc, descompone SNAP-25, la proteína del complejo SNARE, que permite la asociación de vesículas que contienen acetilcolina (ACh) con la membrana presináptica.
Proloterapia	Inicialmente generan una estimulación celular y de la matriz extracelular, estimulando la cascada inflamatoria y la liberación de diversos factores de crecimiento, adicionalmente, la compresión de las células generado por el volumen de proliferante aplicado, con la producción de factores de crecimiento intracelulares. Favorece la regeneración del tejido al incrementar su fuerza de tensión y elasticidad. Genera neurólisis temporal de los nociceptores y quimioneuromodulación	Epicondilosis lateral, tendinopatía del manguito rotador, fascitis plantar, tendinopatía de Aquiles, osteoartritis, dolor lumbar, dolor en la articulación sacroilíaca y laxitud de la ATM	Pequeñas cantidades de una solución irritante en el lugar de inserción de tendones y ligamentos dolorosos para promover el crecimiento de células y tejidos sanos.

Referencias

1. Rodeo SA. Orthobiologics: Current status in 2023 and future outlook. J Am Acad Orthop Surg [Internet]. 2023;31 (12):604–13. Disponible en: http://dx.doi.org/10.5435/JAAOS-D-22-00808
2. Mavrogenis AF, Karampikas V, Zikopoulos A, Sioutis S, Mastrokalos D, Koulalis D, et al. Orthobiologics: a review. Int Orthop [Internet]. 2023;47 (7):1645–62. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1007/s00264-023-05803-z

3. Bai M-Y, Vy VPT, Tang S-L, Hung TNK, Wang C-W, Liang J-Y, et al. Current progress of platelet-rich derivatives in cartilage and joint repairs. Int J Mol Sci [Internet]. 2023;24 (16):12608. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3390/ijms241612608

4. Caruana A, Savina D, Macedo JP, Soares SC. From platelet-rich plasma to advanced platelet-rich fibrin: Biological achievements and clinical advances in modern surgery. Eur J Dent [Internet]. 2019;13 (02):280–6. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1055/s-0039-1696585

5. Zeng L, Zeng J, He J, Zhou Y, Li Y, Li C, et al. ALB–PRF facilitates chondrogenesis by promoting chondrocytes migration, proliferation and differentiation. Platelets [Internet]. 2024;35 (1). Disponible en: http://dx.doi.org/10.1080/09537104.2024.2414792

6. Narayanaswamy R, Patro BP, Jeyaraman N, Gangadaran P, Rajendran RL, Nallakumarasamy A, et al. Evolution and clinical advances of platelet-rich fibrin in musculoskeletal regeneration. Bioengineering (Basel) [Internet]. 2023;10 (1):58. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3390/bioengineering10010058

7. Zhao D, Han Y-H, Pan J-K, Yang W-Y, Zeng L-F, Liang G-H, et al. The clinical efficacy of leukocyte-poor platelet-rich plasma in arthroscopic rotator cuff repair: a meta-analysis of randomized controlled trials. J Shoulder Elbow Surg [Internet]. 2021;30 (4):918–28. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.jse.2020.10.014

8. O'Dowd A. Update on the use of platelet-rich plasma injections in the management of musculoskeletal injuries: A systematic review of studies from 2014 to 2021. Orthop J Sports Med [Internet]. 2022;10 (12). Disponible en: http://dx.doi.org/10.1177/23259671221140888

9. Simonpieri A, Del Corso M, Vervelle A, Jimbo R, Inchingolo F, Sammartino G, et al. Current knowledge and perspectives for the use of platelet-rich plasma (PRP) and platelet-rich fibrin (PRF) in oral and maxillofacial surgery part 2: Bone graft, implant and reconstructive surgery. Curr Pharm Biotechnol [Internet]. 2012;13 (7):1231–56. Disponible en: http://dx.doi.org/10.2174/138920112800624472

10. Van Schaik KD, Lee KS. Orthobiologics: Diagnosis and treatment of common tendinopathies. Semin Musculoskelet Radiol [Internet]. 2021;25 (06):735–44. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1055/s-0041-1735475

11. Meftahpour V, Malekghasemi S, Baghbanzadeh A, Aghebati-Maleki A, Pourakbari R, Fotouhi A, et al. Platelet lysate: A promising candidate in regenerative medicine. Regen Med [Internet]. 2021;16 (1):71–85. Disponible en: http://dx.doi.org/10.2217/rme-2020-0065

12. Burnouf T, Chou M-L, Lundy DJ, Chuang E-Y, Tseng C-L, Goubran H. Expanding applications of allogeneic platelets, platelet lysates, and platelet extracellular vesicles in cell therapy, regenerative medicine, and targeted drug delivery. J Biomed Sci [Internet]. 2023;30 (1). Disponible en: http://dx.doi.org/10.1186/s12929-023-00972-w

13. Yan L, Zhou L, Xie D, Du W, Chen F, Yuan Q, et al. Chondroprotective effects of platelet lysate towards monoiodoacetate-induced arthritis by suppression of TNF-α-induced activation of NF-κB pathway in chondrocytes. Aging (Albany NY) [Internet]. 2019;11 (9):2797–811. Disponible en: http://dx.doi.org/10.18632/aging.101952

14. da Fonseca L, Santos GS, Huber SC, Setti TM, Setti T, Lana JF. Human platelet lysate – A potent (and overlooked) orthobiologic. J Clin Orthop Trauma [Internet]. 2021;21 (101534):101534. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.jcot.2021.101534

15. Gupta A, Maffulli N. Autologous peripheral blood-derived orthobiologics for the management of shoulder disorders: A review of current clinical evidence. Pain Ther [Internet]. 2025;14 (1):67–79. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1007/s40122-024-00684-5

16. Phinney DG, Pittenger MF. Concise review: MSC-derived exosomes for cell-free therapy. Stem Cells [Internet]. 2017;35 (4):851–8. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1002/stem.2575

17. Li Z, Wang Y, Xiao K, Xiang S, Li Z, Weng X. Emerging role of exosomes in the joint diseases. Cell Physiol Biochem [Internet]. 2018;47 (5):2008–17. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1159/000491469

18. Dai Y, Chen Y, Hu Y, Zhang L. Current knowledge and future perspectives on֒xosomes in the field of regenerative medicine: A bibliometric analysis. Regen Med [Internet]. 2023;18 (2):123–36. Disponible en: http://dx.doi.org/10.2217/rme-2022-0141

19. Luo ZQ, Zhou B, Xiong H. A bibliometric analysis of exosomes therapy in the treatment of osteoarthritis from 2012 to 2022. J Pain Res [Internet]. 2023;16:2171–88. Disponible en: http://dx.doi.org/10.2147/jpr.s407050

20. Ni Z, Zhou S, Li S, Kuang L, Chen H, Luo X, et al. Exosomes: roles and therapeutic potential in osteoarthritis. Bone Res [Internet]. 2020;8 (1). Disponible en: http://dx.doi.org/10.1038/s41413-020-0100-9

21. Duan L, Xu X, Xu L, Chen H, Li X, Alahdal M, et al. Exosome-mediated drug delivery for cell-free therapy of osteoarthritis. Curr Med Chem [Internet]. 2021;28 (31):6458–83. Disponible en: http://dx.doi.org/10.2174/0929867327666201118161232

22. Xu C, Mi Z, Dong Z, Chen X, Ji G, Kang H, et al. Platelet-derived exosomes alleviate knee osteoarthritis by attenuating cartilage degeneration and subchondral bone loss. Am J Sports Med [Internet]. 2023;51 (11):2975–85. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1177/03635465231188122

23. Song K, Jiang T, Pan P, Yao Y, Jiang Q. Exosomes from tendon derived stem cells promote tendon repair through miR-144-3p-regulated tenocyte proliferation and migration. Stem Cell Res Ther [Internet]. 2022;13 (1). Disponible en: http://dx.doi.org/10.1186/s13287-022-02723-4

24. Bowman S, Awad ME, Hamrick MW, Hunter M, Fulzele S. Recent advances in hyaluronic acid based therapy for osteoarthritis. Clin Transl Med [Internet]. 2018;7 (1). Disponible en: http://dx.doi.org/10.1186/s40169-017-0180-3

25. Altman R, Hackel J, Niazi F, Shaw P, Nicholls M. Efficacy and safety of repeated courses of hyaluronic acid injections for knee osteoarthritis: A systematic review. Semin Arthritis Rheum [Internet]. 2018;48 (2):168–75. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.semarthrit.2018.01.009

26. Altman RD, Bedi A, Karlsson J, Sancheti P, Schemitsch E. Product differences in intra-articular hyaluronic acids for osteoarthritis of the knee. Am J Sports Med [Internet]. 2016;44 (8):2158–65. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1177/0363546515609599

27. Sprott H, Fleck C. Hyaluronic acid in rheumatology. Pharmaceutics [Internet]. 2023;15 (9):2247. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3390/pharmaceutics15092247

28. Wang C-T, Lin J, Chang C-J, Lin Y-T, Hou S-M. Therapeutic effects of hyaluronic acid on osteoarthritis of the knee: A meta-analysis of randomized controlled trials. J Bone Joint Surg Am [Internet]. 2004;86 (3):538–45. Disponible en: http://dx.doi.org/10.2106/00004623-200403000-00012

29. Chavda S, Rabbani SA, Wadhwa T. Role and effectiveness of intra-articular injection of hyaluronic acid in the treatment of knee osteoarthritis: A systematic review. Cureus [Internet]. 2022; Disponible en: http://dx.doi.org/10.7759/cureus.24503

30. Onan D, Farham F, Martelletti P. Clinical conditions targeted by OnabotulinumtoxinA in different ways in medicine. Toxins (Basel) [Internet]. 2024;16 (7):309. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3390/toxins16070309

31. Lee W-H, Shin TJ, Kim HJ, Lee J-K, Suh H-W, Lee SC, et al. Intrathecal administration of botulinum neurotoxin type A attenuates formalin-induced nociceptive responses in mice. Anesth Analg [Internet]. 2011;112 (1):228–35. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1213/ane.0b013e3181ffa1d7

32. Cheng J, Liu W, Duffney LJ, Yan Z. SNARE proteins are essential in the potentiation of NMDA receptors by group II metabotropic glutamate receptors. J Physiol [Internet]. 2013;591 (16):3935–47. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1113/jphysiol.2013.255075

33. Garcia-Ruiz PJ. Aplicaciones de la toxina botulínica en Neurología. Med Clin (Barc) [Internet]. 2013;141 (1):33–6. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.medcli.2012.12.015

34. Talbet JH, Elnahry AG. OnabotulinumtoxinA for the treatment of headache: an updated review. J Integr Neurosci [Internet]. 2022;21 (1). Disponible en: http://dx.doi.org/10.31083/j.jin2101037

35. Anandan C, Jankovic J. Botulinum toxin in movement disorders: An update. Toxins (Basel) [Internet]. 2021;13 (1):42. Disponible en: http://dx.doi.org/10.3390/toxins13010042

36. Kassir M, Gupta M, Galadari H, Kroumpouzos G, Katsambas A, Lotti T, et al. Complications of botulinum toxin and fillers: A narrative review. J Cosmet Dermatol [Internet]. 2020;19 (3):570–3. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1111/jocd.13266

37. Southworth TM, Naveen NB, Nwachukwu BU, Cole BJ, Frank RM. Orthobiologics for focal articular cartilage defects. Clin Sports Med [Internet]. 2019;38 (1):109–22. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.csm.2018.09.001

38. Hsu C, Vu K, Borg-Stein J. Prolotherapy. Phys Med Rehabil Clin N Am [Internet]. 2023;34 (1):165–80. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.pmr.2022.08.011

39. Arias-Vázquez PI, Arcila-Novelo R, Guzzardo MN, Guzzardo DR, Ake-Montiel MÁN, Sulub-Herrera A. Subcutaneous injections of dextrose in musculoskeletal pain, a potential therapeutic intervention: scoping review. Pain Manag [Internet]. 2024;14 (12):653–63. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1080/17581869.2024.2442898

40. Reeves KD, Sit RWS, Rabago DP. Dextrose prolotherapy. Phys Med Rehabil Clin N Am [Internet]. 2016;27 (4): p. 783–823. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.pmr.2016.06.001

41. Waluyo Y, Artika SR, Wahyuni IN, Gunawan AMAK, Zainal ATF. Efficacy of prolotherapy for osteoarthritis: A systematic review. J Rehabil Med [Internet]. 2023;55:jrm00372. Disponible en: http://dx.doi.org/10.2340/jrm.v55.2572

CAPÍTULO 4

Prevención de Lesiones Deportivas

Sports Injury Prevention

Pedro Antonio Calero Saa
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
https://orcid.org/0000-0002-9978-7944
pcalero22@gmail.com

Álvaro Santiago Solarte R.
Consultor independiente
https://orcid.org/0000-0001-9822-0455
ssantyago06@hotmail.com

Resumen

El capítulo analiza los modelos y estrategias actuales para la prevención de lesiones deportivas, destacando la necesidad de un enfoque multidisciplinario y basado en evidencia que contribuye a reducir la incidencia y gravedad de las lesiones en deportistas de distintos niveles. Para ello, se realiza una revisión exhaustiva de modelos teóricos y prácticos, como el modelo clásico de cuatro pasos de Van Mechelen y el marco TRIPP, además de marcos conceptuales de implementación como RE-AIM. Se examinan también programas específicos para prevenir lesiones musculares frecuentes, especialmente en los isquiotibiales, considerando factores como la adherencia al programa, la evaluación del riesgo y la participación activa de equipos multidisciplinarios en su desarrollo e implementación.

Los resultados evidencian que la eficacia en la prevención depende de una correcta identificación del problema, el diseño de intervenciones específicas según el deporte y las características individuales de los deportistas, y la existencia de un sistema riguroso de registro de lesiones y de exposición para

Cita este capítulo / *Cite this chapter*

Calero Saa PA, Solarte AS. Prevención de lesiones deportivas. En: Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo III: rehabilitación y readaptación deportiva*. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 197-247. https://doi.org/10.35985/9786287914179.4

calcular las tasas de riesgo reales. Se encuentra que los programas con alta adherencia y el uso estricto de pautas para el retorno al deporte reducen hasta en un 84% las recaídas. Sin embargo, persiste una brecha significativa entre la evidencia científica y su aplicación práctica, atribuida principalmente a limitaciones en la implementación, recursos y compromiso institucional.

En conclusión, la prevención efectiva de lesiones deportivas requiere un enfoque científico y multidisciplinario adaptado a cada contexto deportivo. La capacitación continua, el uso de modelos validados y la evaluación constante son fundamentales para cerrar la brecha entre investigación y práctica, mejorando la salud y el rendimiento de los deportistas.

Palabras clave: Modelos Epidemiológicos, Equipo Multiprofesional, Volver al Deporte, Prevención Primaria.

Abstract

This chapter analyzes current models and strategies for sports injury prevention, highlighting the need for a multidisciplinary, evidence-based approach that contributes to reducing the incidence and severity of injuries in athletes at different levels. To this end, a comprehensive review is conducted of theoretical and practical models, such as the classic Van Mechelen four-step model and the TRIPP framework, as well as conceptual implementation frameworks such as RE-AIM. *Specific programs to prevent common muscle injuries, especially hamstring injuries, are also examined, considering factors such as program adherence, risk assessment, and the active participation of multidisciplinary teams in their development and implementation.*

The results show that effective prevention depends on correct identification of the problem, the design of specific interventions according to the sport and individual characteristics of athletes, and the existence of a rigorous injury and exposure recording system to calculate actual risk rates. It is found that programs with high adherence and the strict use of return-to-sport guidelines reduce relapses by up to 84%. However, a significant gap persists between scientific evidence and practical application, attributed primarily to limitations in implementation, resources, and institutional commitment.

In conclusion, effective sports injury prevention requires a scientific and multidisciplinary approach tailored to each sporting context. Ongoing training, the use of validated models, and ongoing evaluation are essential to closing the gap between research and practice, improving athletes' health and performance.

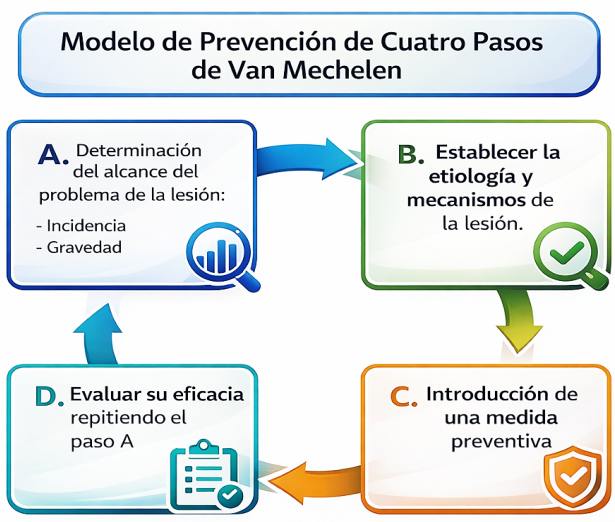
Keywords: *Epidemiological Models, Multidisciplinary Care Team, Return to Sport, Primary Prevention.*

Contesto General

> *"El pensamiento condiciona la acción, la acción determina el comportamiento, el comportamiento repetido crea hábitos, los hábitos estructuran el carácter, la manera de pensar, ser y actuar; y el carácter marca el destino"*
>
> —Aristóteles

En el ámbito deportivo, la prevención de lesiones deportivas es un tema muy importante a nivel mundial (1). La paradoja de la práctica deportiva presenta dos lados: por un lado, hay evidencia de la mejora de la salud debido a los beneficios del ejercicio frecuente que conlleva a beneficios bien descritos por la ciencia; y por el otro lado, el incremento del riesgo de lesiones deportivas y la experiencia negativa de las lesiones deportivas conlleva a la ausencia del deportista tanto del entrenamiento como de la competencia (2). Esto se debe a que las lesiones relacionadas con el deporte tienen un impacto significativo en la salud pública, lo que exige una dirección sistemática que incluya la aplicación estandarizada de estrategias de prevención con fundamentos claros (3). El riesgo de lesiones deportivas tiene clara relación con el entrenamiento y la competencia, y tiene un impacto significativo en el rendimiento del deportista y a los costos que los clubes, equipos o ligas deben enfrentar.

Figura 1. *Modelo de prevención de cuatro pasos de Van Mechelen*



Fuente: Tomada y modificada de Emery(4) Imagen mejorada digitalmente utilizando [NotebookLM].

La prevención de lesiones deportivas debe aplicarse por medio de combinaciones de enfoques primarios, secundarios y terciarios. Las lesiones deportivas son el producto de diversas interacciones entre factores subyacentes, lo que indica que la prevención en compleja. Es por esta razón que los programas de prevención de lesiones deportivas deben incluir componentes individuales para que logren llegar a ser efectivos (5).

Inicialmente, es importante contar con un sistema de registro de lesiones, de acuerdo con lo establecido en el modelo de Van Mechelen, el cual es un paso importante en el conocimiento de la incidencia y la severidad de las lesiones lo que permite la implementación de medidas preventivas con respaldo científico. Un estudio de Ekegren et al. identificaron que una gran cantidad de equipos de la liga australiana de futbol, no llevan un registro de la incidencia de lesiones durante la temporada (6). No es posible inferir que sea un problema global, sin embargo, el poder contar con estos datos se convierte en una ayuda en el planteamiento de estrategias para implementar y mantener programas efectivos de prevención de lesiones deportivas, lo que ayudaría a reducir costos a los clubes y a la protección de la salud de los deportistas.

Continuando con el modelo de Van Mechelen, el segundo paso es la comprensión de la causa o el mecanismo de lesión para así disminuir los riesgos para que ocurra. Desde el enfoque del Fisioterapeuta Deportivo, es fundamental la evaluación de los deportistas para tener información adecuada y precisa que permita una toma de decisiones desde acciones preventivas hasta decisiones del retorno al deporte. La pretemporada en cualquier club, liga o equipo se caracteriza por que se realiza una evaluación a sus deportistas luego de interrumpir su competencia por finalización de temporada o competencias y llegan de un tiempo de descanso. Esta evaluación de pretemporada tiene 3 objetivos claros:

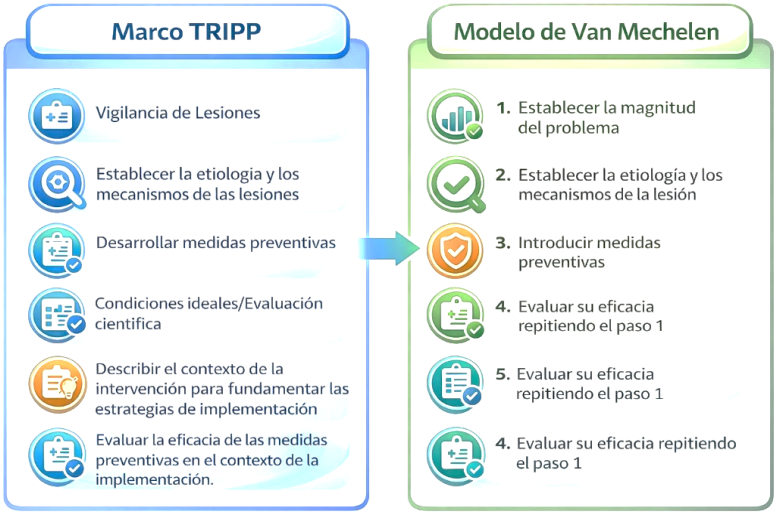
1) Identificar deportistas con mayor riesgo de lesiones relacionadas con su deporte.
2) Plantear intervenciones preventivas de acuerdo con estos hallazgos.
3) Establecer una línea de base de rendimiento que permita identificar progresiones o estancamientos deportivos.

Un estudio de Dallinga et al. sugirieron que algunas pruebas como la de equilibrio como la star excursion balance test, la relación simétrica entre los grupos musculares isquiotibiales y cuádriceps, y la disminución del rango de movimiento de aducción de cadera, podrían ser recomendadas como evidencia en la identificación de riesgo de lesiones de rodilla, isquiotibiales, ingle y tobillo (7).

El registro de la cantidad de lesiones es muy importante para los procesos de investigación en la prevención de lesiones deportivas, sin embargo, es trascendental tener información sobre los tiempos de exposición al deporte y de esta manera, entender el verdadero riesgo de lesiones. Para dar un ejemplo, se toman dos grupos de deportistas con el mismo número de lesiones. El grupo de intervención se expuso o compitió 1800 horas y el grupo control lo hizo 1100 horas, indicando que el grupo de intervención estuvo más expuesto al riesgo. Esto resalta la importancia de contar con el número de lesiones y combinar estos datos con datos de exposición y de esta manera poder calcular la tasa de lesiones, expresada comúnmente como el número de lesiones por cada 100 horas de participación. En este sentido, si los dos grupos reportan 30 lesiones, las tasas podrían ser de 6 y 12 lesiones por cada 1000 horas-deportista para ambos grupos de intervención y control respectivamente.

El marco TRIPP (Translating Research into Injury Prevention Practice) es una modificación del modelo de Van Mechelen, el cual, incorpora dos pasos adicionales para trasladar las estrategias de prevención de lesiones desde la eficacia confirmada hasta su ejecución. Estos pasos incluyen la comprensión del contexto real donde implementara la estrategia preventiva y evaluarla en ese contexto, considerando los factores como la edad, el nivel deportivo, tipo de deporte y la estructura organizativa en que se aplicó inicialmente (4).

Figura 2. *Marco TRIPP y Modelo de Van Mechelen*



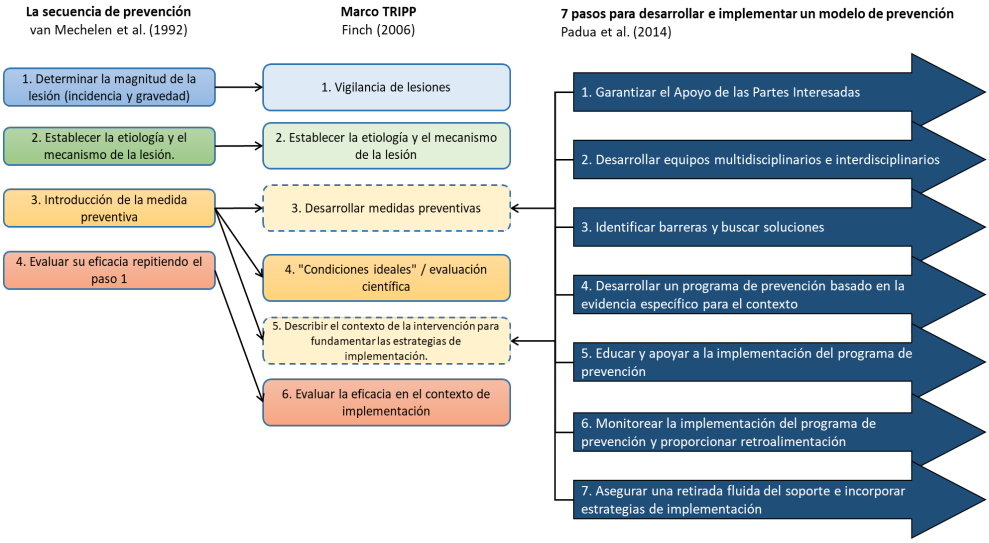
Fuente: Tomada y modificada de Emery(4) Imagen mejorada digitalmente utilizando [NotebookLM].

Se han identificado limitaciones en estos dos modelos como un carácter lineal, reduccionista o genérico, la falta de pasos operativos claros y la escasa consideración de cargas de trabajo de los deportistas. Es por esto por lo que los profesionales requieren modelos prácticos, simples, adaptados al contexto específico y que consideren desafíos reales de implementación y la naturaleza cíclica de la prevención.

El modelo TRIPP reconoce que por medio de la investigación adoptada por un grupo multidisciplinario relacionados con el deporte, existirá un impacto real en la prevención de lesiones. Aunque se ha realizado identificaciones claras de intervenciones eficaces, la difusión, implementación y adherencia suelen fracasar. Es por esta razón que existe la recomendación de determinar la factibilidad y el potencial de adopción antes de realizar ensayos, y así, evitar invertir en estrategias e intervenciones que no serán bien recibidas o acogidas por el grupo multidisciplinario (8).

Padua et al. (9), manifestaron que el marco TRIPP no proporciona una guía específica sobre las fases necesarias para desarrollar (Fase 3 del TRIPP) e implementar programas de prevención de lesiones (Fase 5 del TRIPP) que hayan demostrado ser efectivos. Por esta razón, propusieron siete pasos adicionales que enfatizan la inclusión de partes interesadas y la formación de equipos interdisciplinarios. Este proceso permite identificar barreras y proponer soluciones contextuales basadas en evidencia, incrementando la adopción, cumplimiento y mantenimiento del programa (9).

Figura 3. *Adaptación del modelo de siete pasos para el diseño e implementación efectivos de programas de prevención de lesiones*

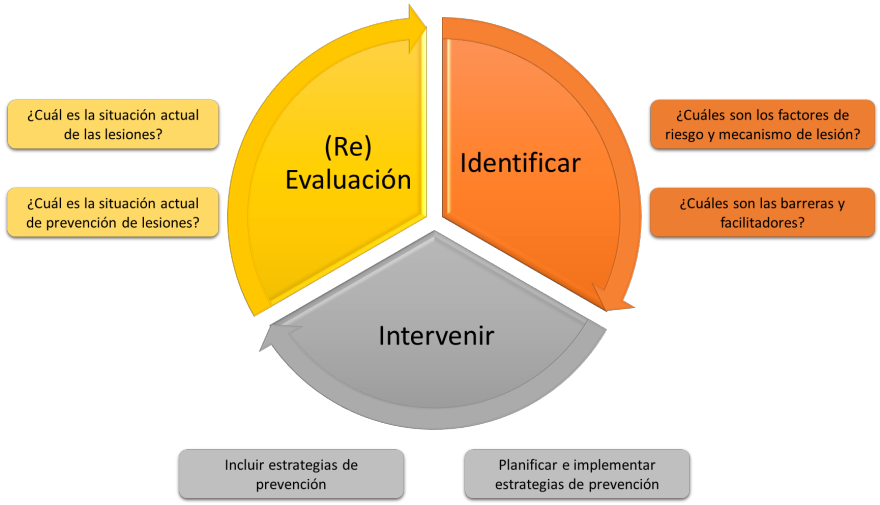


Fuente: Tomado y Modificado de Van Mechelen et al. (10), Finch (8) & Padua et al. (9)

Para el año 2018 se propuso y desarrolló un nuevo modelo denominado "Ciclo de Prevención de Lesiones en Deportes de Equipo (TIP) (11)", el cual fue diseñado por profesionales de la ciencia del deporte. Este modelo propone un ciclo continuo de tres pasos:

1) (Re) evaluar
2) Identificar
3) Intervenir

Figura 4. *Modelo de Ciclo de Prevención de Lesiones en Deportes de Equipo*



Fuente: Tomada y modificada de O'Brien (11)

Modelo de Ciclo de Prevención de Lesiones en Deportes de Equipo

Fase 1: (Re) Evaluación

Esta fase analiza la situación de las lesiones en un equipo, considerando el tipo, la frecuencia y la gravedad, además analiza las estrategias preventivas aplicadas o ausentes. En esta fase se evalúa los métodos basados en evidencia, con ejercicios específicos y la gestión de la carga de trabajo, recuperación y rotación de jugadores. Es clave conocer las percepciones del equipo sobre riesgos y prevención para orientar acciones en el futuro. La aplicación de las estrategias tiene en cuenta la frecuencia, dosis, intensidad y calidad. En la práctica, se registran datos y se emplean en cuestas para valorar impresiones o percepciones (11).

Fase 2: Identificar

Esta fase se enfoca en identificar factores de riesgo y los mecanismos de lesión, por medio de datos propios del equipo y evidencia científica. En esta fase se reconoce la complejidad multifactorial de las lesiones y la importancia de evaluar individualmente el riesgo de cada jugador y la modificación de dichos factores. En esta fase se identificar barreras y facilitadores que intervienen en la implementación de estrategias preventivas. Esta fase se pone en marcha

mediante discusiones grupales y encuestas que permiten identificar obstáculos y apoyos. Algunos obstáculos o barreras pueden ser la falta de tiempo para la implementación de estrategias preventivas y la resistencia de los entrenadores a cambios de filosofía de entrenamiento (11).

Fase 3: Intervenir

Esta fase planifica el contenido y la implementación de las estrategias preventivas, teniendo en cuenta la situación del equipo, factores de riesgo, barreras y facilitadores, además de la evidencia científica y experiencia previa. En esta fase se recomienda utilizar diferentes métodos como la dosificación de la carga, la recuperación y ejercicios específicos, con el objetivo de reflejar la naturaleza multifactorial de las lesiones. Aquí es importante integrar todos los miembros del grupo multidisciplinario (11).

Los programas de prevención de lesiones deportivas buscan reducir tanto la cantidad como la gravedad de las lesiones. La gravedad de las lesiones es un aspecto que permite evaluar las estrategias preventivas. Los aspectos fundamentales de la gravedad de la lesión son la naturaleza de la lesión, el tiempo de recuperación, la intervención médica requerida, la interrupción de la participación deportiva, las secuelas permanentes y los costos de intervención. Aunque el tiempo en días de baja deportiva son métricas comunes de gravedad, no necesariamente todas las lesiones resultan en interrupción de la práctica deportiva, por lo que se considera importante identificar otras medidas (2).

Con respecto a lo anterior, la ciencia ha proporcionado suficiente videncia acerca de los programas de prevención de lesiones por medio de ejercicios para disminuir la frecuencia y la gravedad de las lesiones, además de reducir la ausencia de los deportistas en entrenamientos y competencias. Sin embargo, estos estudios se centran especialmente en deportistas sub-elite, con falta de evidencia en deportistas adultos. Adicionalmente, al mencionar lesiones específicas como distensiones de isquiotibiales y tendinopatía rotuliana, las tasas de incidencia y prevalencia siguen siendo elevadas e incluso con aumento en los últimos años, a pesar de la aplicación de esfuerzos en su prevención (5).

El marco RE-AIM (Alcance, Efectividad, Adopción, Implementación y Mantenimiento) fue creado para evaluar de manera integral intervenciones considerando niveles como el individual, el ambiental y el político, además, también determinar la efectividad practica de la evidencia (12).

En las lesiones deportivas, el marco RE-AIM se convierta en una herramienta útil para estimar el impacto, destacando que la efectividad depende de una

implementación de alta calidad. La identificación de las limitaciones en la implementación y planificación de estrategias adecuadas, potencia los resultados de las intervenciones (13).

Tabla 1. *Descripción general del plan de transferencia de conocimientos* (KTS)

Pasos	Descripción
Paso 1: planteamiento del problema	Describa el problema tal como se presenta en la práctica en términos de: • Magnitud del problema • Gravedad del problema • Carga social • Contexto del problema
Paso 2: síntesis y descripción de la evidencia	Para toda la evidencia disponible, describa: • El beneficio para el individuo • El beneficio para la sociedad • El contexto de la evidencia • Las perspectivas y prácticas contemporáneas de la práctica y los profesionales
Paso 3: Grupo de transferencia de conocimiento	Establecer un Grupo de Trabajo de Investigación (GTI) compuesto por representantes de las principales partes interesadas, profesionales e investigadores con experiencia en la lesión o la evidencia disponible. Dentro del GTI, se debe analizar: • El planteamiento del problema (paso 1 del GTI) • La descripción de la evidencia (paso 2 del GTI) • La integridad del grupo • En caso de que el grupo identifique que faltan algunas partes interesadas o expertos clave, se pueden agregar al GTI.
Paso 4: Desarrollo del producto	Para el desarrol|o del producto KTS, describa: • Objetivo del producto • Grupo (s) objetivo (s) • Contexto del producto
Paso 5: evaluación	Evaluar el producto KTS dentro del marco RE-AIM (Glasgow et al., 1999): • Alcance • Efectividad • Adopción • Implementación • Mantenimiento

RE-AIM, Alcance, Efectividad, Adopción, Implementación y Mantenimiento; KTG, grupo de transferencia de conocimiento.

Fuente: Tomada y modificada de Corey (13)

La efectividad en la adopción de cualquier estrategia de prevención de lesiones deportivas mejora al existir un respaldo y fortalecimiento en la implementación de políticas específicas. Para lo cual, es fundamental el compromiso activo de cada profesional y persona involucrada. Adicionalmente, de recursos accesibles y simplificados para la prevención y manejo de lesiones (13).

De la Evidencia Científica a la Práctica: Desafíos para la Implementación de los Programas de Prevención de Lesiones Deportivas

Aunque los programas de prevención de lesiones han demostrado ser efectivos en estudios controlados, la aplicación en la práctica es limitada, lo que establece una necesidad de seguir progresando en las investigaciones acerca de la implementación que consideren el contexto particular y las bases teóricas consolidadas para entender cómo y por qué funcionan estos programas y cómo impactan en el comportamiento de los deportistas y grupo multidisciplinario (14). Es por esto por lo que existe una brecha entre la investigación y el comportamiento real de los deportistas, principalmente por la poca participación de expertos en contexto y procesos, lo que impide abordar factores interrelacionados necesarios para garantizar la efectividad en entornos reales. Adicionalmente, la validez interna no garantiza la validez externa, y la principal dificultad radica en pasar de la fase de desarrollo científico a la amplia adopción (15).

A pesar de lo anterior, algunos programas de prevención de lesiones no dan crédito a los resultados de las investigaciones y estos no se integran a dichos programas. A raíz de la evidencia que trae consigo los programas de prevención de lesiones, existe una falta de implementación, aceptación o desconocimiento, lo que implica una falta de continuidad a los programas (16). Gokeler et al. por medio de una revisión sobre el uso de principios de aprendizaje motor para mejorar los programas de prevención en lesiones de Ligamento Cruzado anterior (LCA), manifiestan que la falta de inclusión de estos principios se debe a la negativa a la adherencia (entrenadores y deportistas), restricciones de tiempo, el escepticismo a los programas y la falta de diversidad dinámica de los programas (16). Verhagen et al. establecen que la actitud ante esta falta de inclusión es un comportamiento que se convierte de por sí en riesgo de lesión deportiva, el cual, no es solo el entrenador, sino que también influye en el deportista, el equipo médico y el club (17).

El cumplimiento del programa en cuanto a la correcta aplicación por parte del deportista es fundamental para determinar su eficacia; no obstante,

influyen la motivación individual y la intervención de otros profesionales, por lo que el diseño debe ajustarse al entorno particular del deportista. Un mayor cumplimiento del programa tiene asociación directa con reducciones significativas en la tasa de lesiones (18,19,20). Sin embargo, la adherencia requiere cambios conductuales moldeados por factores ambientales, sociales y personales, y los largos periodos de seguimiento pueden causar pérdidas de participantes (21,22). Inclusive en los clubes de alto nivel, la adherencia es insuficiente, lo que demanda una mayor responsabilidad y gobernanza, especialmente en deportistas jóvenes (14).

Epidemiología de Lesiones Deportivas

A nivel mundial, las lesiones deportivas se reconocen como un problema de salud pública global y requieren acciones pertinentes que permitan ayudar a atenuar su impacto, problema que afecta a millones de deportistas y genera costos significativos para los sistemas de salud en diferentes países. Según la Enciclopedia Internacional de Salud Pública en su 2da edición, 5.2 millones de deportistas con un costo en la salud pública de 2.000 millones de dólares se registran en Australia; en Europa se identifica el 20% de las lesiones no mortales con un costo de 2.400 millones de dólares australianos. En Estados Unidos, los gastos de salud pública por lesiones deportivas son superiores a los 1.580 millones de dólares. Aun con el aumento de la incidencia y la identificación de las consecuencias de estas lesiones, la mayor cantidad de datos reportados tienen su origen de países del primer mundo y con un contexto elite deportivo, evidenciando una muy poca información de lesiones en entornos deportivos comunitarios (13).

Existe evidencia de que solo el 30% de las lesiones deportivas son registradas, lo que no le da valor a la carga real de estas lesiones (23). La importancia del registro de lesiones deportivas por los sistemas de salud permite una descripción oportuna de la tasa y los patrones de las lesiones deportivas. A esto se le suma una falta de consenso o definiciones claras sobre lo que representa una lesión deportiva, lo que complica de manera significativa la recopilación de los datos.

Las definiciones de lesión deportiva se han dado a partir de puntos de vista de los médicos, los deportistas y diferentes instituciones dedicadas al deporte, lo que ha conllevado a una incoherencia o una falta de definición estandarizada de lo que es una lesión deportiva, incluyendo variables como la pérdida de tiempo hasta la atención médica y cualquier queja física. Algunos estudios de lesiones deportivas la definen como “cualquier queja física (causada por una transferencia de energía

que excede la capacidad del cuerpo para mantener su integridad estructural y / o funcional) sostenida por un atleta durante una competencia o entrenamiento directamente relacionado con el deporte o la actividad de ejercicio investigada" (24), o la definición dada por Bahr et al. "La lesión es el daño tisular u otro trastorno de la función física normal debido a la participación en deportes, como resultado de la transferencia rápida o repetitiva de energía cinética" (25). Al no tener una definición consensuada de lo que es la lesión deportiva, que cada estudio incluye variables no observadas anteriormente y cada deporte tiene sus particularidades, se han desarrollado definiciones de lesión específicas para deportes concretos como en el criquet, la cual la definen como cualquier lesión u otra afección médica que: (a) impida que un jugador esté completamente disponible para la selección en un partido importante o (b) durante un partido importante, le impida batear, lanzar o mantener el wicket cuando así lo exijan las reglas o el capitán del equipo (26); y el futbol, la cual la definen como cualquier queja física sufrida por un jugador que resulta de un partido o entrenamiento de fútbol, independientemente de la necesidad de atención médica o el tiempo de ausencia de las actividades futbolísticas (27).

Otro factor que afecta es la variabilidad en la manera de estandarizar las tasas (por cada 1000 participantes, por cada 1000 horas, tiempo perdido de participación), datos que varían ampliamente y a menudo los datos poblacionales no se reportan anualmente, lo que dificulta la comprensión del impacto de las lesiones deportivas o monitorear las tendencias a lo largo del tiempo (13).

Características Fisiológicas, Biomecánicas y Epidemiologia

Para poder contextualizar la epidemiologia de las lesiones deportivas, es importante entender las necesidades tanto fisiológicas como biomecánicas de cada disciplina. En este apartado se relacionarán de algunas disciplinas deportivas sus características y posteriormente, con base en esa información, se relacionará su epidemiologia.

- **Baloncesto:** este deporte fue creado en 1891 en Estados Unidos. Es un deporte olímpico que presenta dos equipos de cinco jugadores cada uno en una cancha de 28x15mts. De acuerdo con la federación Internacional de Baloncesto (FIBA), la intención de este deporte es anotar la mayor cantidad de puntos lanzando un balón a un aro que se encuentra a 3,05mts de altura. Cada juego se da en cuatro o dos periodos (dependiendo de la región) de 10 o 12 minutos cada periodo. Las demandas fisiológicas y biomecánicas son significativas, con alrededor de 1000 movimientos en cada partido, donde

cada 2-3 segundos el jugador realiza cambios de dirección, recorren un promedio de 5 a 6 km, realizan 45 saltos por partido, y reciben alrededor de 8 impactos que superan los 5G por minuto, se convierten en variables que aumentan el riesgo de lesiones. Los análisis investigativos señalan que los deportistas que practican baloncesto tienen un VO_2max de entre 45 y 50 ml/min/kg y una frecuencia cardiaca promediando el 90% durante el juego, dándole importancia a la intensidad del juego (28).

Un estudio observacional descriptivo llevado a cabo durante cuatro temporadas (2020-2024) en un equipo de la liga ACB de España, donde participaron 33 jugadores en competencias ACB y Liga de Campeones FIBA. Se obtuvo un registro de 102 lesiones, con un promedio de 25,5 por temporada y una Tasa de Incidencia (TI) de 5,63 lesiones por cada 1000 horas. La TI fue mayor durante partidos de competencia (122,28/1000horas) en comparación con los entrenamientos (3,05/1000horas). Las lesiones sin contacto fueron las más comunes, siendo las leves (1-7 días de perdida) el 68,6% del total. NO obstante, las lesiones graves (>28 días de perdida), aunque con menos frecuencia (16,7%), provocaron una pérdida acumulada de 891 días de actividad. Las lesiones musculares fueron del 42% del total de lesiones, con afectaciones principalmente en isquiotibiales y el tendón de Aquiles, seguidas de lesiones articulares con un 14,7% y las ligamentosas en un 10,7%. La pierna inferior fue la zona más afectada, con una carga de lesiones de 18,61dias/1000horas. Los jugadores con edades entre los 23 y 28 años experimentaron la mayor cantidad de lesiones con un 58,82%. En cuanto al impacto económico, el costo total fue de 843.000€ (29).

- **Ciclismo**: es un deporte de alta exigencia física. Las competencias llegan a durar incluso 7 horas, generando un gasto energético que puede llegar a las 7500kcal al día. Dentro de las características físico-atléticas, la práctica del ciclismo requiere de fuerza, equilibrio y coordinación. Un ajuste adecuado de la bicicleta logra permitir un rango de movimiento articular optimo en cadera de 28° a 90°, la rodilla de 37° a 111° y en el tobillo de 53° a 103° de flexión plantar. En el ciclo de pedaleo se dan dos momentos o fases: la fase de potencia (0° a 180°) donde predominan los músculos glúteo mayor y cuádriceps y, la fase de recuperación (180° a 360°) donde intervienen el psoas iliaco y el recto femoral. Durante el pedaleo, los isquiotibiales también se activan, y los músculos gastrocnemio y sóleo tienen una importante participación, siendo el gastrocnemio el que tiene el período de contracción más prolongado. Las lesiones de este deporte se dividen en traumáticas y por sobreuso, de acuerdo al mecanismo de lesión.

Se ha demostrado que entre el 40% y el 54% de las lesiones en el ciclismo son traumáticas, donde las abrasiones y las laceraciones cutáneas son las más comunes con datos de 59% a 67%. Las fracturas representan del 21% al 27% de las lesiones, las clavículas de 17% a un 27%, las muñecas de un 6% a un 12% y las costillas de un 3% a un 8% (30). En las lesiones por sobreuso, la tendinopatía de rodilla es la más reportada con un 17%-29% en la rodilla y un 8%-15% en el tendón de Aquiles. En un estudio de 109 ciclistas profesionales, la lumbalgia (58%) y el dolor anterior de rodilla (36%) fueron las lesiones más prevalentes (31). Las lesiones por sobreuso son más comunes en ciclistas profesionales, incluyendo molestias musculoesqueléticas, perineales y genitales.

La tendinopatía es la más reportada, con un 17%-29% en la rodilla, un 8%-25% en el tendón de Aquiles (32). La tasa de lesiones traumáticas en ciclistas se ha duplicado desde los años 80 hasta 2003-2009 (32).

- **Formula 1:** es la competencia más prestigiosa de monoplazas a nivel mundial, la cual es organizada por la Federación Internacional del Automóvil (FIA). El campeonato de fórmula 1 se caracteriza porque los ingenieros desarrollan un vehículo de alto rendimiento, donde incorporan tecnologías avanzadas en mecánica, electrónica y aerodinámica, permitiendo así mejorar también la seguridad y el rendimiento de los monoplazas y en la industria automotriz. En esta competencia se juega el rendimiento tanto de los ingenieros como del piloto. Los pilotos deben tener habilidades excepcionales, un control motor preciso, una atención aguda y tiempos de reacción muy cortos. Durante la competencia, los pilotos se enfrentan a riesgos importantes que incluyen colisiones y lesiones derivadas del sobreuso en el sistema musculoesquelético.

  Este campeonato se desarrolla en diversas carreras en varios continentes, con un calendario que puede cambiar cada año según los acuerdos de la FIA. La participación es de equipos o marcas internacionales y cada equipo compite con dos monoplazas cada uno con su respectivo piloto. Cada temporada la FIA ajusta las regulaciones técnicas, las cuales los equipos desarrollan el monoplaza de acuerdo a esas regulaciones que repercuten en la configuración del auto. Cada carrera tiene una duración aproximada de 2 horas, donde cubren una distancia de 305 kilómetros, recorrido que se adecua a la longitud de la pista en el número de vueltas.

  Los pilotos de Formula 1 se enfrentan exigencias fisiológicas y biomecánicas importantes que ponen a prueba sus capacidades en cada carrera. Los

pilotos aceleran el monoplaza a velocidades que superan los 300km/h, manteniendo un alto nivel de control y concentración.

Las fuerzas generadas por el agarre de los neumáticos y la carga aerodinámica, los pilotos experimentan fuerzas que se pueden multiplicar por tres o seis veces más la gravedad (G). Este entorno tan dinámico exige que los pilotos mantengan una postura adecuada y realicen contracciones musculares sostenidas para controlar su cuerpo frente a estas fuerzas. La cabina del monoplaza experimenta vibraciones intensas, temperaturas extremas y una comunicación constante con el equipo, incrementando la carga cognitiva y la atención necesaria para maniobrar el auto. A esto hay que sumarle que los desplazamientos continentales llevan consigo los efectos del jet lag y las variaciones en la nutrición, así como las condiciones climáticas de cada país que acoge el gran premio (33).

La FIA implemento la Base de Datos Mundial de Accidentes (WADB por sus siglas en inglés) para recopilar información crítica sobre accidentes graves, incluyendo variables como la velocidad, aceleración y consecuencias médicas. En 2004 un estudio de la British Journal of Sports Medicine, reporto una tasa de incidencia de lesiones de 1,2 por 1000 competidores por carreras en monoplazas. Las lesiones más comunes son hematomas con un 58% y esguinces de cuello con un 34%, mientras que las abrasiones y conmociones cerebrales fueron menos frecuentes con un 2% respectivamente. El cuello fue la región más afectada, seguida de las extremidades inferiores y superiores (34).

- **Voleibol**: Practicado por un aproximado de 200 millones de personas, se inventó en 1895 por William G. Morgan en la Asociación Cristiana de Jóvenes (YMCA por sus siglas en ingles) de Holyoke, Massachusetts, como un deporte de interior para evitar el rigor del baloncesto. Originalmente fue nombrado como “mintonette”, pero fue rebautizado como “voleibol” por un profesor de Sprinfield College. Las primeras reglas se dictaron en 1897. Este juego tomo fuerza en EE. UU. y se introdujo rápidamente en otros países, siendo regulado por la YMCA y la Asociación Nacional de Atletismo Universitario (NCAA) en 1916. La Federación Internacional de Volley Ball (FIVB) se fundó en 1947 y las competencias internacionales iniciaron en 1913. Este deporte se incluyó como deporte olímpico en 1964 en los juegos de Tokio. El Voleibol se juega sobre una cancha de 9mts de ancho por 18mts de largo, dividida por una línea central que crea dos áreas de juego iguales. Los jugadores no pueden cruzar esta línea mientras el balón esté en juego. A 3 m de la línea central, hay otra línea que marca el límite a partir del cual

los jugadores de la zona trasera no pueden rematar el balón sobre la red. La red, situada en el centro, tiene una altura de 2,4 m para hombres y 2,2 m para mujeres. Cada lado de la red presenta una antena vertical de 1 m para ayudar a los árbitros a determinar si el balón está en juego. Cada equipo consta de seis jugadores: tres en ataque y tres en defensa (35).

En la biomecánica aplicada en el voleibol se enfatiza la relevancia de las articulaciones, con especial atención en tobillos, rodillas y hombros, en respuesta a las exigencias del deporte. Se debe comprender las habilidades biomecánicas no solo para la mejora del rendimiento, sino que también para reducir el riesgo de lesiones. El salto es esencial para acciones como el gesto del saque, remate y bloqueo (36). La función muscular es clave. La fuerza o tensión muscular se transmite al hueso por medio del tendón y esta, se transmite al suelo y este proceso se condiciona por las propiedades musculares y la superficie de salto, que puede optimizarse con entrenamiento específico (35). La técnica de salto incluye elementos como el contramovimiento y el balanceo de brazos, lo cual impacta de manera significativa en la altura del salto. Un contramovimiento aumenta la altura en un 7%, mientras que el balanceo de brazos puede incrementar entre un 19% a 23% al elevar el centro de masa y optimizar la generación de la fuerza, donde el tipo de superficie influye: los saltos realizados en arena son u n14% más bajos que en superficies rígidas, debido a la absorción de energía por la arena, lo que puede aumentar el estrés en las articulaciones en superficies duras (35).

En cuanto a la epidemiologia, las lesiones deportivas tienen efectos negativos tanto para los deportistas como para los clubes, lo que implica la importancia de entender la frecuencia y ubicación de las lesiones (37). La prevalencia de lesiones musculoesqueléticas en el voleibol es de 10,7 por cada 1000 horas jugadas, afectando principalmente a las articulaciones como el tobillo, la rodilla y el hombro, donde las lesiones agudas son comunes en el tobillo y las lesiones por sobre uso en hombro y rodilla (38,39). Un análisis del Sistema de vigilancia de Lesiones FIVB reporto 440 lesiones de un total de 2640 informes analizados (38). De estas lesiones, el 62,5% ocurrió en competencia y el 37,5% en entrenamientos, aunque la mayoría de las lesiones fueron leves, se anticipó que 10 llevaran a ausencias de más de 4 semanas, la mayoría sucedieron en competencia. Las lesiones más comunes afectaron al tobillo en un 25,9%, la rodilla un 15,2% y dedos con un 10,7%. Los esguinces articulares (32,5%) fueron más frecuentes, seguidos de distensiones musculares (14,1%) (40). A pesar de

que esta disciplina deportiva tiene menos lesiones en comparación con otros deportes, es importante la implementación de herramientas para cuantificar y desarrollar estrategias que reduzcan estas incidencias, las cuales, deberán incluir medidas preventivas y un entendimiento claro de la incidencia y etiología de las lesiones, lo que es esencial para aplicar acciones orientadas al grupo especifico de los deportistas (41).

- **Tenis de Campo:** Este deporte surgió en el siglo XIX de la mano de Harry Gem y Augurio Perera. Es una fusión de conceptos de un juego de raqueta y la pelota vasco-hispana. Actualmente es un deporte que ha alcanzado el estatus de olímpico, el cual, captura la atención de millones de deportistas y seguidores en todo el mundo. Los juegos se desarrollan tanto a nivel individual como en parejas (dobles) y pueden desarrollarse en múltiples tipos de superficies, incluyendo hierba, tierra batida y canchas duras de hormigón. Una característica notable del tenis es la falta de un tiempo de duración establecido en los juegos, los cuales, pueden alargarse durante varias horas y se estructuran en sets. Para los juegos de hombres, se compite donde el ganador es aquel que logre tres de cinco sets en torneos de Grand Slam, mientras que para los juegos femeninos, se cambia a dos de tres sets. Los cuatro torneos de Grand Slam son el Autralian Open (canchas duras), el French Open (canchas de arcilla), Wimbledon (canchas de hierba) y el US Open (canchas duras) (42).

  La técnica y la biomecánica en el tenis son esenciales para ejecución de los gestos. El saque como movimiento complejo involucra al cuerpo entero y se realiza mediante una cadena cinética que desarrolla y coordina la fuerza de manera secuencial y específica para la tarea. Una Cadena Cinética es una interacción compleja especifica de la tarea de diferentes segmentos corporales o enlaces activados secuencialmente para producir un patrón de movimiento funcional y su eficiencia permite la transferencia de energía secuencial apropiada desde los segmentos corporales proximales (tronco y miembros inferiores) a los distales (hombro, codo) con un mínimo consumo de energía, cargas articulares reducidas, velocidad optima y producción de fuerza optima durante el movimiento (43). La cadena cinética comprometida en el tenis se compone de tres elementos clave: anatomía optimizada, fisiología optimizada (que incluye flexibilidad, fuerza y activación muscular), y mecánica optimizada (con fuerzas distribuidas de manera secuencial). Esta cadena cinética implica ocho posiciones importantes como el posicionamiento adecuado de los pies, flexión de rodilla mayor a 15°, contrarotación de la cadera, lordosis

controlada, retracción escapular, un movimiento escapulohumeral armonioso, y adecuada rotación y pronación del hombro (42).

El saque es considerado el golpe más potente en el tenis y el tronco juega un papel crucial en la transferencia de energía , actuando como un vínculo mecánico entre las extremidades inferiores y superiores (44).

Dados que los juegos en el tenis no tienen un tiempo límite y pueden extenderse por horas, su epidemiologia se torna compleja. En este deporte, la exigencia aeróbica como anaeróbica es alta. Se involucra toda la cadena cinética, llevando a un alto índice de lesiones, que pueden ser crónicas debido al sobreuso o traumáticas. Las lesiones por sobreuso correspondientes al 61,4% son más comunes, afectando principalmente los miembros superiores en un 45,9%, e incluyen afectaciones como tendinopatías y epicondilitis. Las lesiones agudas por su parte afectan mayormente los miembros inferiores, incluyendo esguinces y tendinopatías (45).

A nivel histórico, los estudios de lesiones en tenis son limitados por la ausencia de consenso en la notificación de datos, consenso desarrollado en 2009, en donde se recomendó reportar lesiones cada 1000 horas de juego (46). En un estudio de Gescheit et al. se investigó la incidencia de las lesiones, la región y el costo del tratamiento incurrido por los tenistas en el US Open 2011-2016. Para este estudio, la incidencia de determino como la lesión que requirió una consulta médica durante el torneo. Durante estas temporadas se registraron un total de 773 lesiones (387 en hombres y 386 en mujeres). En comparación con los hombres, las mujeres presentaron una mayor tasa de lesiones por cada 10,000 horas de juego. Las áreas más afectadas incluían el hombro (106,8 por cada 10,000 horas de juego, con un 12,4%), la muñeca (84 con un 9,8%), el pie (80,9 con un 9,3%) y la rodilla (79,9 con un 9,3%). Para los hombres, las lesiones más comunes fueron en la rodilla (69,7 con un 12,7%), el pie (50,9 con un 9,3%), el tobillo (48,1 con un 8,8%) y el hombro (44,2 con un 8%). Las lesiones en el cuello (16), tobillo (12) y tronco/abdominal (11) tuvieron los costos de tratamiento más altos para las mujeres, mientras que para los hombres, las lesiones de columna torácica (15 en promedio por lesión), columna lumbar (13) y cuello (11) mostraron costos elevados (47). Las lesiones en el codo se concentran en epicondilitis lateral y medial, siendo la incidencia de epicondilitis lateral (codo de tenista) elevada en jugadores recreativos, estimada entre el 37% y el 57%, principalmente por la sobrecarga en golpes de fondo revés. Por otro lado, los jugadores de élite tienden a presentar más casos de epicondilitis medial debido a la carga derivada de los golpes de saque y derecha.

Además, el tenis se juega en diversas superficies, cada una con diferentes coeficientes de fricción y capacidades de absorción, lo que influye en el tipo y la frecuencia de lesiones. Las canchas duras presentan la menor absorción e implican cargas más altas debido a un menor deslizamiento, además de generar velocidades de pelota más altas, contribuyendo al riesgo de lesiones en las extremidades superiores. Según datos de la Copa Davis, el 75% de las lesiones se produjeron en canchas duras. En contraste, las canchas de tierra batida ofrecen mejor absorción y menor fricción, lo que reduce la velocidad de la pelota, aunque su menor coeficiente de fricción puede ocasionar más deslizamientos y elevar el riesgo de lesiones (42).

- **Atletismo:** Como Atletismo Olímpico incluye diferentes modalidades como los sprints que implican correr a máxima velocidad distancias de 400mts. Los esfuerzos de los atletas de esta disciplina generan esfuerzos que pueden causar lesiones musculoesqueléticas que impactan los músculos, tendones, huesos y otros tejidos, de forma aguda o por sobreuso. Estas afecciones musculoesqueléticas afectan el rendimiento deportivo como la vida cotidiana de los deportistas, lo que es importante realizar una gestión adecuada con estrategias de prevención primaria y secundaria. Los Sprints, a nivel histórico, se iniciaron en los Juegos Olímpicos Antiguos con la carrera "Stade" de 192mts, progresando después a distancias de 100yardas y, desde 1896, los 100mts oficiales. En todas las pruebas, los deportistas o corredores en carriles individuales. Los tiempos se miden desde el disparo de salida hasta el cruce de meta, y una reacción menor a 0,1s se evalúa como salida falsa que conlleva descalificación del infractor (48).

  Las exigencias tanto fisiológicas como biomecánicas en los sprints son importantes para mejorar el rendimiento y prevenir lesiones. Los sprints se dividen en cuatro fases: 1) salida desde los tacos, 2) aceleración, 3) velocidad constante y desaceleración. La salida exige integración neuromotora rápida y alcanza cerca del 30% de la velocidad máxima en menos de 0,4s. en la aceleración, la fuerza horizontal, especialmente de los extensores de cadera, es fundamental para el rendimiento (49). Durante la velocidad constante, la eficiencia en propulsión mejora gracias a eventos antes y durante el frenado, mientras que en la desaceleración el objetivo es mantener la fuerza para limitar la pérdida de velocidad. La energía proviene principalmente de sistemas anaeróbicos aláctico y láctico, sin embargo, el rendimiento depende especialmente de factores mecánicos como la fuerza, la potencia, la rigidez y la integración de fibras musculares (48).

Prevención Primaria y Secundaria

En las últimas tres décadas, se ha acumulado evidencia sobre la efectividad de las medidas preventivas para lesiones deportivas y recidivas (*definidas como una lesión del mismo tipo y en el mismo sitio que una lesión índice en el año precedente*). Sin embargo, pese a la disponibilidad de intervenciones efectivas basadas en ejercicio que reducen significativamente las lesiones (más del 40% en jóvenes atletas), la adherencia y adopción siguen siendo limitadas (50,15). Para abordar esta problemática, es esencial implementar estrategias integrales que incluyan vigilancia de lesiones, coordinación con el personal técnico, evaluaciones periódicas y programas preventivos, garantizando una participación segura y efectiva en la actividad física para maximizar beneficios de salud y rendimiento, y reducir el impacto social y económico de las lesiones (14).

Factores de Riesgo Predisponentes y Mecanismos de Lesión

Los factores que predisponen a un deportista a lesionarse incluyen aspectos anatómicos, biomecánicos, neuromusculares, ambientales, hormonales y genéticos, clasificándose en intrínsecos (propios del cuerpo) y extrínsecos (externos), y también en modificables y no modificables. Estos factores interactúan, aumentando la susceptibilidad a lesiones (51, 52). Entre los intrínsecos destacan antecedentes de lesión, edad, sexo, fuerza y control neuromuscular alterados, y características estructurales; mientras que los extrínsecos comprenden condiciones ambientales, tipo de superficie, volumen y calidad de entrenamiento, posición en el juego y uso del equipo. Sin embargo, estos no causan lesiones directamente, sino que incrementan el riesgo antes de que ocurra un evento desencadenante que junta múltiples factores como la situación de juego y la interacción con oponentes (53).

En cuanto a la prevención de lesiones deportivas, inicialmente se emplearon modelos lineales que relacionaban un factor de riesgo con la lesión, pero luego se reconoció que las lesiones resultan de una interacción compleja de múltiples factores, dando paso a modelos multifactoriales (54, 55).

Actualmente, la relación entre la carga de entrenamiento y la lesión, especialmente mediante la razón carga aguda-crónica (*carga de una semana en relación a las cuatro semanas previas*), ha ganado relevancia como factor de riesgo principal (37). Esta razón debe usarse para guiar decisiones sobre el riesgo de lesión, evitando picos de carga que pueden aumentar la fatiga y el riesgo, mientras un entrenamiento constante puede favorecer la resiliencia y protección contra lesiones (37, 56, 57, 58).

Además, esta consideración se aplica tanto a nivel individual como a la planificación del equipo, con guías específicas disponibles para monitorear la carga en diferentes deportes (59, 60, 61).

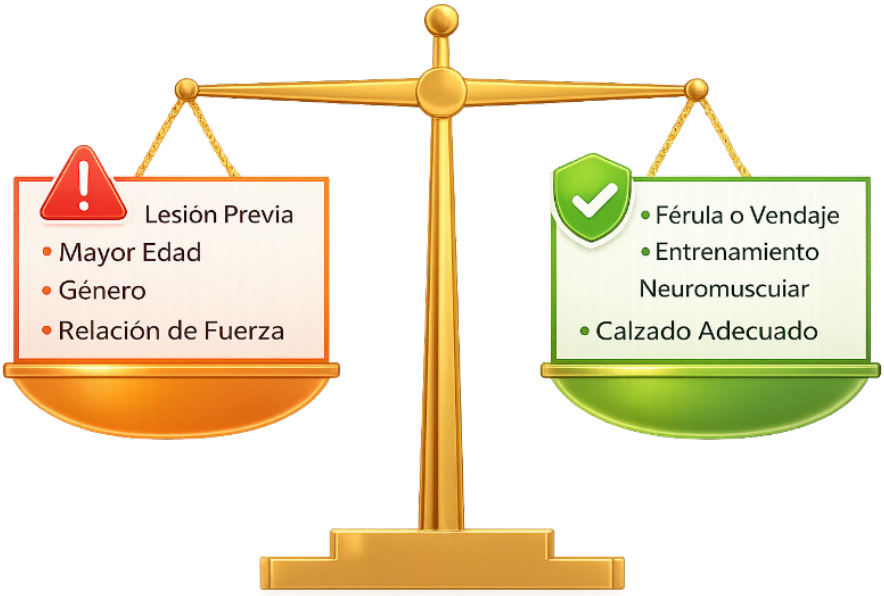
La prevención de lesiones deportivas requiere de la medición de la incidencia y gravedad de estas de manera precisa para determinar riesgos mediante matrices que involucran probabilidad y severidad, favoreciendo una gestión eficaz en el deporte. A pesar de que el deporte tiene múltiples beneficios, también trae riesgos de lesión que pueden provocar el ausentismo laboral, académico o deportivo y con ello la deserción, lo que implica una afectación de la salud sustancialmente. Por ello, el desarrollo de programas con evidencia científica, adaptados a las diferentes comunidades, que se centren en la adherencia, que consideren la relación compleja de los factores de riesgo internos y externos (14), permitirán reducir de manera importante la ocurrencia de lesiones deportivas.

Situaciones que desencadenan una lesión como una superficie con déficit en el coeficiente de fricción que afecta el agarre, un terreno blando o resbaladizo o incluso el contacto con un compañero, adversario u objetos, son el último eslabón en la cadena de la causalidad (62), donde su análisis donde se incluya las características del deportista y el entorno deportivo es fundamental para la implementación de medidas preventivas (53).

Etiología

La etiología o causa de las lesiones deportivas es compleja y está influida por múltiples factores tanto perjudiciales como protectores. Aunque los factores de riesgo intrínsecos y extrínsecos contribuyen, no explican en su totalidad su origen. Un modelo desarrollado por Meeuwisse et al. (63) y mejorado por Bahr y Krosshaug (53), plantea que un deportista con predisposición intrínseca, al exponerse a factores extrínsecos durante la práctica deportiva, incrementa su vulnerabilidad a una lesión, la cual ocurre por un mecanismo especifico en el modelo del daño (53).

Figura 5. *Factores nocivos y protectores observados en diferentes tipos de lesiones deportivas*

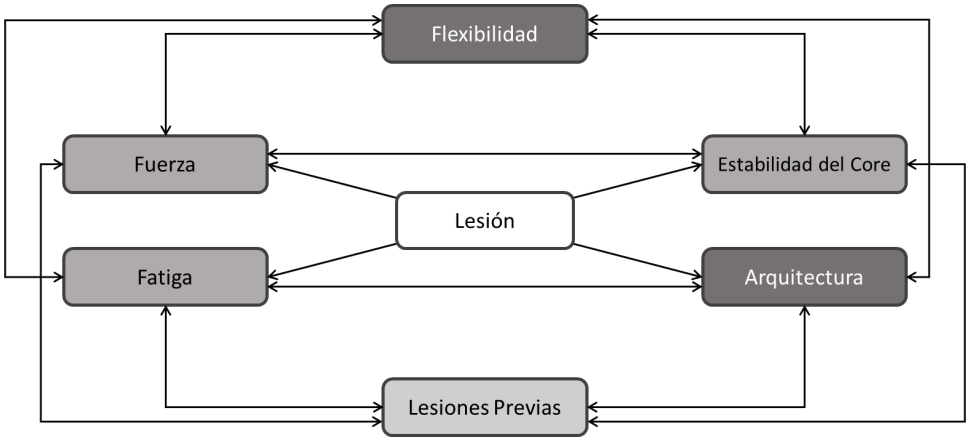


Fuente: Tomada y modificada de Sundemo et al. (64)

Este mecanismo no solo involucra movimientos biomecánicos, sino también habilidades específicas, interacciones entre jugadores y posiciones en el campo (53, 65). Por tanto, la comprensión solo de los factores de riesgo es insuficiente, siendo fundamental analizar también los mecanismos de lesión. Los mecanismos de lesión suelen ser difíciles de analizar debido a que guardar gran dependencia de las experiencias y manifestaciones subjetivas y emocionales del deportista, por lo que se sugiere la aplicación de análisis de video para una evaluación más objetiva.

Ante la diversidad de factores involucrados, la etiología de las lesiones se comprende mejor a través de modelos multifactoriales con relaciones no lineales, donde varios factores interactúan para determinar el riesgo final de lesión, sin que un único factor cause directamente la lesión (66).

Figura 6. *Enfoque multifactorial no lineal para la evaluación del riesgo de lesiones en los músculos isquiotibiales*



Fuente: Tomada y modificada de Sundemo et al. (64)

Prevención Primaria

La prevención primaria de lesiones deportivas ha evolucionado considerablemente desde el primer ensayo controlado aleatorizado realizado en 1983 a 180 jugadores de futbol, en el que se evidencio una disminución del 75% en la tasa de lesiones gracias a un programa específico (14).

Los programas multimodales actualmente incluyen ejercicios de fortalecimiento muscular, acondicionamiento, pliometría, control motor y movilidad especifica, diseñados para mejorar la salud general, prevenir lesiones y optimizar el rendimiento, adaptándose al sexo, deporte o posición, y suelen reemplazar el calentamiento tradicional para facilitar su cumplimiento (67,68).

Estos programas basados en ejercicios han demostrado disminuir la incidencia y severidad de lesiones en miembros superiores e inferiores en las diferentes disciplinas deportivas, mejorando características neuromusculares como el equilibrio, la estabilidad, la fuerza y la velocidad (69). La combinación adecuada de elementos de entrenamiento en los programas multimodales aún no se ha definido con claridad. Es por ello por lo que los programas de prevención de lesiones como el FIFA11+, PEP, IPEP y el Programa de prevención de Lesiones de hombro (OSTRC por sus siglas en ingles), pueden ser mejorados

de forma abierta, incorporando uno o más ejercicios o componentes basados en evidencia científica. Para dar un ejemplo a lo anterior, Harøy et al. propusieron añadir el Programa de Fortalecimiento de Aductores al programa multimodal FIFA11+ para respetar el principio de especificidad del ejercicio, dado que este enfoque mejora la fuerza excéntrica de los aductores y disminuye en un 41% la probabilidad de presentar problemas en la ingle entre futbolistas, gracias al ejercicio Copenhagen Adduction (70).

Programa de Entrenamiento Neuromuscular FIFA 11+

El Programa de Entrenamiento Neuromuscular FIFA 11+, el cual fue desarrollado por el Centro de Evaluación e Investigación Médica de la FIFA en colaboración con el OSTRC y la Fundación de Medicina Deportiva de Santa Mónica (SMSMF por sus siglas en ingles), se caracteriza por incluir 15 ejercicios estructurados que incluyen estabilización del Core, entrenamiento excéntrico de los músculos del muslo, entrenamiento propioceptivo, estabilización dinámica y ejercicios pliométricos, los cuales se realizan con énfasis en la alineación postural. El FIFA 11+ ha demostrado una reducción del 39% de las lesiones de futbol en jugadores de ambos sexos, adolescentes y adultos (71).

Programa de Prevención de Lesiones y Mejora del Rendimiento (PEP)

Hacia el año 2000, la SMSMF implemento el Programa de Prevención de Lesiones y Mejora del Rendimiento (PEP), el cual se enfoca en mejorar las técnicas adecuadas de aterrizaje, corte y desaceleración. Este programa tiene una duración de 20 minutos y puede reemplazar el calentamiento convencional. Se ha demostrado reducciones del 88% en las lesiones de LCA en jugadoras juveniles de futbol americano competitivo; así mismo, disminución del 50% en las lesiones agudas de rodilla o tobillo, con una reducción mayor en lesiones graves, en grupos de balonmano femenino (14). Las intervenciones anteriores se basaron en un programa estructurado de calentamiento diseñado para optimizar la técnica de carrera, cortes y aterrizajes, además de mejorar el control neuromuscular, el equilibrio y la fuerza (14).

Programa de Ejercicios para la prevención de Lesiones de Rodilla (IPEP)

En Suecia, el Programa de Ejercicios para la prevención de Lesiones de Rodilla (IPEP), fue creado por la Asociación sueca de Futbol hacia el año 2008, junto con la compañía de Seguros Folksam, con la intención de reducir la frecuencia

de lesiones graves de rodilla. Este programa incluye seis ejercicios principales enfocados en el control neuromuscular, técnicas de aterrizaje y corte, fortalecimiento del Core y de las extremidades inferiores así como la correcta alineación de los miembros inferiores. Cada ejercicio dispone de cuatro niveles de progresión y el programa completo se realiza en aproximadamente 15 minutos (14). Un Ensayo Clínico Aleatorizado de gran escala, el cual, fue el mayor ensayo realizado en prevención de lesiones deportivas, analizo a 230 clubes y a sus 4564 jugadores. Los resultados mostraron una reducción del 64% en la incidencia de lesiones del LCA en el grupo que siguió la intervención, además de una disminución del 82% en lesiones graves de rodilla y un descenso del 47% en cualquier tipo de lesión aguda en la rodilla. La adherencia al programa fue un factor importante para obtener estos resultados (72).

Como ejemplo de prevención de lesiones deportivas, a continuación, relacionamos evidencia sobre la prevención de lesiones musculares. Se toma de base el modelo clásico de cuatro pasos como base de la investigación en prevención de lesiones deportivas dentro de un marco lineal.

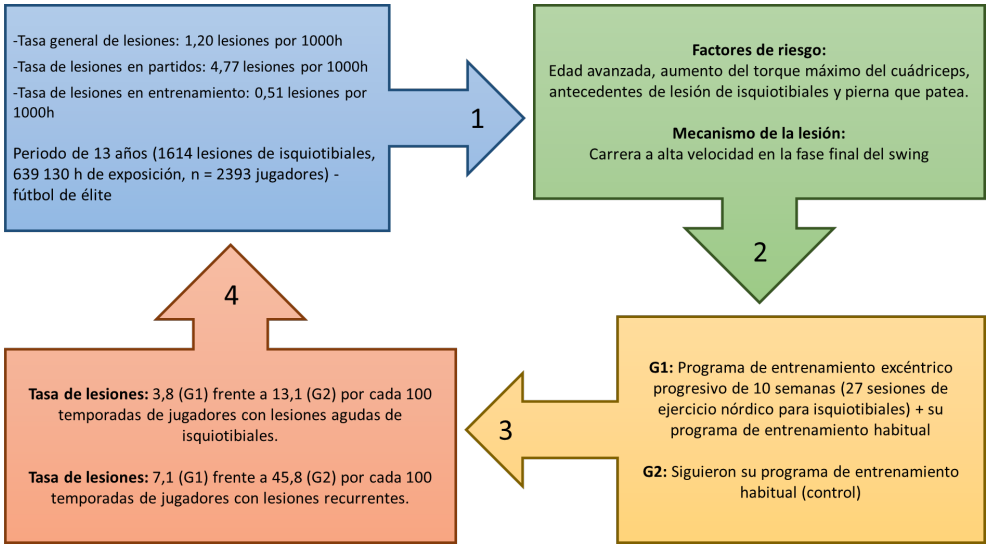
Las lesiones musculares representan más del 30% de las lesiones que generan pérdida de tiempo y de participación en el futbol profesional en Europa, siendo los isquiotibiales los más afectados con un 12% del total de los reportes (73). En un equipo de 25 juradores, se esperan aproximadamente de 5 a 6 lesiones de isquiotibiales por temporada, con una carga de lesión media de casi 20 días por cada 1000 horas de exposición (73, 74), lo que genera un alto impacto económico, alrededor de 500,000 € por mes lesionado de un jugador que es titular (75). Desde el año 2001, la incidencia y carga de estas lesiones ha ido en aumento (74), y las recaídas son más frecuentes en el bíceps femoral (76).

Existe evidencia que vincula la edad avanzada, un mayor pico de torque en el cuádriceps, antecedentes de lesiones previas en los isquiotibiales y la pierna utilizada para golpear con un aumento del riesgo de sufrir distensiones en los isquiotibiales durante la práctica deportiva (77), al igual que un trauma inicial mayor, lesiones grado 1 y reconstrucción previa de LCA (14). Las lesiones musculares directas causadas por un traumatismo externo no son prevenibles, mientras que las indirectas, especialmente las ocurridas en fases de alta velocidad al correr, pueden clasificarse en funcionales o estructurales y tienen mecanismos característicos como el tipo de sprint o estiramiento (78, 79).

Aunque el ejercicio nórdico reduce el riesgo de lesiones en isquiotibiales en un 59% y presenta muy buena adherencia en el fútbol amateur, su uso en fútbol profesional aún es limitado y no actúa directamente sobre el principal

mecanismo de lesión que es la carrera de alta velocidad (80, 81). Ante esto, es recomendable complementar esta prevención con ejercicios para mejorar la estabilidad del Core y la pelvis, que ayudan a reducir la rigidez de los isquiotibiales y a mantener la estabilidad pélvica, dado que la rigidez en los flexores de cadera provoca una inhibición recíproca del glúteo mayor y un predominio sinérgico de los isquiotibiales. Asimismo, al trabajar con jugadores que realizan un volumen elevado de carreras a alta velocidad es esencial garantizar un adecuado balance entre la carga aguda y crónica de trabajo, controlar la fatiga, que suele deberse a una recuperación insuficiente, y evitar picos bruscos en la carga para prevenir estas lesiones (82, 83).

Figura 7. *Modelo de prevención de lesiones en cuatro etapas aplicado a las lesiones de isquiotibiales*



Nota. (1) establecer el alcance del problema de la lesión deportiva; (2) establecer la etiología y el mecanismo de la lesión; (3) introducir medidas preventivas; (4) evaluar su eficacia repitiendo el paso 1.

Fuente: Tomada y modificada de Pereira et al. (14)

Prevención Secundaria

Este tipo de prevención es fundamental ante las situaciones donde los deportistas rehabilitados y recuperados, presentan un riesgo alto de una nueva lesión en comparación con los deportistas no lesionados. Los deportistas jóvenes que regresan al deporte posterior a una Reconstrucción de LCA, presentan entre 30

y 40 veces más probabilidades de sufrir una nueva lesión de LCA (84), la cual suele ser más grave (85).

El manejo basado en la evidencia durante un proceso de rehabilitación, el retorno al deporte y la prevención secundaria deben ser prioritarios para optimizar la salud, el rendimiento y aspectos económicos. La rehabilitación debe ser progresiva y basada en criterios válidos como los aspectos cronobiológicos, funcionales y psicosociales, que aseguren el regreso a la actividad; no cumplir con estos criterios cuadriplica el riesgo de relesión (86). Es esencial considerar distintos factores como la cicatrización del tejido, control del dolor, restauración cinemática y cinética, y acondicionamiento especifico (87). Adicionalmente, factores externos como la carga de entrenamiento y la congestión de partidos pueden incrementar el riesgo de recaída. Por esa razón, la vigilancia continua de riesgos y déficits es clave para evitar nuevas lesiones (14).

Factores como autoconfianza, bajo rendimiento en pruebas funcionales, alteraciones neuromusculares y déficits de estabilidad postural pueden demandar rehabilitación extendida para minimizar riesgos (88). En este contexto, la integración de la neurociencia con técnicas avanzadas como la realimentación visual, la realidad virtual y optimización verbal, ha demostrado potencial para mejorar el control motor y reducir déficits persistentes incluso después de dos años postoperatorios (89, 90, 16).

Por último, el seguir las reglas simples de la toma de decisiones para el retorno al deporte ha demostrado reducir un riesgo de recaída hasta en un 84% (87), aunque siempre existirá la cuestión de cuál es la adecuada implementación de las buenas prácticas.

Programas de Prevención de Lesiones

La fisioterapia deportiva tiene diferentes objetivos desde su misión profesional, uno de los principales horizontes está direccionado a reducir el riesgo de presencia de lesiones, lo cual se logra mediante la aplicación de programas de prevención que fortalezcan los componentes neuromusculares y motores esenciales para el rendimiento óptimo del deportista (91).

El deporte de alto rendimiento tiene un conjunto de habilidades y capacidades físicas propias de cada disciplina y supone la exposición de los deportistas a continuos requerimientos y exigencias físicas, técnicas, tácticas, psicológicas y fisiológicas (92), lo que exige que el programa de prevención de lesiones tenga su punto de partida en comprender a fondo los requerimientos del deporte y la condición física de cada deportista (93).

Figura 8. *Base del programa*



Del Entrenamiento Especifico a la Prevención de Lesiones

Más allá de la preparación física general, se ha demostrado que el **entrenamiento específico de las habilidades motoras** desempeña un papel crucial en este aspecto. Este tipo de entrenamiento induce **adaptaciones a nivel mecánico y neuromuscular**, lo que no solo incrementa el **estado físico** del jugador, sino que también lo protege de **lesiones musculares (91).**

Fuerza

Cuando se habla de entrenamiento de fuerza, no es sinónimo de levantar pesas o entrenar para tener músculos hipertrofiados, se trata de entrenar para desarrollar un escudo que proteja el cuerpo del deportista. En las diferentes disciplinas deportivas el trabajo de fuerza mejora la función física y neuromuscular, se genera una mayor resistencia a la fatiga y mejora la técnica junto con la toma de decisiones del deporte a practicar (94). Teniendo en cuenta que los músculos son estabilizadores dinámicos de una articulación, el trabajo de fortalecimiento ayudará a que se produzca una distribución uniforme de fuerzas, lo cual será punto clave en el aumento de la estabilidad articular (95), en este mismo sentido muchas lesiones deportivas tienen su origen en un desequilibrio muscular, es por esto que el trabajo de fortalecimiento actúa directamente a que la relación agonista – antagonista sea equilibrada y así reducir la incidencia de problemas musculoesqueléticos (96).

Figura 9. *Fuerza y Prevención*



Fuente: Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [Copilot].

Movilidad Articular y Flexibilidad

Es frecuente ver que, en muchos casos, se subestiman dos componentes que son cruciales en la prevención de lesiones. La movilidad articular en el ámbito deportivo se refiere a la capacidad que tiene el deportista para ejecutar movimientos a través de su rango de movimiento completo de forma estable y coordinada haciendo énfasis en el control de movimiento (97). Dentro del entrenamiento deportivo se debería incorporar diariamente la rutina de movilidad articular ya que se ha demostrado que es beneficiosos en la prevención de lesiones deportivas (98). También se ha demostrado que a mayor flexibilidad menor riesgo de lesiones debido a que genera adaptaciones a nivel muscular, lo cual permite que se desarrolle una adecuada relación entre la capacidad de elongación del músculo en acciones de cargas máximas (91).

Propiocepción

El entrenamiento propioceptivo es absolutamente esencial y no puede pasarse por alto en el desarrollo del deportista. Su importancia radica en que mejora y **potencia las capacidades motrices (99),** esto se debe a la activación de los propioceptores mediante la repetición de patrones de movimiento del gesto deportivo. Con el tiempo, este entrenamiento genera **adaptaciones en el sistema neuromuscular**, lo que permite que los movimientos se den de una manera automática. Esto es de vital importancia para mantener una **postura corporal estable** en las diferentes situaciones de riesgo que enfrenta el

deportista. En conclusión, una fuerte capacidad de estabilización se convierte en la mejor defensa contra las lesiones deportivas (100).

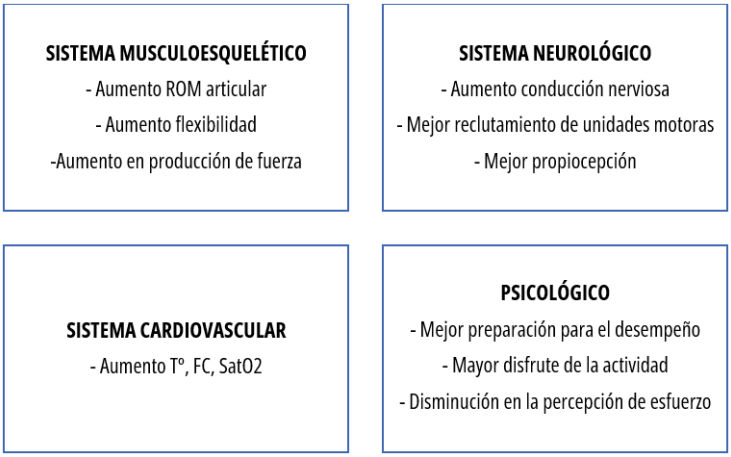
Pliometría

Dentro de las estrategias de prevención de lesiones encontramos el entrenamiento pliométrico, donde su característica principal es emplear el ciclo estiramiento-acortamiento del músculo (101). Con este entrenamiento se busca generar movimientos rápidos y dirigidos impactando considerablemente en las funciones neuronales del sistema nervioso, donde las adaptaciones y las respuestas neuronales, están influenciadas por la capacidad del sistema nervioso para activar adecuadamente los músculos, y así influir positivamente en la prevención de lesiones (102).

El Poder del Calentamiento en la Prevención de Lesiones

Un **calentamiento** efectivo implica realizar movimientos articulares activos que son específicos para el deporte que se va a practicar. Para lograr un enfoque integral en el calentamiento, se debe combinar ejercicios que involucren el mejorar rango de movimiento activo, que brinden una activación muscular completa, que se trabaje fortalecimiento funcional junto con la agilidad y el componente pliométrico, sin dejar a un lado estabilidad del tronco y el control del equilibrio (103,104). Se ha comprobado que el calentamiento dinámico ofrece beneficios fisiológicos significativos en varios sistemas del cuerpo, incluyendo el musculoesquelético, neurológico, cardiovascular y psicológico, los cuales se han relacionado positivamente en la prevención de lesiones deportivas.

Figura 10. *Beneficios Fisiológicos*



Un calentamiento eficaz se divide en 4 aspectos fundamentales descritas en la siguiente tabla:

Tabla 2. *Componentes clave de una rutina de calentamiento dinámico eficaz*

Actividad	Descripción
Activación cardiovascular	Actividades como trotar, saltar o levantar las rodillas aumentan la frecuencia cardíaca y la circulación, preparando el sistema cardiovascular para el ejercicio
Estiramiento dinámico	Movimientos como balanceos de piernas, círculos con los brazos y estocadas caminando promueven la flexibilidad y la movilidad de las articulaciones sin las sujeciones estáticas prolongadas que pueden reducir la potencia muscular.
Movimientos específicos del deporte	La incorporación de movimientos específicos de la actividad o deporte ayuda a los atletas a prepararse mental y físicamente para las exigencias que enfrentarán.
Intensidad progresiva	Aumentar gradualmente la intensidad de los movimientos durante el calentamiento prepara el cuerpo para mayores niveles de esfuerzo, reduciendo el riesgo de tensión repentina.

Fuente: Sople (105)

Regreso al Deporte

La decisión para el retorno a la competencia es desafiante porque depende de varios factores y participantes involucrados, como los médicos deportivos, los fisioterapeutas, los deportistas, los entrenadores y los familiares (106). La adecuada comunicación e integración de todas las perspectivas de los participantes, unidas con la autoeficacia del deportista, son fundamentales para un resultado exitoso, aunque esto puede ser difícil y generar desacuerdos.

Los profesionales de salud con formación especializada en deporte deben basar su quehacer en aspectos como el historial y tipo de lesión, rehabilitación, estado psicológico y nivel competitivo del deportista.

El retorno a la competencia puede ser complejo debido a las diversas circunstancias involucradas. Es por eso por lo que es importante considerar las expectativas del deportista al reintegrarse al entrenamiento y a la competencia, las cuales incluyen (107):

a) Ausencia de dolor

b) Recuperación del rango de movimiento normal

c) Recuperación de los movimientos específicos del deporte

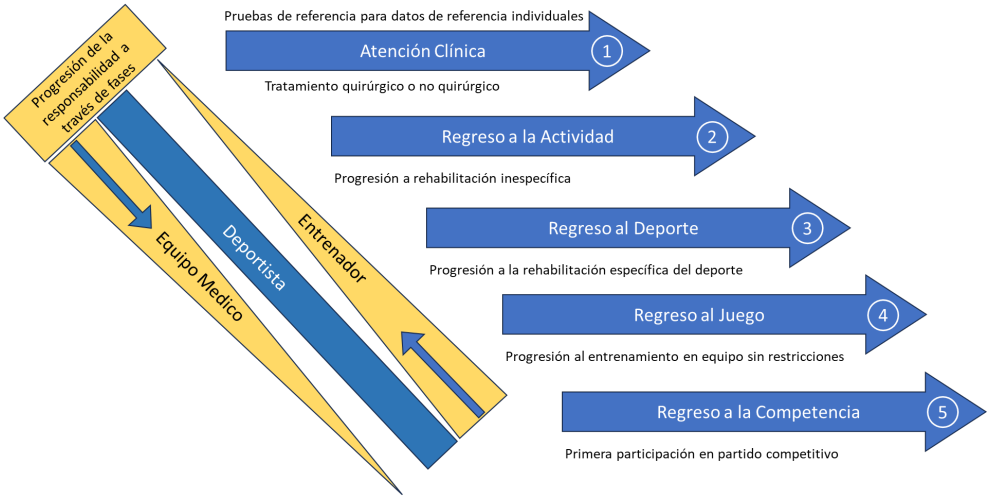
d) Restauración de la fuerza y potencia a niveles cercanos previo a la lesión

e) Resistencia metabólica y neuromuscular frente a la fatiga durante actividades de alta intensidad

f) Autoconfianza y competitividad en la ejecución técnica de las habilidades deportivas

Es claro que no existe un proceso o protocolo único para el retorno a la competencia que se aplique a todo tipo de lesión; no obstante, existen cinco hitos que son clave para que los deportistas experimenten durante un proceso ideal de rehabilitación. Estos hitos representan transiciones entre fases, basadas en mejoras significativas en rendimiento y habilidades específicas, sustentadas en criterios objetivos (107). Estos hitos permitirán a los profesionales realizar un proceso de supervisión y ajuste de manera segura en la rehabilitación, dando prioridad a factores según el tipo y gravedad de la lesión, mediante un ejercicio coordinado que respete las competencias profesionales de cada integrante del equipo médico (108).

Figura 11. *Hitos del proceso de Retorno a la Competencia y la recopilación de responsabilidades del Equipo Médico y el Deportista*



Fuente: Tomada y modificada de Rebelo-Marques et al. (107)

Retorno a la Actividad

Este es el paso hacia la rehabilitación no especifica, lo que incluye una transición desde la atención clínica hacia el entrenamiento general, lo que representa el primer hito. El medico Deportivo debe evaluar al deportista para determinar si está listo para iniciar esta fase, que se enfoca en el control de los síntomas, recuperar la movilidad sin dolor, estabilidad y el control normal del movimiento. En esta fase, es importante conocer y respetar los tiempos biológicos de curación para no forzar un avance prematuro en el proceso (107).

Retorno al Deporte

Representa una fase importante donde el deportista inicia la rehabilitación especifica de la disciplina deportiva y el entrenamiento competitivo personalizado, una vez alcanzado previamente los requisitos clínicos y funcionales básicos (107). Para cada tipo de lesión, se debe identificar y respetar los siguientes puntos (109):

a) Identificación de una serie de pruebas clínicas específicas para el tipo de lesión.

b) Identificación de un conjunto de pruebas de laboratorio específicas para el déficit funcional que puede causar el tipo de lesión.

c) Identificación de un conjunto de pruebas de campo específicas para el déficit funcional que pueda causar el tipo de lesión. Los primeros puntos deben analizarse mediante un juicio cuidadoso basado en la evaluación clínica y el análisis de imágenes diagnósticas.

Retorno al Juego

Implica avanzar desde un entrenamiento individualizado y limitado hacia una participación completa y sin restricciones en las sesiones de equipo y precompetencia. Esta fase es delicada, debido a que el deportista busca regresar rápido, mientras que el equipo médico prioriza evitar nuevas lesiones. Posterior a evaluar mediante diversas pruebas, una decisión colectiva multidisciplinaria debe tomar lugar, siendo el médico del equipo quien finalmente autoriza la participación total en el entrenamiento competitivo (107). El proceso de toma de decisiones para el retorno al juego se centra más en evaluar la funcionalidad y capacidad de rendimiento del deportista, en lugar de solo su idoneidad clínico-funcional (109).

Retorno a la Competencia

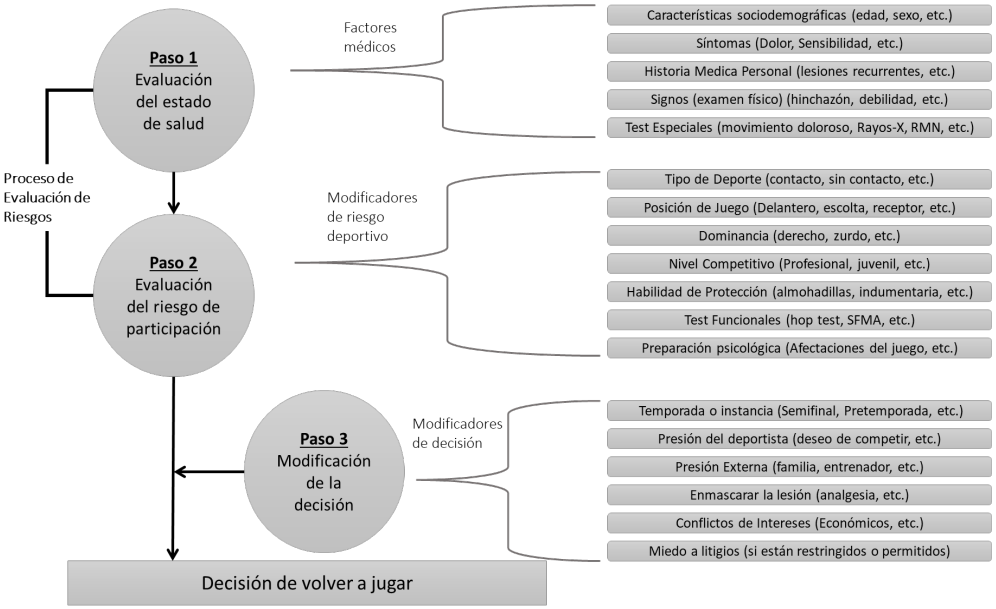
Representa la primera participación del deportista en un evento competitivo, siendo el objetivo final del proceso de rehabilitación. Como las anteriores fases, este proceso de reintegración requiere consenso entre el equipo médico

multidisciplinario y el deportista para garantizar una incorporación segura. Sin embargo, el tiempo entre el Visto Bueno del equipo médico y la primera convocatoria y a su vez su participación competitiva, dependerá exclusivamente del director técnico o entrenador principal (109).

Marco de Evaluación Estratégica del Riesgo y Tolerancia al Riesgo (StARRT

El marco de Evaluación Estratégica del Riesgo y Tolerancia al Riesgo (StARRT por sus siglas en ingles), desarrollado inicialmente en 2010 y mejorado en 2015 por Shrier et al (110), es un modelo teórico de tres pasos diseñado para apoyar las decisiones del Retorno al Juego (RTP por sus siglas en inglés) o Retorno al Deporte (RTS por sus siglas en ingles) en deportistas (107).

Figura 12. *Modelo RTP basado en decisiones*



Nota. Este modelo clasifica los factores que influyen en el retorno al juego (RTP) según el origen sociológico de la información, como la cultura médica, la cultura deportiva y los modificadores personales en la toma de decisiones. Los dos primeros pasos se enfocan en evaluar el riesgo, mientras que la decisión de RTP se fundamenta en cómo este riesgo interactúa con otros elementos que impactan el bienestar global del paciente, denominados modificadores de decisión.

Fuente: *Tomada y modificada de Shrier* (110)

Este modelo aborda las limitaciones de versiones anteriores al organizar la información disponible en factores clave que determinan el riesgo de participación y la tolerancia al riesgo para una toma de decisiones más consistente y contextualizada (111).

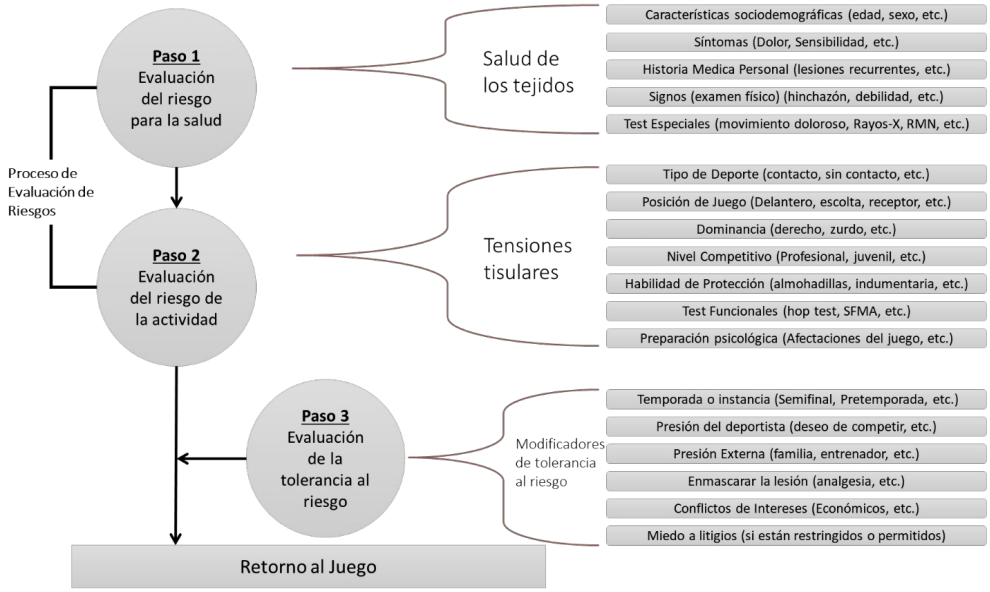
El **Paso 1 (Salud del Tejido).** Consiste en evaluar la capacidad del tejido para absorber estrés sin sufrir daño, es decir, su salud funcional. Esta evaluación generalmente se realiza mediante la presencia o ausencia de síntomas como dolor o inflamación. Cuando no se dispone de indicadores claros de la salud del tejido, se recurre al conocimiento basado en ciencias básicas sobre el proceso de curación, que, aunque no sea la evidencia más sólida, representa la mejor guía disponible para el equipo médico (112, 110, 107, 109).

El **Paso 2 (Estrés del Tejido).** Un tejido lesionado sometido a estrés mínimo continuará su recuperación, pero si el estrés supera la capacidad de absorción del tejido, se producirá una nueva lesión o relesión. Este estrés está relacionado a la actividad planeada y puede aplicarse mediante el principio FITT (Frecuencia, Intensidad, Tiempo y Tipo), considerando aspectos específicos del deporte, posición y estilo, ya que estos influyen en la carga biomecánica que se impone al tejido. Por ejemplo, las posiciones de juego en un deporte determinan un rol y este rol exigen más habilidades como los sprints y desaceleraciones que otros roles. La modificación de la actividad o del estrés, puede disminuir el riesgo de lesión. Adicionalmente, la preparación psicológica y la capacidad funcional afectan cómo el deportista enfrenta la actividad, influyendo en las cargas aplicadas al cuerpo. Este paso es importante para un retorno seguro y efectivo, al considerar no solo la lesión sino también el tipo y nivel de actividad deportiva específica a la que se integra el deportista (112, 110, 107, 109).

El **Paso 3 (Modificadores de Tolerancia al Riesgo).** Su propósito es establecer el umbral que el profesional considera aceptable para dicho riesgo, identificar los factores que influyen en este umbral y entender por qué dos deportistas con igual evaluación de riesgo pueden recibir decisiones de Retorno al Juego diferentes. El riesgo de una nueva lesión o relesión es solo uno de los múltiples aspectos que afectan la salud y el bienestar general del deportista. Por ejemplo, la tolerancia al riesgo será diferente para un adolescente de 15 años que practica atletismo escolar en comparación con un deportista que se prepara para una competencia olímpica. Este paso es importante para garantizar la transparencia en el proceso de Regreso al Deporte, debido a que ante el mismo riesgo absoluto, distintos profesionales o deportistas pueden mostrar diferente tolerancia, lo que conduce a decisiones diversas. El modelo Biopsicosocial reconoce que factores más allá del riesgo físico como los psicológicos y contextuales, influyen en la decisión.

Realmente, factores como el deseo de competir, el impacto psicológico de la inactividad, la pérdida de posición competitiva, posibles pérdidas financieras, el momento de la temporada, el nivel competitivo y el temor a litigios han sido considerados decisivos por profesionales del equipo médico y no clínicos en diversas investigaciones, y ambos grupos han valorado estos aspectos de forma similar. El modelo StARRT busca organizar la información recopilada en los dos primeros pasos para llegar a una decisión basada en si la evaluación del riesgo supera la tolerancia establecida. Adicionalmente, busca crear consciencia sobre los factores que modifican dicha tolerancia, reflejando valores individuales y sociales relacionados con el bienestar del deportista (112, 110, 107, 109).

Figura 13. *Marco StARRT*



Nota. El modelo de Evaluación Estratégica del Riesgo y Tolerancia al Riesgo (StARRT) para las decisiones de retorno al juego (RTP) establece que los pacientes deberían ser autorizados a regresar al juego cuando la evaluación del riesgo (pasos 1 y 2) se encuentra por debajo del nivel de tolerancia al riesgo aceptable (paso 3), mientras que no deberían regresar si dicha evaluación supera ese umbral. A diferencia del modelo de tres pasos que clasifica los factores según su origen sociológico, el marco StARRT organiza los factores conforme a sus relaciones causales con los dos elementos que constituyen la evaluación del riesgo (la salud del tejido y las tensiones aplicadas al mismo) y con la tolerancia al riesgo. En ciertas situaciones, un mismo factor puede incidir en más de un aspecto y por ello aparece en diferentes categorías. Por ejemplo, la participación en playoff

incrementa la intensidad competitiva, lo que eleva las tensiones sobre el tejido y, por ende, el riesgo. Al mismo tiempo, esta circunstancia puede influir en la motivación del atleta (estado de ánimo, posible riesgo de depresión) y también impactar sus beneficios económicos, factores que aumentarían la tolerancia al riesgo. Dentro de este esquema, cada posible resultado de RTP es evaluado y la decisión final se basa en la actividad que implique la restricción más severa entre todos los resultados considerados. *Fuente: Tomada y modificada de Shrier* (110)

Conclusiones

La prevención de lesiones deportivas es un desafío multifacético que requiere la implementación de modelos específicos y adaptados a las particularidades de cada disciplina deportiva y contexto competitivo. Contar con un modelo integral de prevención permite no solo identificar y mitigar factores de riesgo, sino también comprender en profundidad los mecanismos que generan las lesiones deportivas, lo cual es fundamental para diseñar intervenciones efectivas y personalizadas que contribuyan a la salud y el rendimiento óptimo del deportista.

Es fundamental que el equipo médico multidisciplinario encargado de la prevención y tratamiento de lesiones esté conformado por profesionales con conocimientos amplios y especializados en las diversas áreas relacionadas con el deporte. La coordinación entre fisioterapeutas deportivos, médicos especialistas, preparadores físicos, psicólogos y otros profesionales afines facilita una atención integral y adecuada a las necesidades específicas de cada atleta.

Asimismo, la formación posgradual y la actualización constante en avances científicos y buenas prácticas son elementos clave para fortalecer la capacidad del equipo multidisciplinario. La aplicación de intervenciones basadas en evidencia y la adopción de protocolos validados aumentan la eficacia de los programas de prevención y mejoran la calidad del retorno al deporte, minimizando el riesgo de recaídas.

En síntesis, un enfoque multidisciplinario sustentado en el conocimiento riguroso, la formación continua y la aplicación de modelos prácticos y adaptados representa la base para la prevención efectiva de lesiones deportivas. Este enfoque favorece no solo la protección de la salud de los deportistas, sino también su desarrollo sostenido y desempeño competitivo.

Referencias

1. Li L, Wei Y, Xiang S. Infrared thermal image monitoring based on artificial intelligence application in the prevention of sports injuries in aerobics: Computational thermal modeling. Thermal Science and Engineering Progress. 2025; Vol. 57: doi: 10.1016/j.tsep.2024.103126
2. Delfino Barboza S, Rössler R, Verhagen E. Considerations and Interpretation of Sports Injury Prevention Studies. Clin Sports Med. 2018 Jul;37 (3):413-425. doi: 10.1016/j.csm.2018.03.006
3. Mendonça LD, Ley C, Schuermans J, Wezenbeek E, Ifspt, Witvrouw E. How injury prevention programs are being structured and implemented worldwide: An international survey of sports physical therapists. Phys Ther Sport. 2022 Jan;53:143-150. doi: 10.1016/j.ptsp.2021.06.002
4. Emery. C, Pasanen. K. Current trends in sport injury prevention. Best Practice & Research Clinical Rheumatology Vol. 33 (1); 2019 , pág. 3-15
5. Mendonça LM, Schuermans J, Denolf S, Napier C, Bittencourt NFN, Romanuk A, Tak I, Thorborg K, Bizzini M, Ramponi C, Paterson C, Hägglund M, Malisoux L, Al Attar WSA, Samukawa M, Esteve E, Bakare U, Constantinou M, Schneiders A, Cavallieri Gomes A, Florentz D, Ozer Kaya D, Indra Lesmana S, Harøy J, Kuparinen V, Philips N, Jenkins W, Wezenbeek E, Witvrouw E. Sports injury prevention programmes from the sports physical therapist's perspective: An international expert Delphi approach. Phys Ther Sport. 2022 May;55:146-154. doi: 10.1016/j.ptsp.2022.04.002
6. Ekegren CL, Donaldson A, Gabbe BJ, Finch CF. Implementing injury surveillance systems alongside injury prevention programs: evaluation of an online surveillance system in a community setting. Inj Epidemiol. 2014;1 (1):19. doi: 10.1186/s40621-014-0019-y
7. Dallinga JM, Benjaminse A, Lemmink KA. Which screening tools can predict injury to the lower extremities in team sports?: a systematic review. Sports Med. 2012 Sep 1;42 (9):791-815. doi: 10.1007/BF03262295
8. Finch C. A new framework for research leading to sports injury prevention. J Sci Med Sport. 2006 May;9 (1-2):3-9; discussion 10. doi: 10.1016/j.jsams.2006.02.009

9. Padua DA, Frank B, Donaldson A, de la Motte S, Cameron KL, Beutler AI, DiStefano LJ, Marshall SW. Seven steps for developing and implementing a preventive training program: lessons learned from JUMP-ACL and beyond. Clin Sports Med. 2014 Oct;33 (4):615-32. doi: 10.1016/j.csm.2014.06.012

10. van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. Sports Med. 1992 Aug;14 (2):82-99. doi: 10.2165/00007256-199214020-00002

11. O´Brien J, Finch C, Pruna R, McCall A. A new model for injury prevention in team sports: the Team-sport Injury Prevention (TIP) cycle. Science and Medicine in Football, 3 (1), 77–80. https://doi.org/10.1080/24733938.2018.1512752

12. Glasgow RE, Vogt TM, Boles SM. Evaluating the public health impact of health promotion interventions: the RE-AIM framework. Am J Public Health. 1999 Sep;89 (9):1322-7. doi: 10.2105/ajph.89.9.1322

13. Corey J, Finch C. Sports Injuries. En: Quah S, Cockerham W. The International Encyclopedia of Public Health. 2nd Edition. Edit. Elsevier. 2017 pag. 79-86

14. Pereira R, Andrade R, Rebelo-Marques A, Espregueira-Mendes J. Sport Injury Primary and Secondary Prevention. En: Piedade S, Imhoff A, Clatworthy M, Cohen M, Espregueira-Mendes J. The Sports Medicine Physician. Edit. Springer. 2019. pag. 121-147

15. Hanson DW, Finch CF, Allegrante JP, Sleet D. Closing the gap between injury prevention research and community safety promotion practice: revisiting the public health model. Public Health Rep. 2012 Mar-Apr;127 (2):147-55. doi: 10.1177/003335491212700203

16. Gokeler A, Benjaminse A, Seil R, Kerkhoffs G, Verhagen E. Using principles of motor learning to enhance ACL injury prevention programs. Sports Orthopaed Traumatol. 2018;34:23–30. doi: https://doi.org/10.1016/j.orthtr.2017.12.006

17. Verhagen E, Van Stralen M, Van Mechelen W. Behaviour, the Key Factor for Sports Injury Prevention. Sports Med. 2010; Vol. 40 (11) 899 – 906

18. Breitenstein SM, Gross D, Garvey CA, Hill C, Fogg L, Resnick B. Implementation fidelity in community-based interventions. Res Nurs Health. 2010 Apr;33 (2):164-73. doi: 10.1002/nur.20373

19. Verhagen EA, Hupperets MD, Finch CF, van Mechelen W. The impact of adherence on sports injury prevention effect estimates in randomised controlled trials: looking beyond the CONSORT statement. J Sci Med Sport. 2011 Jul;14 (4):287-92. doi: 10.1016/j.jsams.2011.02.007

20. McKay CD, Verhagen E. 'Compliance' versus 'adherence' in sport injury prevention: why definition matters. Br J Sports Med. 2016 Apr;50 (7):382-3. doi: 10.1136/bjsports-2015-095192

21. Lutfey KE, Wishner WJ. Beyond "compliance" is "adherence". Improving the prospect of diabetes care. Diabetes Care. 1999 Apr;22 (4):635-9. doi: 10.2337/diacare.22.4.635

22. Vrijens B, De Geest S, Hughes DA, Przemyslaw K, Demonceau J, Ruppar T, Dobbels F, Fargher E, Morrison V, Lewek P, Matyjaszczyk M, Mshelia C, Clyne W, Aronson JK, Urquhart J; ABC Project Team. A new taxonomy for describing and defining adherence to medications. Br J Clin Pharmacol. 2012 May;73 (5):691-705. doi: 10.1111/j.1365-2125.2012.04167.x

23. Mitchell R, Finch C, Boufous S. Counting organised sport injury cases: evidence of incomplete capture from routine hospital collections. J Sci Med Sport. 2010 May;13 (3):304-8. doi: 10.1016/j.jsams.2009.04.003

24. Pujals C, Rubio. V, Márquez. O, Sánchez . I, Ruiz-Barquin. R. Comparative sport injury epidemiological study on a Spanish sample of 25 different sports. Revista de Psicología del Deporte 2016. Vol. 25, núm. 2, pp. 271-279

25. Bahr R, Clarsen B, Derman W, Dvorak J, Emery C, Finch C Hagglund M, Junge A, Kemp S, Et al. International Olympic Committee consensus statement: methods for recording and reporting of epidemiological data on injury and illness in sport 2020 (including STROBE Extension for Sport Injury and Illness Surveillance (STROBE- SIIS). Br J Sports Med 2020;54:372–389.

26. Orchard J, Newman D, Stretch R, Frost W, Mansingh A, Leipus A. Methods for injury surveillance in international cricket. J Sci Med Sport. 2005 Mar;8 (1):1-14. doi: 10.1016/s1440-2440 (05)80019-2

27. Fuller CW, Ekstrand J, Junge A, Andersen TE, Bahr R, Dvorak J, Hägglund M, McCrory P, Meeuwisse WH. Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. Br J Sports Med. 2006 Mar;40 (3):193-201. doi: 10.1136/bjsm.2005.025270

28. François T, Mozzone D, Mariane G, Edouard P, Thoreux P. Basketball. En: Canata G, Jones H. Epidemiology of Injuries in Sports. Edit. Springer. 2022 pag. 37-44

29. Rubio-Jiménez A, Peña J, Sabata A, Caparrós T, Casals M. Impact and costs of injuries in professional basketball: Insights from a four-season analysis. Apunts Sports Medicine. 2025; Vol.60 (226): 100482. https://doi.org/10.1016/j.apunsm.2025.100482

30. Barrios C, Bernardo ND, Vera P, Laíz C, Hadala M. Changes in sports injuries incidence over time in world-class road cyclists. Int J Sports Med. 2015 Mar;36 (3):241-8. doi: 10.1055/s-0034-1389983

31. Goto K, Menetrey J. Cycling. En: Canata G, Jones H. Epidemiology of Injuries in Sports. Edit. Springer. 2022 pag. 45-47

32. Clarsen B, Krosshaug T, Bahr R. Overuse injuries in professional road cyclists. Am J Sports Med. 2010 Dec;38 (12):2494-501. doi: 10.1177/0363546510376816

33. Fernando F, Biffi A, Borra F, De Carli F, Monetti G, Sirico F. Formula 1 World Championship. En: Canata G, Jones H. Epidemiology of Injuries in Sports. Edit. Springer. 2022 pag. 95-106

34. Minoyama O, Tsuchida H. Injuries in professional motor car racing drivers at a racing circuit between 1996 and 2000. Br J Sports Med. 2004 Oct;38 (5):613-6. doi: 10.1136/bjsm.2003.007674

35. Cerciello S, Corona K, Fiquet C, Neyret P. Volleyball. En: Canata G, Jones H. Epidemiology of Injuries in Sports. Edit. Springer. 2022. Pag. 143-147

36. Sattler T, Hadžić V, Dervišević E, Markovic G. Vertical jump performance of professional male and female volleyball players: effects of playing position and competition level. J Strength Cond Res. 2015 Jun;29 (6):1486-93. doi: 10.1519/JSC.0000000000000781

37. Gabbett TJ. The training-injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? Br J Sports Med. 2016 Mar;50 (5):273-80. doi: 10.1136/bjsports-2015-095788

38. Bere T, Kruczynski J, Veintimilla N, Hamu Y, Bahr R. Injury risk is low among world-class volleyball players: 4-year data from the FIVB Injury Surveillance System. Br J Sports Med. 2015 Sep;49 (17):1132-7. doi: 10.1136/bjsports-2015-094959

39. Kilic O, Maas M, Verhagen E, Zwerver J, Gouttebarge V. Incidence, aetiology and prevention of musculoskeletal injuries in volleyball: A systematic review of the literature. Eur J Sport Sci. 2017 Jul;17 (6):765-793. doi: 10.1080/17461391.2017.1306114

40. Hung-Yu Huang, Tso-Liang Teng, Cho-Chung Liang. Volleyball Injuries: A Survey of Injuries Among Male Players of the Chinese Taipei National Volleyball Team. American Journal of Sports Science. Vol. 3, No. 6, 2015, pp. 109-114. doi: 10.11648/j.ajss.20150306.12

41. de Azevedo Sodré Silva A, Sassi LB, Martins TB, de Menezes FS, Migliorini F, Maffulli N, Okubo R. Epidemiology of injuries in young volleyball athletes: a systematic review. J Orthop Surg Res. 2023 Oct 4;18 (1):748. doi: 10.1186/s13018-023-04224-3

42. López-Vidriero R, Najfeld M, López-Vidriero E. Tennis. En: Canata G, Jones H. Epidemiology of Injuries in Sports. Edit. Springer. 2022. pag. 137-142

43. Lluch-Girbés E, Requejo-Salinas N, Fernández-Matías R, Revert E, Vila Mejías M, Rezende Camargo P, Jaggi A, Sciascia A, Horsley I, Pontillo M, Gibson J, Richardson E, Johansson F, Maenhout A, Oliver GD, Turgut E, Jayaraman C, Düzgün I, Borms D, Ellenbecker T, Cools A. Kinetic chain revisited: consensus expert opinion on terminology, clinical reasoning, examination, and treatment in people with shoulder pain. J Shoulder Elbow Surg. 2023 Aug;32 (8):e415-e428. doi: 10.1016/j.jse.2023.01.018

44. Martin C, Bideau B, Bideau N, Nicolas G, Delamarche P, Kulpa R. Energy flow analysis during the tennis serve: comparison between injured and noninjured tennis players. Am J Sports Med. 2014 Nov;42 (11):2751-60. doi: 10.1177/0363546514547173

45. Fu MC, Ellenbecker TS, Renstrom PA, Windler GS, Dines DM. Epidemiology of injuries in tennis players. Curr Rev Musculoskelet Med. 2018 Mar;11 (1):1-5. doi: 10.1007/s12178-018-9452-9

46. Pluim BM, Fuller CW, Batt ME, Chase L, Hainline B, Miller S, Montalvan B, Renström P, Stroia KA, Weber K, Wood TO. Consensus statement on epidemiological studies of medical conditions in tennis, April 2009. Br J Sports Med. 2009 Dec;43 (12):893-7. doi: 10.1136/bjsm.2009.064915

47. Gescheit DT, Cormack SJ, Duffield R, Kovalchik S, Wood TO, Omizzolo M, Reid M. Injury epidemiology of tennis players at the 2011-2016 Australian

Open Grand Slam. Br J Sports Med. 2017 Sep;51 (17):1289-1294. doi: 10.1136/bjsports-2016-097283

48. Edouard P. Athletics: Sprinting. En: Canata G, Jones H. Epidemiology of Injuries in Sports. Edit. Springer. 2022. pag. 21-27

49. Morin JB, Gimenez P, Edouard P, Arnal P, Jiménez-Reyes P, Samozino P, Brughelli M, Mendiguchia J. Sprint Acceleration Mechanics: The Major Role of Hamstrings in Horizontal Force Production. Front Physiol. 2015 Dec 24;6:404. doi: 10.3389/fphys.2015.00404

50. Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Holme I, Bahr R. Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. BMJ. 2005 Feb 26;330 (7489):449. doi: 10.1136/bmj.38330.632801.8F

51. Andrade R, Vasta S, Sevivas N, Pereira R, Leal A, Papalia R, Pereira H, Espregueira-Mendes J. Notch morphology is a risk factor for ACL injury: a systematic review and meta-analysis. J ISAKOS. 2016;1:70–81.

52. Bahr R, Holme I. Risk factors for sports injuries--a methodological approach. Br J Sports Med. 2003;37 (5):384-92. doi: 10.1136/bjsm.37.5.384

53. Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. Br J Sports Med. 2005 Jun;39 (6):324-9. doi: 10.1136/bjsm.2005.018341

54. Bittencourt NFN, Meeuwisse WH, Mendonça LD, Nettel-Aguirre A, Ocarino JM, Fonseca ST. Complex systems approach for sports injuries: moving from risk factor identification to injury pattern recognition-narrative review and new concept. Br J Sports Med. 2016 Nov;50 (21):1309-1314. doi: 10.1136/bjsports-2015-095850

55. Hulme A, Finch CF. From monocausality to systems thinking: a complementary and alternative conceptual approach for better understanding the development and prevention of sports injury. Inj Epidemiol. 2015;2 (1):31. doi: 10.1186/s40621-015-0064-1

56. Windt J, Zumbo BD, Sporer B, MacDonald K, Gabbett TJ. Why do workload spikes cause injuries, and which athletes are at higher risk? Mediators and moderators in workload-injury investigations. Br J Sports Med. 2017 Jul;51 (13):993-994. doi: 10.1136/bjsports-2016-097255

57. Gabbett TJ, Hulin BT, Blanch P, Whiteley R. High training workloads alone do not cause sports injuries: how you get there is the real issue. Br J Sports Med. 2016 Apr;50 (8):444-5. doi: 10.1136/bjsports-2015-095567

58. Hulin BT, Gabbett TJ, Blanch P, Chapman P, Bailey D, Orchard JW. Spikes in acute workload are associated with increased injury risk in elite cricket fast bowlers. Br J Sports Med. 2014 Apr;48 (8):708-12. doi: 10.1136/bjsports-2013-092524

59. Hulin BT, Gabbett TJ. Indeed association does not equal prediction: the never-ending search for the perfect acute:chronic workload ratio. Br J Sports Med. 2019 Feb;53 (3):144-145. doi: 10.1136/bjsports-2018-099448

60. Gabbett TJ, Nassis GP, Oetter E, Pretorius J, Johnston N, Medina D, Rodas G, Myslinski T, Howells D, Beard A, Ryan A. The athlete monitoring cycle: a practical guide to interpreting and applying training monitoring data. Br J Sports Med. 2017 Oct;51 (20):1451-1452. doi: 10.1136/bjsports-2016-097298

61. Malone S, Roe M, Doran DA, Gabbett TJ, Collins K. High chronic training loads and exposure to bouts of maximal velocity running reduce injury risk in elite Gaelic football. J Sci Med Sport. 2017 Mar;20 (3):250-254. doi: 10.1016/j.jsams.2016.08.005

62. Meeuwisse W. Assessing Causation in Sport Injury: A Multifactorial Model. Clinical Journal of Sport Medicine. 1994; Vol. 4: pág. 166-170

63. Meeuwisse W. Athletic Injury Etiology: Distinguishing Between Interaction and Confounding. Clinical Journal of Sport Medicine. 1994; 4 (3):p 171-175. Disponibleen:https://journals.lww.com/cjsportsmed/abstract/1994/07000/athletic_injury_etiology__distinguishing_between.5.aspx

64. Sundemo D, Alentorn-Geli E, Samuelsson K. How to Predict Injury Risk. En: Musahl V, Karlsson J, Krutsch W, Mandelbaum B, Espregueira-Mendes J, d´Hooghe P. Return to Play in Football. An Evidence-based Approach. Edit. Springer. 2018. pag. 35-46

65. Andersen T, Larsen O, Tenga A, Engebretsen L. Football incident analysis: a new video based method to describe injury mechanisms in professional football. Br J Sports Med 2003;37:226–232. Disponible en: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1724642/pdf/v037p00226.pdf

66. Mendiguchia J, Alentorn-Geli E, Brughelli M. Hamstring strain injuries: are we heading in the right direction? Br J Sports Med. 2012 Feb;46 (2):81-5. doi: 10.1136/bjsm.2010.081695

67. Silvers-Granelli HJ, Bizzini M, Arundale A, Mandelbaum BR, Snyder-Mackler L. Higher compliance to a neuromuscular injury prevention program improves overall injury rate in male football players. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2018 Jul;26 (7):1975-1983. doi: 10.1007/s00167-018-4895-5

68. Taylor JB, Waxman JP, Richter SJ, Shultz SJ. Evaluation of the effectiveness of anterior cruciate ligament injury prevention programme training components: a systematic review and meta-analysis. Br J Sports Med. 2015 Jan;49 (2):79-87. doi: 10.1136/bjsports-2013-092358

69. Rössler R, Donath L, Verhagen E, Junge A, Schweizer T, Faude O. Exercise-based injury prevention in child and adolescent sport: a systematic review and meta-analysis. Sports Med. 2014 Dec;44 (12):1733-48. doi: 10.1007/s40279-014-0234-2

70. Harøy J, Clarsen B, Wiger EG, Øyen MG, Serner A, Thorborg K, Hölmich P, Andersen TE, Bahr R. The Adductor Strengthening Programme prevents groin problems among male football players: a cluster-randomised controlled trial. Br J Sports Med. 2019 Feb;53 (3):150-157. doi: 10.1136/bjsports-2017-098937

71. Thorborg K, Krommes KK, Esteve E, Clausen MB, Bartels EM, Rathleff MS. Effect of specific exercise-based football injury prevention programmes on the overall injury rate in football: a systematic review and meta-analysis of the FIFA 11 and 11+ programmes. Br J Sports Med. 2017 Apr;51 (7):562-571. doi: 10.1136/bjsports-2016-097066

72. Waldén M, Atroshi I, Magnusson H, Wagner P, Hägglund M. Prevention of acute knee injuries in adolescent female football players: cluster randomised controlled trial. BMJ. 2012 May 3;344:e3042. doi: 10.1136/bmj.e3042

73. Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). Am J Sports Med. 2011 Jun;39 (6):1226-32. doi: 10.1177/0363546510395879

74. Ekstrand J, Waldén M, Hägglund M. Hamstring injuries have increased by 4% annually in men's professional football, since 2001: a 13-year longitudinal analysis of the UEFA Elite Club injury study. Br J Sports Med. 2016 Jun;50 (12):731-7. doi: 10.1136/bjsports-2015-095359

75. Ekstrand, J. Keeping your top players on the pitch: The key to football medicine at a professional level. Br J Sports Med 2013;47:723–724. doi: https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092771

76. Hallén A, Ekstrand J. Return to play following muscle injuries in professional footballers. J Sports Sci. 2014;32 (13):1229-36. doi: 10.1080/02640414.2014.905695

77. Freckleton G, Pizzari T. Risk factors for hamstring muscle strain injury in sport: a systematic review and meta-analysis. Br J Sports Med. 2013 Apr;47 (6):351-8. doi: 10.1136/bjsports-2011-090664

78. Mueller-Wohlfahrt HW, Haensel L, Mithoefer K, Ekstrand J, English B, McNally S, Orchard J, van Dijk CN, Kerkhoffs GM, Schamasch P, Blottner D, Swaerd L, Goedhart E, Ueblacker P. Terminology and classification of muscle injuries in sport: the Munich consensus statement. Br J Sports Med. 2013 Apr;47 (6):342-50. Doi: 10.1136/bjsports-2012-091448

79. Askling CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Proximal hamstring strains of stretching type in different sports: injury situations, clinical and magnetic resonance imaging characteristics, and return to sport. Am J Sports Med. 2008 Sep;36 (9):1799-804. doi: 10.1177/0363546508315892

80. Petersen J, Thorborg K, Nielsen MB, Budtz-Jørgensen E, Hölmich P. Preventive effect of eccentric training on acute hamstring injuries in men's soccer: a cluster-randomized controlled trial. Am J Sports Med. 2011 Nov;39 (11):2296-303. doi: 10.1177/0363546511419277

81. Arnason A, Andersen TE, Holme I, Engebretsen L, Bahr R. Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. Scand J Med Sci Sports. 2008 Feb;18 (1):40-8. doi: 10.1111/j.1600-0838.2006.00634.x

82. Mills M, Frank B, Goto S, Blackburn T, Cates S, Clark M, Aguilar A, Fava N, Padua D. Effect of restricted hip flexor muscle length on hip extensor muscle activity and lower extremity biomechanics in college-aged female soccer players. Int J Sports Phys Ther. 2015 Dec;10 (7):946-54. Disponible en: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4675195/pdf/ijspt-10-946.pdf

83. Bowen L, Gross AS, Gimpel M, Li FX. Accumulated workloads and the acute:chronic workload ratio relate to injury risk in elite youth football players. Br J Sports Med. 2017 Mar;51 (5):452-459. doi: 10.1136/bjsports-2015-095820

84. Wiggins AJ, Grandhi RK, Schneider DK, Stanfield D, Webster KE, Myer GD. Risk of Secondary Injury in Younger Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-analysis. Am J Sports Med. 2016 Jul;44 (7):1861-76. doi: 10.1177/0363546515621554

85. Wangensteen A, Tol JL, Witvrouw E, Van Linschoten R, Almusa E, Hamilton B, Bahr R. Hamstring Reinjuries Occur at the Same Location and Early After Return to Sport: A Descriptive Study of MRI-Confirmed Reinjuries. Am J Sports Med. 2016 Aug;44 (8):2112-21. doi: 10.1177/0363546516646086

86. Kyritsis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R, Witvrouw E. Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. Br J Sports Med. 2016 Aug;50 (15):946-51. doi: 10.1136/bjsports-2015-095908

87. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. Br J Sports Med. 2016 Jul;50 (13):804-8. doi: 10.1136/bjsports-2016-096031

88. Paterno MV, Huang B, Thomas S, Hewett TE, Schmitt LC. Clinical Factors That Predict a Second ACL Injury After ACL Reconstruction and Return to Sport: Preliminary Development of a Clinical Decision Algorithm. Orthop J Sports Med. 2017 Dec 19;5 (12):2325967117745279. doi: 10.1177/2325967117745279

89. Benjaminse A, Welling W, Otten B, Gokeler A. Novel methods of instruction in ACL injury prevention programs, a systematic review. Phys Ther Sport. 2015 May;16 (2):176-86. doi: 10.1016/j.ptsp.2014.06.003

90. Benjaminse A, Gokeler A, Dowling AV, Faigenbaum A, Ford KR, Hewett TE, Onate JA, Otten B, Myer GD. Optimization of the anterior cruciate ligament injury prevention paradigm: novel feedback techniques to enhance motor learning and reduce injury risk. J Orthop Sports Phys Ther. 2015 Mar;45 (3):170-82. doi: 10.2519/jospt.2015.4986

91. Mantilla A. Propuesta de un protocolo de prevención de lesiones deportivas en futbolistas profesionales basado en una revisión sistemática de la literatura. VIREF Rev Educ Fis. 2019;7 (4):18-36. Disponible en: https://revistas.udea.edu.co/index.php/viref/article/view/336838

92. Quiceno C, Alfonso Mantilla JI, Samudio MA, Del Castillo D. Efecto de un programa de prevención de lesiones en la fuerza muscular de jugadoras de fútbol profesional colombiano. Rev iberoam cienc act fís deporte [Internet]. 2021;10 (2):1–17. Disponible en: http://dx.doi.org/10.24310/riccafd.2021.v10i2.11323

93. Bruder AM, Donaldson A, Mosler AB, Patterson BE, Haberfield M, Mentiplay BF, et al. Creating Prep to Play PRO for women playing elite Australian football: A how-to guide for developing injury-prevention programs. J Sport Health Sci [Internet]. 2023;12 (1):130–8. doi: 10.1016/j.jshs.2021.09.003

94. Weerasinghe K. Is strength training an effective physiotherapy-related strategy for injury prevention and performance enhancement in team sports? A scoping review of high-quality randomized controlled trials [Internet]. Research Square. 2025. doi: 10.21203/rs.3.rs-5753318/v1

95. Buehler C. Quantifying muscle forces and joint loading during hip exercises performed with and without an elastic resistance band. Front Sports Act Living [Internet]. 2021;3:695383. doi: 10.3389/fspor.2021.695383

96. Zouita S, Zouita ABM, Kebsi W, Dupont G, Ben Abderrahman A, Ben Salah FZ, et al. Strength training reduces injury rate in elite young soccer players during one season. J Strength Cond Res [Internet]. 2016;30 (5):1295–307. doi: 10.1519/JSC.0000000000000920

97. Skopal LK, Drinkwater EJ, Behm DG. Application of mobility training methods in sporting populations: A systematic review of performance adaptations. J Sports Sci [Internet]. 2024;42 (1):46–60. doi: 10.1080/02640414.2024.2321006

98. Villaquiran A, Molano NJ, Portilla E, Tello A. Flexibilidad, equilibrio dinámico y estabilidad del core para la prevención de lesiones en deportistas universitarios. Univ Salud [Internet]. 2020;22 (2):148–56. doi: 10.22267/rus.202202.186

99. Najarro D, Gutiérrez Ó. Prevención de esguince y entrenamiento propioceptivo del tobillo en deportistas. Rev Digit Act Fis Deport [Internet]. 2021;7 (2). Disponible en: http://dx.doi.org/10.31910/rdafd.v7.n2.2021.1939

100. González-Fernández FT, Falces-Prieto M, Baena-Morales S, Romance-García AR, Adalid-Leiva JJ, Morente-Oria H. (2020). Propuesta de un programa de entrenamiento propioceptivo en fútbol para prevenir lesiones deportivas. Trances, 12 (1):19-30.

101. Al Attar WSA, Bakhsh JM, Khaledi EH, Ghulam H, Sanders RH. Injury prevention programs that include plyometric exercises reduce the incidence of anterior cruciate ligament injury: a systematic review of

cluster randomised trials. J Physiother [Internet]. 2022;68 (4):255–61. doi: 10.1016/j.jphys.2022.09.001

102. Guachamìn Herrera MA, Hidalgo Parra RL. Ejercicios pliométricos para la prevención de lesiones del tren inferior en jóvenes del gimnasio profit GYM. InnDev [Internet]. 2024;3 (1):26–39. Disponible en: http://dx.doi.org/10.69583/inndev.v3n1.2024.110

103. Behm DG, Blazevich AJ, Kay AD, McHugh M. Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review. Appl Physiol Nutr Metab [Internet]. 2016;41 (1):1–11. doi: 10.1139/apnm-2015-0235

104. Li FY, Guo CG, Li HS, Xu HR, Sun P. A systematic review and net meta-analysis of the effects of different warm-up methods on the acute effects of lower limb explosive strength. BMC Sports Sci Med Rehabil [Internet]. 2023;15 (1):106. doi: 10.1186/s13102-023-00703-6

105. VSople D, Wilcox RB 3rd. Dynamic warm-ups play pivotal role in athletic performance and injury prevention. Arthrosc Sports Med Rehabil [Internet]. 2025;7 (2):101023. doi: 10.1016/j.asmr.2024.101023

106. Ardern CL, Glasgow P, Schneiders A, Witvrouw E, Clarsen B, Cools A, Gojanovic B, Griffin S, Khan KM, Moksnes H, Mutch SA, Phillips N, Reurink G, Sadler R, Silbernagel KG, Thorborg K, Wangensteen A, Wilk KE, Bizzini M. 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern. Br J Sports Med. 2016 Jul;50 (14):853-64. doi: https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096278

107. Rebelo-Marques A, Andrade R, Pereira R, Espregueira-Mendes J. Return to Play (RTP). En: En: Piedade S, Imhoff A, Clatworthy M, Cohen M, Espregueira-Mendes J. The Sports Medicine Physician. Edit. Springer. 2019. pag. 149-169

108. Ardern CL. Anterior Cruciate Ligament Reconstruction-Not Exactly a One-Way Ticket Back to the Preinjury Level: A Review of Contextual Factors Affecting Return to Sport After Surgery. Sports Health. 2015 May;7 (3):224-30. doi: 10.1177/1941738115578131

109. Bisciotti G, Corsini A, Volpi P. General Principles for Return to Training and Return to Play. En: Return-to-Play after Lower Limb Muscle Injury in Football: The Italian Consensus Conference Guidelines. Edit. Springer. 2022 pag. 5-13

110. Shrier I. Strategic Assessment of Risk and Risk Tolerance (StARRT) framework for return-to-play decision-making. Br J Sports Med. 2015 Oct;49 (20):1311-5. doi: 10.1136/bjsports-2014-094569

111. Shrier I. Return to Sport Decision-Based Models. En: Noyes F, Barber-Westin S. Return to Sport after ACL Reconstruction and Other Knee Operations. Limiting the Risk of Reinjury and Maximizing Athletic Performance. Edit. Springer. 2019. pag. 53-65

112. Kim C, Kaar S. Commonly Encountered Fractures in Sports Medicine. En:Miller M, Thompson S. Delee, Drez, & Miller´s Orthopaedic Sports Medicine. Principles and Practice. 5th Edition. Edit. ElSevier. 2020. pag. 131-142

CAPÍTULO 5

Rehabilitación Deportiva: Proceso y Metodologías

Sports Rehabilitation: Process and Methodologies

Julián Andrés Lasprilla
Universidad del Valle
https://orcid.org/0000-0002-5758-1104
ftjulianlasprilla@gmail.com

Pedro Antonio Calero Saa
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
https://orcid.org/0000-0002-9978-7944
pcalero22@gmail.com

Resumen

El capítulo presenta un enfoque integral y metodológico para la rehabilitación deportiva, destacando la importancia de un proceso individualizado y coordinado, sustentado en la evidencia científica, que garantice una recuperación segura y eficaz del atleta tras una lesión. La metodología revisa y compara diferentes modelos de rehabilitación propuestos por autores como Houglum, Futrell, Ardern, Cools y Shrier (1–5), enfatizando la evaluación de las fases de curación del tejido y las programación de intervenciones específicas (inflamatoria, proliferativa, de maduración y retorno). Se aplican criterios objetivos y biopsicosociales mediante evaluación continua y ajuste del plan de rehabilitación. El enfoque colaborativo integra aspectos físicos, funcionales y psicológicos, asegurando que cada fase se adapte a las capacidades biológicas y a las demandas del atleta. Todos los modelos coinciden en la importancia de una progresión guiada y cuidadosa, desde la protección inicial hasta el retorno completo al deporte. La evolución del programa se basa en la evaluación individualizada que considera tanto la cicatrización biológica como la

Cita este capítulo / *Cite this chapter*

Lasprilla JA, Calero Saa PA. Rehabilitación deportiva: proceso y metodologías. En: Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria*. *Tomo III: rehabilitación y readaptación deportiva*. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 249-283. https://doi.org/10.35985/9786287914179.5

preparación funcional y mental del atleta. La colaboración interdisciplinaria y la toma de decisiones basada en criterios objetivos reducen el riesgo de recaídas y promueven una reincorporación segura. La rehabilitación deportiva es un proceso complejo que requiere planificación detallada, evaluación continua. La adaptación a las características particulares del tejido, la lesión y las necesidades del atleta, junto con una comunicación efectiva entre profesionales, son fundamentales para lograr un retorno seguro y sostenible a la actividad deportiva, minimizando riesgos y optimizando el máximo rendimiento funcional.

Palabras clave: Rehabilitación, Volver al Deporte, Lesiones en Deportes.

Abstract

This chapter presents a comprehensive and methodological approach to sports rehabilitation, highlighting the importance of an individualized and coordinated process, grounded in scientific evidence, to ensure the athlete's safe and effective recovery after injury. The methodology reviews and compares different rehabilitation models proposed by Houglum, Futrell, Ardern, Cools y Shrier (1–5), emphasizing the assessment of tissue healing phases and the scheduling of specific interventions (inflammatory, proliferative, maturation, and return). Objective and biopsychosocial criteria are applied through continuous evaluation and adjustment of the rehabilitation plan. The collaborative approach integrates physical, functional, and psychological aspects, ensuring that each phase is tailored to the athlete's biological capacities and sport-specific demands. All models agree on the importance of a guided and careful progression, from initial protection to full return to sport. Program development is based on individualized assessment that considers both biological healing and the athlete's functional and mental readiness. Interdisciplinary collaboration and decision-making based on objective criteria reduce the risk of relapse and promote a safe reintegration. Sports rehabilitation is a complex process that requires detailed planning and ongoing evaluation. Adaptation to the specific characteristics of the tissue, the injury, and the athlete's needs, along with effective communication among professionals, is essential to achieve a safe and sustainable return to sports, minimizing risks and optimizing peak functional performance.

Keywords: *Rehabilitation, Return to Sport, Injuries, Sports.*

Introducción

"Standing on the shoulders of giants.
[De pie sobre hombros de gigantes]"

— Chaomei Chen

La metáfora "*Standing on the shoulders of giants*" (6) refleja la importancia de construir sobre el conocimiento previo para avanzar en cualquier campo, incluida la rehabilitación deportiva. Reconocer las contribuciones de los expertos en la curación tisular es crucial para desarrollar métodos más efectivos y eficientes en la rehabilitación. Comprender la secuencia natural de la reparación permite establecer de la manera más sencilla pero coherente, el proceso de recuperación del atleta adaptándolo a su evolución individual del atleta y garantizando un retorno seguro al deporte basado en el entendimiento profundo de la biología de la curación.

Lesión y Rehabilitación Deportiva

En el ámbito deportivo, las lesiones y la rehabilitación constituyen un fenómeno complejo y multifacético que requiere la colaboración entre fisioterapeutas, médicos, entrenadores y atletas para una intervención exitosa. Una lesión puede definirse como un daño tisular o alteración en la función física derivada de la práctica deportiva, resultado de una transferencia rápida o repetitiva de energía cinética (7). Estas pueden clasificarse de tres maneras con implicaciones distintas para el proceso de rehabilitación:

1) Lesiones de contacto directo o indirecto; ocasionadas por un intercambio instantáneo de grandes cantidades de energía cinética (ej.: colisión entre atletas). Los mecanismos lesivos de contacto indirecto son producidos cuando la fuerza no se aplica directamente en la zona lesionada.

2) Lesiones sin contacto: ocasionadas de la acumulación gradual de transferencia de baja energía a lo largo del tiempo (ej.: lesiones por uso excesivo).

3) Lesiones mixtas; por la combinación de ambos mecanismos.

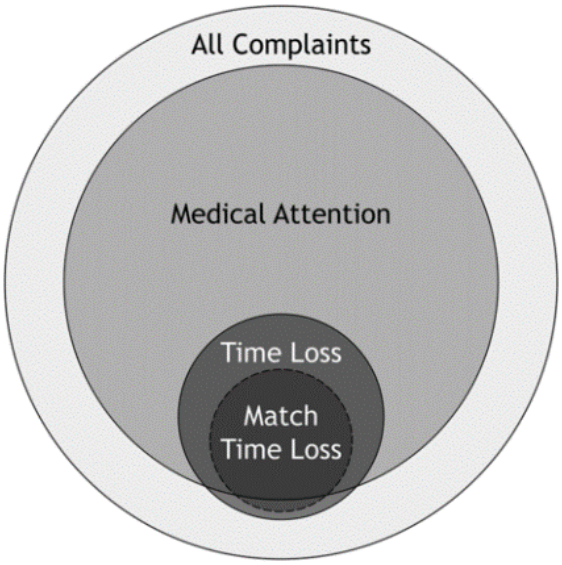
La clasificación de las lesiones es variada en el momento que ocurren, especialmente durante la competencia. Los consensos internacionales sugieren tres criterios para su registro: 1) cualquier molestia física resultante de la participación deportiva; 2) aquellas que requieren de atención medica; y

3) las que generan incapacidad de participar plenamente en el entrenamiento o competencia y por lo tal, una "pérdida de tiempo" y no requiere de un diagnóstico médico (7,8).

Concepto de Rehabilitación

La rehabilitación, definida por la OMS como "*un conjunto de intervenciones encaminadas a optimizar el funcionamiento y reducir la discapacidad en personas con afecciones de salud en la interacción con su entorno*" (9,10). Por su parte, la World Physiotherapy, la concibe como un conjunto de intervenciones necesarias cuando una persona presenta limitaciones funcionales ocasionadas por una condición de salud (11) o por la presencia de una lesión. La rehabilitación se caracteriza por complementar otras intervenciones de salud, como las médicas o quirúrgicas, y contribuye a facilitar la recuperación y a conseguir el mejor resultado posible (9).

Figura 1. *Distribución de los problemas de salud según sus consecuencia en el Deportista*



Fuente: tomado de Clarsen y Barh, 2014 (8)

Importancia en el Deporte

Una vez que aparece la lesión, la rehabilitación debe centrarse en el individuo y no únicamente en la lesión. Su objetivo general es restaurar las limitaciones funcionales transitorias o permanentes, mejorar la calidad de vida y permitir la participación en las actividades deportivas con independencia, seguridad y de manera funcional. En el contexto del deporte, la rehabilitación es un componente importante de la cobertura sanitaria y una estrategia fundamental para una recuperación eficiente y sostenible, previniendo las recidivas o la aparición de nuevas lesiones; contribuyendo a la longevidad de la carrera de los atletas y al envejecimiento saludable del mismo (*Objetivo de Desarrollo Sostenible 3:«Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades»*) (9).

Dimensión Social y Económica

El proceso de la rehabilitación debe considerarse una inversión con beneficios de costos tanto para las personas como para la sociedad y para el sistema; ya que previene, reduce o trata las complicaciones asociadas a las lesiones deportivas y limita los efectos sobre la funcionalidad (9). Sin embargo, este proceso está condicionado por barreras o facilitadores vinculados a los determinantes sociales de la salud (10). Por ejemplo, un estudio informa que la mayor probabilidad de acceso a fisioterapia se asocia al género femenino, la raza/etnia blanca no hispana, el aumento del nivel educativo, el entorno urbano, el acceso al transporte, el empleo, el alto nivel socioeconómico y el seguro privado (12).

Competencias del Fisioterapeuta Deportivo en la Rehabilitación

La rehabilitación deportiva es un proceso multi e interdisciplinar que inicia desde el momento que aparece la lesión durante la práctica del deporte o de la actividad física, y se extiende hasta que el atleta recupere la funcionalidad y retorne a su nivel óptimo de rendimiento de manera segura; disminuyendo las posibilidades de recidivas.

El fisioterapeuta deportivo, a partir del análisis o razonamiento clínico y de las habilidades terapéuticas especializadas, debe mostrar competencias en cuatro aspectos (11,13):

1. Evaluar la naturaleza y el alcance de la lesión: establecer un diagnóstico fisioterapéutico y comprender como la lesión afecta la funcionalidad del atleta.
2. Establecer objetivos funcionales, considerar lo que es más importante para el atleta, su contexto biopsicosocial y las demandas específicas del

deporte. Para ello se sugiere seguir el método "SMART Goals", un acrónimo cuya letras en ingles son: *specific*, *measurable*, *asignable*, *realistic* y *time-related* Doran (14).

3. Diseñar e implementar intervenciones individualizadas basadas en la evidencia; no siempre las estrategias con alta evidencia son las mejores para el atleta lesionado. Una intervención individualizada implica tener el criterio profesional para identificar las estrategias con la que el paciente responde hacia la recuperación optima; satisfaciendo las necesidades específicas del atleta, sus objetivos y expectativas del proceso de rehabilitación.
4. Evaluar regularmente el progreso, y modificar las intervenciones para alcanzar los objetivos funcionales que se han planteado.

Las Fases de Curación del Tejido: la "Brújula de la Rehabilitación"

Las fases de curación de los tejidos constituyen la referencia principal para plantear la evolución clínica del atleta y definir los objetivos del proceso de la rehabilitación. Se consideran la "*brújula de la rehabilitación*", ya que permiten determinar la dirección y la ubicación temporal del proceso de rehabilitación, es decir del momento oportuno de cada intervención terapéutica.

Patrón de Curación e los Tejidos

La curación de las lesiones agudas es un proceso complejo, constante y organizado que se desarrolla en tres fases predecibles que conduce a la cicatrización del tejido: a) fase inflamatoria, donde el cuerpo responde al daño; b) fase proliferativa, en la que se forma nuevo tejido para reemplazar el dañado; c) fase de maduración o remodelación, el tejido recién formado se fortalece y se adapta para recuperar la funcionalidad.

Aunque la duración de cada fase no es exacta, el proceso es similar en los tejidos blandos como el músculo, tendón y ligamento. Factores como el tamaño de la lesión y el método de curación (primaria o secundaria) pueden influir significativamente en la duración y el resultado de la curación. (1,15). La curación de los tejidos blandos debe entenderse como un "proceso continuo de actividad con tonos de gris superpuestos en el medio" (1), más que como etapas rígidamente separadas.

Implicaciones para la Rehabilitación

Los programas de rehabilitación deben diseñarse de manera que la evolución del paciente se base en la evaluación individual, considerando tanto la cicatrización biológica de los tejidos como el logro de los objetivos funcionales. De tal manera, el fisioterapeuta debe considerar los días y/o semanas posteriores a la lesión para comprender el estado funcional del atleta y plantear un pronóstico claro, formulando objetivos SMART (*específicos*, *medibles*, *alcanzables*, *relevantes y limitados en el tiempo*). Cada paso del tratamiento debe estar alineado con la capacidad biológica de curación del tejido.

Comprender los patrones de curación de los tejidos es esencial para diseñar planes de rehabilitación efectivos, evitando recaídas, recidivas o lesiones adicionales durante el proceso de curación. La reevaluación constante, el ajuste del tratamiento y la paciencia del atleta son esenciales para una progresión adecuada y para una recuperación optima.

Fases y Objetivos: una Estructura Básica del Proceso de Rehabilitación Deportiva

La rehabilitación deportiva es un proceso altamente individualizado en el que debe predominar la capacidad de análisis del fisioterapeuta para diseñar el tratamiento, considerando las particularidades del tejido afectado y los factores psicosociales del atleta. Pretender unificar o estandarizar las "fases de rehabilitación" no resulta pertinente, dado que múltiples factores influyen la recuperación optima. Por lo cual, a continuación se presenta las características generales de la ***estructura básica del proceso de rehabilitación deportiva*** integrando las fases de rehabilitación propuestas por diversos autores (1–5,16).

El enfoque de dos fases de Houglum (1) centrado en la curación tisular. Futrell y Rozzi (2) amplían a cuatro, incluyendo movilización y fuerza. El modelo más detallado de English (16), propone siete fases, aunque su nivel de detalle puede pudiera generar más confusión que claridad. Shrier (5) con el modelo StARRT enfatiza la evaluación del riesgo y la tolerancia al mismo para un retorno seguro al deporte. Las contribuciones de Ardern y Cools (3) sobre los momentos del retorno ofrecen una guía estructurada para la reincorporación segura de los atletas después de una lesión: 1) Retorno a la participación; 2) Retorno al deporte; y 3) Retorno al rendimiento. Este enfoque escalonado asegura que el retorno al deporte no solo sea físicamente posible, sino también estratégicamente prudente, minimizando el riesgo de relesión y maximizando las posibilidades de un rendimiento óptimo.

Pese a sus diferencias, todos los modelos coinciden en la necesidad de un retorno progresivo, cuidadoso y estratégico al deporte, que contemplen tanto la recuperación física como la recuperación mental del atleta. Es esencial que el deportista esté comprometido e informado durante todo el proceso, fortaleciendo no solo su capacidad funcional, sino también su confianza para regresar a la competición.

Figura 2. *Correlación entre las fases fisiológicas de la reparación tisular y los estadios de la rehabilitación deportiva*

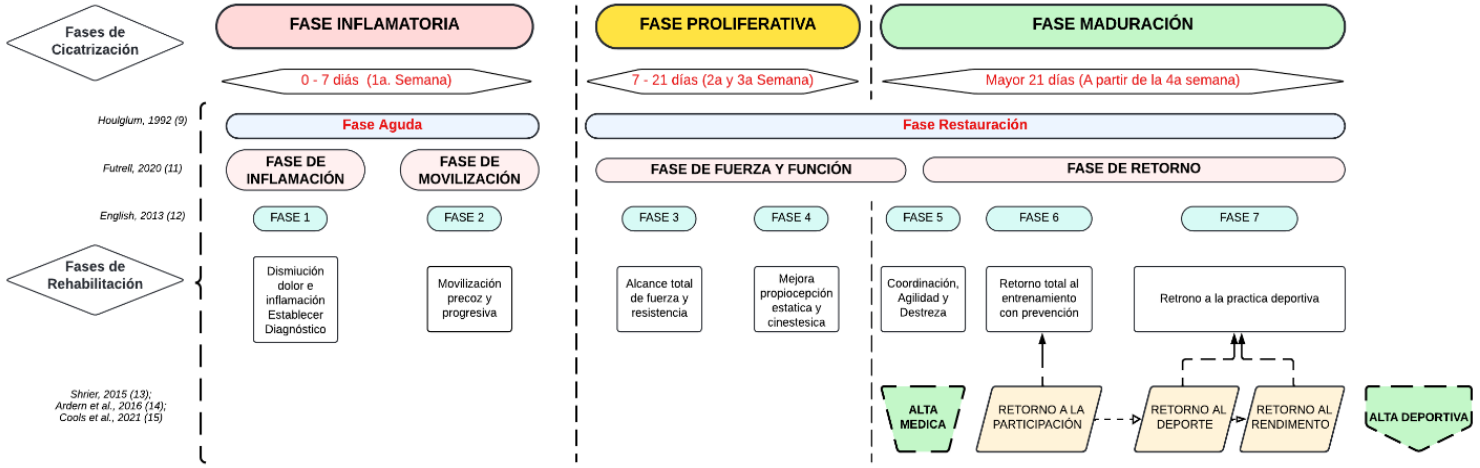


Tabla 1. *Acciones en el Proceso de Rehabilitación Integral*

Fase Biológica	Temporalidad / Fase de Rehabilitación	Acciones y Objetivos Clave	Profesional a Cargo	Hitos de Alta
Inflamatoria	Fase Aguda (0 – 7 días)	Control de dolor/edema e inicio de movilización precoz y funcional.	Médico (MD) / Fisioterapeuta (FT)	-
Proliferativa	Fase de Restauración (7 – 21 días)	Recuperación de fuerza, potencia, resistencia, propiocepción y coordinación.	Fisioterapeuta (FT)	ALTA MÉDICA
Maduración	Fase de Retorno (> 21 días)	Agilidad, destreza técnica y retorno progresivo a entrenamientos con prevención.	FT / Prep. Físico (PF) / Dir. Técnico (DT)	ALTA DEPORTIVA / COMPETICIÓN

Nota. Esta tabla integra diferentes modelos para una visión coordinada.

Fuentes: adaptado de Houglum (1999) (1), *Futrell* (2020) (2), *Barcelona* FC (2009) (17) *y el marco StARRT* (*Shrier*, 2015 (5); *Ardern et al.*, 2016 (3); *Cools et al.*, 2021 (4).

Estructura Básica del Proceso de Rehabilitación Deportiva

Fases de rehabilitación en la fase inflamatoria (1)

La inflamación no debe considerarse como un fenómeno perjudicial, sino como un proceso biológico esencial para la curación tisular. Aunque su duración es variable, suele abarcar entre 3 a 6 días y resulta crucial para permitir la transición hacia las fases posteriores de reparación y favorecer la reparación del tejido (1).

Durante esta esta se desencadenan eventos bioquímicos y celulares fundamentales: la vasoconstricción inicial seguida de vasodilatación, la migración de células inmunitarias hacia el área afectada y la formación de una red de fibrina. La acción de los macrófagos no solo detiene la hemorragia, sino que también limpia la zona lesionada, marcando la transición el inicio de la fase de fase proliferativa o fibroblástica.

Los signos y síntomas clínicos características de la inflamación (edema, calor, dolor y perdida de la función) se explican por los cambios químicos y celulares. El edema, el enrojecimiento y el aumento de la temperatura local derivan de la vasodilatación y la mayor permeabilidad vascular, que permiten el paso de exudado y células inmunitarias hacia el sitio afectado. El dolor se relaciona con la activación y sensibilización de los nociceptores por mediadores químicos como la histamina, bradicinina y las prostaglandinas. La pérdida de función puede ser consecuencia directa del daño tisular, por la inhibición neuromuscular

como respuesta al estímulo de dolor o al edema que restringe mecánicamente el movimiento; de tal manera que produce una respuesta protectora/inhibitoria del cuerpo para evitar el movimiento y facilitar la curación.

En el contexto de la rehabilitación, restaurar la capacidad neuromuscular en esta fase es importante para establecer una base sólida de la recuperación funcional. Esto implica mejorar las condiciones del sistema sensorial periférico (disminuir dolor e inflamación) y preservar las propiedades fisiológicas del músculo (excitabilidad, contractilidad, elasticidad y extensibilidad) y la capacidad funcional del atleta.

Figura 3. *Cascada fisiopatológica de la inflamación: Mecanismos bioquímicos y sus efectos sobre las propiedades funcionales del músculo de la rehabilitación deportiva*

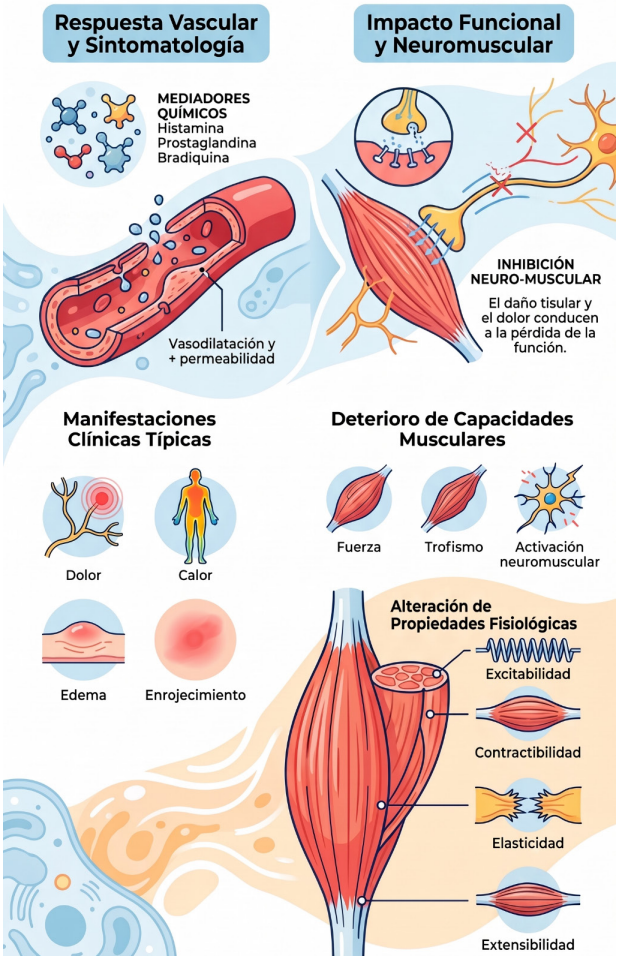


Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [NotebooLM].

Fase de Rehabilitación: Aguda

Durante la fase inflamatoria, el tratamiento debe ser conservador respecto a la tensión o el estrés aplicado sobre los tejidos lesionados. En necesario otorgar al cuerpo el tiempo suficiente para que cumpla el curso natural de la inflamación y se inicie la restauración del daño tisular.

La inmovilización suele ser un componente necesario en esta etapa, ya que favorece la cicatrización de las estructuras. Sin embargo, no debe prolongarse más del tiempo estrictamente necesario, pues puede generar efectos adversos como perdida del movimiento, degeneración del cartílago articular, disminución de la fuerza muscular y alteraciones en la propiocepción. Cuando se utiliza para controlar el dolor o el edema, la inmovilización no debe superar los 10 días; posteriormente se recomienda iniciar un tratamiento funcional (18). El uso de soportes externos o funcionales durante 4 a 6 semanas ha mostrado mejor evidencia clínica (19).

La ***Fase Aguda*** de la rehabilitación corresponde a los primeros 7 días post-lesión (1ª semana) y puede subdividirse en 2 fases (1).

a) Fase Aguda, Fase Inflamatoria (72 horas, 0-3 días)

Los objetivos en esta fase son: promover la formación de coágulos, proteger los tejidos en cicatrización, modular el dolor y minimizar la acumulación de la inflamación o edema.

Indicaciones para el manejo:

- El primer paso del proceso de la rehabilitación debe enfocarse a minimizar y controlar los signos y síntomas de inflamación: edema, calor, dolor y perdida de la función; evitando un proceso inflamatorio excesivo. Cuanto más se controle la acumulación de líquido, más rápidamente se podrá restaurar el rango de movimiento y la función.
- Restaurar la capacidad neuromuscular mejorando las condiciones del sistema sensorial periférico (disminuyendo el dolor e inflamación).
- Priorizar el manejo del dolor e inflamación para establecer un diagnóstico y diseñar el plan de rehabilitación.
- El método RICE es un método de tratamiento conservador que pese a ser utilizado ampliamente, presenta evidencia cuestionable en la eficacia para la reducción de los síntomas asociados a las lesiones aguda (18).

- La crioterapia en fase aguda reduce significativamente el dolor en comparación con el uso de analgésicos (19).
- Los AINE pueden ser utilizados con el propósito principal de reducir el dolor y la inflamación (<14 días). Sin embargo, su uso prolongado puede retrasar la cicatrización (18, 20, 21).
- La evaluación inicial en el lugar de la lesión proporciona información clave sobre la naturaleza de la lesión y la condición patológica sospechada. El examen físico más preciso de las estructuras de los tejidos blandos y, en particular, de la laxitud de los ligamentos se produce antes del inicio de la inflamación (2).
- El control de la inflamación permite realizar estudios complementarios para establecer el diagnostico.
- A partir de las 12 horas post-lesión está indicado realizar estudios complementarios. En las lesiones musculares, se recomienda realizar resonancia magnética a las 24 horas; y ecografía a las 48 horas.

b) Fase de Movilización (3-7 días)

Los objetivos se centran en disminuir el impacto del proceso inflamatorio y proporcionar fuerzas controladas que proteja la cicatrización sin generar estrés o fuerzas excesivas que puedan alterar la curación del tejido o causar inflamación adicional. Se busca reducir el edema, recuperar la amplitud de movimiento e iniciar la reeducación muscular (2).

Indicaciones para el manejo:

- Favorecer el proceso de curación del tejido lesionado.
- He de considerar que entre el segundo al sexto día la resistencia a la tracción del tejido puede disminuir hasta un 50%.
- Iniciar movilización precoz y progresiva con cargas optimas, siempre a tolerancia del dolor o molestias.
- La movilización temprana mejora las condiciones viscoelásticas y reduce el riesgo de cicatrices fibrosas.
- Evitar el estrés indebido o excesivo sobre los tejidos lesionados.
- Combinar crioterapia con ejercicios, tiene un mayor efecto en la restauración de la funcionalidad, lo que permite aumentar la carga de peso en la extremidad (18).

- El ultrasonido pulsado (10 %, frecuencia de 1 MHz, 0,5 W/cm2, 120s) durante 14 días ha mostrado mejor respuesta antiinflamatoria, aunque con menor síntesis de colágeno I y III, lo que indica una menor reorganización tisular (22).
- Iniciar con ejercicios de activación muscular (isométricos); fortalecimiento del Core y estiramientos activos a tolerancia del dolor o molestia.
- Método de educación cruzada (cross-education):

Esta técnica de rehabilitación aprovecha la plasticidad del cerebro y la conexión neuromuscular entre las extremidades. Consiste en entrenar la extremidad contralateral (sana) para mejorar la fuerza de la extremidad involucrada (lesionada) sin causar efectos perjudiciales en el sitio lesionado. Este enfoque es especialmente útil en casos donde la extremidad lesionada no puede ser movilizada directamente debido a dolor o daño. Tambien es conocido como: *cross-transfer*, *cross-over*, *cross-effect*, *contralateral learning*, *contralateral training* or *inter-limb transfer* (23–25).

Este método de entrenamiento puede mantenerse durante todo el proceso de rehabilitación hasta el alta.

Estudios recomiendan (23–25):

- Incluir series excéntricas rápidas con volúmenes moderados e intervalos de descanso (3-5 series de 8-15 repeticiones, con tiempos de descanso de 1-2 minutos entre series).
- Programas de 4 a 9 semanas (6,3 ± 2,31), con una frecuencia de 3 a 4 sesiones semanal (3,5 ± 0,7).
- La transferencia de fuerza entre extremidades es más efectiva en ejercicios excéntricos de alta velocidad.
- El entrenamiento de resistencia muscular no es aconsejable para inducir adaptaciones contralaterales.
- El efecto del ejercicio cruzado puede depender más del volumen de entrenamiento que de la carga.
- Este entrenamiento sugiere mayores adaptaciones en la extremidad no dominante al entrenar la extremidad dominante.

- El efecto de transferencia de fuerza, generalmente no supera las mejoras observadas para el lado entrenado, pero contribuye a mantener fuerza y prevenir atrofia.

Consultorio Vs. Casa, ¿donde conviene más?

El manejo inicial en casa puede ofrecer un entorno menos estresante y más favorable para el proceso de rehabilitación. Sin embargo, la decisión debe considerar factores psicosociales, conductuales, biológicos y del contexto socioeconómico. El equipo médico, junto con el atleta, deben evaluar ventajas y desventajas de cada opción para garantizar un proceso de rehabilitación optimo y seguro.

Fases de Rehabilitación en la Fase Proliferativa (1)

Al concluir la fase inflamatoria, se inicia la migración y proliferación de células como fibroblastos, miofibroblastos y células endoteliales hacia la zona lesionada. La conexión de los nuevos capilares con los ya existentes favorece la alineación perpendicular de los fibroblastos y miofibroblastos a los capilares formando el tejido de granulación. En esta etapa, el sistema vascular de la cicatriz permanece inmaduro y débil, susceptible a desgarro y sangrado.

A medida que el tejido de granulación se desarrolla, el coágulo de fibrina inicial se degrada y es reemplazado por una matriz más estable. Se inicia la síntesis de la matriz extracelular y la producción del colágeno tipo III, cuyas fibras son delgadas y poco resistentes. Posteriormente, este colágeno inmaduro será sustituido por colágeno tipo I, más fuerte y organizado. Paralelamente, el tejido cicatricial comienza a madurar con relación al desarrollo de nuevas terminaciones nerviosas.

Este proceso es dinámico y simultaneo, con fenómenos de construcción/ destrucción estimulados por quimiotácticas. (1). Durante la primera semana post-lesion, la vascularización, la inervación y el colágeno de la cicatriz son aún inmaduros, lo que traduce en una resistencia mínima a la tracción. Por ello, el tejido está en su nivel más bajo y es fácilmente susceptible a daños si se aplica una fuerza o estímulos excesivos, como estiramiento, tracción y/o presión.

Aproximadamente al séptimo día, la cantidad de colágeno aumenta significativamente, mejorando la resistencia mecánica de la herida. Para el día 12, el colágeno inmaduro tipo III comienza a ser reemplazado por colágeno tipo I, más maduro y fuerte. En esta etapa, los miofibroblastos contribuyen a la contracción de la herida, la cicatriz se vuelve más densa a medida que disminuye

la vascularización y la matriz pierde parte líquido, lo que finalmente resulta en una reducción del tamaño de la lesión.

La fase proliferativa puede extenderse hasta el día 21 (3ª. Semana), periodo en el cual las fibras de colágeno continúan madurando y densificándose. La transición hacia la fase de maduración es gradual y no presenta limites claramente definidos, lo que exige una evaluación clínica constante para ajustar las intervenciones de rehabilitación.

Fases de Rehabilitación: Fuerza y Función

Terminada la primera semana post-lesión, y durante las siguientes dos semanas, se inicia progresivamente la ***Fase de Fuerza y Función*** con cargas optimas y controladas. El objetivo inicial es mejorar la resistencia del tejido cicatricial (colágeno), la fuerza muscular y recuperar la movilidad completa, para dar paso a actividades funcionales como coordinación, equilibrio, agilidad y potencia. A partir de estos parámetros se incorporan gradualmente ejercicios específicos del deporte, organizados por intensidad y dificultad, lo que permite recuperar la función neuromuscular y la funcionalidad global. Durante esta fase también se debe mantener la resistencia cardiorrespiratoria y la flexibilidad (2).

Duración: Entre el día 7 y el 21 post-lesión (segunda y tercera semana). La extensión puede variar según el tejido afectado, la localización y severidad de la lesión, la presencia de recidivas y las características individuales del atleta (edad, sexo, estado nutricional, entre otros).

a) Fase de Fuerza: de la Cicatrización y de la Capacidad Neuromuscular (a Partir de la 2.ª Semana)

Indicaciones para el manejo:

- Favorecer la calidad de la cicatrización optimizando la organización, vascularización e inervación del tejido.
- Iniciar programas de terapia con ejercicios que se inician temprano después de una lesión aguda han demostrado su eficacia, optimizando la recuperación de la funcionalidad articular, la restauración neuromuscular y propioceptiva, con lo que disminuye la prevalencia de lesiones recurrentes y de inestabilidad funcional (18).
- Se recomienda iniciar la terapia de ejercicio supervisada, ya que de esta manera puede conducir a mejores resultados en la fuerza, propiocepción, y aun retorno más rápido a la actividad deportiva (18).

- Aplicar ejercicios con cargas progresivas y controladas al tejido de cicatrización, respetando la tolerancia el estrés mecánico. Para ello es fundamental conocer el comportamiento biomecánico de la estructura lesionada, e identificar los movimientos que lo tensan.
- Evitar cargas excesivas que incrementen el dolor y/o inflamación de manera inmediata o hasta 12 horas después de la aplicación del estímulo.
- Aplicar tensión mecánica al colágeno para favorecer la alineación y organización de las fibras de colágeno, mejorar las condiciones viscoelásticas, y aumentar la resistencia de la cicatriz.
- El colágeno que no está estresado durante este tiempo generalmente tiene una formación desordenada y más débil que el colágeno que está estresado, y aumenta el riesgo de padecer cicatrices fibrosas.
- Incluir ejercicios para restaurar parámetros neuromusculares: rango de movimiento, flexibilidad, fuerza, resistencia muscular, propiocepción y control motor.
- La flexibilidad y la amplitud de movimiento deben lograrse lo antes posible de forma segura, utilizando estrategias o métodos de entrenamiento como liberación fascial, estiramientos estáticos y dinámicos.
- Iniciar con estiramientos pasivos y cortos y en las últimas etapas progresar a un estiramiento más prolongado para lograr cambios de deformación en el tejido cicatricial.
- La flexibilidad mejora las propiedades de elasticidad y extensibilidad del musculo, necesarias para la ejecución de gestos como: trotar, correr, agilidad, saltos, aceleración-desaceleración; entre otros.
- Para restaurar la función neuromuscular se sugiere:
    - Mejorar las condiciones del sistema sensorial periférico: continuar con la disminución del dolor e inflamación.
    - Estimular los receptores articulares, ligamentosos, tendinosos y musculares con ejercicios de descarga de peso, propioceptivos, estiramientos y contracciones musculares variadas.
- Evitar programas y cargas excéntricas aisladas. La combinación del excéntrico-concéntrico muestran un mejor resultado en el rendimiento neuromuscular.

- El método isotónico lento con cargas pesadas (Heavy Slow Resistance – HSR) favorece la síntesis y recambio de colágeno (26).

Características del Entrenamiento HSR (26) in Some Cases, up to 45 % of Patients May not Respond. Eccentric-concentric Progressing to Eccentric (Silbernagel Combined)

- Realizarlo 3 veces por semana con cargas altas (26,27)in some cases, up to 45 % of patients may not respond. Eccentric-concentric progressing to eccentric (Silbernagel combined.
- Ritmo lento: cada repetición implica un movimiento lento y controlado, que suele durar entre 3 y 6 segundos tanto para la fase excéntrica como para la concéntrica.
- Carga pesada: los ejercicios se realizan con una carga pesada para estimular la adaptación de los músculos y los tendones.
- Movimientos isotónicos: el músculo cambia de longitud durante el ejercicio, manteniendo una tensión constante.

Características del entrenamiento Combinado de Silbernagel (28)

- Fase excéntrica-concéntrica: con una carga que prepare al musculo-tendón para una carga más intensa (3 x 15 Rep.)
- Fase excéntrica: se enfatiza en la fase excéntrica con carga (3x15 repeticiones).
- Fase pliométrica: se finaliza con un gesto que implique ciclo estiramiento-acortamiento (3x20 repeticiones).

No es conveniente plantear un tratamiento estándar, el terapeuta debe identificar la evolución clínica del mismo para ajustar la intensidad y complejidad de los ejercicios.

b) Fase de Fuerza y Función Neuromuscular (Tercera Semana, 14-21 Días)

Indicaciones para el manejo:

- Alrededor del19-21 días después de la lesión (3ª. Semana), el tejido recupera en gran parte su resistencia a la tracción casi normal.
- En este momento el objetivo de la intervención es mejorar la capacidad de soportar las fuerzas de tensión y presión del tejido de cicatrización, de manera controlada y progresiva.

- Continuar con la restauración de los parámetros neuromusculares: rango de movimiento y flexibilidad, fuerza y resistencia muscular, propiocepción, control motor. Y se inicia ejercicios o actividades para restaurar el equilibrio, la velocidad, la coordinación y la agilidad.
- Iniciar con actividades de resistencia y progresar a actividades de fuerza para dar tiempo a que se produzca la adaptación celular sin sobrecargar el área; trabajado de manera combinada y simultanea para favorecer la adaptación tisular.
- La mayor parte del tiempo en el proceso de rehabilitación implica la restauración de la fuerza y la resistencia para alcanzar los niveles anteriores de estos parámetros.
- El fortalecimiento muscular se puede enfocar a los siguientes objetivos:

  a. Incrementar la fuerza o resistencia;

  b. Aumentar o mantener el trofismo muscular;

  c. Mejorar la capacidad contráctil y excitabilidad muscular;

  d. Mejorar la coordinación inter o intramuscular;

  e. Mejorar el control excéntrico;

  f. Favorecer la co-contracción y la estabilidad dinámica;

  g. Mejorar la transición de la contracción excéntrica a concéntrica;

  h. Estimular el ciclo estiramiento-acortamiento.
- Incluir ejercicios de acción excéntrica rápidos y controlados en posiciones de alargamiento muscular (por ejemplo: trabajar los isquiotibiales para el control dinámico de la tibia), dando prioridad al control dinámico del movimiento.
- Continuar con la progresión del entrenamiento excéntrico con el método combinado de Sildebernagel y/o HSR.
- Continuar con el entrenamiento de fuerza con el método “cross-education”.
- Progresar en propiocepción hacia entrenamiento cinestésico básico y avanzado: trote, carrera con variaciones de velocidad y dirección, cambios de ritmo y dirección, situaciones de aceleración-desaceleración, y actividades pliométricas. La propiocepción debe estar enfocada a la reeducación y aprendizaje motor, por lo cual se debe evitar trabajar

en superficies inestables y con actividades que implique situaciones repentinas. Acá es importante, trabajar con estímulos controlados y de "fácil" ejecución que promueva el aprendizaje motor.

- La pliometría en esta fase de la rehabilitación se utiliza para optimizar el ciclo estiramiento-acortamiento y como estrategia para mejorar la estabilidad dinámica.

Al finalizar esta fase de rehabilitación, el atleta debe:

- Presentar ausencia total de dolor e inflamación.
- Alcanzar amplitud de movimiento completos y libre de dolor.
- Ejecutar todas las contracciones musculares sin manifestar dolor.
- Recuperar el patrón de marcha y trote sin presencia de dolor.
- Controlar acciones excéntricas de manera unilateral con la extremidad afectada.
- Mostrar un adecuado ciclo estiramiento-acortamiento, sin necesidad de realizar impactos (salto).
- Realizar actividades funcionales con una adecuada coactivación y co-contracción muscular.
- Ejecutar ejercicios de agilidad con seguridad.
- Reanudar gestos deportivos básicos con recuperación estructural completa.

Fases de Rehabilitación en la Fase de Maduración

Fase de Maduración o Remodelación (1)

En esta fase, el colágeno se reorganiza y se vuelve más denso, predominando el tipo I, lo que otorga mayor capacidad de resistencia a la tracción de la cicatriz. Se observa una disminución progresiva en el número de fibroblastos, miofibroblastos, capilares y macrófagos, así como en el contenido de agua y la sensibilidad del tejido. Este proceso de remodelación puede extenderse hasta un año o más. culminando en la formación de un tejido nuevo con una estructura fuerte y permanente.

En la mayoría de los tejidos blandos, la curación ocurre mediante reparación, es decir, reemplazando la estructura original por tejido cicatricial, como sucede en lesiones musculares extensas. La regeneración completa es limitada

en humanos y se observa principalmente en tejidos con alta capacidad proliferativa, como el pulmonar y hepático. En el músculo esquelético, la regeneración parcial puede ocurrir en distensiones menores, y en estructuras como los meniscos se han descrito fenómenos de reparación localizada.

Resistencia a la Tracción (1)

La cicatrización implica la interacción de factores biológicos y mecánicos. Tras una lesión, la resistencia a la tracción disminuye de forma significativa durante la fase inflamatoria: hacia el segundo día puede reducirse hasta un 50 %, manteniéndose baja durante varios días (aproximadamente 6 en heridas cutáneas y hasta 16 en tendones). Posteriormente, la resistencia aumenta de manera gradual conforme avanza la proliferación y remodelación del colágeno.

Alrededor de las tres semanas post-lesión (19–21 días), el tejido recupera gran parte de su resistencia mecánica. Sin embargo, la restauración completa varía según el tipo de tejido:

- El músculo puede recuperar niveles casi normales en un periodo corto (7–11 días).
- Los ligamentos y tendones requieren más tiempo; se estima que al cuarto mes alcanzan entre el 85–95 % de la resistencia normal, aunque algunos estudios sugieren que el proceso puede prolongarse entre 40 y 50 semanas.

El aumento de la resistencia se correlaciona con la remodelación del colágeno y con cambios en la matriz extracelular, que contribuye a dispersar las tensiones evitando concentraciones de fuerza en puntos débiles. Por ello, la resistencia a la tracción es un indicador clave de la capacidad de recuperación y reparación del tejido.

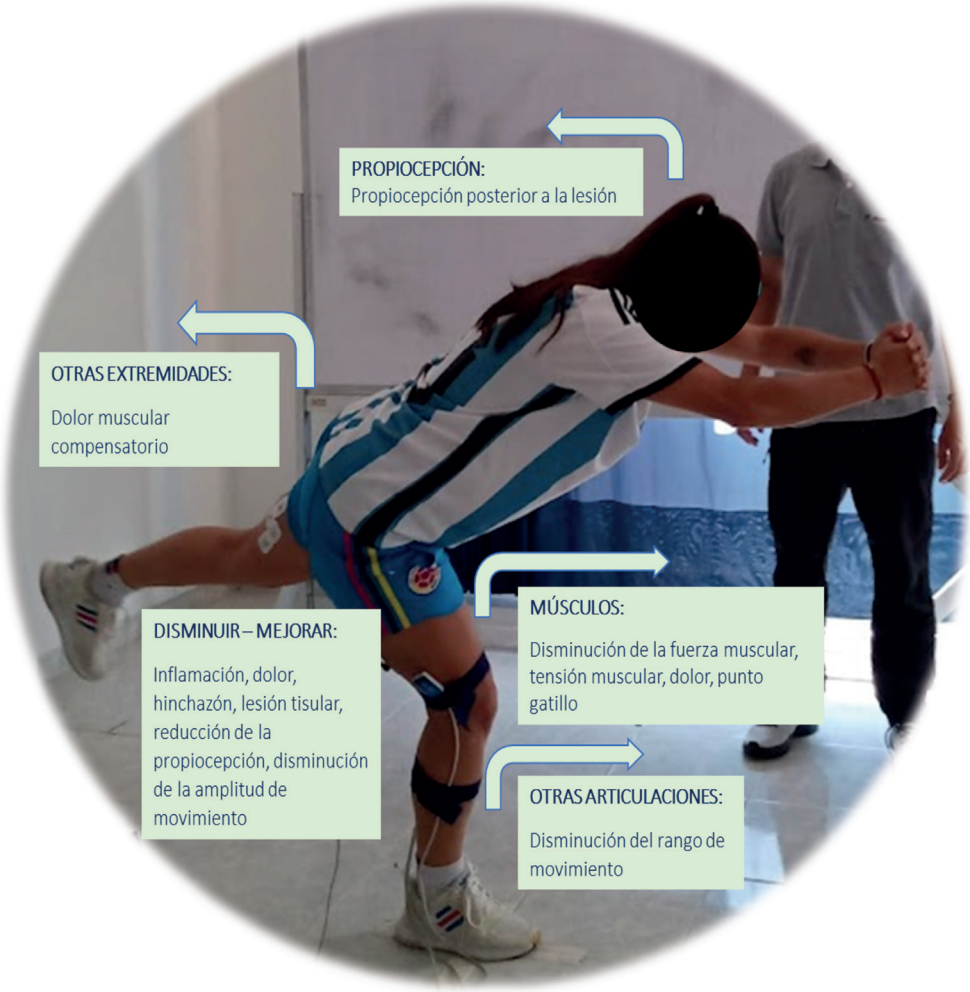
Implicaciones para la Rehabilitación Musculoesquelética

La rehabilitación en esta fase no solo busca aliviar el dolor y mejorar la función, sino también optimizar la neuroadaptación y el fortalecimiento muscular selectivo. Las intervenciones deben enfocarse en:

- Consolidar la resistencia mecánica del tejido cicatricial.
- Favorecer la organización del colágeno mediante cargas progresivas y controladas.
- Estimular la propiocepción y el control motor para prevenir recidivas.

- Implementar programas de fuerza y resistencia que integren ejercicios excéntricos, concéntricos y pliométricos, adaptados al deporte específico del atleta.

De esta manera, la fase de maduración constituye el puente hacia el retorno seguro y sostenible a la práctica deportiva, garantizando que el tejido lesionado alcance niveles óptimos de resistencia y funcionalidad.



Fases de Rehabilitación: Retorno (a Partir de la 4.ª Semana)

Finalizada la tercera semana post-lesión (21 días); se inicia la ***Fase de Retorno*** y la progresión de las cargas se planifican hacia la ejecución de los gestos deportivos específicos.

En esta etapa, la aplicación de tensión controlada al colágeno es fundamental para favorecer la alineación y organización de las fibras, aumentar la resistencia de la cicatriz y evaluar la capacidad funcional del atleta. La rehabilitación debe enfocarse en optimizar la función neuromuscular, las respuestas motoras ante estímulos sensoriales periféricos y garantizar la estabilidad dinámica y el control neuromuscular.

Duración: depende de la tolerancia del tejido de cicatrización a las fuerzas de tracción o y presión durante la ejecución de los gestos deportivos.

Indicaciones para el manejo:

- Utilizar la tracción y presión aplicadas al tejido de cicatrización como indicadores de la capacidad funcional del atleta.
- Considerar la resistencia a la tracción como un parámetro clave de la capacidad de recuperación y reparación.
- Mejorar la función neuromuscular, las respuestas motoras, la estabilidad dinámica y el control neuromuscular.
- Incluir progresión propioceptiva y excéntrica con ejercicios de pliometría, control excéntrico a velocidad rápida, agilidad-reacción, aceleración-desaceleración, cambios de dirección y amortiguación de saltos.

¿Cuándo puede Volver a Jugar?

La decisión sobre el retorno al deporte depende de múltiples factores: antecedentes de la lesión, hallazgos del examen físico, tipo y gravedad de la lesión, calidad del proceso de rehabilitación, características de la actividad deportiva, estado psicológico del atleta, nivel competitivo y capacidad para proteger la zona afectada.

El proceso de *Return to Play* (RTP) se basa en un modelo colaborativo que involucra médicos, fisioterapeutas y el equipo técnico (preparador físico, entrenador). Una comunicación efectiva y un enfoque integral reducen el tiempo de recuperación, minimizan el riesgo de re-lesiones y aseguran que el atleta recupere su nivel óptimo de rendimiento. Este modelo colaborativo

refleja las exigencias del deporte moderno, donde la salud y el rendimiento del atleta son prioritarios (29).

Criterios para el RTP: 3 tiempos, 3 etapas, 3 altas

El retorno seguro requiere una evaluación integral que contemple la recuperación biológica, la preparación funcional y la disposición psicológica del atleta. El marco progresivo incluye:

- Tres Etapas: retorno a la participación, readaptación al deporte y retorno al deporte.
- Tres Altas: médica, deportiva y de competición

Este enfoque estructurado minimiza el riesgo de recaídas y se complementa con listas de verificación basadas en criterios biológicos, funcionales, deportivos y psicológicos. Dichas herramientas apoyan la toma de decisiones informadas, adaptadas a cada atleta y a las características específicas de su lesión, garantizando un proceso de rehabilitación coherente y centrado en el deportista (29,30).

Al concluir el proceso de retorno al juego, es esencial asegurar la reparación o regeneración del tejido, la recuperación completa de los parámetros funcionales y la superación del miedo, la inseguridad o la aprehensión durante la ejecución de gestos deportivos. El objetivo último es que el atleta regrese con confianza, sin riesgo de recaídas y con una recuperación integral tanto física como mental. Por ello, la rehabilitación debe basarse en criterios objetivos de recuperación, más allá del simple transcurso del tiempo.

Figura 4. *Guía integral de rehabilitación deportiva*

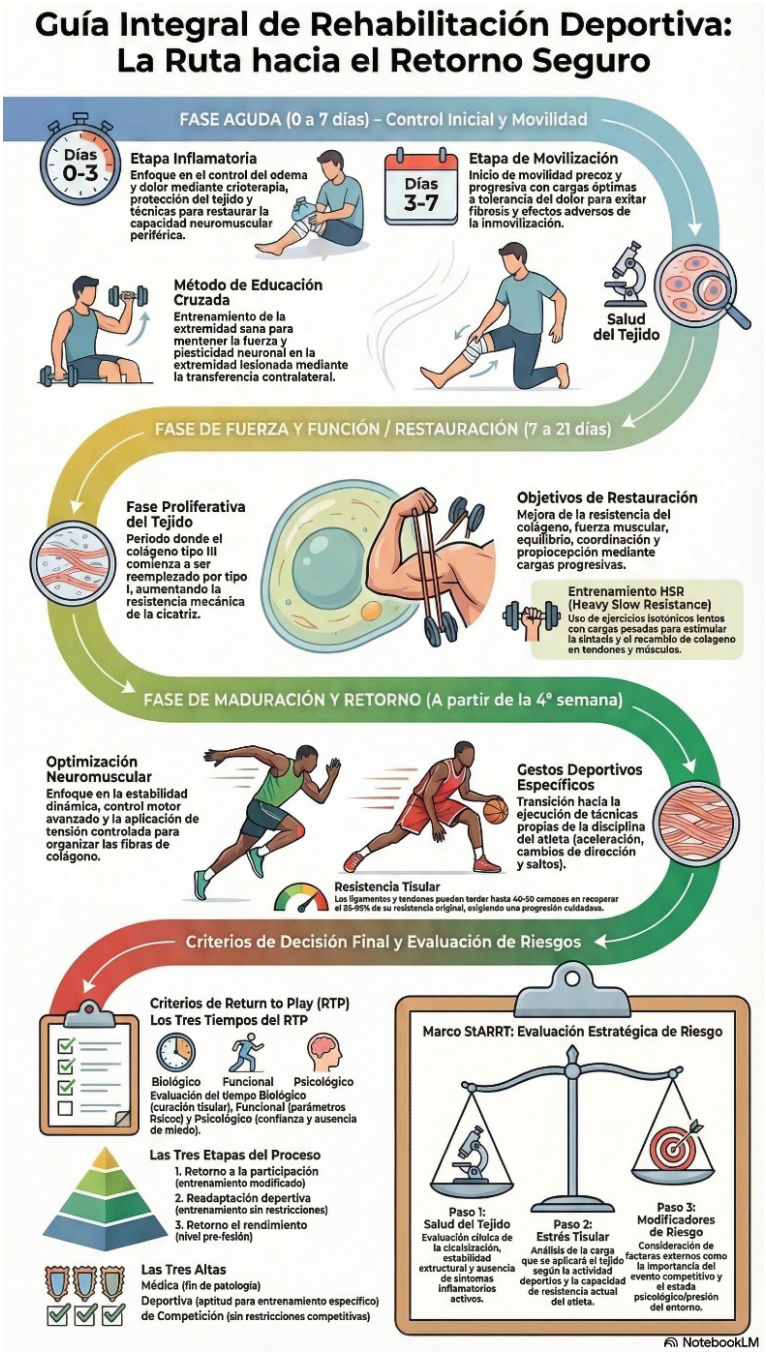


Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [NotebookLM].

Tabla 2. *Criterios para el RTP*

Criterios del tiempo (30)	**Criterios de las Etapas** (3, 30)	**Criterios de las altas** (30)
Tiempo biológico:	*Retorno a la participación:*	*Alta médica:*
Reparación/regeneración del tejido	El atleta participa en deportes a un nivel inferior a sus objetivos de RTP.	Cuando el deportista deja de ser un enfermo y puede comenzar la preparación física.
Tiempo Funcional:	*Retorno la readaptación al deporte:*	*Alta Deportiva:*
Recuperación completa de todos los parámetros funcionales.	El atleta ha regresado a su deporte, pero no está rindiendo al nivel deseado.	Cuando ha terminado la preparación física general y está apto para los entrenamientos específicos de su deporte.
Tiempo Psicológico:	*Retorno al deporte y al rendimiento:*	*Alta de Competición:*
Superación del miedo, aprehensión o inseguridad durante la ejecución del gesto deportivo.	El atleta está rindiendo al nivel anterior a la lesión o por encima de él.	Cumplen con todos los criterios establecidos para RTP y el deportista puede competir sin ningún tipo de restricción.

Fuente: adaptado de Ardern et al. (2016), *Jaén & García* (2017)

Etapa 1: de Retorno a la Participación

En esta primera etapa, el atleta lesionado continúa con el proceso de rehabilitación clínica convencional y participa en entrenamientos modificados o con restricciones. El objetivo es restablecer la funcionalidad necesaria para realizar actividades de la vida diaria sin dolor ni limitaciones, manteniendo la condición física y reduciendo el riesgo de recaídas o nuevas lesiones. Para avanzar, el atleta debe cumplir criterios biológicos y funcionales claramente establecidos (30).

Etapa 2: de Retorno al Deporte / Readaptación Deportiva

La readaptación deportiva constituye un periodo de transición entre el retorno a la participación y el retorno al rendimiento competitivo. En esta fase, el atleta debe cumplir criterios funcionales, deportivos y psicológicos, garantizando que esté preparado no solo físicamente, sino también mental y emocionalmente para enfrentar las demandas de su disciplina.

La supervisión médica continua garantiza que la transición sea segura y adecuada, permitiendo al atleta volver a su máximo rendimiento con confianza

y sin riesgos para su salud. El proceso incluye una combinación de trabajo de campo y sesiones de gimnasio, enfocado a recuperar y mejorar fuerza, estabilidad, flexibilidad y resistencia, de acuerdo con los déficits específicos del atleta y el tipo de lesión. El entrenamiento modificado progresa hacia la ejecución asintomática de gestos deportivos propios de la disciplina, culminando con el alta médica y el inicio de la etapa de retorno a la competición

Etapa 3: de Retorno a la Máxima Competición

En esta etapa final, el atleta ha superado la lesión y cuenta con el alta médica, pero es esencial que alcance un estado físico, técnico y táctico óptimo que le permitan competir al máximo nivel con un menor riesgo de re-lesión. El equipo médico mantiene su participación para controlar la carga de entrenamiento y reducir el riesgo de recaídas.

El atleta retoma progresivamente su entrenamiento completo y participa en actividades competitivas de menor intensidad, lo que facilita una transición segura hacia la competencia plena. Este enfoque gradual garantiza que pueda alcanzar e incluso superar, su rendimiento previo a la lesión. El proceso culmina con el alta deportiva, que marca el éxito de la rehabilitación y el retorno seguro al máximo nivel competitivo.

Tabla 19. *Lista de chequeo para el RTP (29,30)*

Criterios Biológicos	**Cumple**
1. Tiempo transcurrido desde la producción de la lesión o del tratamiento quirúrgico.	☐
2. Proceso de curación del tejido lesionado concluido.	☐
3. Estudios de Imagen de seguimiento (no imprescindible).	☐
Exploración física asintomática:	
4. No dolor a la palpación en el sitio de la lesión.	☐
5.Estabilidad Articular estática o mecánica: pruebas semiológicas negativas.	☐
Criterios Funcionales	**Cumple**
Exploración física asintomática:	
1. Movilidad articular completa y sin dolor.	☐
2. Todo tipo de contracción sin dolor.	☐
3. Estiramientos sin dolor.	☐
4. Soporte a la carga sin dolor.	☐
5. No dolor postejercicio.	☐
6. No signos inflamatorios postejercicios.	☐

Criterios Funcionales	**Cumple**
Readaptación de la fuerza muscular:	
7. Fuerza muscular simétrica y sin dolor.	☐
8. Trofismo muscular simétrico (diferencia entre 1 – 2 cm, Asimetría mayor 2cms).	☐
9. Una diferencia de Fuerza muscular no mayor al 10%-15%, comparativa entre extremidad lesionada y la no lesionada.	☐
10. Movilizar una carga equivalente al 50% - 100% - 125% y al 200% del peso corporal de manera asintomática, en el ejercicio de prensa de pierna unilateral.	☐
11. Ejecución asintomática y correcta de sentadillas bipodal, y sus posibles variaciones de sentadillas (estocadas, búlgara, unipodal).	☐
12.Equilibrio muscular agonista / antagonista reestablecido.	☐
Restablecimiento del balance-propiocepción:	
13. Realización asintomática y cualitativamente correcta en pruebas de propiocepción estáticas y dinámicas.	☐
14. Marcha y Trote con patrones normales y asintomáticos:	
a. Integra el restablecimiento de fuerza, trofismo, propiocepción.	☐
15 Realizar al menos 10 minutos con un patrón mecánico normal y sin dolor; y progresar a 20 minutos.	☐
Criterios Deportivos	**Cumple**
Readaptación de la fuerza muscular:	
1. Mejorar la activación muscular, los desequilibrios musculares, restablecer la rigidez muscular y los déficits de la fuerza del Core.	☐
2. Mejorar la capacidad la resistencia y el trofismo muscular.	☐
3. Readaptación del salto y del gesto pliométrico:	☐
4. No dolor a los movimientos básicos, en acciones excéntricas como correr, frenar, cambiar de dirección, amortiguar el salto.	☐
5. Gesto pliométrico cualitativamente correcto y con rendimiento en pruebas funcionales de salto.	☐
6. Simetrías en pruebas funcionales de salto unipodal horizontal, vertical y/o en pruebas de saltos sucesivos, del 90% comparativa entre extremidad lesionada y no lesionada.	☐
Readaptación del gesto motor de la carrera:	
7. Realizar carrera lineal y multidireccional a máxima velocidad de forma asintomática.	☐
8. Test de agilidad asintomáticos y con buena calidad.	☐
Readaptación del gesto deportivo:	
9. No dolor a los movimientos específicos y gesto técnico deportivo.	☐
10. Ejecución técnica correcta y asintomática del gesto deportivo.	☐
11. Realizar movimientos a mayor velocidad, complejos, multidireccionales y de carácter reactivo, que incluya implementos deportivos y situaciones o desafíos relacionados al contexto deportivo.	☐
12. Rendimiento deportivo adecuado.	☐
Criterios Psicológicos	**Cumple**
No signos ni síntomas negativos (miedo, aprehensión, angustia…)	.

Fuente: Adaptado de Loeza-Magaña et al., Jaén & García (2017)

Consideraciones para el Retorno (2)

La implementación de un modelo de regreso al juego basado en decisiones es fundamental para garantizar la seguridad y el bienestar del atleta tras una lesión. Este enfoque sistemático permite evaluar de manera integral el estado de salud y los riesgos asociados con el retorno deportivo. Factores como el proceso de curación, la fuerza muscular, el control neuromuscular, la aptitud cardiorrespiratoria y la preparación psicológica del atleta deben ser considerados cuidadosamente para asegurar una reincorporación exitosa y sostenible. La confianza y disposición mental del deportista son componentes esenciales que complementan la recuperación física.

Marco STARRT

El marco StARRT (Strategic Assessment of Risk and Tolerance to Return to Training) es una herramienta valiosa para la toma de decisiones en el contexto de la salud y la actividad física. Permite evaluar si el riesgo de una actividad específica es aceptable para una persona, comparando la evaluación del riesgo con su tolerancia al mismo. En términos biológicos, se considera que hay un riesgo cuando el estrés en el tejido supera su capacidad de resistencia, lo cual puede llevar a lesiones. Por tanto, el marco StARRT ayuda a equilibrar los factores de riesgo de la actividad con los factores médicos y la salud del tejido para promover un retorno seguro a la actividad.

Paso 1: Salud del Tejido

La evaluación de la salud del tejido constituye un componente crítico en medicina deportiva y rehabilitación, ya que permite comprender la capacidad del tejido para soportar cargas sin sufrir daños adicionales. Este análisis se fundamenta en la identificación de signos y síntomas clínicos, complementados con pruebas diagnósticas que determinan la extensión del daño tisular.

La noción de "*gravedad potencial*" de una lesión, planteada en el marco StARRT, resulta esencial para definir el enfoque terapéutico y las estrategias de prevención. Reconocer la magnitud del daño no solo orienta el tratamiento inmediato, sino que también ayuda a anticipar riesgos futuros y a establecer criterios objetivos para el retorno seguro al deporte.

En este sentido, la evaluación de la salud del tejido debe integrar:

- Aspectos médicos: estado de cicatrización, estabilidad estructural y ausencia de signos de inflamación activa.

- Aspectos funcionales: capacidad de soportar cargas básicas sin dolor ni limitaciones.
- Resultados esperados: metas de recuperación que guíen la progresión hacia fases posteriores de rehabilitación.

Este primer paso asegura que las decisiones sobre el retorno deportivo se fundamenten en parámetros clínicos sólidos, minimizando el riesgo de recaídas y garantizando un proceso de rehabilitación coherente y centrado en el atleta.

Paso 2: Estrés Tisular

El segundo paso del marco StARRT consiste en evaluar el nivel de estrés que se aplicará al tejido lesionado. Si un tejido en proceso de curación se expone a un estrés mínimo y controlado, continúa cicatrizando; en cambio, si el estrés excede su capacidad de resistencia, puede producirse una nueva lesión o una recaída.

Por ello, la evaluación del estrés tisular es un componente crítico en la rehabilitación, ya que permite determinar el nivel adecuado de actividad que favorezca la recuperación sin causar daño adicional. Este equilibrio requiere un conocimiento profundo de:

- La biología del tejido: características estructurales y capacidad de adaptación.
- La etapa de curación: inflamación, proliferación o remodelación.
- La respuesta individual del atleta: tolerancia al dolor, capacidad funcional y adaptación al tratamiento.

Una valoración cuidadosa de la capacidad funcional permite a los profesionales diseñar planes de tratamiento que apoyen la recuperación óptima del tejido. Además, es importante reconocer que la psicología del atleta influye en la percepción del esfuerzo y en el rendimiento deportivo. Por ello, la evaluación del estrés tisular debe integrarse en un enfoque multidisciplinario que contemple tanto los aspectos físicos como los psicológicos, asegurando un retorno seguro y sostenible al deporte.

Paso 3: Modificadores de Riesgo

La tolerancia al riesgo es un aspecto subjetivo que puede variar entre atletas, entrenadores y equipos médicos, y está influenciada por factores sociales, culturales y competitivos. En este sentido, los valores predominantes del

entorno deportivo, así como las expectativas del atleta y del equipo, pueden modificar la percepción del riesgo aceptable.

Un elemento clave es el impacto psicológico de no participar en eventos importantes, lo cual puede generar presión adicional para acelerar el retorno, incluso cuando persiste un riesgo físico elevado. Por ello, la decisión de permitir la competencia debe considerar un equilibrio entre:

- Riesgos físicos: posibilidad de recaída o nueva lesión si el tejido aún no está preparado.
- Consecuencias psicológicas: confianza, motivación y bienestar emocional del atleta.
- Factores sociales y competitivos: relevancia del evento, expectativas del equipo y nivel competitivo.

El marco StARRT enfatiza que la decisión final debe ser multidimensional, integrando criterios médicos, funcionales, psicológicos y sociales. De esta manera, se asegura que el retorno al deporte sea seguro, responsable y adaptado a las circunstancias individuales del atleta.

Conclusiones

El proceso de rehabilitación deportiva es un eje fundamental para garantizar la recuperación integral del atleta tras una lesión. Desde la perspectiva de las competencias profesionales del fisioterapeuta deportivo, reconocidas por COLFI (31), WP e IFSPT (13), este proceso exige una práctica basada en la evidencia, con capacidad de análisis crítico y toma de decisiones clínicas fundamentadas en los tiempos biológicos de curación de los tejidos. Respetar las fases de cicatrización (inflamación, proliferación, maduración y retorno) constituye un criterio esencial de seguridad y calidad, al evitar recaídas y optimizar el rendimiento funcional del deportista.

Asimismo, el capítulo subraya que la rehabilitación deportiva, además, debe concebirse como un proceso multidimensional, en el que el fisioterapeuta integra competencias en:

- Evaluación clínica avanzada: identificar signos, síntomas y factores de riesgo.
- Diseño de programas individualizados: ajustados a la biología del tejido, al contexto deportivo y a las características del atleta.

- Intervención neuromuscular y funcional: restaurar fuerza, control motor, propiocepción y estabilidad dinámica.
- Acompañamiento psicosocial y motivacional: favorecer la adherencia, la confianza y la preparación psicológica para el retorno.

El trabajo multidisciplinario y colaborativo es indispensable y se encuentra en el núcleo de los estándares de práctica de la IFSPT. El fisioterapeuta deportivo, como miembro clave del equipo de salud y rendimiento, debe coordinarse con médicos, entrenadores, psicólogos y preparadores físicos para garantizar decisiones compartidas y centradas en el atleta. Esta interacción potencia la seguridad del proceso, la precisión en las evaluaciones y la eficacia en la consecución de objetivos claros y medibles. Además, la evaluación continua y la capacidad de ajustar dinámicamente los programas de rehabilitación reflejan la competencia profesional de gestionar procesos complejos, evitando tanto la sobrecarga como el retraso en la fase de retorno.

Finalmente, la rehabilitación debe ser personalizada y basada en criterios objetivos, más allá del tiempo cronológico. La aplicación de modelos como el RTP (Return to Play) y el StARRT framework permite estructurar decisiones clínicas fundamentadas en la salud del tejido, el nivel de estrés tolerado y los modificadores de riesgo. De esta manera, el fisioterapeuta deportivo cumple con los estándares internacionales de práctica segura, ética y basada en la evidencia, asegurando que el atleta regrese con confianza, sin riesgo de recaídas y con una recuperación integral (física, funcional y psicológica) que le permita sostener una carrera deportiva longeva y saludable.

En síntesis, "*Rehabilitación deportiva: proceso y metodologías*" constituye un marco integral que enlaza los tiempos biológicos de curación con las competencias profesionales del fisioterapeuta deportivo, en coherencia con los estándares de COLFI, WP e IFSPT. Este capítulo reafirma que la rehabilitación no es únicamente un proceso clínico, sino una práctica especializada que exige evaluación avanzada, intervención basada en evidencia, acompañamiento psicosocial y coordinación multidisciplinaria. La metodología aplicada debe ser personalizada, dinámica y orientada a objetivos claros, garantizando que el retorno al deporte se realice de manera segura, funcional y sostenible. De esta forma, el fisioterapeuta deportivo se consolida como un agente clave en la promoción de la salud, el rendimiento y la longevidad de la carrera deportiva, reafirmando el compromiso ético y científico que sustenta la profesión y dando pleno sentido al título de este documento.

Referencias

1. Houglum PA. Soft Tissue Healing and its Impact on Rehabilitation. Journal of Sport Rehabilitation. febrero de 1992;1 (1):19–39. doi:10.1123/jsr.1.1.19

2. Futrell M, Rozzi SL. Principles of Rehabilitation. Primary Care: Clinics in Office Practice. el 1 de marzo de 2020;Sports Medicine47 (1):87–103. doi:10.1016/j.pop.2019.10.004

3. Ardern CL, Glasgow P, Schneiders A, Witvrouw E, Clarsen B, Cools A, et al. 2016 Consensus statement on return to sport from the First World Congress in Sports Physical Therapy, Bern. Br J Sports Med. julio de 2016;50 (14):853–64. doi:10.1136/bjsports-2016-096278

4. Cools AM, Maenhout AG, Vanderstukken F, Declève P, Johansson FR, Borms D. The challenge of the sporting shoulder: From injury prevention through sport-specific rehabilitation toward return to play. Annals of Physical and Rehabilitation Medicine. el 1 de julio de 2021;64 (4):101384. doi:10.1016/j.rehab.2020.03.009

5. Shrier I. Strategic Assessment of Risk and Risk Tolerance (StARRT) framework for return-to-play decision-making. Br J Sports Med. octubre de 2015;49 (20):1311–5. doi:10.1136/bjsports-2014-094569

6. Chen C. On the Shoulders of Giants. En: Chen C, editor. Mapping Scientific Frontiers: The Quest for Knowledge Visualization [Internet]. London: Springer; 2003 [citado el 25 de agosto de 2024]. p. 135–66. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0051-5_5 doi:10.1007/978-1-4471-0051-5_5

7. International Olympic Committee Injury and Illness Epidemiology Consensus Group, Bahr R, Clarsen B, Derman W, Dvorak J, Emery CA, et al. International Olympic Committee Consensus Statement: Methods for Recording and Reporting of Epidemiological Data on Injury and Illness in Sports 2020 (Including the STROBE Extension for Sports Injury and Illness Surveillance (STROBE-SIIS)). Orthop J Sports Med. febrero de 2020;8 (2):2325967120902908. doi:10.1177/2325967120902908 PubMed PMID: 32118084; PubMed Central PMCID: PMC7029549.

8. Clarsen B, Bahr R. Matching the choice of injury/illness definition to study setting, purpose and design: one size does not fit all! Br J Sports Med. el 1 de abril de 2014;48 (7):510–2. doi:10.1136/bjsports-2013-093297 PubMed PMID: 24620038.

9. Organización Mundial de la Salud. Rehabilitación [Internet]. [citado el 2 de julio de 2024]. Disponible en: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/rehabilitation

10. PAHO/WHO | Pan American Health Organization. Social Determinants of Health [Internet]. 2024 [citado el 3 de julio de 2024]. Disponible en: https://www.paho.org/en/topics/social-determinants-health

11. World Physiotherapy. Rehabilitación | Fisioterapia mundial [Internet]. [citado el 2 de julio de 2024]. Disponible en: https://world.physio/es/advocacy/rehabilitation

12. Braaten AD, Hanebuth C, McPherson H, Smallwood D, Kaplan S, Basirico D, et al. Social determinants of health are associated with physical therapy use: a systematic review. Br J Sports Med. noviembre de 2021;55 (22):1293–300. doi:10.1136/bjsports-2020-103475 PubMed PMID: 34083223.

13. SPTCompetenciesStandards-final-draft.pdf [Internet]. [citado el 2 de julio de 2024]. Disponible en: https://ifspt.org/wp-content/uploads/2012/04/SPTCompetenciesStandards-final-draft.pdf

14. Matijasevic E. De las circunstancias en la anamnesis. Acta Medica Colombiana. octubre de 2014;39 (4):305–11.

15. Kirkby Shaw K, Alvarez L, Foster SA, Tomlinson JE, Shaw AJ, Pozzi A. Fundamental principles of rehabilitation and musculoskeletal tissue healing. Vet Surg. enero de 2020;49 (1):22–32. doi:10.1111/vsu.13270 PubMed PMID: 31271225; PubMed Central PMCID: PMC6973127.

16. English B. Phases of Rehabilitation. Foot and Ankle Clinics. el 1 de junio de 2013;Sporting Injuries to the Foot & Ankle18 (2):357–67. doi:10.1016/j.fcl.2013.02.011

17. Servicios Médicos del Futbol Club Barcelona. Guía de Práctica Clínica de las lesiones musculares. Epidemiología, diagnóstico, tratamiento y prevención. Apunts Medicina de l'Esport. enero de 2009;44 (164):179–203. doi:10.1016/S1886-6581 (09)70129-X

18. Vuurberg G, Hoorntje A, Wink LM, Doelen BFW van der, Bekerom MP van den, Dekker R, et al. Diagnosis, treatment and prevention of ankle sprains: update of an evidence-based clinical guideline. Br J Sports Med. el 1 de agosto de 2018;52 (15):956–956. doi:10.1136/bjsports-2017-098106 PubMed PMID: 29514819.

19. Ruiz-Sánchez FJ, Ruiz-Muñoz M, Martín-Martín J, Coheña-Jimenez M, Perez-Belloso AJ, Pilar Romero-Galisteo R, et al. Management and treatment of ankle sprain according to clinical practice guidelines: A PRISMA systematic review. Medicine (Baltimore). el 21 de octubre de 2022;101 (42):e31087. doi:10.1097/MD.0000000000031087 PubMed PMID: 36281183; PubMed Central PMCID: PMC9592509.

20. Hertel J. The Role of Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drugs in the Treatment of Acute Soft Tissue njuries.

21. Stovitz SD, Johnson RJ. NSAIDs and Musculoskeletal Treatment: What is the Clinical Evidence? The Physician and Sportsmedicine. enero de 2003;31 (1):35–52. doi:10.3810/psm.2003.01.160

22. Moura Júnior MDJ, Arisawa EÂL, Martin AA, De Carvalho JP, Da Silva JMN, Silva JF, et al. Effects of low-power LED and therapeutic ultrasound in the tissue healing and inflammation in a tendinitis experimental model in rats. Lasers Med Sci. enero de 2014;29 (1):301–11. doi:10.1007/s10103-013-1327-0

23. Cirer-Sastre R, Beltrán-Garrido JV, Corbi F. Contralateral Effects After Unilateral Strength Training: A Meta-Analysis Comparing Training Loads. J Sports Sci Med. el 1 de junio de 2017;16 (2):180–6. PubMed PMID: 28630570; PubMed Central PMCID: PMC5465979.

24. Farthing JP, Zehr EP. Restoring Symmetry: Clinical Applications of Cross-Education. Exercise and Sport Sciences Reviews. abril de 2014;42 (2):70. doi:10.1249/JES.0000000000000009

25. Derakhti M, Åkerlund J. Cross Education; : The effect of 10 weeks of unilateral resistance training on strength and hypertrophy [Internet]. 2016 [citado el 31 de julio de 2024]. Disponible en: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:gih:diva-4475

26. Malliaras P, Barton CJ, Reeves ND, Langberg H. Achilles and patellar tendinopathy loading programmes : a systematic review comparing clinical outcomes and identifying potential mechanisms for effectiveness. Sports Med. abril de 2013;43 (4):267–86. doi:10.1007/s40279-013-0019-z PubMed PMID: 23494258.

27. Drew B, Smith T, Littlewood C, Sturrock B. Do structural changes (eg, collagen/matrix) explain the response to therapeutic exercises in tendinopathy: A systematic review. British journal of sports medicine. el 31 de octubre de 2012;48. doi:10.1136/bjsports-2012-091285

28. Silbernagel KG, Thomeé R, Eriksson BI, Karlsson J. Continued Sports Activity, Using a Pain-Monitoring Model, during Rehabilitation in Patients with Achilles Tendinopathy: A Randomized Controlled Study. Am J Sports Med. junio de 2007;35 (6):897–906. doi:10.1177/0363546506298279

29. Loeza-Magaña P, Quezada-González HR, Arias-Vázquez PI. Return to Sport, integrating the process from conventional rehabilitation up to reconditioning: a narrative review.

30. Jaén TFF, García PG. Criteria for returning to play sports after an injury. Revista archivos de medicina del deporte (AMD) [Internet]. 2017;34 (177). Disponible en: https://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/INGLES_rev02_fernandez.pdf

31. Ministerio de Salud y Protección Social, Dirección de Desarrollo de Talento Humano en Salud, Asociación Colombiana de Fisioterapia (ASCOFI), Colegio Colombiano de Fisioterapeutas (COLFI). perfil profesional y competencias del fisioterapeuta en Colombia [Internet]. 2015. Disponible en: https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/TH/Perfil-profesional-competencias-Fisioterapeuta-Colombia.pdf

CAPÍTULO 6

Criterios y Estrategias para la Readaptación Deportiva y el Retorno al Juego

Criteria and Strategies for Sports Rehabilitation and Return to Play

Jorge Enrique Ramírez Malagón
Escuela Colombiana de Rehabilitación
https://orcid.org/0009-0004-7319-7999
jramirezmalagon595@gmail.com

Pedro Antonio Calero Saa
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
https://orcid.org/0000-0002-9978-7944
pcalero22@gmail.com

Resumen

La readaptación deportiva, un proceso dinámico, se establece como un pilar fundamental en la rehabilitación del deportista. Más allá de la simple recuperación de una lesión, esta fase de la rehabilitación busca restituir al atleta a su máximo nivel de rendimiento, optimizando su capacidad funcional y mitigar el riesgo de futuras lesiones relacionadas y no relacionadas. El presente capítulo evidencia la importancia y aparición temprana, los principios del entrenamiento y el aprendizaje motor, así como en la importancia de una valoración funcional exhaustiva.

La readaptación deportiva no es un proceso lineal, sino una construcción progresiva que implica la restauración de patrones de movimiento, el fortalecimiento muscular, la mejora de la propiocepción y la readquisición de habilidades específicas del deporte. Estos objetivos se alcanzan mediante la aplicación de principios provenientes del entrenamiento deportivo y de la

Cita este capítulo / *Cite this chapter*

Lasprilla JA, Calero Saa PA. Rehabilitación deportiva: proceso y metodologías. En: Calero Saa PA, editor. *Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria*. *Tomo III: rehabilitación y readaptación deportiva*. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 285-312. https://doi.org/10.35985/9786287914179.6

ciencia del aprendizaje motor. La correcta ejecución de ejercicios terapéuticos y la progresión gradual de la carga de entrenamiento son elementos clave para garantizar un retorno seguro y efectivo a la actividad física.

No obstante, la complejidad de la readaptación deportiva demanda una evaluación inicial precisa y detallada. La valoración funcional emerge como una herramienta indispensable para identificar las deficiencias físicas y funcionales del deportista, así como para establecer objetivos terapéuticos realistas y medibles. A través de una batería de pruebas específicas, el profesional de la salud puede cuantificar la pérdida de fuerza, la disminución de la movilidad articular, los déficits de equilibrio y coordinación, y otros factores relevantes para la planificación del tratamiento.

Un aspecto crucial en la readaptación deportiva es la definición del perfil profesional idóneo para llevar a cabo este proceso. En el contexto colombiano, la diversidad de ofertas académicas en el campo de la salud plantea interrogantes sobre la formación y capacitación de los profesionales encargados de la rehabilitación deportiva. ¿Cuáles son las competencias necesarias para garantizar una atención integral y de calidad? ¿Qué papel desempeñan los fisioterapeutas, los preparadores físicos y otros profesionales de la salud en este proceso?

Palabras clave: Medicina deportiva, Rehabilitación, Regreso al Deporte.

Abstract

Sports readaptation, a dynamic process, is established as a fundamental pillar in athlete rehabilitation. Beyond simple injury recovery, this phase of rehabilitation seeks to restore the athlete to their maximum level of performance, optimizing their functional capacity and mitigating the risk of future related and unrelated injuries. This chapter highlights the importance and early appearance of training principles and motor learning, as well as the importance of a thorough functional assessment. Sports readaptation is not a linear process, but rather a progressive construction that involves the restoration of movement patterns, muscle strengthening, improved proprioception, and the reacquisition of sport-specific skills. These objectives are achieved through the application of principles derived from sports training and the science of motor learning. The correct execution of therapeutic exercises and the gradual progression of training load are key elements for ensuring a safe and effective return to physical activity. However, the complexity of sports readaptation demands an initial precise and detailed evaluation. Functional assessment emerges as an indispensable tool to identify the physical and functional deficiencies of an

athlete, as well as to establish realistic and measurable therapeutic objectives. Through a battery of specific tests, the health professional can quantify the loss of strength, the decrease in joint mobility, deficits in balance and coordination, and other factors relevant for treatment planning. A crucial aspect of sports readaptation is the definition of the ideal professional profile to carry out this process. In the Colombian context, the diversity of academic offerings in the health field raises questions about the training and qualification of professionals in charge of sports rehabilitation. What are the necessary competencies to guarantee comprehensive and quality care? What role do physiotherapists, physical trainers, and other health professionals play in this process?

Keywords: *Sports Medicine, Rehabilitation, Return to Sport.*

Introducción

> *"Su objetivo es el estudio, comprensión y manejo del movimiento corporal humano, como elemento esencial de la salud y el bienestar del hombre." Los seres humanos estamos hechos para movernos y el mejor impacto para la salud es mantenernos en movimiento.*
>
> —Ley 528 de 1999, Congreso de la República de Colombia

La lesión deportiva, un evento desafiante en la trayectoria de cualquier atleta, ha cambiado su percepción en las últimas décadas. Lo que antes se concebía como un punto final, hoy se evidencia como un punto clave en la rehabilitación deportiva. La readaptación deportiva, lejos de ser una mera restitución física, se erige como un proceso complejo que configura la relación del individuo con su propio cuerpo. (1)

Una lesión, al alterar los patrones motores, disrupciones esta compleja sinergia. La readaptación, en este contexto, se convierte en un proceso de reeducación neuromuscular que busca restaurar no sólo la función, sino también la experiencia subjetiva del movimiento.

La plasticidad neuronal, esa capacidad innata del cerebro para adaptarse y reorganizarse, subyace a la readaptación. A través de la práctica repetida y la retroalimentación precisa, el sistema nervioso central puede establecer nuevas conexiones sinápticas, optimizando los patrones motores y mejorando la eficiencia del movimiento. Este proceso de aprendizaje, lejos de ser homogéneo, es altamente individualizado. Cada lesión presenta un desafío único, y cada atleta posee características biomecánicas y psicológicas particulares que deben ser consideradas.

Los principios del entrenamiento deportivo, adaptados al contexto de la readaptación, guían este proceso de reeducación. La especificidad del entrenamiento, la progresión gradual de la carga y el principio de super compensación son herramientas fundamentales para optimizar la recuperación y prevenir nuevas lesiones.

¿Cómo Podemos Definirla?

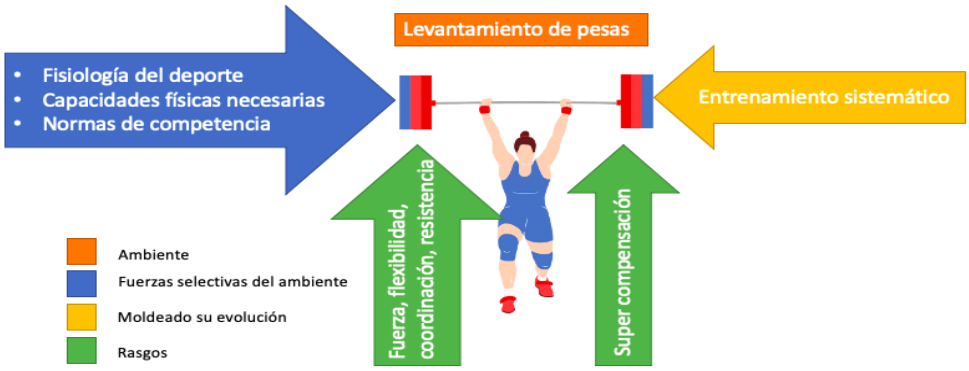
La palabra readaptación debemos comenzar desde su raíz. La real academia de la lengua española define la "adaptación" como: "*el* ***acto*** y el ***resultado*** de ***adaptarse o adaptar***: *ajustar una cosa a algo*." Con esto, podemos definir la readaptación como el acto de volver acomodarse o adaptarse; en el contexto deportivo, podemos decir que es el acto que realiza el deportista de manera dirigida, controlada y dosificada para retomar un nivel obtenido anterior a una lesión.

En el deporte, la adaptación se puede tomar como la adaptación evolutiva de los seres vivos a lo largo de la historia: "*Se dice que una especie está adaptada a un* ***ambiente*** sí y solo sí ese ambiente ha generado ***fuerzas selectivas*** *que han afectado a los ancestros de esa especie y han* ***moldeado su evolución*** *dotándolos de* ***rasgos*** *que benefician la explotación de dicho ambiente*" (2).

En el contexto del deporte se toma como:

- "**Ambiente**": el deporte y modalidad deportiva en el cual se desempeñe
- "**Fuerzas selectivas del ambiente**": se toman como las características fisiológicas, motrices y normatividad del deporte, las cuales generan unas demandas que moldearon a ese deportista y lo dotaron de distintas capacidades para poder sobresalir y competir en ese ambiente.
- "**Moldeado su evolución**": Como el entrenamiento sistemático el cual ha sido sometido ese deportista a lo largo de su vida deportiva.
- "**Rasgos**": Serían las capacidades físicas que el deportista ha desarrollado para poder tener un buen desempeño o altos logros en competencia. (2)

Figura 1. *Entorno del deportista*



¿Qué es la Readaptación Deportiva?

La readaptación deportiva es un concepto y proceso fundamental en el mundo del deporte formativo y de alto rendimiento, especialmente cuando se está llegando a la parte final de la rehabilitación deportiva y se trata de recuperar de una lesión y mejorar el rendimiento. Según Mantilla (3), este proceso debe ser trabajado a nivel estructural y funcional en diversos aspectos del movimiento corporal humano. (direcciones y exigencias coordinativas semejantes a la competencia). Esto incluye mejorar cualidades físicas básicas como la fuerza, resistencia, velocidad y potencia, así como las específicas y complejas que exige el deporte que se practica, optimizando las sinergias entre articulaciones y músculos. El objetivo es lograr una mayor eficiencia y eficacia en la calidad del movimiento, el cual fue alterado por el proceso de inmovilización o la aparición de dolor, potenciando las habilidades funcionales específicas del deporte.

Es importante señalar que la readaptación deportiva no es un proceso aislado, ni una fase simple del proceso de rehabilitación, sino que forma parte integral de la rehabilitación deportiva y toma protagonismo en la etapa final de la misma. (4) Durante esta etapa, el objetivo principal es desarrollar, fortalecer y potenciar las capacidades físicas básicas del atleta, ya sea existentes o nuevas, para que al momento de reintegrarse al entrenamiento se puedan reaprender las capacidades específicas del deporte . Esto puede implicar enseñar técnicas y habilidades que el deportista no había dominado antes de la lesión.

Mantilla (3) destaca los diversos componentes que deben tenerse en cuenta durante la readaptación deportiva. Estos incluyen una evaluación exhaustiva de las habilidades del atleta y la creación de un plan de intervención

personalizado. A lo largo de todo el proceso, es fundamental monitorear el progreso del deportista y realizar ajustes según sea necesario.

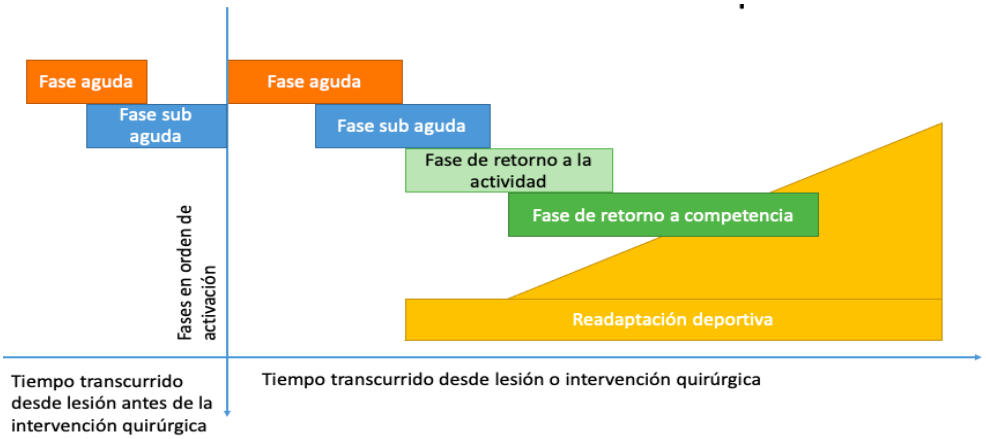
Tabla 1. *Enfoques y Habilidades en la Readaptación Deportiva*

Enfoque generalizado	**Habilidades específicas**
Movimientos inesperados	Calidad del movimiento
	Desaceleración
	Aceleración
	Cambio de dirección
Inestabilidad	Balance
	Cambio de dirección
Multidireccionalidad	Potencia
	Equilibrio
	Balance
	Agilidad
	Velocidad
Propiocepción	Rango de movimiento
	Control motor
Toma de decisiones	Capacidad aeróbica
	Fuerza
Lateralidad	Dominancia y no dominancia

Fuente: Adaptado de Mantilla (3).

Este gráfico nos describe una serie de capacidades físicas las cuales el deportistas debe tener, teniendo en cuenta las cualidades fisiológicas, mecánicas y tácticas del deporte, se resalta la presencia de balance en las casillas de inestabilidad y multidireccionalidad, debido a que el balance no es solo estático al mantener una posición y generar movimientos en esa posición, es también importante el balance dinámico en el desplazamiento en campo, cambios de dirección y perturbaciones externas las cuales vaya a ser sometido el deportista. (5)

Figura 2. *Fases de la rehabilitación deportiva*



¿Por qué es tan Importante y qué Función debe Cumplir?

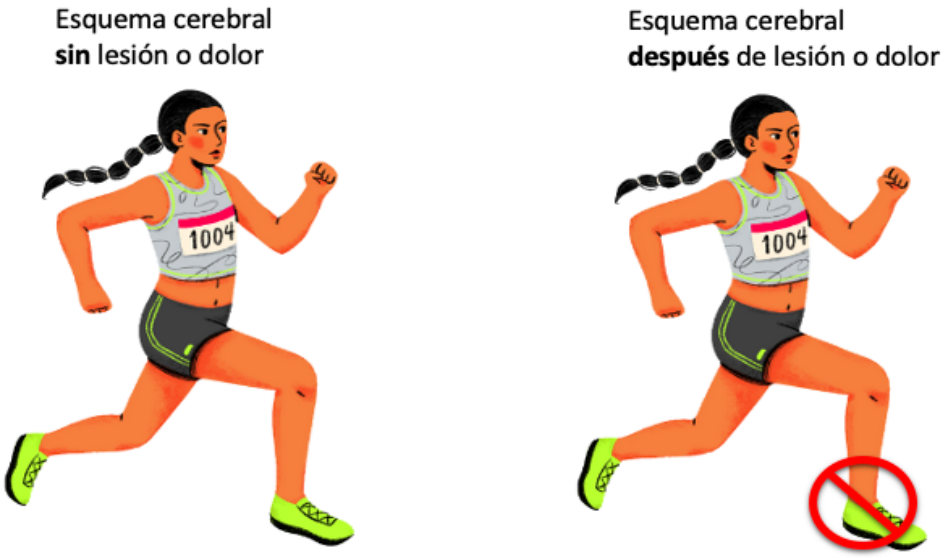
Esta etapa de rehabilitación si bien debe estar ubicada al final, donde ya se deben haber superado una serie de metas como es la ausencia del dolor, el rango completo de movimiento, la adaptación a la carga es importe resaltar que: la readaptación deportiva debe tener unas bases fundamentales las cuales se comienzan a trabajar desde el inicio de la rehabilitación, generando así un proceso transversal con un fin protagónico. Estos aspectos que se ven involucrados dentro de un proceso de readaptación deportiva dan a entender la importancia y la especificidad del profesional el cual debe cumplir con las características y enfoque de esta etapa de la rehabilitación.

Es de resaltar la importancia de la aparición temprana de la rehabilitación deportiva en los casos que como solución a la estructura lesionada sea un tratamiento quirúrgico el cual este a la espera de confirmación o sujeto a disponibilidad de médica, en este tiempo el deportista se debe preparar para la cirugía a la cual va ser sometido y la póstuma rehabilitación, esta preparación debe ser dirigida y llevada por el fisioterapeuta especialista ya que va preparar ese tejido y tejidos adyacentes para ser intervenidos y deben mantener unas condiciones de movilidad intrínseca y fuerza para que la rehabilitación que se inicie después de la cirugía sea más exitosa. (6-7)

Cuando un deportista es afectado por una lesión, ya sea de origen intrínseco o extrínseco, se afectan sus funciones físicas por la incapacidad y posible dolor al movimiento (8). El dolor es un factor desencadenante de una disminución

de potencial físico y deportivo debido a que la sensación de dolor captado por el cerebro lo hace reaccionar por medio de modificaciones posturales y de movimiento (posición antiálgica o marcha antiálgica) (9). Esto entra a afectar la calidad de movimiento del deportista debido a que se creó una kinesiofobia que en compañía con psicología deportiva se debe intervenir. El sistema nervioso central se alimenta de la información que está en la periferia ya sean receptores cutáneos, articulares o musculares (3). los cuales llevan una cascada de información por las vías ascendentes donde el cerebro censa e integra la sensación de dolor como, el cerebro al sentir dolor en un movimiento o acción en específico crea un efecto protectivo para no recibir esa información nociva creando una alteración postural o en la calidad del movimiento.

Figura 3. *Dolor posterior a lesión o trauma*

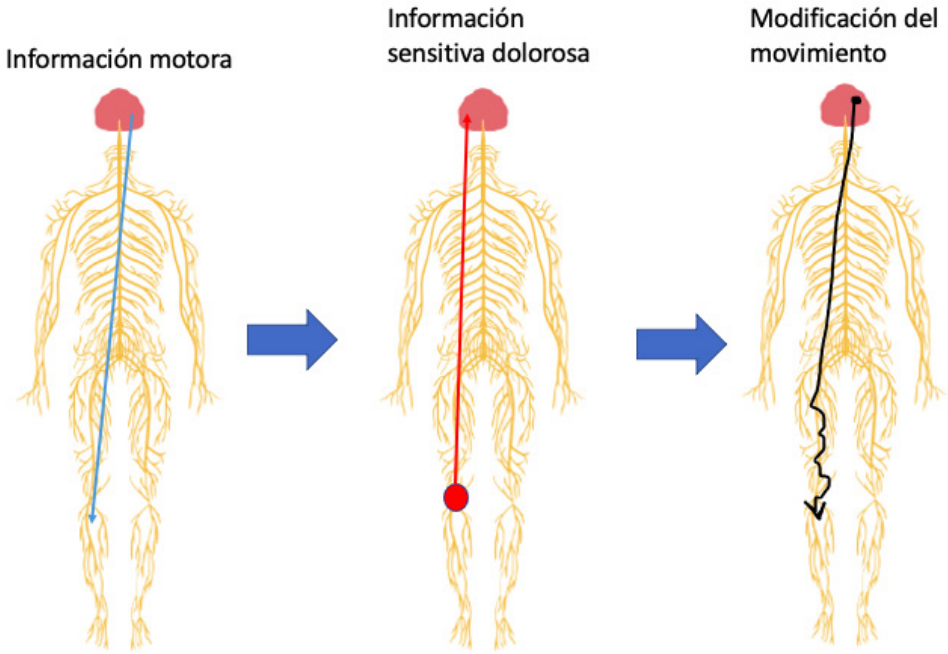


"El *proceso mediante el cual se perciben los daños en los tejidos, se codifican y se procesan los estímulos nocivos, se conoce como nocicepción, que se lleva a cabo mediante unos receptores especializados llamados nociceptores, los cuales transmiten dicha información al sistema nervioso central* (SNC)" (11).

Estos estímulos posteriores a una lesión son dados por la estructura afectada, la cual, si es sometida a una fuerza directa o indirecta, va a generar el estímulo. Esto lo explica Bonilla Barba de esta manera:

"*Un estímulo nociceptivo es aquel capaz de ser una amenaza para la integridad corporal*" (12-18), recibido por los nociceptores, o neuronas aferentes que recogen la información y se encargan de transportarla, tanto del medio externo (piel) como del interno (músculos, articulaciones) del individuo, en forma de señal eléctrica desde la periferia a vías superiores del SNC y finalmente alcanzando el cerebro, donde se interpreta dicha percepción, pudiendo generar una señal de alarma para aportar protección al organismo, desencadenando de esta manera, respuestas reflejas (10)

Figura 4. *Procesamiento neuromotor ante estímulos dolorosos*



Una vez esa información de dolor haya desaparecido del camino ascendente, es importante evaluar qué consecuencia o alteración en el movimiento creó el cerebro, como pueden ser: alteraciones del movimiento y modificaciones del gesto deportivo. El aprendizaje de un gesto deportivo o patrón de movimiento que haya sido modificado por el dolor debe ser aprehendido por medio de las teorías del aprendizaje y control motor descritas por Richard Schmidt. Se debe enseñar al cerebro por medio de los estímulos externos que le generemos a los mecanos receptores que por las vías ascendentes llevan esa información hacia el cerebro donde se integra la misma, con ayuda de una retroalimentación

(*feedback*). El aprendizaje motor le va a permitir identificar a ese deportista que ya ese movimiento no genera dolor o estímulo nocivo, que no debe realizar modificaciones en el gesto deportivo o el patrón de movimiento, las cuales puedan afectar a otra estructura en el futuro. generando modificaciones en la calidad del movimiento o compensaciones musculares futuras. (10-13)

Figura 5. *Realimentación sensitiva y control neuromotor sin dolor*



Nombrado esto, se ve la importancia de ver la readaptación deportiva desde una mirada más global, clínica y analítica la cual nos permita generar un impacto en el deportista no solo en sus estructuras anatómicas por medio de cargas progresivas, controladas y dosificadas, sino también en sus estructuras y fisiología neurológica la cual le va a permitir manejar y controlar su cuerpo de mejor manera mejorando su rendimiento deportiva. (16)

Esta fase de la rehabilitación surge de la necesidad de adaptar al deportista y todas sus estructuras, lesionadas y no lesionadas, a las exigencias que tiene el deporte, donde se hace una aproximación por medio del trabajo de las habilidades específicas en trabajos controlados donde se mantenga una exigencia progresiva y controlada a estas estructuras, de tal manera que se adaptan a las necesidades que tiene el deporte en el entrenamiento y en la competencia. (17)

Figura 6. *Demandas biomecánicas en el rendimiento deportivo*

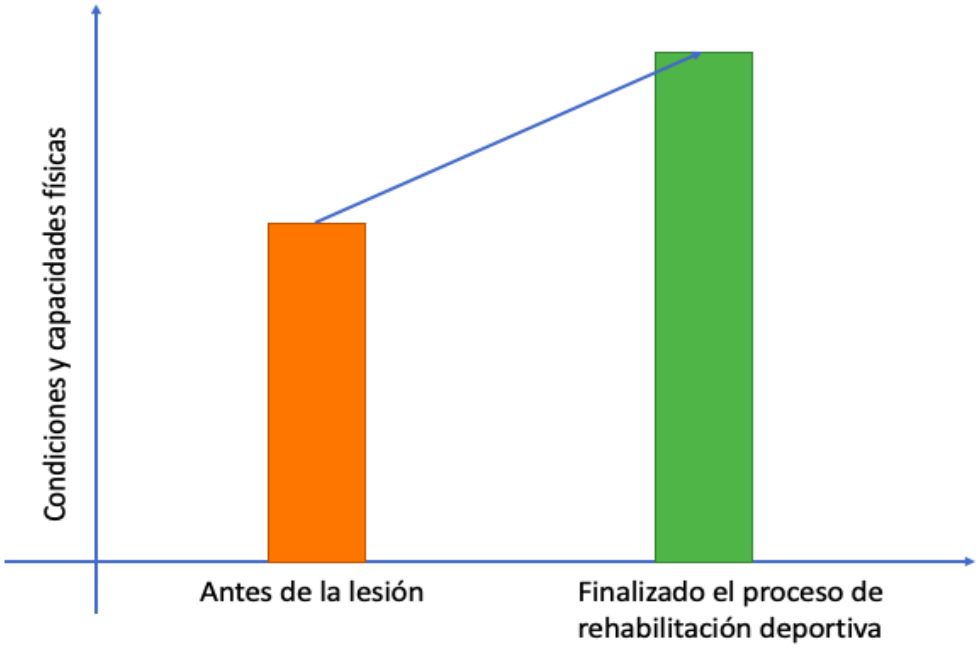


Este periodo de la rehabilitación pretende suplir o corregir todas las falencias físicas que pueda llegar a tener el deportista gracias a:

1. La posible inmovilización que haya tenido
2. El tiempo que estuvo fuera del entrenamiento y de la competencia
3. La alteración o falencia en el movimiento que haya tenido en el deportista que le desencadenó la lesión cuando se habla de un factor intrínseco (18)

Como su definición indica, la readaptación deportiva se enfoca en devolverle ese rendimiento que tenía el deportista antes de su lesión. Sin embargo, no se puede limitar a solo eso. En la readaptación tenemos la posibilidad y la responsabilidad de mejorar y potenciar las capacidades ya existentes del deportista enfocados en su rendimiento deportivo. Esto quiere decir que la readaptación deportiva es fundamental para mejorar las capacidades físicas y fisiológicas, para posteriormente mejorar su rendimiento deportivo en competencia (19). Acá es donde toma valor la creencia que el deportista debe volver más fuerte y mejor posterior a una lesión y a un proceso rehabilitador.

Figura 7. *Mejora del rendimiento tras la rehabilitación deportiva*



El deportista se debe tratar como tal, el cual está llevando su cuerpo al límite con el fin de lograr un objetivo deportivo. Esto lo define la normatividad del deporte en el cual compite a la readaptación deportiva y se toma como un momento en la rehabilitación ya muy próximo a un retorno al entrenamiento sistemático y posterior competencia. Se habla de unas habilidades que deben ser trabajadas en este momento de la rehabilitación. Estas habilidades no son imperativas para todos los deportes debido a las cualidades fisiológicas y de competencia que tiene cada uno. (2, 20, 22) realiza un gráfico el cual podemos utilizar y direccionar a la especificidad del deporte y las necesidades que tiene el mismo.

Figura 8. *Diagrama radar de habilidades en rehabilitación, readaptación y entrenamiento*



Fuente: Tomado de Mantilla (3). Imagen mejorada digitalmente utilizando [NotebookLM].

Este diagrama elaborado por mantilla nos permite tener un panorama de trabajo el cual se puede identificar qué le vamos a trabajar al deportista enfocado en las necesidades que tenga el deporte y la modalidad o tipo de prueba que realice. Al momento de iniciar un proceso de readaptación deportiva, es necesario contar con test, los cuales nos permitan identificar:

Debilidades musculares en función de (estabilidad o movimiento) en movimientos específicos

1. Alteraciones de movimiento durante el test
2. Presencia de dolor al movimiento y/o activación muscular
3. Inestabilidades articulares, dinámicas y estáticas

A esto se le conoce como la valoración funcional del deportista que debe estar presente al inicio, durante el tratamiento como herramienta de progresos y control, y finalizando el proceso de rehabilitación donde cumple un papel fundamental en identidad las falencias que tiene el deportista en la calidad del movimiento que realiza y, por ende, realizar una planificación del entrenamiento y en la parte final de la rehabilitación.

Antes de iniciar el proceso de readaptación deportiva, debemos identificar qué alteraciones de movimiento que presenta el deportista por medio de test funcionales que estén relacionados a la lesión que tiene el deportista, y al deporte en el cual se desempeña. De esta forma, podemos tener una valoración objetiva y específica del movimiento para posteriormente implementar el plan de readaptación deportiva.

La readaptación deportiva como la valoración funcional van de la mano en el sentido que se observa al deportista en la globalidad y características del movimiento que se ejecuta.

La readaptación deportiva debe tener varios componentes: un componente técnico tacto el cual le va a permitir al deportista desarrollar sus habilidades específicas en el deporte tomando como eje del movimiento el gesto deportivo. Este componente técnico metodológico se puede implementar teniendo el conocimiento del deporte en todos sus espectros (qué ruta energética utiliza el deportista; cuáles son las capacidades físicas que más demanda el deporte; y cuál es el objetivo técnico y de competencia) (21). Esto va a direccionar el planteamiento de la readaptación deportiva: se debe conocer el deporte desde su proceso formativo, transiciones de etapas, competencias, modalidades, y entrenamientos para poder adaptar al deportista de la mejor manera a las exigencias que va a tener en competencia y entrenamiento.

La readaptación deportiva se debe tomar como un proceso de entrenamiento del cuerpo humano y sus estructuras lesionadas y no lesionadas a la carga que serán sometidas en el entrenamiento deportivo y competencia. En este orden de ideas se desglosa la readaptación desde los principios del entrenamiento

deportivo los cuales nos van a permitir llevar un proceso controlado desde los procesos de cicatrización y repuestos al tejido, estos principios nos guiarán en identificar las fases o estadios en los cuales se encuentre el deportistas, y asimismo nos permitirán identificar en el momento en el cual ya debe a avanzar o cambiar de estímulo.

Hasta ahora no se ha conseguido elaborar un esquema de los principios generales del entrenamiento aceptado por la mayoría de los especialistas (1). De esta manera, proponemos la clasificación propuesta por Zintl (26), ya que está basada en los procesos de adaptación, concepto clave que rige la evolución del proceso de entrenamiento y que ya apareció tras abordar el término estrés.

Tabla 2. *Clasificación de los distintos principios del entrenamiento propuesta por Zintl (26) basados en los procesos de adaptación biológicos*

Principios que inician los proceso de adaptación	Principio de estímulo eficaz de la carga. Principio de la progresión. Principio de la variedad.
Principios de ejercer un control específico de la adaptación	Principio de individualización y adecuación a la edad. Principio de especialización progresiva. Principio de alternancia
Principios de garantizan la adaptación	Principio de relación óptima entre carga y recuperación. Principio de la repetición y continuidad. Principio de la periodización.

Fuente: adaptado de Solé (7)

Dentro de la readaptación deportiva se toman los siguientes principios:

1. Los que inician el proceso de adaptación: los cuales nos permitirán en los procesos iniciales o de cambio de fases generar ese estímulo primario al tejido y al sistema nervioso en busca de una adaptación al mismo que va a ser sometido en el entrenamiento y en competencia, este principio nos permite incrementar cargas físicas en un entorno controlado.

2. Los que garantizan la adaptación: nos encaminan en el control que debemos llevar de las cargas, la cantidad de estímulo, los pesos, y como vamos a manejar estas variables con el fin de buscar una adaptación por medio de un descanso objetivo para el trabajo que se está realizando.
3. Los que nos permiten ejercer un control específico de la adaptación: por medio de estos principios podemos direccionar desde la individualización a la carga y estímulo adecuado teniendo en cuenta las características de los deportistas, la lesión y deporte que practica.

Desde el aprendizaje del movimiento, tomando en cuenta la calidad del movimiento y las compensaciones que se realizan al ejecutarlo.

Importancia del Aprendizaje y Reaprendizaje Motor

Según Richard Schmidt, el aprendizaje motor no se basa en la memorización de cada movimiento específico realizado, sino en la formación y almacenamiento de esquemas generales de movimiento. Estos esquemas son plantillas abstractas que permiten a los individuos adaptar y ejecutar una variedad de movimientos similares sin necesidad de recordar cada detalle de cada acción específica; por este motivo se realizan varias repeticiones del mismo ejercicio con diferentes grados de dificultad, permitiendo que el engrama motor de los deportistas se fortalezca o en su defecto se cree.

Schmidt diferencia el control abierto y el control cerrado, el abierto tiene como características que se emplea en entornos predecibles y estables (entorno controlado). En estas condiciones, el cerebro se basa en los esquemas de movimiento previamente almacenados o aprendidos, lo que permite la ejecución eficiente de movimientos rápidos y bien practicados, no es necesaria la retroalimentación continua ya que la persona realiza movimientos repetitivos y definidos en un objetivo. Por ejemplo, un corredor de atletismo pista realizando el entrenamiento en una pista plana y recta utiliza el control abierto para mantener un ritmo constante sin necesidad de ajustar continuamente su técnica.

Figura 9. *Control abierto*

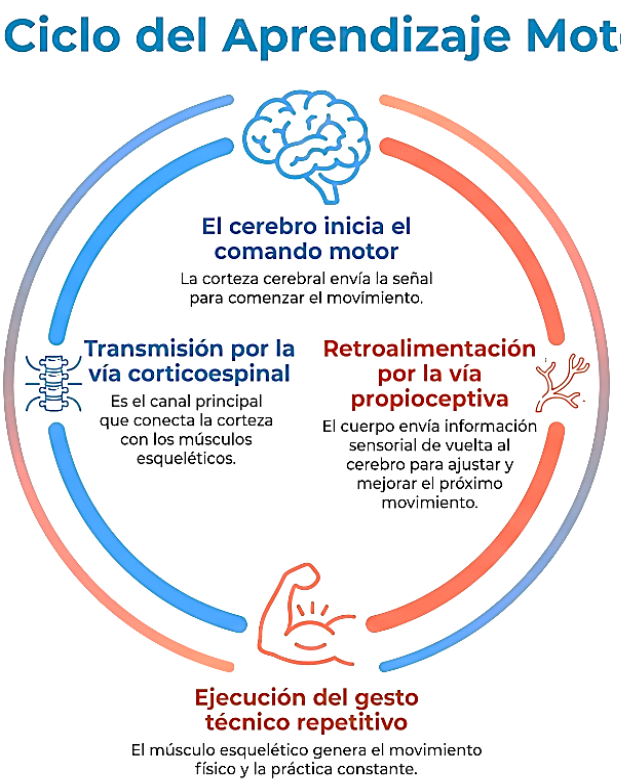


Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [NotebookLM].

Por otro lado, el control cerrado es esencial en situaciones donde el entorno es impredecible, y los movimientos requiere alta precisión, donde es fundamental una constante retroalimentación sensorial la cual le permite corregir sus movimientos constantemente, acá es donde la teoría de la retroalimentación toma un protagonismo. por medio de la información sensorial percibida durante el movimiento es fundamental para corregir el movimiento deseado durante la ejecución de este, esta retroalimentación le permite al sistema nervioso realizar correcciones en tiempo real permitiendo un aprendizaje instantáneo del gesto a corregir.

Una vez ya se haya logrado la corrección del movimiento o gesto deportivo debe haber una transferencia de este mismo para que el deportista lo realice en un entorno de entrenamiento y futura competencia, facilitando los movimientos que realiza, mejorando su rendimiento y eficiencia en el movimiento.

Figura 10. *Control cerrado*

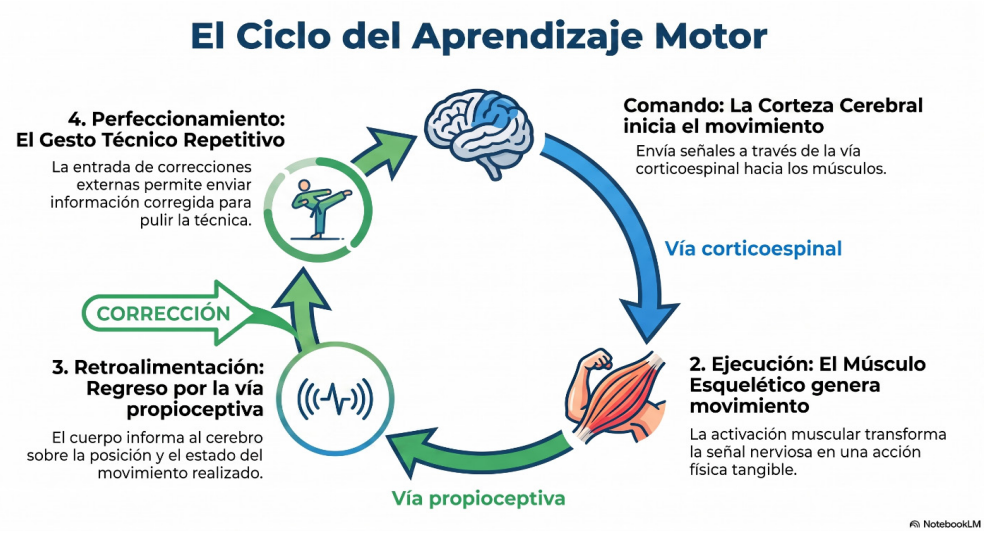


Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [NotebookLM].

La readaptación vista desde el control motor se utiliza para entender cómo los atletas después de una lesión pueden recuperar y mejorar su rendimiento en competencia, Schmidt habla de una reentrenamiento del esquema, dando por hecho el deportistas ha tenido previamente capacidad de realizar el movimiento con cualidades técnicas óptimas, sin embargo se ve en la práctica diaria que los deportistas no tiene el conocimiento previo de movimientos base del gesto deportivo correspondiente, por este motivo se debe hablar de entrenamiento y reentrenamiento del esquema.

Cuando hacemos una intervención en el entrenamiento del esquema debemos fraccionar o dividir el movimiento objetivo que queremos que realice el deportista, de esta manera podemos controlar más la calidad de los movimientos que realiza y poder accionar una oportuna retroalimentación para que sea corregido en tiempo real.

Las teorías de Richard Schmidt y Lee sobre el control motor proporcionan una base sólida para entender y mejorar el aprendizaje motor y la ejecución del movimiento. Estos conceptos son aplicables en una variedad de contextos, desde la rehabilitación hasta el entrenamiento deportivo, y continúan guiando la investigación y las prácticas en el campo del control motor.

En el ámbito de la fisioterapia, hemos aprendido que las técnicas de aprendizaje motor se aplican principalmente en casos de alteraciones neurológicas o neuromusculares de origen central o periférico. Sin embargo, estas técnicas no se han dirigido específicamente a entornos deportivos o de rehabilitación ortopédica. Los profesionales del deporte y los licenciados en educación física tienen sólidas bases en aprendizaje motor y patrones fundamentales desde la infancia hasta la adolescencia, enfocándose en estimular a los jóvenes para desarrollar sus habilidades motrices específicas.

A medida que las personas llegan a la adultez y comienzan a desarrollar su actividad deportiva, pueden enfrentar alteraciones motrices básicas que dificultan su rendimiento y pueden provocar problemas osteomusculares. Por ello, el aprendizaje motor es crucial tanto en la rehabilitación ortopédica como en la deportiva. La calidad del movimiento juega un papel esencial en la prevención y rehabilitación de lesiones.

En la readaptación deportiva, el aprendizaje motor es fundamental, ya que cualquier alteración anatómica o funcional en la deportista afecta sus patrones de movimiento y gestos deportivos. Durante la rehabilitación, es vital reeducar el movimiento tras fortalecer y poner a punto todas las capacidades físicas necesarias. La mayoría de las lesiones se deben a movimientos incorrectos, debilidades o alteraciones en los patrones de movimiento.

En el proceso de readaptación deportiva, es crucial guiar al paciente en la correcta ejecución de los movimientos necesarios para su recuperación. Este proceso no solo implica enseñar al paciente cómo realizar cada movimiento, sino también explicarle de qué manera debe llevarlo a cabo, cuáles movimientos debe evitar y cómo manejar el fenómeno de la kinesiofobia, que es el miedo al movimiento relacionado con el dolor o la lesión (16).

Para combatir la kinesiofobia, es esencial proporcionar al paciente la seguridad y estabilidad necesarias para realizar los gestos deportivos sin perturbaciones internas. Esto implica asegurar que el paciente pueda ejecutar el movimiento de forma controlada y con confianza, minimizando el riesgo de recaídas.

Es fundamental tener en cuenta que el cerebro juega un papel central en el movimiento del cuerpo. Este órgano reconoce las estructuras anatómicas y funcionales que han sido lesionadas, las cuales han pasado por un período de cicatrización. Sin embargo, durante este tiempo, la estructura lesionada está en constante cambio y no siempre está completamente preparada para enviar señales precisas al cerebro. Como resultado, el cerebro puede tener

dificultades para identificar y coordinar el uso de la estructura lesionada para su funcionamiento óptimo (11).

Debido a esta falta de sincronización, los deportistas y las personas que practican actividad física pueden desarrollar patrones de compensación. Estas compensaciones son ajustes posturales o de movimiento que el cerebro realiza en respuesta a la lesión o molestia. Aunque estos ajustes pueden ser pequeños y casi imperceptibles, con el tiempo pueden llevar a alteraciones posturales significativas y afectar la calidad del movimiento. Estas modificaciones pueden aumentar el riesgo de desarrollar problemas más graves a largo plazo.

Figura 11. *Conexión nerviosa*

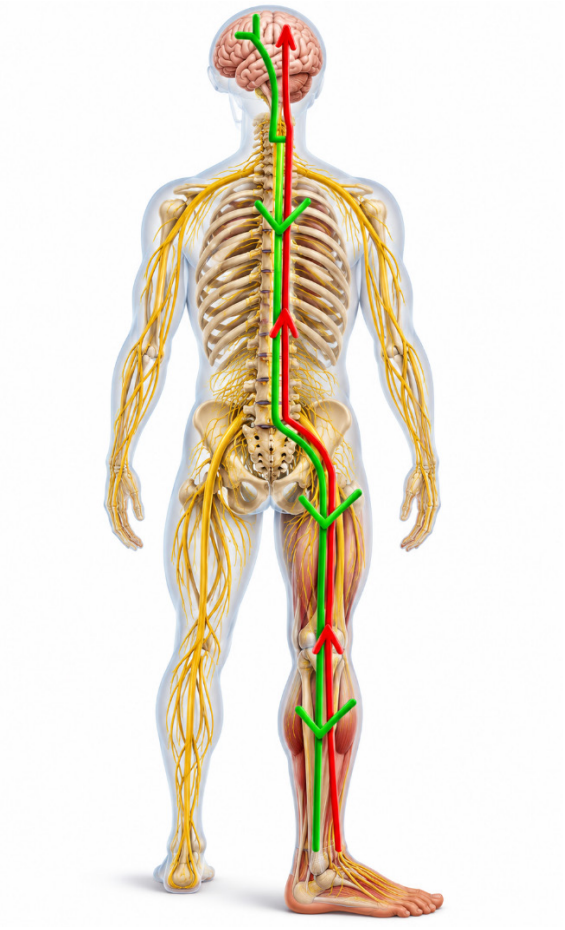


Imagen generada por IA a partir de ejemplo del autor utilizando [NotebookLM].

La información aferente, es decir, la que llega al cerebro a través de los mecanorreceptores articulares, musculares o cutáneos, está estrechamente relacionada con la información referente, que es la que el cerebro envía para coordinar los movimientos. Si el cerebro no está al tanto de que la estructura lesionada ya no causa dolor y que el movimiento puede realizarse con normalidad, pueden surgir alteraciones en la calidad del movimiento y en el gesto deportivo. Estas alteraciones, si no se abordan adecuadamente durante la rehabilitación, pueden desencadenar lesiones adicionales o problemas más graves a largo plazo debido a las compensaciones acumuladas (4).

Métodos de Readaptación Basado en Pilares

La readaptación vista desde su complejidad e importancia debe tener unos pilares fundamentales en la manera en la cual la desarrollamos en los distintos deportes y modalidades de estos, tomando como base fundamental los principios del entrenamiento deportivos descritos y agrupados anteriormente en la tabla 2, en este orden de ideas se propone el pilar de:

- **Carga:** La carga de entrenamiento se explica como la cantidad de efectos que tiene el esfuerzo realizado sobre el estado funcional del deportista (26). Estas cargas, o, mejor dicho, sus efectos, provocan cambios a nivel celular que están relacionados con la síntesis de proteínas estructurales y con el aumento de las enzimas que catalizan las vías metabólicas más importantes (27).

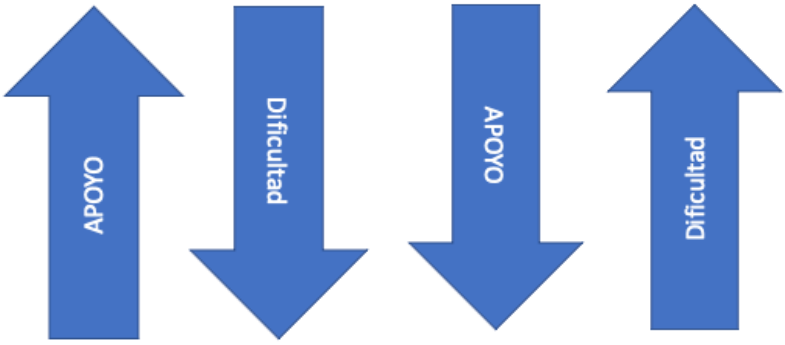
1. **Subcarga**: Carga mínima externa ya sea elástica o de peso libre que se coloca para favorecer la resistencia a la carga externa.

2. **Autocarga**: Carga realizada por el mismo cuerpo en donde se busca vencer la fuerza de gravedad en diferentes ejercicios y posturas donde se enfoca en el control del cuerpo mismo sin cargas externas

3. **Sobrecarga**: Se realiza agregando elementos externos ya sean elásticos, peso libre o isoinerciales los cuales me permitan una progresión controlada y progresiva al estimulo de carga.

La carga en este proceso se puede manejar también con distintos apoyos (bipodal y unipodal) los cuales nos permitan dosificar e incrementar la dificultad de los ejercicios de una manera progresiva donde (7).

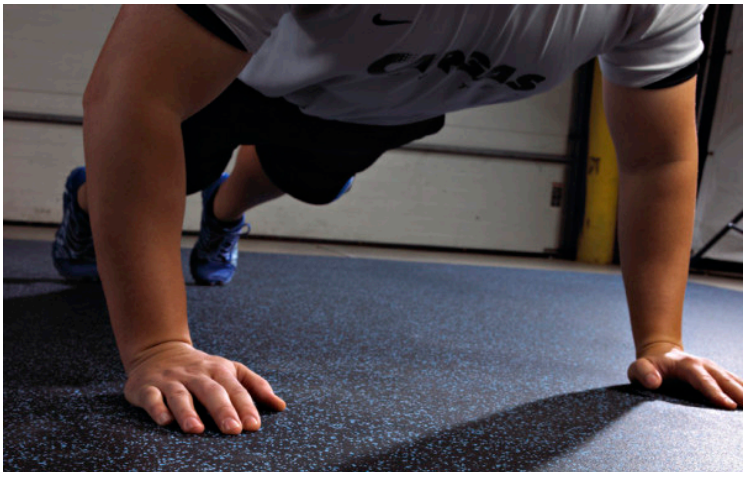
Figura 12. *Relación entre apoyo y dificultad*



- **Superficie:** Las superficies en las cuales realizamos los ejercicios o las progresiones se agrupan en tres: estable, inestable limitada e inestable ilimitada, esto nos va permitir generar una progresión comenzando desde lo más establa a lo más inestable como lo describe Tarantino en su libro del entrenamiento de la propiocepción,, es indispensable tener una progresión en las superficies siempre buscando la adaptación y posterior super compensación, fomentando así el aprendizaje motor y la capacidad neuromuscular en cómo responde a un estímulo de inestabilidad.

1. **Superficie estable:** superficie en la cual el deportista que este en ella no esté sometido a perturbaciones de movimiento realizadas por la superficie, cuenta con unas condiciones de balance y estabilidad continua.

Figura 13. *Superficie Estable*



2. **Superficie inestable limitada:** Superficie que permite movimientos controlados por sus características estructurales y condiciones de estabilidad.

Figura 14. *Superficie inestable ilimitada*



3. **Superficie inestable ilimitada:** Superficie la cual permite una inestabilidad constante en todas las direcciones, la estabilidad depende netamente del deportista el cual se encuentra apoyado en ella.

Figura 15. *Superficie inestable*



- **Estimulo:** Agente físico o sensitivo que desencadenas una reacción interna en el deportista con la que se busca un aprendizaje motor. Descrito esto anterior mente en el grafico 7 y 8 donde se puede observar cómo y de qué manera se realiza un estímulo cerrado o abierto en busca de un objetivo de aprendizaje motor en específico, dentro de esto se deben agregar herramientas de técnica y/o táctica del deporte las cuales nos permitan realizar una progresión en dificultad que nos permitan acercar al deportista al contexto de competencia en si donde están inmersos en un contexto de estímulos ilimitados (10).
- **Perturbación:** Por la tercera ley de Newton que postula: "Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria" al someter al deportista a un estímulo externo con cualquier herramienta que tengamos vamos a provocar una reacción igual y en cadena en el cuerpo del deportista en sus estructuras anatómicas y fisiología del movimiento para contrarrestar el estímulo y mantenerse en estabilidad.

¿Quién debe hacer el Proceso de Readaptación Deportiva?

En el contexto de la readaptación deportiva en Colombia, la situación presenta un panorama notablemente diferente al de otros países, como España. En España, la figura del readaptador deportivo está bien establecida dentro de un equipo interdisciplinario enfocado en el deporte. Este equipo generalmente incluye profesionales como médicos deportólogos, psicólogos deportivos, nutricionistas deportivos, técnicos metodológicos, entrenadores y fisioterapeutas deportivos, junto con el propio entrenador deportivo. En contraste, en Colombia, la figura del readaptador deportivo sigue en un estado de desarrollo incipiente, y aún no ha sido plenamente reconocida ni institucionalizada en el ámbito académico o profesional.

En varios países de la Unión Europea, el readaptador deportivo es una figura profesional consolidada que se puede alcanzar a través de estudios de pregrado, así como de especializaciones o maestrías para profesionales del deporte y entrenadores. Este especialista se encarga de gestionar el proceso de recuperación deportiva una vez que el dolor ha sido controlado, centrándose en la readaptación completa del deportista a su actividad específica. Sin embargo, es importante destacar que, a nivel internacional, muchas de estas figuras no poseen una formación clínica robusta en patologías, lo cual limita su comprensión profunda de los procesos de recuperación.

En Colombia, el rol del fisioterapeuta se percibe frecuentemente como el encargado de aliviar el dolor mediante medios físicos tradicionales como el calor, el frío y la electroestimulación. No obstante, la fisioterapia en Colombia va mucho más allá de estas técnicas. Desde el pregrado, los fisioterapeutas están capacitados para realizar análisis biomecánicos detallados y para desarrollar procesos de rehabilitación que incluyen el fortalecimiento y la adaptación de ejercicios específicos, siempre respetando los tiempos de cicatrización de los tejidos para lograr una recuperación integral.

Conclusiones

La lectura del capítulo sobre la readaptación deportiva revela que este proceso trasciende la mera recuperación de lesiones, constituyéndose en un componente fundamental para garantizar una reintegración segura, eficiente y sostenida del atleta a su actividad. Sin embargo, existen aspectos críticos que deben considerarse para optimizar su implementación y resultados. En primer lugar, la valoración funcional aparece como una herramienta clave, pero su efectividad se ve limitada por la falta de protocolos estandarizados y por la heterogeneidad en las pruebas disponibles. Esto puede dificultar diagnósticos objetivos y reproducibles, impactando directamente en la planificación y el seguimiento del proceso de rehabilitación.

Por otro lado, la interdisciplinariedad resulta esencial, ya que la complejidad de la readaptación requiere la colaboración estrecha de profesionales con diferentes perfiles, como fisioterapeutas, entrenadores y médicos deportivos. En el contexto colombiano, dicha necesidad se vuelve aún más relevante dado el amplio espectro académico y la diversidad en la formación profesional, por lo que es imprescindible definir y fortalecer perfiles especializados que aseguren una atención integral y de calidad.

Asimismo, si bien los principios del entrenamiento deportivo, especialmente la progresividad y la individualización, son fundamentales en la etapa de readaptación, en la práctica muchas veces no se ajustan adecuadamente a las fases específicas de cicatrización y recuperación, lo que puede poner en riesgo tanto la seguridad del deportista como la eficacia del proceso. En paralelo, es importante destacar que la recuperación física no puede entenderse de manera aislada, pues la dimensión psicológica y la percepción subjetiva del deportista juegan un rol crucial en la evolución y éxito del proceso de readaptación.

Por otra parte, aunque se reconoce la importancia del aprendizaje motor en la optimización de la recuperación, en la realidad muchas veces no se da la

suficiente continuidad o énfasis en la transferencia de habilidades técnicas y tácticas hacia el nivel competitivo. Esto puede generar una brecha entre la rehabilitación y la preparación para la competencia, limitando el rendimiento posterior del atleta.

En definitiva, la readaptación deportiva debe abordarse como un proceso progresivo, multidisciplinario y adaptado a las particularidades de cada deportista y disciplina. La estandarización de las evaluaciones, la capacitación continua de los profesionales involucrados y una visión integral que incorpore aspectos físicos, neuromusculares y psicoemocionales son aspectos críticos que deben potenciarse para maximizar los beneficios y asegurar un retorno a la competencia saludable y sustentable.

Referencias

1. Abraldes JA. Principios fundamentales del acondicionamiento físico. 2016.
2. Caponi GA. Adaptación evolutiva y adaptación ontogenética: ¿La distinción es todavía sostenible? Epistemol Hist Cienc. 2021;6 (1):48-68.
3. Mantilla JIA. Readaptación deportiva y retorno deportivo en el alto rendimiento. Del laboratorio al campo de juego: Una revisión de la literatura. Rev Iberoam Cienc Act Fís Deporte. 2022;11 (3):66-84.
4. Bonilla BL. Alteraciones de la movilidad, somatosensorial y control motor en mujeres con dolor cervical crónico. 2023.
5. Issurin V. Entrenamiento deportivo: Periodización en bloques. Barcelona: Paidotribo; 2019.
6. Millet GP, Candau RB, Barbier B, Busso T, Rouillon JD, Chatard JC. Modelado de las transferencias de los efectos del entrenamiento sobre el rendimiento en triatletas de élite. Int J Sports Med. 2002;23 (1):55-63.
7. Solé J. Planificación del entrenamiento deportivo. Barcelona: SicropartSport; 2006.
8. Schmidt RA, Lee TD. Motor control and learning: A behavioral emphasis. 6th ed. 2019.
9. Sosa González PI, Oliver Coronado JF. El proceso de perfeccionamiento técnico-táctico: características del aprendizaje motor y el diseño de tareas motoras. Enseñanzas Deportivas de Régimen Especial. Junta

de Andalucía; s.f. Disponible en: http://www.juntadeandalucia.es/educacion/permanente/materiales/

10. Navarro F. Principios del entrenamiento y estructuras de la planificación deportiva. Madrid: Comité Olímpico Español (COE) / Universidad Autónoma de Madrid (UAM); 1994.
11. Armstrong SA, Herr MJ. Fisiología, Nocicepción. [Actualizado el 1 de mayo de 2023]. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; enero de 2025. Disponible en: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551562/
12. Gutiérrez JA, López M. Readaptación deportiva: Fundamentos y estrategias. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2018.
13. Schmidt RA, Lee TD. Motor control and learning: A behavioral emphasis. 6th ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2014.
14. Kahn JF, Kahn M. Control motor y rehabilitación: Un enfoque práctico. Madrid: Ediciones Díaz de Santos; 2017.
15. Campos-Izquierdo A, Lalín C, González MD. Situación profesional del readaptador físico-deportivo en la Comunidad Valenciana. Rev Int Cienc Deporte. 2010;21 (6):254-68.
16. Zhao H, Cheng R, Song G, Teng J, Shen S, Fu X, et al. The effect of resistance training on the rehabilitation of elderly patients with sarcopenia: A meta-analysis. Int J Environ Res Public Health. 2022;19 (23):15491.
17. Su W, Zhou Y, Qiu H, Wu H. The effects of preoperative rehabilitation on pain and functional outcome after total knee arthroplasty: A meta-analysis of randomized controlled trials. J Orthop Surg Res. 2022;17 (1):175.
18. Ahmad MA, Hamid MS, Yusof A. Effects of low-level and high-intensity laser therapy as adjunctive to rehabilitation exercise on pain, stiffness and function in knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. Physiotherapy. 2022;114:85-95.
19. Williams MD, Ramirez-Campillo R, Chaabene H, Moran J. Neuromuscular training and motor control in youth athletes: A meta-analysis. Percept Mot Skills. 2021;128 (5):1975-97.
20. Najarro DKN, Huamaní OG. Prevención de esguince y entrenamiento propioceptivo del tobillo en deportistas. Rev Digit Act Fís Deporte. 2021;7 (2):12.

21. Lema Guallichico MF. Incidencia de la propiocepción en la técnica de la palada de los deportistas de remo indoor de la Federación Ecuatoriana de Deportes para Personas con Discapacidad Intelectual (FEDEDI). 2022.

22. Gómez Díaz A. Efecto del entrenamiento propioceptivo en la prevención del dolor lumbar en deportistas de gimnasia rítmica. 2024.

23. Mazón Arce M. El entrenamiento propioceptivo: efectos en deportistas con CAI. Revisión sistemática [Doctoral thesis]. Universidad Europea del Atlántico; 2021.

24. Heslot C, Azouvi P, Perdrieau V, Granger A, Lefèvre-Dognin C, Cogné M. A systematic review of treatments of post-concussion symptoms. J Clin Med. 2022;11 (20):6224.

25. Quintana-Cepedal M, López-Aguado I, Fernández-Somoano A, Rodríguez MÁ, Del Valle M, Olmedillas H. Injury incidence and characteristics in adolescent female football players: A systematic review with meta-analysis of prospective studies. Biol Sport. 2024;41 (3):137-51.

26. Zintl F. Entrenamiento de la resistencia. Barcelona: Martínez Roca; 1991.

27. Viru A, Viru M. Análisis y control del rendimiento deportivo. Barcelona: Editorial Paidotribo; 2003.

CAPÍTULO 7

Diseño Integral del Proceso de Preparación Deportiva: Planificación, Periodización y Programación

Comprehensive Design of the Sports Preparation Process: Planning, Periodization and Scheduling

Laura Jimena Rodríguez Romero
Universidad Santiago de Cali; Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
https://orcid.org/0000-0003-0436-5798
lau.rodriguez0626@gmail.com

Diego Fernando Orejuela Aristizábal
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
https://orcid.org/0000-0001-8699-2933
diegoorejuelaaristizabal@gmail.com

Leidy Tatiana Ordoñez-Mora
Universidad Santiago de Cali
https://orcid.org/0000-0001-8365-8155
leidy.ordonez01@usc.edu.co / tatiana.ormora@gmail.com

Resumen

Se aborda de forma integral los fundamentos teóricos y prácticos que sustentan el rendimiento deportivo, articulando diversas disciplinas que convergen en el desarrollo del deportista. En la introducción se exponen los elementos clave que configuran el rendimiento, destacando su complejidad y la necesidad de abordajes interdisciplinarios que permitan comprender el proceso desde la iniciación deportiva hasta la consolidación de las habilidades motrices en contextos de alto rendimiento.

Cita este capítulo / *Cite this chapter*

Rodríguez Romero LJ, Orejuela Aristizábal DF, Ordoñez-Mora LT. Diseño integral del proceso de preparación deportiva: planificación, periodización y programación. En: Calero Saa PA, editor. Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo III: rehabilitación y readaptación deportiva. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 313-347. https://doi.org/10.35985/9786287914179.7

Objetivo: Presentar y analizar los modelos clásicos y contemporáneos de planificación, periodización y programación del entrenamiento deportivo, resaltando su aplicación en contextos reales y su vínculo con el desarrollo integral del atleta.

Resultados: A través del análisis teórico y aplicado, se identifican las fases esenciales del entrenamiento deportivo, evidenciando la necesidad de una planificación a largo plazo. Se retoman aportes de autores como Ruiz-Pérez y Sánchez-Bañuelos, quienes subrayan que alcanzar el máximo rendimiento exige procesos sostenidos durante varias décadas, estructurados por ciclos y etapas específicas de preparación.

Conclusiones: El capítulo concluye que la planificación deportiva no puede concebirse de forma aislada, sino como un proyecto integral e interdisciplinario. Esta perspectiva permite guiar al deportista en un camino de largo aliento, donde el conocimiento científico, la experiencia práctica y la colaboración entre áreas conforman la base para lograr el rendimiento de élite.

Palabras clave: Entrenamiento deportivo, periodización, modelos clásicos, adaptación progresiva, rendimiento deportivo.

Abstract

The theoretical and practical foundations that underpin athletic performance are comprehensively addressed, bringing together various disciplines that converge in the development of the athlete. The introduction outlines the key elements that shape performance, highlighting its complexity and the need for interdisciplinary approaches that allow for an understanding of the process from the initiation of sports to the consolidation of motor skills in high-performance contexts.

Objective: To present and analyze classic and contemporary models of sports training planning, periodization, and programming, highlighting their application in real contexts and their link to the comprehensive development of the athlete.

Results: Through theoretical and applied analysis, the essential phases of sports training are identified, highlighting the need for long-term planning. Contributions from authors such as Ruiz-Pérez and Sánchez-Bañuelos are revisited, who emphasize that achieving maximum performance requires sustained processes over several decades, structured by specific cycles and stages of preparation.

Conclusions: The chapter concludes that sports planning cannot be conceived in isolation, but rather as a comprehensive and interdisciplinary project. This perspective allows athletes to be guided on a long-term path, where scientific

knowledge, practical experience, and collaboration between areas form the basis for achieving elite performance.

Keywords: *Sports training, periodization, classical models, progressive adaptation, sports performance.*

Fundamento Teórico del Entrenamiento Deportivo

"La disciplina es el puente entre metas y logros"

—Jim Rohn

Cuando se habla de entrenamiento deportivo, no estamos simplemente refiriéndonos a rutinas repetidas que nos provoquen fatiga o a esquemas técnicos que se aplican igual para todos. Estamos hablando de una estructura con base científica, de una práctica que, bien dirigida, puede transformar cuerpos, mentes y hasta trayectorias de vida deportiva. Porque detrás de cada ejercicio hay decisiones complejas, guiadas por conocimientos profundos, por intuiciones afinadas con la experiencia, y por una vocación de cada uno de los entrenadores.

El entrenamiento deportivo no es una fórmula que se desarrolle a todos por igual. Es un proceso de conocimiento que se debe construir a diario entre la ciencia probada por investigadores clásicos y contemporáneos sumado a la experiencia deportiva adquirida por el entrenador en el campo, así adaptando cada uno de los entrenamientos a la necesidad concreta de cada uno de los deportistas.

En ese cruce entre teoría y práctica, nace el verdadero entrenamiento: ese que no solo mejora el rendimiento, sino que cuida, acompaña y forma seres humanos. Figuras como Matveev (1) han señalado que el entrenamiento no se puede entender sin la planificación sistemática, basada en principios como la progresión, la continuidad o la variabilidad. Pero ¿cómo se logra eso en la realidad del día a día, con atletas que viven en contextos únicos? Ahí entra la sensibilidad del entrenador, que no solo mide tiempos y repeticiones, sino que observa, escucha y adapta.

Hoy sabemos, gracias a décadas de investigación, que el entrenamiento efectivo requiere una mirada integral: lo físico, lo técnico, lo táctico y lo psicológico deben entrelazarse, no competir entre sí. Bompa (2) insiste en que, sin una periodización inteligente, el cuerpo humano no puede alcanzar su máximo potencial. Pero también advierte que esa estructura debe ser flexible, porque los atletas no son máquinas. Son personas que sienten, que fallan, que se superan.

Las ciencias biológicas explican cómo se adapta el cuerpo, cómo responde al estrés del ejercicio, cómo se recupera. Las ciencias pedagógicas enseñan cómo transmitir conocimientos, cómo motivar sin agotar. Y las ciencias sociales nos recuerdan que el deporte ocurre en un entorno lleno de presiones, desigualdades y oportunidades. Platonov (3) (4) propuso una mirada interdisciplinaria del entrenamiento, anticipando el tipo de desafíos que hoy enfrentan quienes forman atletas desde la base.

El entrenador del siglo XXI no puede ser un simple repetidor de técnicas. Tiene que leer la ciencia, entender al deportista y diseñar procesos personalizados, capaces de responder al deporte moderno, donde la exigencia no perdona y los márgenes de error son mínimos. Esto implica conocer fenómenos clave como la supercompensación, la fatiga, el principio de reversibilidad o la individualización de las cargas.

Así, el fundamento teórico del entrenamiento no es un archivo polvoriento que se guarda en una biblioteca. Es una herramienta viva, que se adapta, se discute, se mejora. Un entrenador que abraza este enfoque está en mejores condiciones no solo de formar campeones, sino de cuidar a las personas que están detrás del uniforme.

La Teoría y Metodología del Entrenamiento como Ciencia

Por su parte, si bien desde los componentes que intervienen en dicha transdisciplinariedad, enmarca a los contextos científicos del deporte, conforme a la evidencia empírica aplicada a dicho rendimiento deportivo en el desarrollo del entrenamiento; también se articula de forma sinérgica, con lo político, lo cultural, lo social, lo económico, lo educativo y lo tecnológico, observando la evolución desde prácticas interdisciplinares hacia una disciplina científica fundamentada en teorías, modelos y métodos rigurosamente validados en términos clave para el proceso según la disciplina deportiva, la modalidad, las pruebas o eventos. Teniendo en cuenta este apartado, es importante aprender a objetivar los componentes teóricos establecidos en las bases conceptuales sobre cómo se realiza la construcción de la teoría y metodología del entrenamiento deportivo, teniendo en cuenta la interdisciplinariedad, entendida como una ciencia aplicada la cual integra conocimientos de diversas áreas como lo son: fisiología, psicológica, biomecánica, pedagogía y principios generales que rigen el proceso de entrenamiento. A demás la evolución histórica y teórica ha permitido consolidar un estatuto científico.

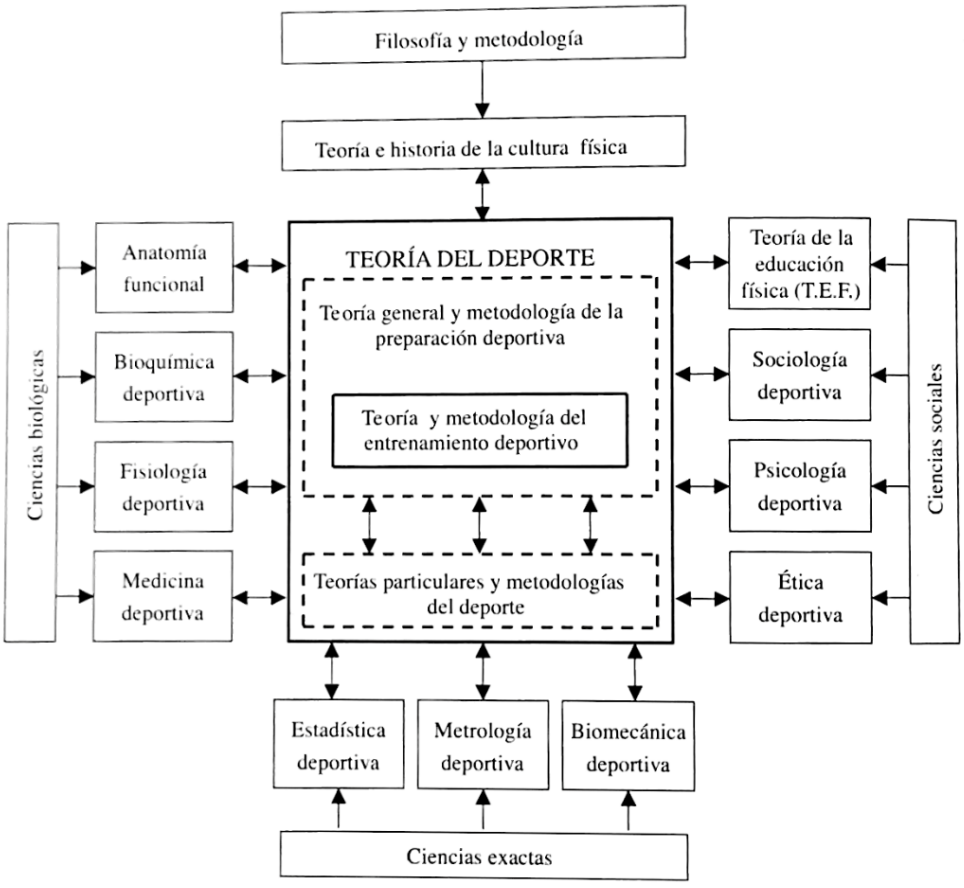
A través del análisis de las contribuciones de autores fundamentales como Matveev, considerado el padre de la periodización moderna, Platonov y su enfoque sistémico, o Verkhoshansky y sus aportes en el entrenamiento de la fuerza, se pretende ofrecer una visión crítica e integradora. Asimismo, se abordarán las aportaciones contemporáneas de investigadores, cuyas perspectivas han enriquecido y actualizado los modelos tradicionales. Este recorrido teórico servirá como marco referencial para el desarrollo de los contenidos posteriores del capítulo.

En primera parte, se debe abordar el deporte desde la lógica de su término, a partir de una vía epistémica como también lo metodológico; en este sentido se toma a Lev Pablovich Matveev (5) es de sus posturas, la relaciona su estructura como concepto, desde una ciencia teórica y metodológica, planteando que la Teoría y Metodología del Deporte (T&MD), nace como rama o campo de conocimiento independiente en los juegos olímpicos de la modernidad, entre el siglo XIX y el XX, desde el desarrollo intensivo del deporte mundial, sin embargo, su meseta de impacto epistémico y teórico se da a mitad del siglo XX, ello por el avance de los juegos olímpicos; es de resaltar, que las apuestas del problema de la T&MD penetraba los límites de la Teoría y Metodología de la Educación Física (T&MEF), siendo el objeto de su estudio desde el conocimiento científico de la cultura física y conduciéndolo al interior del deporte como práctica y tenían un carácter fundamentalmente empírico y de objeto exclusivo (5) con el tiempo se identificó que las problemáticas y objeto de estudio de la T&MEF, coincidía de forma superficial la problemática del conocimiento de la esencia del deporte a partir de la T&MD y por ende se debe introducir dicha T&MD, en esta apuesta, se da un reconocimiento del aporte de Europa del este, en especial la unión soviética a lo cual contribuyó una serie de circunstancias; abordando problemas de estudio con grupos disciplinares entorno a su articulación y sinergia con lo que los entrenadores concebían como entrenamiento o preparación deportiva.

En dicho sentido, L.P. Matveev (5) incorpora varios enfoques epistemológicos que permiten una comprensión integral de la teoría del deporte, como son el enfoque sistemático, como un fenómeno complejo compuesto por diferentes elementos interrelacionados, que se profundizan interdisciplinariamente desde el entrenamiento, la competición y la preparación física. Este enfoque destaca la importancia de entender el "todo" más allá de la suma de sus partes, o las partes articuladas entre sí de forma sinérgica vistas como un todo. Su contribución, se propone desde la evidencia científica y tecnológica, en el ámbito deportivo, alineándose con los principios epistemológicos de validez, objetividad y sistematicidad, esta última en los aportes que la ciencia denota

en las particularidades del propósito del desarrollo en el deporte. Por lo cual, es claro que se evidencia una aplicación práctica de los principios epistemológicos en el ámbito del deporte. El autor desarrolla toda su apuesta teóricas y epistémicas en el siglo XIX utiliza diferentes tipos de conocimiento, con los enfoques epistemológicos claros y dan una teoría integral del entrenamiento deportivo, contribuyendo al avance del conocimiento científico en esta disciplina tan estudiada en la actualidad desde lo científico-tecnológico; es fundamental enfatizar que la teoría del deporte, más allá de definir prácticas y metodologías, integra la necesidad de generar conocimiento a partir de la esencia misma del deporte como objeto de investigación.

Figura 1. *Esquema de correlaciones de la teoría general del deporte de las disciplinas teórico - metodológicas y las ramas del conocimiento humanístico y científico - natural*



Fuente: *Adaptado de Matveev* (6)

En dicho sentido, abordar, de manera no trivial, los problemas científicos que se presentan en esta esfera dentro de la figura 1, se observa cómo se puede enfocar de forma contextual los contornos de una teoría general del deporte y sus componentes científicos articulados en un sistema científico, y como la sombrilla de los programas académicos que su objeto de estudio divergen en torno del deporte como fenómeno social, enfocado desde lo positivista y subjetivista, como también desde las ciencias en su articulación interdisciplinar e transdisciplinar, con la sinergia que compone las ciencias del deporte, se deben abordar de forma convergente y divergente, planteándose como una ciencia fáctica; pues en etapas iniciales, se han examinado cuestiones esenciales como la teoría del entrenamiento deportivo, la concepción de la actividad competitiva y otras posturas conceptuales que, en conjunto, pretenden ofrecer una visión integral sobre la esencia del deporte y sus fenómenos inherentes. Sin embargo, dichos esfuerzos en esta dirección continúan en desarrollo, se han forjado en las concepciones propias del proceso de preparación, sin alejarse de dicho fenómeno. Es así, que los planteamientos problemáticos y la investigación en el campo de la teoría del deporte sostienen que su metodología es generadora de conocimiento científico, en diferentes disciplinas que convergen y divergen entre sí, sin perder su sinergia y su interdisciplinariedad metodológica. Este conocimiento aspira no solo a captar la esencia y las tendencias generales del funcionamiento deportivo, sino también a contribuir al desarrollo social, deportivo y a potenciar el impacto del olimpismo como eje de estudio, pero también el deporte como fenómeno social desde la salud, la administración y desde la lógica social y humana. En este sentido, se subraya la importancia de optimizar la preparación del deportista, orientándola hacia el rendimiento óptimo y la consecución de logros deportivos, en un sistema integrador que abarca las ciencias básicas, sociales y humanas. Dicha aproximación se fundamenta en datos disciplinares específicos y en una visión holística que contempla tanto las modalidades tradicionales como las realidades contemporáneas del deporte, abordados en dos autores concretamente en cada programa académico de la facultad de ciencias de la educación y del deporte.

Por otra parte, si bien el entrenamiento deportivo referimos a formulas fijas, se habla de un conjunto de conocimiento que nos permite organizar, planificar y llevar a cabo la preparación física, técnica, táctica y psicológica de los deportistas, así mismo esto se debe realizar de forma coherente a cada uno de los deportes, pero sobre todo respetando el principio de individualización de cada atleta, esto garantiza un correcto entrenamiento y la obtención de altos logros en competencia. Aquí no hay lugar para la improvisación.

Figuras como Matveev y Platonov han sido claves para que hoy veamos al entrenamiento como una disciplina científica (5) (4). Ambos destacan la necesidad de planificar con criterio, dosificar las cargas adecuadamente, progresar de forma ordenada y, sobre todo, tener en cuenta las particularidades de cada persona. Porque no entrenan igual un velocista, un futbolista o un nadador.

La metodología del entrenamiento en pocas palabras explica "como" se debe llevar a cabo la práctica, para así garantizar los principios científicos del entrenamiento, a su vez garantiza que los entrenamientos se lleven a cabo de manera segura, efectiva y que se adapte a las necesidades reales de cada uno de los deportistas en sus diferentes disciplinas

Autores Fundamentales del Entrenamiento Deportivo

Lo que hoy entendemos como entrenamiento estructurado se debe al trabajo de investigadores que marcaron un antes y un después. Detrás de cada plan bien hecho hay años de estudio, debates y experiencias que han ido dando forma a lo que hoy entendemos por preparación deportiva. Uno de los primeros en marcar el camino fue Lev Matveev, un investigador que en los años 60, descubrió que el entrenamiento necesitaba organización. Es por esta razón que se habla de periodización, que divide el proceso en ciclos —micro, meso y macro—, permitiendo distribuir las cargas y los descansos para que el cuerpo rinda al máximo sin desgastarse en el camino (5).

Tiempo después, Ladimi Platónov sumó una idea clave: la carga acumulativa y la necesidad de pensar en cada deportista como un caso particular. Y es que no todos respondemos igual al mismo entrenamiento; las diferencias fisiológicas y personales obligan a planificar de manera individualizada (4).

En esa misma línea, los Verkhoshansky (7), Tsvetán (8) y Platonov (4), profundizaron en un aspecto clave: la fuerza. Ellos no solo distinguieron entre fuerza máxima, explosiva o reactiva, sino que desarrollaron métodos como la pliometría, que resultan indispensables para deportes donde la potencia y la velocidad marcan la diferencia (3).

Con el paso del tiempo, el entrenamiento dejó de verse solo desde la práctica y empezó a nutrirse de la ciencia más dura. Navarro y García Manso, por ejemplo, trajeron al juego los conocimientos de la fisiología y la biología molecular. Gracias a ellos hoy entendemos mejor cómo funciona la recuperación, la adaptación o la fatiga, tres piezas centrales si queremos entrenar bien y evitar lesiones (9).

Isurin también aportó lo suyo, remarcando que la respuesta al entrenamiento no depende solo de lo que hacemos, sino de quiénes somos: nuestra genética, nuestra fisiología, todo eso influye y obliga a personalizar al máximo (10).

Finalmente, Balagué y Torrents nos recuerdan algo fundamental: el deportista no es una máquina aislada. Somos personas, complejas, insertas en un entorno social, emocional y físico que influye —y mucho— en cómo entrenamos y rendimos (11).

Por todo esto, el entrenamiento deportivo se ha convertido en una disciplina tan técnica como humana, donde la ciencia y la experiencia se mezclan para construir procesos efectivos, seguros y pensados para cada persona.

Integración del Conocimiento Biológico, Pedagógico y Social

Al momento de hablar de entrenamiento deportivo no debemos limitarnos al plano biológico, esto no solo sería una simplificación del concepto, sino que estaríamos realizando una visión incompleta de lo que implica formar y desarrollar deportistas. Se debe tener en cuenta que el cuerpo responde a estímulos físicos, por medio de procesos fisiológicos que el cuerpo de cada deportista brinda, como la fatiga, la recuperación o la adaptación, pero estos procesos no se presentan de maneras aisladas, sino que se entrelazan de manera natural con las realidades sociales y culturales que rodeen al deportista, comprender esta interacción es fundamental.

Teniendo una mirada pedagógica, el entrenamiento es un proceso de enseñanza-aprendizaje, no se basa solo en repetir gestos técnicos que el deportista realice de manera mecánica, sino de diseñar experiencias que favorezcan el aprendizaje de tal manera que fortalezca la toma de decisiones de su autonomía. En paralelo. Las ciencias nos invitan a no perder de vista el contexto, normas y realizades que motiven, le den compromiso y aporte a su bienestar emocional.

Al momento de pensar en el entrenamiento deportivo se debe tener en cuenta los tres pilares, biológico, pedagógico y social. Esto permite construir procesos más completos, humanos y sostenibles. Esta integración no solo favorece el rendimiento, sino que reconoce los ritmos individuales y los múltiples factores que, desde diferentes ángulos, inciden en el camino formativo de cada deportista (12).

De acuerdo con Zhelyazkov (13) y García (9) la teoría y metodología de la preparación deportiva ocupan un lugar central dentro de la teoría general del deporte, trasladando el conocimiento desde una dimensión pedagógica

hacia un sistema práctico de preparación. En este contexto, el programa de Tecnología en Entrenamiento Deportivo se fundamenta en la aplicación de principios teórico-metodológicos, diseñando enfoques que maximizan el logro deportivo mediante la interacción interdisciplinaria de las ciencias sociales, biológicas y exactas.

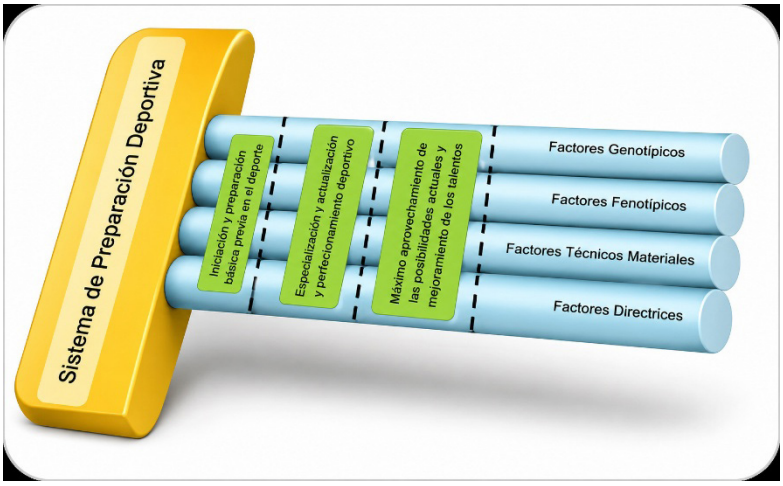
La preparación deportiva se ve favorecida por el uso de tecnologías avanzadas que permiten la medición precisa de variables del rendimiento, la optimización del proceso de enseñanza y el perfeccionamiento continuo de los atletas. Herramientas como el monitoreo en tiempo real, el análisis biomecánico avanzado y los sistemas de retroalimentación inmediata facilitan la toma de decisiones estratégicas durante el entrenamiento. De esta manera, se mejora la planificación del entrenamiento y se garantiza un proceso de adaptación progresiva, orientado al máximo rendimiento del atleta. Desde esta perspectiva, el programa de Tecnología en Entrenamiento Deportivo estructura la preparación deportiva en cuatro direcciones básicas; actividad competitiva y logros deportivos; teoría y metodología de la selección deportiva; teoría y metodología de la enseñanza y perfeccionamiento; construcción y dirección de la preparación deportiva.

Estos enfoques permiten una visión integral del proceso de entrenamiento, donde la tecnología no solo actúa como una herramienta de medición y evaluación, sino también como un medio para optimizar la preparación, facilitando el desarrollo de programas personalizados que respondan a las necesidades individuales de cada atleta. Si bien, desde dichas perspectivas teóricas, el programa fundamenta su plan de estudios en tres componentes clave; el sistema de preparación deportiva, con énfasis en el proceso de entrenamiento y competencia, iniciación y preparación básica previa en el deporte, que permite la adaptación progresiva del atleta, estabilización y especialización deportiva, orientada a la consolidación del rendimiento.

A través de estos componentes, se garantiza un enfoque integral del entrenamiento, permitiendo que los atletas desarrollen sus capacidades físicas, técnicas y tácticas de manera progresiva, hasta alcanzar su máximo potencial competitivo. En dicho sentido la tecnología en el entrenamiento deportivo desempeña un papel fundamental en la aplicación de teorías y metodologías para optimizar el rendimiento de los atletas. La integración de herramientas tecnológicas avanzadas permite una mejor comprensión del proceso de preparación, facilitando la evaluación, planificación y adaptación de los programas de entrenamiento a las necesidades individuales.

Al adoptar un enfoque interdisciplinario que combina conocimientos de ciencias sociales, biológicas y exactas, el programa de Tecnología en Entrenamiento Deportivo proporciona una base sólida para el desarrollo de atletas de alto rendimiento, promoviendo tanto su perfeccionamiento individual como el éxito en la competencia deportiva. Este enfoque representa una apuesta continua desde la iniciación deportiva hasta la estabilización y especialización, garantizando la evolución y sostenibilidad del rendimiento deportivo en diversas disciplinas.

Figura 2. *Esquema de correlaciones de la teoría general del deporte con las disciplinas teórico-metodológicas y las ramas del conocimiento humanístico y científico-natural*



Fuente: *Adaptado de Matveev* (14)

En la Figura 60, Se observa, el sistema de preparación deportiva es un proceso complejo y multiforme, donde la interacción entre sus niveles y factores constituye la base para la enseñanza, educación y perfeccionamiento en el deporte. Para lograr un rendimiento deportivo significativo, es fundamental la aplicación de principios y métodos específicos que permitan maximizar el desarrollo individual del atleta a lo largo del tiempo. Desde la iniciación y preparación básica previa, pasando por la estabilización y especialización, hasta llegar al máximo aprovechamiento de las posibilidades individuales, cada fase está diseñada para optimizar las capacidades motrices, técnicas, psicológicas y sociales del deportista, asegurando una evolución progresiva en su desempeño.

Modelos Metodológicos de la Periodización

Tomando a Dantas (15) se conjuga la periodización desde un sentido global, atendiendo al detalle del tiempo disponible para el entrenamiento en conjunto de los análisis globales de proyecto de preparación deportiva, según los objetivos intermedios establecidos, y apegándose a los principios científicos del ejercicio deportivo. Siguiendo a otros autores, De La Rosa y Farto (16) ponen a la periodización del entrenamiento deportivo como la organización dividida del entrenamiento sistemáticamente en la anualidad o bianualidad que como objeto de rendimiento estará aplicada al deportista. A partir de estas referencias, en el texto, se emplea la periodización como un sistema metodológico, que proyecta la distribución de cargas de entrenamiento con unos contenidos en función de la disponibilidad de recursos, teniendo como referencia fundamentada los saberes de las leyes y principios del entrenamiento deportivo; brindando la posibilidad de alcanzar ciertos objetivos intermedios que culminan, para lograr la mejor forma atlética posible en eventos competitivos previamente seleccionados. En este sentido, Galeano, Orejuela y Cardona (17), ha definido la organización de la carga de entrenamiento en ciclos, lo cual ha sido una de las claves para mejorar el rendimiento conforme al control y monitoreo, que logra evitar el sobreentrenamiento. A esto se le conoce como periodización de la Carga. Existen diferentes modelos que se han ido adaptando a las características de cada deporte y deportista, lo cual se debe abordar los contextos sistemáticos de la Carga. Tomando a Matveev (5) con su modelo clásico, ha estructurado en macro, meso y microciclos. Este proceso inicia con una fase de preparación general, centrada en el desarrollo global de las capacidades, seguida de una fase específica, donde se ajustan las cargas a las necesidades concretas del deporte.

Los modelos metodológicos de la periodización constituyen un componente esencial dentro de la teoría y metodología del entrenamiento deportivo. Su propósito es organizar de manera sistemática los contenidos de entrenamiento a lo largo del tiempo para lograr adaptaciones fisiológicas y alcanzar el rendimiento óptimo del deportista. Tradicionalmente, estos modelos se han agrupado en tres grandes categorías: tradicionales, contemporáneos y emergentes, cada uno con características propias que responden a los contextos y demandas del deporte Izquierdo Rodríguez et al., (18); Galeano-Virgen et al., (17).

Los **modelos tradicionales** surgieron en el contexto del deporte de alto rendimiento en Europa del Este, particularmente en la Unión Soviética, entre los años 50 y 70. El más representativo es el **modelo clásico de Matveev (1)** , el cual se basa en una estructura secuencial en la que se disminuye

progresivamente el volumen de entrenamiento y se incrementa la intensidad a lo largo del macrociclo. Este modelo propone una base amplia de preparación física general como fundamento para fases posteriores más específicas (17) Otros modelos tradicionales incluyen el **modelo pendular** de Arosiev y Kalinin (19), el **modelo modular** de Vorobiev (20) y el **modelo de alto rendimiento** de Tschiene (21), los cuales plantean formas específicas de alternancia de cargas, orientadas a evitar la monotonía y a mejorar la adaptación del organismo (22).

Frente a las limitaciones del modelo clásico, especialmente en deportes con múltiples picos de rendimiento a lo largo del año, surgieron los **modelos contemporáneos,** que permiten mayor flexibilidad en la distribución de cargas. Uno de los más conocidos es el **modelo de bloques** de Verkhoshansky (23), que organiza el entrenamiento en bloques altamente especializados para maximizar la transferencia de cualidades específicas. También se destaca el **modelo ATR** (Acumulación, Transformación y Realización), propuesto por Issurin y Kaverin (24), que divide el entrenamiento en bloques orientados a capacidades concretas y con alto grado de especificidad (25) (26). A estos se suman el **macrociclo integrado** de Navarro (27), el **modelo cognitivista** de Seirul·lo (28), la **periodización táctica** de Frade (29) y el modelo de **organigramas lógicos** de García Manso (9), cada uno con estructuras que responden a diversas exigencias, ya sea en deportes individuales o de conjunto (18).

En años recientes, la evolución del deporte de alto rendimiento ha dado lugar a los denominados **modelos emergentes de periodización**, cuyo enfoque radica en la adaptación continua y personalizada del entrenamiento. Entre ellos se destacan la **periodización inversa**, que invierte la lógica clásica comenzando con alta intensidad y bajo volumen, y el **entrenamiento polarizado**, que combina zonas de muy alta y muy baja intensidad, minimizando el trabajo en intensidades medias (30) (31) Un modelo de particular relevancia en contextos como el colombiano es la **periodización por modelamiento**, propuesta por Agudelo (2012), que integra el seguimiento fisiológico, técnico, táctico y cognitivo del deportista, permitiendo ajustes continuos en tiempo real (32).

Estudios recientes en Colombia confirman la aplicabilidad de estos modelos. En entrenadores del Valle del Cauca se evidencia una preferencia por el modelo clásico de Matveev (40 %), seguido del modelo ATR (30 %) y otros como el híbrido, táctico y trifásico, cada uno con un 10 % de aplicación (33). En el caso específico de entrenadores de natación, los modelos más utilizados son el clásico, el híbrido y el macrociclo integrado, con una inclinación creciente hacia modelos contemporáneos y emergentes, especialmente entre entrenadores

más jóvenes (18). Estas tendencias evidencian una transición desde estructuras rígidas hacia enfoques más adaptativos, que buscan responder a las múltiples competencias del calendario deportivo actual; estos los modelos metodológicos de periodización no son estructuras fijas sino herramientas dinámicas que deben adaptarse al contexto competitivo, al perfil del deportista y a las exigencias de la disciplina. Su correcta elección y aplicación depende, en gran medida, del nivel de formación académica y experiencia del entrenador, factores que les permiten discernir entre las múltiples opciones metodológicas existentes para optimizar el rendimiento deportivo.

El entrenamiento deportivo no ha permanecido estático. A medida que las exigencias del deporte fueron creciendo, también lo hicieron las estrategias y modelos de planificación. En sus inicios, propuestas como la de Lev Matvéyev marcaron un hito al introducir la periodización en ciclos largos y estructurados. Donde el objetivo era mejorar el rendimiento, sin poner en riesgo la salud de los deportistas (5) (1).

Al pasar del tiempo fueron surgiendo necesidades de planes más específicos que se pudieran adaptar al desarrollo de nuevos enfoques. Entre ellos, destaca la periodización por bloques, impulsada por Yuri Verkhoshansky y Vladimir Isurin. Este modelo propone agrupar los estímulos de entrenamiento en bloques de corta duración e intensidad elevada. Así se busca optimizar la adaptación en momentos clave y reducir el riesgo de fatiga crónica, frecuente en los ciclos prolongados. Según Verkhoshansky, esta estrategia permite intensificar el entrenamiento de manera controlada, favoreciendo adaptaciones de mayor calidad sin comprometer la integridad del atleta (34) (35). Isurin, por su parte, profundizó en la necesidad de individualizar los bloques, recordándonos que cada deportista responde de forma distinta a los mismos estímulos, lo que hace imprescindible planificar de manera precisa y personalizada (34).

En esta evolución, los modelos cibernéticos y sistémicos han aportado una perspectiva integradora. Balagué y Torrents proponen abandonar la visión mecanicista del deportista como un simple receptor de cargas físicas. Desde su enfoque, el atleta se entiende como un sistema complejo, permanentemente influenciado por su entorno físico, social y emocional (36). Esta visión permite que los entrenadores ajusten el proceso en tiempo real, favoreciendo una adaptación constante y entendiendo que el rendimiento es el resultado de múltiples factores que van mucho más allá del esfuerzo físico (36).

Hoy sabemos que estos modelos más flexibles y personalizados no solo son útiles, sino indispensables, especialmente en la preparación de deportistas de

alto nivel. Permiten optimizar el entrenamiento, favorecer la adaptación y, lo más importante, preservar la salud y el bienestar del atleta a lo largo del tiempo.

Comparación entre Modelos Clásicos y Modernos

Los modelos clásicos de entrenamiento, propuestos por referentes como Lev Matvéyev y Yuri Platónov, representaron un avance fundamental en la planificación deportiva. Su propuesta se basaba en una estructura sólida y previsible, donde el proceso de entrenamiento se organiza en ciclos de largo, mediano y corto plazo macro, meso y microciclos. La lógica detrás de este esquema era simple: los atletas deben transitar por fases específicas y bien definidas para alcanzar su máximo rendimiento (5).

Estos enfoques permitieron a los entrenadores anticipar la carga de trabajo y los períodos de recuperación, ofreciendo una base metodológica que, durante años, contribuyó al rendimiento deportivo de manera controlada. No obstante, una de sus limitaciones más reconocidas es la rigidez que los caracteriza. En deportes con alta frecuencia competitiva o en entornos cambiantes, donde las exigencias se modifican constantemente, este tipo de planificación puede resultar insuficiente. El propio Valdimir Platónov advirtió que la carga acumulativa en estos modelos tradicionales no siempre es adecuada para responder a los desafíos de una competencia continua, lo que incrementa el riesgo de fatiga o lesiones por sobrecarga (4).

Frente a estas limitaciones, los modelos modernos, como los desarrollados por Tsvetán Verkhoshansky, Vladimir Isurin y los enfoques sistémicos de Balagué y Torrents, han introducido una mayor flexibilidad y capacidad de adaptación. La periodización por bloques o los modelos cibernéticos, por ejemplo, priorizan una planificación más dinámica, capaz de ajustarse a las necesidades y respuestas del deportista en tiempo real (37) (38).

Verkhoshansky propuso concentrar los estímulos de alta intensidad en bloques de corta duración, lo que permite maximizar la eficiencia y reducir el riesgo de fatiga crónica, una estrategia especialmente útil en deportes con temporadas competitivas prolongadas (39). Balagué y Torrents, en cambio, proponen una mirada más global, entendiendo al deportista como un sistema complejo, cuya interacción con el entorno social, físico y emocional influye de forma permanente en su rendimiento (38).

A pesar de sus ventajas, estos modelos modernos exigen un mayor nivel de control y monitoreo por parte de los entrenadores. Analizar de forma

continua las respuestas fisiológicas, emocionales y contextuales del atleta se vuelve indispensable. Si se implementa de forma adecuada, este enfoque permite optimizar el rendimiento deportivo y preservar la salud del deportista a largo plazo (40).

Adaptabilidad del Modelo según Disciplina Deportiva

Cada disciplina tiene sus particularidades. Los deportes cíclicos o de resistencia, como atletismo o natación, suelen beneficiarse de los modelos clásicos. En cambio, los deportes de equipo, con calendarios variables y alta demanda táctica, encuentran en los modelos por bloques o emergentes una mejor alternativa.

Factores de Rendimiento Deportivo

Al momento de hablar de rendimiento deportivo se está haciendo énfasis en una estructura compleja, donde intervienen factores que se potencian entre sí, esto quiere decir que reducir la planificación únicamente al entrenamiento deportivo es no tener presente factores alternos como los que se presentan en el campo, la pista o la cancha de competencia.

Las capacidades condicionales como la fuerza, resistencia, velocidad y flexibilidad conforman la base sólida del rendimiento deportivo, pero sin una técnica correcta, esas capacidades no se expresan de manera efectiva. Esto quiere decir que no es suficiente tener las capacidades correctamente desarrolladas, sino que es indispensable saber aplicarlas de forma coordinada, especifica, pero sobre todo eficiente.

Si bien la táctica es un factor importante en el rendimiento deportivo esta puede llegar pasar desapercibida. Comprende la toma de decisiones, la lectura del juego, la anticipación y la adaptación a lo inesperado. Un deportista técnicamente perfecto, pero sin capacidad táctica, difícilmente alcanzará su verdadero potencial.

El componente psicológico es, en muchos casos, el punto de inflexión. Aspectos como la concentración, la autoconfianza, la resiliencia o la gestión del estrés competitivo marcan diferencias notables, especialmente en contextos de alta presión.

A estos elementos se suman la nutrición, el descanso y la recuperación. No existe rendimiento sostenible si el organismo no recibe el combustible y el reposo que necesita. Los procesos de recuperación, tanto físicos como psicológicos, son determinantes para mantener el nivel competitivo y prevenir lesiones.

El entorno social y familiar, lejos de ser un factor secundario, impacta directamente en la preparación y el rendimiento. El apoyo emocional, la estabilidad y el acompañamiento técnico y médico son piezas clave en este entramado.

Por último, el estado de salud general y la prevención de lesiones deben ser gestionados de forma proactiva, entendiendo que un deportista lesionado, por talentoso o preparado que sea, verá interrumpido su proceso.

El verdadero desafío consiste en comprender, diagnosticar y articular todos estos factores en función de las necesidades individuales de cada deportista, construyendo así un camino hacia el rendimiento óptimo y sostenible.

Planificación, Periodización y Programación del Proceso de Preparación

La preparación deportiva exige un proceso estructurado, flexible y riguroso. Planificar, periodizar y programar son tres instancias que se articulan para organizar los estímulos de entrenamiento de manera progresiva y coherente.

La planificación constituye el primer nivel. Donde se definen los objetivos a corto, mediano y largo plazo, esto se debe realizar teniendo en cuenta las características individuales, la disciplina del deportista, el calendario competitivo y las condiciones del entorno en donde se compite. La planificación debe de integrar los aspectos fisiológicos, técnicos, tácticos, psicológicos, nutricionales y de recuperación de cada uno de los deportistas.

Como lo indica matveev y lo profundiza platonov, la periodización es una organización de los objetivos en ciclos de entrenamiento, que se definen como macrociclos, mesociclos y microciclos. Este proceso permite alcanzar los picos de rendimiento en los momentos clave y prevenir el sobreentrenamiento. La selección del modelo metodológico más adecuado —ya sea clásico, por bloques como proponen Verkhoshansky e Isurin, o emergente, como el de Balagué y Torrents— depende del deporte, el calendario y las necesidades individuales.

La programación concreta cada microciclo y sesión de entrenamiento. Aquí se definen las tareas, las cargas, los métodos y los contenidos que se aplicarán día a día. Debe ser flexible y adaptarse a la respuesta del deportista, los imprevistos y los cambios contextuales.

Estos tres niveles —planificación, periodización y programación— deben integrarse sobre bases científicas, sin perder de vista que el deportista es un ser complejo, con características y necesidades particulares.

Componentes del Entrenamiento Deportivo

Para lograr resultados reales, no basta con moverse. Se debe trabajar en conjunto con una técnica adecuada a la especificidad de cada deporte, además se debe tener en cuenta las experiencias adquiridas en el campo. Las ciencias del deporte han contribuido en este sentido. Esto lo ha aportado los modelos metodológicos que nos permiten entender el entrenamiento y adaptarlos a las características deportivas de cada disciplina

Conceptos como la periodización deportiva o el desarrollo multilateral no nacieron ayer. Provienen de las grandes escuelas clásicas del deporte, como la soviética, la alemana y la europea, que desde hace décadas han dejado huella en la manera de planificar y estructurar el entrenamiento. Estos principios siguen tan vigentes como necesarios.

La periodización organiza el entrenamiento en fases o ciclos que no solo potencian las capacidades físicas, sino que consideran la recuperación y la preparación mental. El entrenamiento multilateral, busca formar deportistas completos, con capacidades de responder a los desafíos físicos y técnicos que exige su deporte en ámbitos competitivos.

Teniendo en cuenta esto el entrenamiento es un proceso integral, donde la ciencia, la técnica y la experiencia se conjugan para construir el camino al alto rendimiento y la superación personal

El entrenamiento deportivo no se limita a hacer series y repeticiones. Se debe tener en cuenta que para conseguir cada logro se debe conjugar el movimiento, la técnica y la táctica y esto solo se consigue por medio de la combinación de la experiencia y la planificación adecuada para cada deporte, en la actualidad las ciencias del deporte han desarrollado modelos metodológicos que permiten entender, diseñar y ajustar cada uno de los procesos deportivos. En las escuelas clásicas como la soviética y europea se plantearon las bases del entrenamiento, con conceptos como lo son la periodización deportiva, el control de la carga de entrenamiento y el entrenamiento multilateral que es necesario para cada deportista, cabe destacar que estos conceptos, aunque sean clásicos siguen estando vigentes en el desarrollo deportivo.

A su vez, el entrenamiento deportivo se convierte en un proceso completo, integral, donde las ciencias del deporte, la técnica y la experiencia deportiva forman un engranaje perfecto para construir un camino hacia el rendimiento y los altos logros.

Capacidades Físicas, Técnicas, Tácticas y Psicológicas

Para rendir al máximo, el deportista necesita mucho más que fuerza o velocidad. Las capacidades físicas como la fuerza, resistencia, velocidad, flexibilidad y coordinación. Son la base del entrenamiento, sin embargo, el deportista debe tener la capacidad de tomar decisiones en el juego. El deporte no se reduce solo a músculos y movimiento. La técnica es la que permite que esos movimientos se ejecuten de forma precisa y eficiente. Nadie aprende un gesto técnico por accidente. Se necesita práctica consciente, repetir, equivocarse, corregir y volver a intentar. Y luego viene la táctica, que es mucho más que seguir las reglas o conocer el juego. Es leer lo que sucede, anticiparse, tomar decisiones bajo presión y adaptarse al cambio en segundos.

Ahora, ¿qué sostiene todo esto cuando el cuerpo está cansado o cuando las cosas no salen como se esperaba? La respuesta está en el factor psicológico. El deportista debe encontrarse motivado y con la confianza adecuada de sus propias capacidades, la concentración en el juego es vital ya que debe de reaccionar en el momento justo al igual que debe contar con la resiliencia adecuada para continuar con la siguiente competencia.

En rendimiento deportivo no solo se construye en una sola dimensión, esta es el resultado de combinar, entrenar y cuidar cada una de estas áreas. Solo así, cuerpo y mente trabajan juntos para alcanzar el mejor desempeño.

Teniendo en cuenta lo anterior se puede afirmar que; La técnica y la táctica completan el rompecabezas. Dominar un gesto técnico no es cuestión de suerte, sino de aprendizaje sistemático, repetición consciente y corrección permanente (25) (13). Y la táctica va más allá de "saber jugar": implica leer el entorno, anticiparse y tomar decisiones acertadas bajo presión.

No menos importante, el componente psicológico sostiene todo lo anterior. Motivación, autoconfianza, concentración y resiliencia no aparecen de la nada. Se entrenan, se cuidan y marcan la diferencia cuando el cuerpo ya no puede más, pero la mente sigue empujando (38) (41).

Interacción con el Entorno Social y Ambiental

¿De qué depende que un deportista alcance su mejor versión? Muchos pensarían solo en el entrenamiento o el talento, pero hay algo que a veces se pasa por alto: el lugar donde vive, las personas que lo rodean y las condiciones en las que entrena. El entorno social y ambiental influye más de lo que imaginamos.

Empecemos por el lado social. La familia, los amigos, los entrenadores y todo el equipo de apoyo son claves. No solo acompañan al deportista, sino que lo motivan, lo contienen cuando hay frustraciones y celebran los logros. Ese respaldo emocional se siente, y, aunque no se mida en segundos o metros, termina marcando la diferencia (42)

Después están los recursos. Tener un buen gimnasio, un equipo técnico preparado, atención médica y acompañamiento psicológico no es un lujo: es parte de las condiciones que permiten que el deportista crezca y rinda al máximo.

El ambiente también juega su parte. Ya que se debe tener en cuenta la altitud en la que entrena vs a donde compite, ya que el deportista no se desarrolla de la misma manera cuando entrena a 3.000 metros de altitud que cuando entrena a nivel del mar. El cuerpo reacciona distinto. El clima, la altitud, la temperatura... todo influye en cómo asimila el cuerpo los entrenamientos y qué tipo de adaptaciones necesita (4) (9) (43).

Por eso, cuando hablamos de rendimiento, no se trata solo de esfuerzo individual. El entorno, las personas y el ambiente son piezas del mismo rompecabezas. Conocerlas y aprovecharlas es parte del camino hacia el alto rendimiento.

Componentes de la Carga de Entrenamiento

Hablar de carga de entrenamiento es entrar en uno de los aspectos más delicados y determinantes del proceso deportivo. No basta con entrenar mucho o poco. Lo verdaderamente importante es cómo se organiza, se dosifica y se controla esa carga, para que el cuerpo reciba los estímulos justos que le permitan adaptarse, progresar y rendir.

Diseñar una carga adecuada no es una cuestión de improvisación ni de aplicar recetas generales. Requiere conocimientos técnicos, análisis cuidadoso y un profundo criterio profesional. Cuando la carga se planifica correctamente, se convierte en el motor que impulsa las mejoras. Pero, si se gestiona mal, los resultados pueden ser contraproducentes: fatiga, estancamiento, lesiones o incluso problemas de salud.

Tipos de Carga: Volumen, Intensidad, Densidad y Complejidad

Entender los diferentes tipos de carga es un componente fundamental para la programación del entrenamiento de una manera eficiente y segura para los deportistas, ya que estos componentes juegan un papel fundamental en

la planificación del entrenamiento. Cuando los componentes de la carga son entendidos correctamente y se abordan de la manera adecuada se consigue alcanzar los altos logros del deportista de una manera adecuada, sin embargo, si esto no es así puede llegar a ser perjudicial para el desarrollo físico y táctico de este.

Como primer componente de carga se encuentra el volumen, cual se refiere a la cantidad de trabajo realizado en cada uno de los ejercicios o en su defecto en una sesión de entrenamiento, este se puede encontrar representado por series y repeticiones, kilómetros recorridos, distancia o tiempo. El volumen es un componente que debe ser desarrollado de manera progresiva y controlada para así aportar a la mejor condición física del deportista.

La intensidad del entrenamiento es la encargada de determinar el esfuerzo que se desarrolla por cada ejercicio, esta puede estar representada de manera cuantitativa o cualitativa, cuando se habla de intensidad cualitativa hace referencia a mediciones de alta, media o baja. A su vez cuando la intensidad de expresa de manera cualitativa se encuentra por porcentaje del último test o marca realizada. Es importante destacar que la intensidad está directamente relacionada con las adaptaciones fisiológicas del deportista, las cuales son generadas por el entrenamiento y esta se debe ir ajustando de acuerdo con los objetivos y necesidades de cada uno de los deportistas.

Otro componente de carga que es crucial para dosificar la carga es la densidad, la cual hace referencia a la relación existente entre el tiempo de trabajo y el tiempo de descanso. Un entrenamiento con las correctas pausas permite al deportista mantener la calidad del esfuerzo y así evitar la fatiga de manera prematura. Cuando el trabajo está mal estructurado sin controlar los periodos de descanso puede comprometer el rendimiento del deportista y aumenta el riesgo de lesión.

Finalmente, la complejidad hace referencia al nivel de dificultad técnica, coordinativa y cognitiva del ejercicio. No todo se reduce a la cantidad o al esfuerzo físico. Hay actividades que, aunque breves o de baja carga externa, exigen un alto nivel de precisión, control motor y concentración. La complejidad debe ser progresiva y adaptarse tanto al nivel técnico como a la madurez motriz del deportista (44).

En síntesis, volumen, intensidad, densidad y complejidad no actúan de manera aislada, sino que se combinan y deben ajustarse con criterio dentro de la planificación general. Solo mediante el control riguroso de estos componentes es posible garantizar un proceso de entrenamiento coherente, seguro y orientado al logro de resultados.

Principios de Estructuración de la Carga

Organizar la **carga de entrenamiento** no es un proceso improvisado ni una cuestión de intuición. Requiere planificación, conocimiento y, sobre todo, aplicar principios que permitan que el trabajo físico se transforme en resultados reales y sostenibles.

Teniendo en cuenta esto, contamos con varias pautas que orientan la forma en la que deben ser estructuradas las cargas para que le deportista alcance su mayor potencial sin comprometer su salud.

El primer principio es la periodización, la cual nos habla de una correcta distribución de las cargas ya sea por microciclos, lo cual corresponde al bloque de entrenamiento sea en días o semanas; mesociclos, que incluyen varias semanas o meses; macrociclos, que normalmente comprende toda la temporada o un año de entrenamiento. Esta estructura permite planificar con precisión los picos de rendimiento, adaptándolos de manera progresiva y segura.

Otro principio clave en la estructura del entrenamiento es la conjugación de cargas, que quiere decir realizar una combinación de manera planificada diferentes estímulos, como la fuerza, resistencia o velocidad, esto para que se complementen entre sí y se evite una saturación en el organismo. De esta manera se logra un desarrollo integral y equilibrado de cada una de las capacidades.

También debe considerarse la **carga acumulativa**, recordando que los efectos del entrenamiento no se suman de forma simple. La calidad de los estímulos, su secuencia y los tiempos de descanso son factores que condicionan la progresión (5).

Finalmente, la **periodización flexible** nos recuerda que, aunque exista una planificación inicial, esta debe adaptarse según la respuesta del deportista, su estado de salud o los imprevistos que puedan surgir en el camino (34).

Estructurar la carga respetando estos principios es esencial para que el entrenamiento sea efectivo, seguro y realmente adaptado a cada deportista.

Individualización y Adaptación Progresiva

Uno de los principios más importantes, pero a menudo subestimados, en el entrenamiento deportivo es la **individualización**. No existen entrenamientos iguales para todos. Cada deportista cuenta con una adaptación diferente, un cuerpo diferente y un entorno que los hace únicos, esto debe de tenerse en cuenta al momento de diseñar la carga de trabajo de los deportistas.

Además, aspectos como la edad, la vida deportiva, la condición física, el estado psicológico y el entorno social pueden llegar a influir en la asimilación de los estímulos de entrenamiento y así mismo en el desarrollo del deportista. (10) (44). Por eso, es un error aplicar el mismo plan a todos por igual. Lo que funciona para uno puede ser excesivo o insuficiente para otro.

Junto a la individualización, la **adaptación progresiva** es esencial. La carga debe aumentar de manera gradual, respetando los tiempos de recuperación y asimilación del organismo. Subir demasiado rápido la exigencia no solo frena el progreso, sino que puede provocar fatiga excesiva, sobreentrenamiento o lesiones (4) (45).

Una herramienta útil dentro de esta progresión es el **tapering**, que consiste en reducir planificadamente la carga antes de una competencia. Esta estrategia permite al cuerpo recuperarse, asimilar el trabajo realizado y llegar en las mejores condiciones al momento clave (46).

Individualizar el entrenamiento y progresar de forma inteligente no es un lujo ni una moda, es la base para que el proceso sea efectivo, seguro y realmente adaptado a cada deportista.

Evaluación, Control y Monitoreo de la Carga

Diseñar un buen plan de entrenamiento es solo el comienzo. Para que ese plan funcione y sea seguro, es fundamental realizar una adecuada evaluación y control de la carga. Solo así es posible saber si el deportista está asimilando los estímulos de forma adecuada o si es necesario hacer ajustes.

Para ello, se utilizan dos tipos de indicadores. Los externos, que miden la cantidad de trabajo realizado: volumen, intensidad, densidad o frecuencia de las sesiones (47). Y los internos, que nos muestran cómo responde el cuerpo: frecuencia cardíaca, lactato, consumo de oxígeno o percepción subjetiva del esfuerzo (48).

Pero no todo se reduce a números. Los modelos multifactoriales integran componentes fisiológicos, técnicos, emocionales y psicológicos. Lo cual ofrece una mirada más completa del deportista y de su rendimiento.

En la actualidad la evolución tecnológica como el GPS, los acelerómetros o los dispositivos de control de frecuencia cardiaca nos brindar un panorama más detallado durante cada sesión y así podemos analizar los desplazamientos, intensidades y esfuerzos en tiempo real de cada uno de los deportistas.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que ningún dispositivo puede llegar a reemplazar la experticia del entrenador, ya que el observa, escucha y conoce

a cada uno de sus deportistas. La tecnología es una herramienta que se debe utilizar, pero el criterio y la experiencia humana son los que realmente hacen la diferencia.

Enfoque Interdisciplinar en el Proceso de Preparación

El enfoque interdisciplinar en la preparación deportiva representa un cambio fundamental en la forma de comprender y gestionar el rendimiento de los atletas. A diferencia de los enfoques tradicionales que abordan el entrenamiento desde una perspectiva unidimensional, la interdisciplinariedad permite integrar de manera coherente diversas áreas del conocimiento considerando a su vez aspectos que van desde la fisiología, biomecánica, psicología, nutrición hasta pedagógicos, generando intervenciones más completas y eficaces (49). Esta visión holística se ha consolidado como una necesidad frente a la creciente complejidad del deporte moderno y a la exigencia de individualizar los procesos de entrenamiento y ajustarlos a las características y necesidades acordes con el ciclo de preparación deportiva.

Recientemente se ha generado mayor evidencia que respalda que el trabajo coordinado entre diferentes disciplinas mejora significativamente los resultados deportivos, permite una detección más precisa de necesidades y riesgos, y optimiza los procesos de recuperación, adaptación, prevención de lesiones, así como la posibilidad de generar un seguimiento (50). A su vez, la planificación del entrenamiento bajo modelos de periodización contemporáneos o la periodización táctica ha mostrado resultados más eficientes cuando se articulan componentes físicos, cognitivos y emocionales del deportista (51) (18).

El rendimiento deportivo es el resultado de múltiples factores interrelacionados, y no puede explicarse únicamente por la carga física aplicada durante el entrenamiento. Cada vez más evidencia respalda la necesidad de integrar componentes técnico-tácticos, estrategias de recuperación activa y herramientas para el manejo psicológico del estrés competitivo en los programas de preparación. Este enfoque integrador no solo permite mejorar el desempeño inmediato del deportista, sino que también contribuye a la continuidad y sostenibilidad del proceso formativo, disminuyendo la probabilidad de sobrecarga o abandono (52).

Además, la implementación de estructuras organizativas como los Departamentos de Metodología (DoM) promueve la toma de decisiones integrada, facilitando la comunicación entre entrenadores, fisioterapeutas, psicólogos deportivos, médicos y preparadores físicos. Esta dinámica

favorece una visión compartida del proceso formativo del atleta, donde cada intervención se alinea con los objetivos generales del rendimiento y el bienestar integral (53).

Por tanto, el enfoque interdisciplinar no es una opción metodológica secundaria, sino una necesidad imperativa para el deporte de alto rendimiento y la formación deportiva en la actualidad. Su aplicación permite interpretar al deportista como un sistema complejo en constante adaptación, donde la interacción entre factores físicos, mentales y sociales define el éxito deportivo. Promover este enfoque en programas formativos permite generar mejores resultados durante la práctica.

Participación de Fisioterapeutas, Médicos y Psicólogos Deportivos

El éxito de la preparación deportiva se sustenta en un enfoque interdisciplinario en el que fisioterapeutas, médicos y psicólogos deportivos colaboran de manera coordinada. Cada profesional aporta competencias específicas y complementarias: el médico se encarga del diagnóstico clínico, la prescripción terapéutica y la autorización para el retorno a la práctica deportiva; el fisioterapeuta lidera los procesos de rehabilitación, promoviendo la recuperación de la movilidad articular, la función motora y la adaptación funcional del organismo; mientras que el psicólogo deportivo interviene en el manejo emocional, la motivación y los procesos cognitivos implicados tanto en la rehabilitación como en el entrenamiento. Esta interacción sinérgica entre disciplinas resulta clave para garantizar un retorno seguro, eficiente y sostenible al deporte, al tiempo que contribuye al mantenimiento y la potenciación del rendimiento deportivo.

La fisioterapia deportiva ha asumido un rol protagónico en el contexto del entrenamiento de alto rendimiento, consolidándose como una disciplina clave en el diseño de programas orientados a la prevención de lesiones, la optimización del rendimiento funcional y la recuperación estructurada del deportista. Su intervención no se limita únicamente a la fase posterior a la lesión; por el contrario, el fisioterapeuta deportivo participa de forma activa en la planificación del entrenamiento, mediante evaluaciones biomecánicas y funcionales que permiten detectar asimetrías, disfunciones del movimiento y déficits neuromusculares que podrían aumentar el riesgo lesional. Esta labor evaluativa y diagnóstica facilita la implementación de estrategias terapéuticas preventivas, que incluyen ejercicios específicos de estabilidad, control motor, propiocepción y fortalecimiento segmentario, ajustados a las demandas particulares de la disciplina y la posición del deportista. Además,

los fisioterapeutas colaboran estrechamente con entrenadores y médicos deportivos para diseñar protocolos individualizados de carga, recuperación y retorno a la competencia, integrando herramientas especializadas. Su intervención también es determinante en el seguimiento longitudinal del deportista, mediante el monitoreo de indicadores de fatiga, dolor, alteraciones de la variabilidad de la frecuencia cardíaca, lo cual permite ajustar cargas de entrenamiento y reducir el riesgo de sobreuso (54).

El médico del deporte actúa como coordinador clínico del proceso, realizando diagnósticos precisos, supervisando el tratamiento médico y estableciendo criterios claros para el regreso progresivo a la actividad. Su función es clave para establecer puentes entre la medicina, el rendimiento físico y la protección de la salud a largo plazo. Además, es el responsable de identificar signos de sobreentrenamiento, alteraciones metabólicas, deficiencias nutricionales o estados emocionales que afecten el rendimiento. Johnston y Hillier subrayan que el médico, al integrar conocimientos de psicología deportiva, mejora su capacidad para identificar factores de riesgo emocionales relacionados con la lesión y guiar adecuadamente al deportista en su proceso de recuperación (55).

El psicólogo deportivo, por su parte, interviene en el fortalecimiento de habilidades mentales como la autoconfianza, el control del estrés, la regulación emocional y la atención sostenida, tanto en competición como en fases de lesión y rehabilitación. En poblaciones juveniles, su presencia en equipos multidisciplinarios ha demostrado ser crucial para identificar trastornos emocionales, facilitar la adaptación al entorno competitivo y acompañar procesos de retorno al deporte con menor carga de ansiedad (56), Según Annear et al., muchos fisioterapeutas reconocen que incluir componentes mentales en sus intervenciones mejora significativamente la adherencia y motivación del deportista, aunque señalan barreras como la falta de formación específica o la subvaloración de estos aspectos por otros miembros del equipo (57) , lo que destaca la necesidad de estos enfoques interdisciplinarios. Además, Brown et al. manifiestan que el trabajo conjunto entre psicólogos, fisioterapeutas y nutricionistas potencia la calidad del regreso al juego, ya que se abordan dimensiones que van desde la fuerza física hasta la percepción de autoeficacia (58).

Estudios recientes sobre readaptación deportiva evidencian que la colaboración organizada entre estos profesionales produce mejores resultados cuando existe una delimitación clara de funciones, comunicación fluida y objetivos comunes. Cada especialidad mantiene su autonomía técnica, pero comparte la responsabilidad del proceso (59), A demás, la relación interpersonal

entre fisioterapeuta y deportista ha sido identificada como un factor clave en la adherencia a los programas de rehabilitación. Esta relación, basada en confianza, empatía y comunicación bidireccional, potencia no solo la recuperación física, sino el afrontamiento emocional de las lesiones (60).

Evaluación Funcional y Toma de Decisiones Basada en Evidencia

La **evaluación funcional** representa un pilar esencial en la planificación deportiva moderna, permitiendo caracterizar con precisión el estado neuromuscular, biomecánico y fisiológico del atleta. Este proceso sistemático, realizado mediante pruebas validadas, así como el uso de cuestionarios proporciona datos cuantitativos que permiten comparar con valores de referencia, identificar déficits o compensaciones, y establecer objetivos medibles para la delimitación de avances o reintegrar al atleta en su entrenamiento (60).

En este contexto, la **toma de decisiones basada en evidencia** exige integrar los resultados de dichas pruebas con la literatura científica, la experiencia clínica y las preferencias del deportista. Por ejemplo, estudios recientes enfatizan que combinar cuestionarios de percepción del atleta con pruebas funcionales estandarizadas mejora la validez de los criterios de retorno al deporte, reduciendo el riesgo de reincidencia en la lesión (60).

El éxito de esta estrategia depende de un enfoque **interdisciplinario,** donde profesionales como fisioterapeutas, preparadores físicos, médicos y psicólogos colaboran de forma coordinada. Revisiones en rendimiento deportivo destacan que los equipos de trabajo más efectivos comparten:

1. **Estructuras organizativas claras**, con liderazgo facilitador y comunicación fluida entre disciplinas.
2. Un **enfoque teórico compartido**, basado en modelos científicos comunes y alineados con los objetivos deportivos.
3. Utilización de **herramientas y procesos estandarizados** para la evaluación, el registro de datos y el seguimiento longitudinal.

Por ejemplo, en la rehabilitación deportiva se diseñan protocolos con fases progresivas:

- **Evaluación y diagnóstico funcional** (usando pruebas, test y medidas),
- **Intervención dirigida** (trabajo neuromuscular, terapia manual, fortalecimiento, control motor, reeducación propioceptiva, entre otros según lo encontrado durante fase diagnostica),

- **Monitoreo dinámico y ajuste de cargas**
- **Re-evaluación funcional antes del retorno completo** desde un enfoque interdisciplinario.

Este modelo, respaldado por la evidencia científica y la práctica colaborativa interdisciplinaria, permite una identificación precisa de los déficits funcionales y el diseño de intervenciones personalizadas (61), Facilita una progresión controlada del entrenamiento, escalando la intensidad únicamente cuando se superan umbrales previamente definidos. Asimismo, orienta la toma de decisiones en el retorno al deporte mediante criterios cuantificables, minimizando la subjetividad, y favorece una reintegración segura y eficiente al considerar de manera conjunta las capacidades físicas, los factores emocionales y las demandas específicas de la carga deportiva.

Interrelación entre Ciencia Aplicada y Práctica Empírica

En el ámbito de la planificación y periodización del entrenamiento deportivo, la interrelación entre ciencia aplicada y práctica empírica es esencial para desarrollar estrategias sólidas, adaptativas y contextualizadas. La ciencia aplicada aporta modelos teóricos, datos fisiológicos, metodologías de evaluación y principios validados, mientras que la práctica empírica, anclada en la experiencia cotidiana del campo, aporta elementos sobre la variabilidad individual, las respuestas adaptativas y las dinámicas competitivas. La investigación muestra que los equipos interdisciplinarios en deportes de alto rendimiento funcionan con mayor eficacia cuando combinan un marco teórico común con liderazgo facilitador, estructuras organizativas claras y comunicación constante entre disciplinas (62).

Además, el enfoque de la práctica basada en evidencia en el deporte exige integrar la mejor evidencia disponible, la experiencia profesional y las preferencias del atleta, evidenciando que, aunque los hallazgos científicos no siempre se transfieren directamente, su adaptación flexible mejora los resultados. Esta sinergia evita la aplicación rígida de protocolos en entornos diversos y promueve una cultura de aprendizaje continuo, donde las observaciones del campo retroalimentan la teoría, y los hallazgos científicos nutren la mejora práctica. Así, el entrenamiento se optimiza mediante un enfoque reflexivo e integral, coherente con los modelos clásicos y contemporáneos de periodización y programación interdisciplinaria.

Conclusiones

Hablar de entrenamiento deportivo hoy exige una comprensión que trascienda lo meramente técnico o cuantificable. Ya no basta con contar repeticiones, medir tiempos o seguir rutinas. El entrenamiento es un proceso dinámico, complejo y profundamente humano, donde confluyen ciencia, intuición, experiencia y, sobre todo, la singularidad de cada deportista. Detrás de cada logro hay una persona con emociones, pensamientos, sueños y desafíos, que requiere ser comprendida en su totalidad. Reducir el entrenamiento a un conjunto de técnicas o fórmulas universales implica ignorar su esencia. No se trata únicamente de diseñar planes, sino de construir procesos adaptativos, capaces de responder a los cambios físicos, emocionales y contextuales que atraviesa cada atleta. Es estar preparado para la transformación constante de los cuerpos, para la variabilidad emocional y para los entornos que influyen, a veces de manera decisiva, en el rendimiento.

Autores como Matveev, Platonov, Navarro, Isurin, Verkhoshansky, García Manso o Balagué han aportado marcos teóricos fundamentales que ofrecen estructura y orientación. Sin embargo, su aplicación debe ser flexible, contextualizada y nunca dogmática, porque no existen fórmulas infalibles. Lo que resulta efectivo para un deportista puede no serlo para otro; lo que funcionó ayer puede carecer de vigencia hoy. Por eso, la diferencia la marca la capacidad del entrenador para interpretar el momento, adaptar los principios a la realidad concreta, y combinar el conocimiento con la observación sensible y cotidiana. Entrenar no es aplicar recetas, sino tomar decisiones conscientes, informadas y, a menudo, también intuitivas.

Asumir el entrenamiento como un fenómeno multidimensional implica reconocer que lo físico, técnico, táctico, psicológico y social están profundamente interrelacionados. Las cargas no solo afectan al cuerpo, también impactan el ánimo, la motivación y la autoconfianza. En este sentido, la individualización del entrenamiento no es un lujo, sino una necesidad urgente. Cada persona entrena desde su historia, sus temores, sus modos de aprender y de adaptarse. Ignorar esta complejidad es entrenar a ciegas, es perder de vista aquello que verdaderamente transforma: el encuentro entre el conocimiento técnico y la comprensión humana.

Por consiguiente, la planificación sigue siendo fundamental. Pero debe hacerse con conciencia. Planificar bien no es solo definir volúmenes e intensidades. Es tener presente cómo reacciona el cuerpo, cómo cambia el entorno, cómo se siente la persona. No hay plan que sirva si se aplica sin sensibilidad. Monitorear

es parte del proceso, pero no basta con mirar números. Hay que saber interpretarlos, conectarlos con lo que se ve, con lo que se escucha, con lo que el atleta no siempre dice en palabras, pero expresa en gestos, actitudes, silencios.

En la actualidad, la tecnología ha enriquecido notablemente el proceso de entrenamiento deportivo, aportando herramientas precisas para evaluar y monitorear el desempeño: pulsómetros, GPS, plataformas de salto, cuestionarios de percepción subjetiva, entre otros. No obstante, ningún dispositivo reemplaza la sensibilidad, el juicio y la mirada entrenada del profesional que acompaña el proceso. La tecnología orienta, pero es el criterio del entrenador el que decide. Por eso, más allá de los resultados, entrenar implica también cuidar: cuidar el cuerpo, pero igualmente el equilibrio emocional, la relación con el entorno y la sostenibilidad del proyecto deportivo. Porque no se trata solo de alcanzar metas, sino de mantenerse, disfrutar del camino y aprender a transitar los altibajos sin perder el rumbo.

Por lo tanto, la fuerza, resistencia y velocidad son componentes esenciales, sin duda, pero resultan insuficientes si no están integrados con la técnica, la táctica y la dimensión mental. La técnica afina el movimiento, la táctica optimiza las decisiones bajo presión, y la mente sostiene cuando el cuerpo ya no puede más. Aspectos como la gestión del error, la toma de decisiones en escenarios complejos o la tolerancia al estrés no se entrenan únicamente con repeticiones: se desarrollan desde la experiencia, la reflexión y el acompañamiento emocional.

El entorno también cobra un papel decisivo. Condiciones de entrenamiento, recursos, vínculos familiares, apoyo institucional o el sentido de pertenencia al equipo son factores que influyen, y muchas veces, determinan. Un ambiente hostil, carente de apoyo o sin reconocimiento desgasta más que cualquier carga física. Por eso, el trabajo interdisciplinar no es una opción, es una urgencia. Entrenadores, fisioterapeutas, psicólogos, médicos y nutricionistas conforman una red de apoyo que enriquece el proceso y lo vuelve sostenible en el tiempo. La articulación de saberes permite respuestas más integrales, humanas y efectivas.

Entrenar bien, en esencia, es acompañar bien. Es saber cuándo exigir y cuándo contener, cuándo intervenir y cuándo dejar ser. Es corregir con empatía, motivar con autenticidad y tomar decisiones que, además de ser técnicamente fundamentadas, estén emocionalmente sintonizadas con el deportista. Cada sesión debería responder a una pregunta esencial: ¿esto que propongo realmente le sirve a esta persona, aquí y ahora?

En definitiva, el entrenamiento deportivo, cuando se ejerce con compromiso, sensibilidad y conciencia, trasciende lo físico. Se convierte en un proceso continuo de formación, donde la ciencia se encuentra con la experiencia, donde los logros se celebran en colectivo y los fracasos se resignifican como oportunidades. Porque al final, entrenar no es solo moldear cuerpos: es acompañar trayectorias, formar personas y mantener siempre presente que, dentro de cada atleta, hay un ser humano que merece ser escuchado, valorado y comprendido.

Referencias

1. Matveev LP. Fundamentals of Sports Training. Moscow: Progress Publishers; 1981.
2. Bompa TO. Theory and Methodology of Training: The Key to Athletic Performance. Dubuque (IA): Kendall/Hunt Publishing Company; 1983
3. Lyakh V, Mężyk K, Bujak Z, Rokita A. Review of Platonov's "Sports Training Periodization. General Theory and its Practical Application" - Kiev: Olympic Literature, 2013. J Hum Kinet. 2014;44:259-264
4. Platonov VN. Sports Training Periodization: General Theory and its Practical Application. Kiev: Olympic Literature; 2013.
5. Matveev LP. Teoría general del entrenamiento deportivo. Barcelona: Paidotribo; 2001.
6. Matveev LP. Esquema de correlaciones de la teoría general del deporte, de las disciplinas teórico-metodológicas y de las ramas del conocimiento humanístico y científico. En: Matveev LP. Teoría general del entrenamiento deportivo. Barcelona: Paidotribo; 2001. (Nota: Adaptación estructurada a partir del esquema original del autor).
7. Verkhoshansky N. Shock Method and Plyometrics. Rome: Verkhoshansky SSTM; 2012.
8. Dimitrov D, Belomazheva-Dimitrova S. Comparative analysis of the level of specific motor skills in 12-13-year-old tennis players. Trakia J Sci. 2011;9(3):74-81.
9. García Manso JM, Navarro Valdivieso M, Ruiz Caballero JA. Bases teóricas del entrenamiento deportivo: principios y aplicaciones. Madrid: Gymnos Editorial; 1996.
10. Issurin VB. Training transfer: scientific background and insights for practical application. Sports Med. 2013;43(8):675-694.

11. Balagué N, Torrents C. Complejidad y deporte: una visión desde la teoría de sistemas complejos. Barcelona: Inde; 2011.

12. Platonov VN. Teoría general del entrenamiento deportivo olímpico. Barcelona: Paidotribo; 2001.

13. Zhelyazkov T. Bases del entrenamiento deportivo. Barcelona: Paidotribo; 2001.

14. Zhelyazkov T, Dasheva D. Bases metodológicas del entrenamiento deportivo. Sofía: Publi-Sport; 2002.

15. Martin Dantas EH, Barrón JC, Celestino Bispo MD, Salum de Godoy E, Aquino dos Santos CK, Dias Bello MN, et al. Criterios para identificar y evaluar modelos de periodización de entrenamiento deportivo. Retos. 2022;45:174-183.

16. Forteza de la Rosa A, Ranzola Rivas A. Teoría, metodología y planificación del entrenamiento: de lo ortodoxo a lo contemporáneo. La Habana: Editorial Científico-Técnica; 2017.

17. Galeano-Virgen JD, Orejuela-Aristizabal DF, Cardona-Orejuela JS. Descripción de los modelos de periodización del entrenamiento deportivo utilizados en el Valle del Cauca, Colombia. Rev Digit Act Fis Deporte. 2023;9(1):e2311.

18 Izquierdo Rodríguez E, Galeano Virgen JD, Orejuela Aristizábal DF, López Ulchur VA, Castro Rengifo AC. Modelos de periodización del entrenamiento empleados en la natación convencional y para natación: una revisión sistemática. Virajes. 2024;26(1):145-170.

19 Arosiev VG, Kalinin IL. Modelo de péndulo en la planificación del entrenamiento deportivo. Moscú: Instituto Central de Cultura Física; 1971.

20 Vorobiev AN. A system of training for high-level weightlifters. Moscow: Fizkultura i Sport; 1974.

21 Tschiene P. Leistungsmodell des Hochleistungstrainings. Berlin: Deutscher Sportverlag; 1977.

22 Costa IA. Los modelos de planificación del entrenamiento deportivo del siglo XX. Rev Electrón Cienc Apl Deporte. 2013;6(22):1-8.

23 Verkhoshansky YV. Teoría del entrenamiento deportivo. Moscú: Fizkultura i Sport; 1979.

24 Issurin VB, Kaverin V. Block periodization of sports training. Moscow: Sport and Physical Training; 1985.

25 García Manso JM, Navarro Valdivieso M, Ruiz Caballero JA. Fundamentos del entrenamiento deportivo. Madrid: Gymnos Editorial; 1996. (Nota: La edición original de referencia de esta obra de los autores es de 1996).

26 Marques Junior NK. Periodization models used in the current sport. MOJ Sports Med. 2020;4(1):27-34.

27 Navarro Valdivielso F. Planificación del entrenamiento deportivo. Madrid: Gymnos Editorial; 1982.

28 Seirul·lo Vargas F. La preparación del deportista en los deportes de equipo. Apunts Med Esport. 1988;25(96):125-132.

29 Frade V. Periodização táctica: estrutura e dinâmica do jogo. Oporto: Universidade do Porto; 2005.

30 Clemente-Suárez VJ, Fernandes RJ, de Jesus K, Pelarigo JG, Arroyo-Toledo JJ, Vilas-Boas JP. Do traditional and reverse swimming training periodizations lead to similar aerobic performance improvements? J Sports Med Phys Fitness. 2018;58(6):761-767.

31 Arroyo-Toledo JJ, Sortwell A, Clemente-Suárez VJ. The effect of 12-week of pyramidal and polarized training intensity distribution in national elite adolescent swimmers. J Phys Educ Sport. 2021;21(4):2540-2547.

32 Mazo-Garcés DV, Ortiz-Uribe M. Efectos en coordinación y resistencia de planificar por modelamiento en jugadoras jóvenes de balonmano. Rev Digit Act Fis Deporte. 2023;9(1):e2265.

33 Galeano Virgen JD, Galindo DF, Orejuela Aristizábal DF, Ortegón Castaño JC, Cardona Orejuela JS. Modelos de planificación deportiva más utilizados por entrenadores en el Valle del Cauca, Colombia. Cuerp Cult Mov. 2024;14(1):e9862.

34 Issurin VB. Block periodization versus traditional training theory: a review. J Sports Med Phys Fitness. 2008;48(1):65-75.

35 Verkhoshansky YV. Organization of the training process. New Stud Athletics. 2007;22(2):17-31.

36 Balagué N, Torrents C. La complessità dell'allenamento sportivo. Calzetti Mariucci: Perugia; 2005.

37 Verkhoshansky Y, Verkhoshansky N. Special Strength Training: Manual for Coaches. Rome: Verkhoshansky SSTM; 2011.

38 Balagué N, Torrents C, Hristovski R, Kelso JAS, Aroas JA. Overview of complex systems in sport. Front Psychol. 2013;4:833.

39 Verkhoshansky YV. Block training system in endurance sports. New Stud Athletics. 1998;13(1):25-40.

40 Issurin VB. Evidence-based prerequisites and precursors of athletic talent: a review. Sports Med. 2017;47(10):1993-2012.

41 Petruzzello SJ, Landers DM, Hatfield BD, Kubitz KA, Salazar W. A meta-analysis on the anxiety-reducing effects of acute and chronic exercise: outcomes and mechanisms. Sports Med. 1991;11(3):143-182.

42 Gould D, Dieffenbach K, Moffett A. Psychological characteristics and their development in Olympic champions. J Appl Sport Psychol. 2002;14(3):172-204.

43 Wilber RL. Altitude Training and Athletic Performance. Champaign (IL): Human Kinetics; 2007.

44 García-Manso JM, Navarro Valdivieso M, Ruiz Caballero JA. Bases teóricas del entrenamiento deportivo: principios y aplicaciones. Madrid: Gymnos Editorial; 1996.

45 Bompa TO, Buzzichelli C. Periodization: Theory and Methodology of Training. 6th ed. Champaign (IL): Human Kinetics; 2015.

46 Mujika I, Padilla S. Scientific bases for precompetition tapering strategies. Med Sci Sports Exerc. 2003;35(7):1182-1187.

47 Borresen J, Lambert MI. The quantification of training load, the training response and the effect on performance. Sports Med. 2009;39(9):779-801.

48 Impellizzeri FM, Marcora SM, Coutts AJ. Internal and external training load: 15 years on. Int J Sports Physiol Perform. 2019;14(2):270-273.

49 Mujika I, Halson S, Burke LM, Balagué G, Farrow D. Periodization for optimal performance in individual and team sports. Int J Sports Physiol Perform. 2018;13(5):538-561.

50 Otte FW, Millar SK, Rothwell S, Davids K. Specialist coaching integrated into a department of methodology in team sports organisations. Sports Med Open. 2020;6(1):55.

51 Murillo García CM. La periodización táctica: una revisión sistemática. RED Rev Entren Deporte. 2024;38(2):e38201.

52 Tassi JM, Nobari H, Díaz García J, Rubio A, López Gajardo MA, Manzano D, et al. Exploring a holistic training program on tactical behavior and psychological components of elite soccer players throughout competition season: a pilot study. BMC Sports Sci Med Rehabil. 2024;16(1):27.

53 Pons Alcalá E, Martín García A, Guitart Trench M, Guerrero Hernández I, Tarragó JR, Seirul·lo Vargas F, et al. Entrenamiento en deportes de equipo: el entrenamiento optimizador en el Fútbol Club Barcelona. Apunts Educ Fis Deportes. 2020;(140):55-66.

54 Yeole UL, Patil N, Panse C. Effect of position specific physiotherapy training on performance of Indian football players: a randomized control trial. Int J Health Sci Res. 2023;13(4):112-120.

55 Heaney CA, Walker NC, Green AJ, Rostron CL. Sport psychology education for sport injury rehabilitation professionals: a systematic review. Phys Ther Sport. 2015;16(1):72-79.

56 Jasser J, Derosier RP, Kelleher TB. The role of psychologists in sports medicine practice. Clin Sports Med. 2022;41(2):237-247.

57 Annear A, Spittle M, Harvey J. What are the current practices of sports physiotherapists in integrating psychological strategies during athletes' return-to-play rehabilitation? Mixed methods systematic review. Phys Ther Sport. 2019;38:96-105.

58 Rollo I, Carter JM, Close GL, Yangüas J, Gomez-Diaz A, Medina Leal D, et al. Role of sports psychology and sports nutrition in return to play from musculoskeletal injuries in professional soccer: an interdisciplinary approach. Sports Med. 2020;50(9):1681-1690.

59 Rojas-Valverde D, Gutiérrez-Vargas R, Sánchez-Ureña B. Sport readaptation: where do we draw the lines between professionals? Rev Electrón Educ. 2019;23(3):1-14.

60 Bird SP, Markwick WJ. Musculoskeletal screening and functional testing. J Aust Strength Cond. 2016;24(4):45-56.

61 Picot B, Hardy A, Terrier R, Tobon-Ramos L, Fournier C, Forestier N. Which functional tests and self-reported questionnaires can help

clinicians make valid return to sport decisions in patients with chronic ankle instability? A narrative review and expert opinion. Front Sports Act Living. 2022;4:839009.

62 Burns A, Cumming D. Interdisciplinary practice in performance sport: a scoping review of evidence of collaboration. Sports Med Open. 2023;9(1):42.

CAPÍTULO 8

Procesos Psicológicos en la Readaptación Deportiva

Psychological Processes in Sports Readaptation

Norma Elizabeth Mora Rosas
Sport Med Centro Médico
https://orcid.org/0009-0003-0152-5220
morarosas@gmail.com

Resumen

El proceso psicológico en las lesiones deportivas es un fenómeno complejo que abarca desde la respuesta inicial ante el diagnóstico hasta la recuperación y el retorno a la competición. Este proceso se ve influido por factores emocionales, cognitivos y conductuales que impactan de manera significativa en la rehabilitación y el bienestar general del deportista. En primer lugar, una lesión provoca una fuerte reacción emocional, manifestándose en miedo, frustración y ansiedad, emociones que suelen relacionarse con las etapas del duelo descritas por Kübler-Ross (1969), como la negación, ira, negociación, depresión y aceptación. Durante este tiempo, los deportistas pueden sentir una pérdida de identidad al interrumpirse su rutina y distanciarse de su equipo.

En la fase de rehabilitación, factores cognitivos como la autoeficacia y la adherencia al tratamiento son cruciales. Bandura (1997) enfatiza que la autoeficacia determina el esfuerzo y la perseverancia en la recuperación. Por lo tanto, la intervención de psicólogos deportivos es vital para ayudar a los atletas a fijar metas realistas y desarrollar estrategias de afrontamiento efectivas. Finalmente, el retorno al deporte implica superar no solo barreras físicas, sino también los miedos psicológicos, como el temor a una recaída. Brewer (1997)

Cita este capítulo / *Cite this chapter*

Mora Rosas NE. Procesos psicológicos en la readaptación deportiva. En: Calero Saa PA, editor. Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo III: rehabilitación y readaptación deportiva. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 349-373. https://doi.org/10.35985/9786287914179.8

señala que la confianza reconstruida y el apoyo social son esenciales para una reintegración exitosa. En resumen, comprender el proceso psicológico en las lesiones deportivas es fundamental para promover una recuperación integral, reconociendo la interconexión entre mente y cuerpo en la experiencia del deportista.

Palabras Clave: Psicología Positiva, Rehabilitación, Volver al Deporte

Abstract

The psychological process of sports injuries is a complex phenomenon that encompasses everything from the initial response to diagnosis to recovery and return to competition. This process is influenced by emotional, cognitive, and behavioral factors that significantly impact the athlete's rehabilitation and overall well-being. First, an injury provokes a strong emotional reaction, manifesting as fear, frustration, and anxiety—emotions often associated with the stages of grief described by Kübler-Ross (1969), such as denial, anger, bargaining, depression, and acceptance. During this time, athletes may experience a loss of identity as their routine is disrupted and they distance themselves from their team.

In the rehabilitation phase, cognitive factors such as self-efficacy and treatment adherence are crucial. Bandura (1997) emphasizes that self-efficacy determines effort and perseverance in recovery. Therefore, the intervention of sports psychologists is vital to help athletes set realistic goals and develop effective coping strategies. Finally, returning to sport involves overcoming not only physical barriers but also psychological fears, such as the fear of relapse. Brewer (1997) points out that rebuilt confidence and social support are essential for successful reintegration. In short, understanding the psychological process in sports injuries is fundamental to promoting a comprehensive recovery, recognizing the interconnectedness between mind and body in the athlete's experience.

Keywords: *Positive Psychology, Rehabilitation, Return to Sport*

Introducción

"Donde esta tu mente, está tu energía.
Dirige tus pensamientos hacia el equilibrio de tu cuerpo y de tu ser"

—Buda

En la actualidad se puede identificar el protagonismo que ha ido tomando la salud mental en el manejo de las lesiones deportivas, tanto por parte de los entrenadores como de los mismos atletas. Ejemplos como los que podemos ver en los atletas de Juegos Olímpicos de Tokyo como el caso de la gimnasta Simone Byles, al decidir retirarse de la final olímpica tanto por su estado mental como por las lesiones de su cuerpo. Por lo que en el presente capítulo se abordarán los diferentes procesos psicológicos y emocionales por los que un atleta atraviesa y que llegan a tener un efecto en la incidencia y aparición de las lesiones deportivas, así como los diferentes modelos que explican los factores emocionales durante la rehabilitación hasta la readaptación deportiva.

Tal como lo mencionan Tall y Devault en 1993 (1) alrededor del 5 al 15% de los atletas de alto rendimiento pierden al menos un mes en cada temporada deportiva, debido a alguna lesión sufrida en entrenamientos o competencias.

Cada vez más se observa que la práctica deportiva y de actividad física en nuestra sociedad tiene mayor relevancia y demanda y como Smith en 1996 (2) señala, esto conlleva a una mayor probabilidad de la aparición de las lesiones que provocan consecuencias en varios aspectos de la salud del deportista, desde los emocionales, hasta los relacionados con el entrenamiento y su desempeño competitivo. Esta inercia la vemos incrementada en la actualidad debido a una gran tendencia hacia el máximo rendimiento, la búsqueda del éxito y el reconocimiento, llegando a pasar por procesos de sobre entrenamiento deportivo y hasta burnout emocional, lo que nos da el camino seguro a una lesión deportiva.

Como lo mencionan Breslin y Leavy en su libro Mental Health and Well-being Interventions in Sport (3), la salud mental en los deportistas de élite ha sido tradicionalmente ignorada. Como es bien sabido, el ejercicio y la actividad física tienen una buena recomendación como aspectos saludables en cualquier edad, sin embargo, los datos recientes sugieren que en el deporte de alto rendimiento se puede llegar a mermar la salud mental, ya que los atletas están expuestos a factores de presión y estrés específicos que dificultan la optimización de sus recursos de afrontamiento.

En tiempos recientes, especialmente después de la Pandemia por COVID-19 en el año 2020, el proceso psicológico vinculado a los estados de salud ha tomado mayor relevancia en la población en general y también en los ámbitos deportivos donde vemos un mayor interés en identificar los aspectos psicológicos que se presentan alrededor de las lesiones, ya que los atletas de alto rendimiento tienen una mayor probabilidad de lesionarse durante sus entrenamientos; lo que les impide seguir en los procesos de avance, alcanzar sus marcas y recuperar su salud con la intención de lograr la más pronta reinserción a la cancha y a las competencias. Sin embargo, identificar los factores mentales y emocionales que están presentes en los atletas pueden ayudar a prevenir de cierta manera la aparición de las lesiones deportivas.

Procesos Psicológicos en la Readaptación Deportiva

El origen de una lesión, sus causas y razones han sido unas de las mayores interrogantes en las ciencias del deporte, sobre todo porque la mayoría de los entrenadores y especialistas en medicina del deporte mencionan frecuentemente que el atleta ha pasado por mucho estrés antes de su lesión o aseguran que los estados emocionales les han "provocado" la lesión. Desde la perspectiva de la psicología del deporte, se puede aclarar que existen multifactores que llegan a desencadenar la aparición de las lesiones en determinados momentos del entrenamiento deportivo o en las propias competencias.

Cuando los atletas se lesionan, inmediatamente surgen en su mente pensamientos de dudas e inquietudes sobre su regreso a la práctica deportiva, ya que la rehabilitación y la readaptación deportiva son un proceso fundamental para la recuperación total. Desde la perspectiva de la psicología del deporte, se toman en cuenta una serie de elementos y factores clave que van más allá de la mera recuperación física y de la movilidad.

La psicología de las lesiones deportivas tiene como principal objetivo disminuir el sufrimiento propio del momento, así como las pérdidas que se relacionan a la lesión, tales como el afrontamiento, el duelo y la resiliencia necesarias para sobrellevar el tema de la rehabilitación y la readaptación.

Factores tales como el estrés psíquico y la propia personalidad del deportista son considerados relevantes para la incidencia del riesgo de las lesiones como lo mencionan Anderson y Williams en 1988 (4).

Desde mi experiencia como psicóloga del deporte en el alto rendimiento, considero que se debe entender que la readaptación deportiva es un camino integral que implica, además de la mejora y recuperación de la salud física, aspectos psicológicos, emocionales y familiares del atleta; además de los deportivos y los relacionados con los compromisos con las federaciones o los resultados esperados si se trata de atletas que van a representar a su estado o su país.

La lesión y el proceso de recuperación pueden tener un gran impacto en el equilibrio emocional y mental del deportista, tal como lo mencionan Andersen y Williams 1998 (4), teniendo una gran afectación en su motivación, su autoconfianza y su capacidad para regresar a la práctica deportiva en las mismas condiciones previas a la lesión o las más cercanas a ella.

Crossmann en 1997 (5) propone que las conductas adecuadas frente a las lesiones, además de la comprensión de los estados emocionales relacionados, pueden tener una influencia positiva en la mejora y en el camino a la recuperación del atleta.

Como psicólogos del deporte en el área de la rehabilitación y readaptación deportiva, debemos centrar la intervención en las reacciones emocionales del atleta, ya que las lesiones pueden desencadenar una serie de emociones tales como la ansiedad, la frustración, el miedo, la depresión y el pánico en el momento crítico en que sucede la lesión. Por lo que el adiestramiento en estrategias tales como la reestructuración cognitiva, el desarrollo de habilidades de afrontamiento y el apoyo social resultan fundamentales para que la intervención por parte del psicólogo del deporte ofrezca al atleta las herramientas suficientes para que logre, en el tiempo correcto, un equilibrio entre sus estados emocionales y la recuperación física.

En lo que al fisioterapeuta compete, es relevante que cuente con un entrenamiento en áreas emocionales, que pueda ser dirigido por el psicólogo del deporte, en estrategias tales como la empatía, el establecimiento de una comunicación asertiva y técnicas que le ayuden a dirigir la relajación y estados emocionales de aceptación durante el proceso de la rehabilitación y la readaptación.

Es común que se llegue a pensar que como fisioterapeutas no deben realizar actividades propias de los psicólogos, sin embargo, se trata de compartir las herramientas más básicas que pueden favorecer la intervención del especialista en las lesiones con un mayor conocimiento de los procesos emocionales y cuando resulte necesario, derivar al especialista de la salud

mental y lograr un trabajo en conjunto con una perspectiva integrativa desde las ciencias del deporte.

Por otro lado, tenemos al propio deportista, que, en ocasiones se deja de lado su identidad y el rol protagónico durante el proceso de la rehabilitación y la readaptación deportiva. Ser conscientes que el deportista debe adaptarse a nuevas demandas y desafíos, lo que llega a generarle incertidumbre y dificultades en la transición de vuelta a la práctica de su especialidad deportiva. Por lo que el acompañamiento psicológico en estos momentos es crucial para facilitar la reincorporación exitosa, de tal manera que se eviten recaídas, abandonos deportivos forzados, baja autoestima o estados de afectación emocional a largo plazo; al tiempo que se le brindan al atleta las herramientas para que tenga una responsabilidad activa en su proceso de integración y regreso a los entrenamientos.

Lo más importantes es que el abordaje de la readaptación deportiva sea desde una perspectiva multidisciplinaria, en la que los diferentes profesionales de las ciencias del deporte colaboren de manera estrecha entre todos, es decir, el equipo médico, los entrenadores. los preparadores físicos, nutriólogos y psicólogos. De tal forma que esta integración de enfoques permita desarrollar un plan de acción que atienda las necesidades físicas, psicológicas y sociales del atleta.

La rehabilitación y la readaptación deportiva lleva un proceso que incluye, desde el momento en que la lesión ocurre, un manejo del duelo que se lleva a cabo de acuerdo con estilo de afrontamiento con el que cuente el atleta durante todas las etapas de la rehabilitación, en donde también se incluyen los aspectos relacionados con el equipo y con el entrenador. Por lo que se debe de pensar en todos estos puntos para que la reinserción sea exitosa, tanto a nivel físico y mental, sostenible en el tiempo.

Para identificar los factores que se presentan alrededor de una lesión deportiva, en el siguiente apartado revisaremos los diferentes modelos explicativos y los conceptos que nos ayudarán a entender el proceso psicológico por el que pasan los atletas antes, durante y después de una lesión.

Factores Psicológicos Vinculados a las Lesiones Deportivas

Comencemos por entender que las lesiones deportivas son alteraciones morfológicas o funcionales localizadas en alguna parte del cuerpo y que se han producido, directa o indirectamente, en una ejecución de la práctica deportiva o en el desarrollo de una actividad física como menciona Viade Sanzano en 2003

(6).

Dentro del deporte, desde iniciación hasta en el alto rendimiento, las lesiones deportivas han sido uno de los grandes temas de investigación, tanto por la importancia para la consecución de objetivos deportivos, como por los costos que estos procesos implican, así como por la relevancia en el estado de salud integral del deportista.

De acuerdo con Heil en 1993 (7) la "*lesión es un desafío físico y psicológico para el deportista*" que le lleva a experimentar diversas emociones tales como ansiedad, depresión, miedo, impaciencia, falta de compromiso al plan de rehabilitación, frustración y baja autoconfianza (8).

Es fácil identificar que en el momento en que aparece una lesión, ya sea desde una ligera hasta una que sea incapacitante, los efectos inmediatos se relacionan con factores como los que menciona Albert Viadé Sanzano en su libro Psicología del rendimiento deportivo (6), tales como la negación por parte del atleta, la afectación en el plan de entrenamiento y el establecimiento de las estrategias a seguir, pues al aparecer la lesión todo se interrumpe por un periodo de tiempo variable.

La readaptación deportiva se compone de diferentes factores que tienen la intención de llevar al deportista a la reinserción en su entrenamiento, de tal manera que alcance su máxima funcionalidad después de la lesión que ha sufrido. Dentro de este camino, se presentan diversos procesos y factores psicológicos por los que pasa un atleta antes de que ocurra una lesión.

Debido al alto interés en los médicos y entrenadores deportivos sobre el origen de las lesiones en los atletas, las investigaciones desde la perspectiva de la psicología del deporte comenzaron a realizarse con la intención de identificar los factores más allá de los propios del entrenamiento físico y de las patologías por las que cursa el cuerpo de una persona que dedica su atención a la mejora de sus habilidades físicas para lograr las metas que se ha propuesto.

Estos factores han sido identificados por diversos autores como Kerr y Minden, en 1988 (9); Anderson y Williams, en 1989; (4) entre otros como por ejemplo los desequilibrios musculares, el sobre entrenamiento deportivo (burnout), la fatiga física; así como los psicológicos tales como la presión social, el cumplimiento de metas, el estrés y las autoexigencias propias del atleta.

Desde la psicología del deporte, se ha evolucionado en la investigación de las lesiones deportivas a lo largo de las últimas décadas, donde se destaca la interrelación entre los factores psicológicos y la recuperación física.

Los temas más relevantes dentro de estas investigaciones se han centrado en los Modelos Teóricos explicativos, como el de Anderson y Williams (4) que explicaremos más adelante, o en modelos relacionados con las emociones, tales como el de Brewer en 1994 (10) y Heil en 1993 (7), quienes exploraron las relaciones de impacto de las emociones tales como la ira, la tristeza y la negación en la recuperación del deportista, realzando la importancia de estas emociones durante el proceso de rehabilitación, así como factores relacionados con la personalidad, el historial de estresores y los estilos de afrontamiento con los que cuente el atleta.

Otro de los aspectos que fueron tomando importancia a lo largo de las últimas dos décadas, es la intervención psicológica durante el proceso de la rehabilitación, ya que la literatura científica comenzó a identificar la importancia de los beneficios logrados por medio de las visualizaciones, el establecimiento de metas y las estrategias de afrontamiento durante el proceso de mejora y de reinserción a la vida deportiva.

Por último, el aspecto social, es otro de los factores que han demostrado su relevancia durante el tiempo de tratamiento de las lesiones, ya que la familia, las relaciones positivas con el entrenador y los miembros del equipo y compañeros resulta trascendente para facilitar un entorno favorable en el que el atleta se sienta acompañado y con una buena red de apoyo social en los momentos difíciles de la lesión.

Como factores de riesgo en el origen de las lesiones, podemos identificar la prevalencia de varios elementos que incrementan la incidencia de estas, y no sólo se refieren a los factores físicos. De manera tradicional, se han considerado dos grandes categorías que abarcan los factores desde un punto de vista interno o intrínseco del deportista, que incluye temas relacionados con los médico-fisiológicos, biomecánicos y los emocionales y los factores externos, o extrínsecos al deportista; tales como los relacionados con el ambiente, las conductas de los otros y factores relacionados con el deporte. De acuerdo con Berngüí en 2011 (11) se presenta a continuación una tabla con ambos factores, tanto internos como externos, ya que se debe de tomar en cuenta que las lesiones deportivas no son unifactoriales, por el contrario, son la suma de la interacción de eventos que llevan a la aparición de una lesión:

Tabla 1. *Factores de Riesgo*

Factores de riesgo intrínsecos del deportista	Factores de riesgo extrínsecos al deportista
Edad, sexo	Tipo de deporte
Estado de salud previo a la lesión y actual	Nivel de Rendimiento
Historial de lesiones	Faseo periodo de la temporada
Acondicionamiento físico y preparación	Efectos del entrenamiento
Características antropométricas y biotipo	Comportamiento de los otros
Ejecución de la técnica deportiva	Comportamiento del entrenador
Factores nutricionales	Condiciones ambientales
Cuidado de la fatiga	Equipamiento personal y elementos de protección
Consumo de fármacos y dopaje	Errores en la práctica
Hábitos de higiene	Ausencia o faltas de adherencia a las medidas preventivas
Apropiación del reglamento deportivo	
Factores emocionales y psicológicos (salud mental)	

Fuente: adaptado de Bernegüí, 2011

Otros autores tales como Meeuwisse et al. en el año 2007 (12) se han enfocado en la explicación de los factores de riesgo que favorecen a la aparición de las lesiones, desarrollando su *Modelo Recursivo de Etiología en Lesión Deportiva*, el cual nos muestra la multiplicidad de factores que actúan entre sí en el momento en que aparece una lesión en los atletas.

Otros modelos consideran más a profundidad los aspectos internos del deportista tales como el que se explica a continuación, presentado por Anderson y Williams (4).

Modelos de Estrés y Lesiones Deportivas

En 1988 Anderson y Williams (4) marcan la pauta en el tratamiento de las lesiones y el abordaje psicológico a través de un modelo interaccionista, donde proponen la relación entre las variables psicológicas, como el estrés, y la aparición de las lesiones en los deportistas.

En este modelo los autores mencionan que pueden ser factores de riesgo los aspectos cognitivos, los fisiológicos y los atencionales ya que en el momento

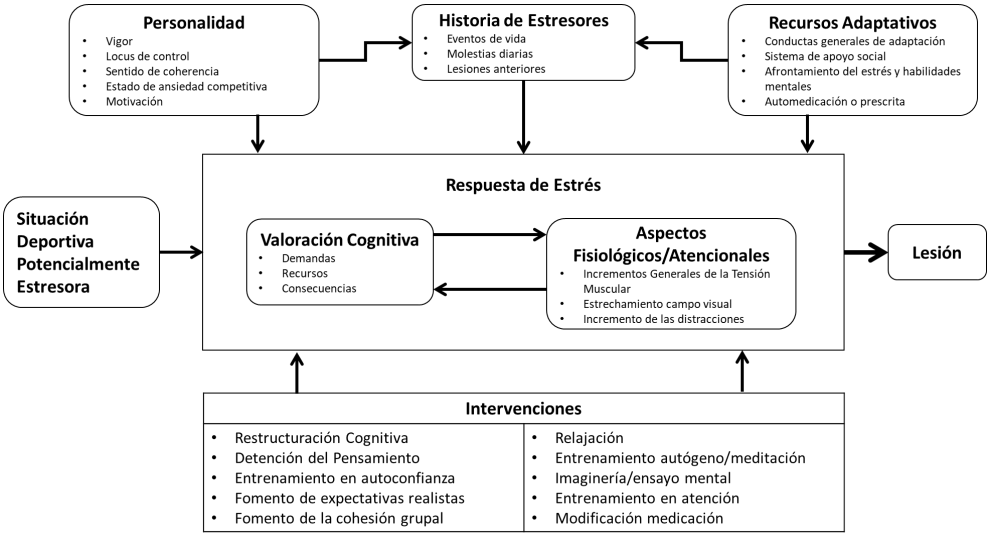
competitivo están presentes aspectos relacionados con el desafío, el reto, la ansiedad y el desempeño físico en general. Al incrementarse estos procesos están presentes factores fisiológicos atencionales relacionados con las alteraciones endocrinológicas (como por ej., elevación de ACTH (hormona adrenocorticotrófica), niveles de catecolaminas, liberación de glucocorticoides y alteraciones del sistema Nervioso Autónomo), que llevan a una activación general del organismo donde se aumenta la respiración, la dilatación de la pupila aparece, se incrementa la sudoración y la tensión muscular generalizada, generando sensaciones de temor y baja autoconfianza. Estas reacciones fisiológicas generan afectaciones en las respuestas atencionales, provocando así distracciones y falta de concentración que llevan a la aparición de las lesiones. A estos procesos se suman la propia historia de estresores del atleta, su personalidad y los estilos de afrontamiento y adaptativos de las respuestas de estrés (4).

Basados en este modelo explicativo interaccionista, se plantea entonces que la presencia del estrés aumenta la tensión muscular y disminuyen los procesos atencionales, provocando así un incremento en las incidencias de las lesiones en los momentos críticos de los entrenamientos o competencias.

Comentarios generales que suelen hacer los deportistas al no percatarse de las condiciones del campo del juego en el que se han lesionado o de estar tan enfocados en sus pensamientos, que la toma de decisiones resulta deficiente, lo que provoca un accidente y por ende una lesión que no tendría "sentido" de ocurrir. Además de estos factores cognitivos, pueden estar presentes el desequilibrio o fatiga muscular, las colisiones a gran velocidad entre jugadores, y la alta intensidad de los entrenamientos previos a los momentos clave de la planeación del entrenamiento deportivo.

A continuación, se puede observar el Modelo Estrés-Lesión propuesto por estos autores:

Figura 1. *Modelo Estrés-Lesión*



Fuente: tomado de Andersen y Williams (4)

Los diferentes factores de este modelo los podemos analizar en estos 4 aspectos:

1. **La respuesta de estrés:** En este modelo se puede observar la relevancia de la respuesta al estrés, pudiendo ser ésta desde la valoración cognitiva hasta los aspectos fisiológicos/atencionales, donde el punto central está enfocado en la propia percepción del atleta sobre la situación que experimenta y que es potencialmente estresante, en donde el atleta valora sus habilidades de afrontamiento, la posibilidad de salir airoso de la situación o si el fracaso es una gran posibilidad presente.

   Con relación a la valoración cognitiva, al estilo de creencias irracionales o pensamientos desadaptativos, incrementa la aparición del estrés, que al ser más del tipo negativo (distrés) provoca así la contracción simultánea de grupos musculares opuestos y antagonistas, dando por resultado un aumento en la fatiga y una reducción en la flexibilidad, coordinación motora y un desempeño ineficaz de los músculos. Es aquí donde se incrementa la probabilidad de lesiones relacionadas con los ligamentos, tendones, desgarres musculares, fisuras óseas y fracturas.

   En correspondencia al aumento del estrés, el campo atencional se estrecha involuntariamente y se focaliza en el interior, tal como lo mencionan

Nideffer & Sharpe, en 1978 (13); ya que un foco atencional interno impide generar análisis cognitivos eficaces, de esta manera la toma de decisiones es ineficiente además dejar de poner atención a lo que está alrededor, aumentando el riesgo por los factores circundantes.

En el ámbito del estrés, existe un factor dentro de la cultura deportiva de dar el 110% o frases como "*no pain no gain*" [sin dolor no hay ganancia], típicas de entrenadores que exigen el máximo esfuerzo, que llegan a minimizar las sensaciones de dolor o hasta el inicio de una lesión, con tal de evitar las sanciones por parte de los entrenadores o en aras de un logro deportivo. Culturalmente también se premia el exceso de esfuerzo, catalogando de "débiles" a los atletas que tienen una premisa de cuidar más su salud física y mental que buscar los resultados esperados.

Dentro del mismo tema, también se observa la poca atención hacia la salud mental donde los cuidados emocionales son escasos en los atletas que tienden a dar los máximos resultados a pesar de sus emociones o de su cansancio extremo.

Muchos deportistas y personas también dentro del ámbito de la actividad física tienen la mentalidad de que deben entrenar hasta sufrir y que mientras más duela mejor será el resultado. El entrenamiento intenso siempre lleva algo de molestia o dolor, pero debemos ayudarle a los atletas a distinguir lo normal del proceso a la negación de dolores que refieren el inicio de una lesión o la presencia inminente de una. Es nuestra responsabilidad como profesionales de las ciencias del deporte ir cambiando esta manera de pensar para disminuir los efectos negativos de las sobrecargas y el exceso de entrenamientos, buscando un equilibrio y salud integral durante el proceso que está llevando el atleta.

2. **Los factores de personalidad, la historia de estresores y los recursos de adaptación contra el estrés:** Estos autores refuerzan en el modelo la idea de que las dificultades atencionales y la tensión muscular están originados por las preocupaciones y la percepción negativa de los mismos. Es debido a esto que los atletas clasifican los eventos como un desafío o como una amenaza, es decir, evalúan de manera cognitiva el momento utilizando sus experiencias pasadas y los recursos que posee para lidiar con las demandas presentes basados en su personalidad y en sus habilidades para enfrentarse al estrés.

   Este aumento de las respuestas al estrés expone a los individuos a un mayor riesgo a lesionarse. Samulski en el año 2006 (14) menciona que

ahora es más aceptada la influencia de los estilos de la personalidad sobre la aparición de las lesiones pues estudios tales como los mencionados por Weinberg y Gould en 1999 (15) muestran efectos predictivos de la ansiedad Rasgo y la ansiedad competitiva como factores relacionados en la incidencia de las lesiones.

Como factores primordiales que se asocian a la aparición de lesiones tenemos a los rasgos de personalidad, como por ejemplo el autoconcepto, la introversión-extroversión Eynsenk, (16), que, por ejemplo, surgen preguntas como: ¿en atletas con bajo autoconcepto y una tendencia a ser introvertidos pueden tener mayor incidencia que quienes presentan un adecuado nivel de autoconcepto? Aunque pueden ser buenas preguntas, la investigación en temas de personalidad no ha tenido la suficiente consistencia en los años recientes, por lo que no se ha llegado a tener una conclusión contundente con relación a los rasgos de personalidad y la aparición de lesiones deportivas de acuerdo a Weinberg (15).

3. **Factores de personalidad.** El modelo de estrés-lesión contempla las variables de personalidad ya que juegan un papel en la regulación de las situaciones que tensan a los deportistas. Ciertas características de personalidad pueden hacer que algunos individuos perciban algunas situaciones como estresantes o pueden predisponerlo a ser menos susceptible a los efectos de los estresores. La mayoría de las variables de personalidad fueron examinadas en un epígrafe anterior. En general se ha demostrado que los individuos con pocos eventos estresantes en su vida y con altos niveles de vigor o sentimientos de coherencia (como mayor locus de control interno), experimentaron menos problemas de salud que individuos con eventos vitales estresantes más altos y sin esas características de personalidad. Otra de las hipótesis que se han manejado están relacionadas con los buscadores de sensaciones y la influencia del estrés. Los buscadores de sensaciones son individuos que disfrutan con las situaciones extrañas y les gusta el riesgo. A las personas que tienden a evitar las sensaciones, les gustan los cambios, evitan lo extraño y se alejan de actividades que impliquen riesgo. En un trabajo de Smith, Johnson & Sarason et al (18) usando la Sensation Seeking Scale (Escala de Buscador de Sensaciones de Zuckerman, Kolin, Price & Zoob en 1964 (19) encontraron que los sujetos con altos niveles de estrés vital y alta búsqueda de sensaciones puntuaron más alto en la escala que sujetos con alto estrés vital y baja búsqueda de sensaciones. Entre los deportistas, los buscadores de sensaciones es posible que experimenten pocas lesiones

porque compiten mejor o porque cada evento es percibido como menos estresante que como lo perciben las personas con pocas sensaciones de búsqueda. Por otro lado, individuos que puntúan alto como buscador de sensaciones pueden tener más lesiones porque asumen grandes riesgos. Otra de las variables incluidas en el modelo son la motivación de logro y la ansiedad rasgo, ya que son variables relacionadas con el estrés. La motivación de logro se refiere a la necesidad de tener éxito y a la necesidad de evitar el fracaso. La ansiedad rasgo es descrita como una disposición general o tendencia a percibir la situación como amenazante y reaccionar con una respuesta de ansiedad de acuerdo con Spielberger en 1966 (20). Individuos con una alta necesidad de evitar el fracaso o con una ansiedad rasgo alta pueden valorar mayor número de situaciones como estresantes y por consiguiente experimentar una elevada respuesta de estrés comparado con individuos con el perfil contrario.

4. **Historia de estresores:** La propia interpretación sobre los eventos de la vida cotidiana hasta los factores de muerte, divorcio o crisis financiera es un factor que está enmarcado por la personalidad del atleta. Por lo que es en la presencia de esos diversos eventos que la relación estrés-lesión se hace presente y puede potencializarse (4) (15).

   En la vida cotidiana de los deportistas de élite tienen diferentes preocupaciones más allá del propio entrenamiento, tales como el tiempo que pasan en el tráfico, el mal tiempo, preparar sus alimentos de acuerdo con su dieta, las dificultades económicas, los desafíos académicos, etc. En algunos estudios realizados en el área de la salud, un buen número de investigaciones han encontrado que el estrés cotidiano es un factor predictor en la aparición de las lesiones de acuerdo con lo mencionado por Burks & Martin 1985; (21) Kanner, Coyne, Schaefer & Lazarus, 1981(22). Las historias previas de lesiones y la historia de éxito o fracaso deportivo también pueden ser una importante contribución para la evaluación del riesgo de lesión.

   Un factor determinante para la recuperación favorable es evitar que el atleta pueda volver a jugar o a competir antes de estar dado de alta. En este caso el miedo a volver a lesionarse puede considerarse una respuesta de estrés e incrementarse la probabilidad de una lesión más grave. Una valoración de los eventos vitales, molestias diarias o problemas y lesiones anteriores pueden dar al psicólogo una mejor estimación del riesgo de lesión (4, 23).

Relación entre Estrés y Lesiones

A continuación, se explicarán algunas de las razones por las que el estrés genera una mayor propensión a las lesiones en los atletas, con la idea de que se puedan desarrollar programas de atención preventiva, tanto desde la parte médica como de la parte psicológica, en combinación con los entrenadores, de manera tal que estos sistemas se apliquen en los atletas y se proteja en relación a la aparición de posibles lesiones.

El estrés provoca *trastornos atencionales*, ya en esos momentos se disminuye la visión periférica y se trastorna la concentración, como lo postulan Tonyman y Anderson en 1991 (25). En conjunto con el estrés, la ansiedad presente provoca pensamientos negativos a la vez de distracciones del presente.

Debido a los pensamientos negativos y a la situación estresante por la que pasa el atleta, se incrementa la *tensión muscular* de manera considerable, provocando así una torpeza en la coordinación motora (25), disminuyendo la fluidez de los movimientos y la correcta armonía en sus ejecuciones. Es bastante recomendable que los entrenadores y fisioterapeutas tengan claridad en estos aspectos ya que puede llegarse a confundir una falta de motivación o actitud en los entrenamientos con esta tensión muscular provocada por el estrés y que pueda percibirse como poca eficacia en la ejecución técnica.

No olvidemos que parte de la tensión muscular se origina por aspectos emocionales, no sólo por la fatiga muscular, por lo que los entrenadores y profesionales que atienden al atleta deberán estar atentos a temas tales como presiones escolares, problemas familiares, efectos relacionados con la salud física y los más importantes relacionados con los temas mentales como la ansiedad, la depresión y la baja autoconfianza. Es aquí donde tendremos las pautas correctas para iniciar un programa de control del estrés en los atletas.

La *presión social* a la que están expuestos los atletas, tanto por su mismo entorno por el que los rodea, les hace provoca actitudes de falta de autocuidado al intentar dar su máximo esfuerzo o a tener distorsiones en su autoconcepto al no tener los resultados esperados debido a la presencia de alguna lesión.

Heyman en 1986 (26) afirma que si los entrenadores fomentan el *empeño excesivo* con frases tales como “da el máximo”, “a qué veniste, ¿a perder?” o que en general tienen una orientación hacia el esfuerzo extremo, están generando una cultura del esfuerzo máximo y minimizando las sensaciones de dolor o las señales de la presencia de alguna lesión inminente que puede llegar a ser una lesión de gravedad que afecte de por vida la salud de los atletas.

Se sabe que el entrenamiento deportivo y físico genera sensaciones de dolor e incomodidad, pero es nuestra labor como especialistas en el deporte fomentar el autoconocimiento en el atleta para que pueda distinguir entre las sensaciones normales que aparecen en el entrenamiento, al exceso de este y al dolor relacionado con una lesión.

Como Wienberg y Gould mencionan en 1990 (18) las afectaciones emocionales emergentes en el momento de una lesión provocan también cambios actitudinales y en los estilos de afrontamiento relacionados con el sentido de pertenencia al equipo. Esto se debe a que el deportista no participa más en los entrenamientos y en algunas competiciones disminuyendo así su colaboración en la victoria e incrementando su sentido de culpa al no ayudar al equipo a lograr los objetivos.

Como puede observarse en este modelo de estrés y lesiones, resulta evidente la implicación del proceso psicológico en los atletas para incrementar su capacidad de enfrentarse al estrés, a desarrollar sus estrategias de control emocional y sus conductas de adaptación.

Los **recursos de afrontamiento** o *coping* están vinculados a las redes de apoyo social y a las conductas de los propios atletas que utilizan para enfrentarse a las lesiones deportivas y a las consecuencias de estas, de tal manera que puedan comprender la vulnerabilidad a la lesión y también a mediar su respuesta relacionada al estrés. Según Junge en el año 2000 (27) menciona que los deportistas que cuentan con pocas capacidades de afrontamiento son los más propensos a padecer lesiones o a tener procesos de rehabilitación más largos, impidiendo una pronta readaptación deportiva.

Estos recursos o habilidades de afrontamiento se caracterizan por favorecer en el deportista los factores necesarios para manejar de manera adecuada el momento por el que atraviesan la lesión y su recuperación. Estos factores se relacionan con procesos adecuados de establecimiento de objetivos, un autodiálogo positivo, contar con estrategias de relajación y visualización y reestructuración cognitiva.

Se han efectuado investigaciones que ponen de manifiesto, no sólo las causas que pueden provocar una lesión deportiva, sino los efectos que conlleva.

A continuación, hablaremos sobre estos efectos:

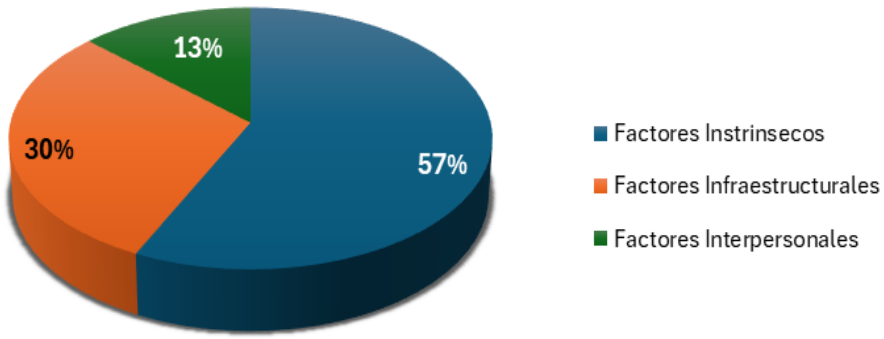
Factores Integrales Relacionados a la Aparición de las Lesiones

Booth citado por Viadé Sanzano (6), menciona que se producen alrededor de diecisiete millones de lesiones deportivas en Estados Unidos en el total de atletas que practican algún tipo de actividad física y deporte. Las implicaciones financieras tanto para el equipo técnico como para el propio deportista además del afrontamiento propio de la lesión a nivel físico y psicológico como padecer, soportar dolor, enfrentarse a las dudas que se generan por la lesión y por la pérdida de una parte o toda la temporada, etc., nos lleva a poner atención en todos estos aspectos.

En los contextos del deporte formal, se destinan grandes esfuerzos y recursos para desarrollar diversas investigaciones cuyo objetivo principal es reducir los costos, abundantes y elevados, implicados en las lesiones deportivas, con la intención de reducir el dolor y el padecimiento del atleta, evitar al máximo el abandono prematuro y las consecuencias de la lesión, además de reducir todo lo provocado por las rehabilitaciones postraumáticas

De acuerdo con diversos autores como Heil, Zemper y Carter en 1993 (7), las diferentes causas en la aparición de las lesiones deportivas se pueden ejemplificar por medio de la siguiente gráfica:

Figura 2. *Causas de las lesiones deportivas*

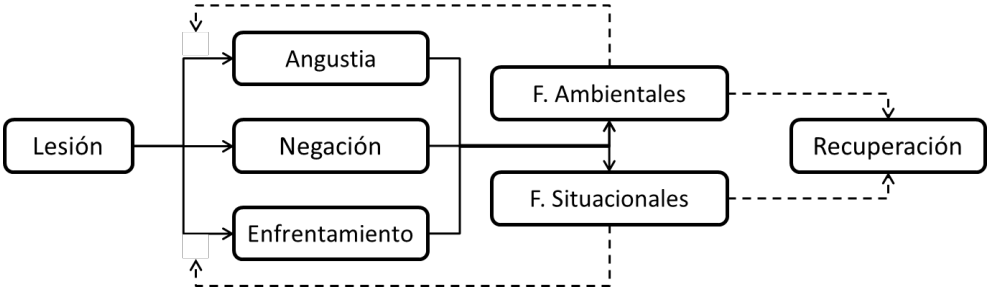


Fuente: adaptado de Heil et al. (7)

La Teoría Cíclica Afectiva de Heil *et al.* (7) pone de manifiesto que el deportista presenta alguna de las siguientes respuestas en el momento de sufrir una lesión: angustia, negación y enfrentamiento. En primer lugar, como resultado del impacto de la lesión se presenta la angustia o shock emocional, es decir, aparecen sentimientos tales como la rabia, la desesperación, un sentido de impotencia y un sentimiento de culpa que el atleta interpreta como su responsabilidad y sus consecuencias negativas que le harán estás fuera del equipo y de la práctica deportiva por un tiempo más o menos prolongado o hasta indefinido. En el caso de la negación, el atleta tiende a presentar cierto escepticismo y poca aceptación con relación a la presencia de la lesión, minimizando las sensaciones y hasta la lesión misma. Esto provoca que el deportista no le dé la relevancia necesaria al suceso y llegue a ser negligente en su atención médica sin dimensionar la gravedad que pueda estar presentando y las consecuencias de su lesión.

De manera inconsciente, este tipo de respuesta puede ayudar al deportista a disminuir la angustia de manera temporal, como un proceso de autoprotección temporal. Es aquí donde los procesos de afrontamiento son necesarios para que la negación no se convierta en un obstáculo, sobre todo porque puede llegar a bloquear las emociones y los sentimientos relacionados con la lesión y su estado actual de acuerdo con Wann et al. (29). Es por esto por lo que, como tercera respuesta, el afrontamiento resulta ser la más positiva ya que conlleva un nivel de aceptación de la propia lesión, así como de la gravedad de está poniendo en marcha las actitudes positivas y disposicionales para el tratamiento. Heil (7) recuerda que las dos primeras respuestas son más habituales durante las primeras fases de recuperación, y que los deportistas, poco a poco, van asumiéndola y encontrando como enfrentarse a ella con ayuda del tratamiento. En cualquier caso, y aunque el proceso de recuperación transcurra con normalidad, es importante tener presente que los factores ambientales y situacionales pueden suponer un cambio de respuesta en el deportista lesionado, acelerando o ralentizando, según su idoneidad, el proceso de rehabilitación (30).

Figura 3. *Teoría Afectiva de Heil*



Fuente: tomado de Heil (7)

El Modelo de la Valoración Cognitiva de las respuestas frente a las lesiones deportivas de Brewer (10). De acuerdo con el autor, este modelo presenta la idea de que la respuesta del deportista frente a la lesión deportiva influye directamente en los factores personales y situacionales, afectando positiva o negativamente los resultados de la rehabilitación. Brewer (10) menciona que existen factores de personalidad que se relacionan de manera significativa con la valoración cognitiva que el sujeto realiza de una determinada situación, circunstancia, por ejemplo, en el caso de atletas con una buena autoestima, suelen presentar valoraciones más positivas de la situación y tener conductas resilientes y efectivas ante la misma.

Figura 6. *Modelo de Valoración Cognitiva*

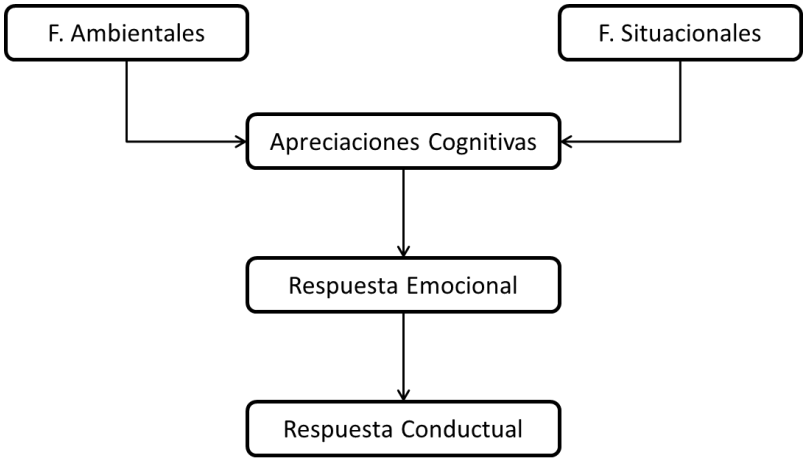
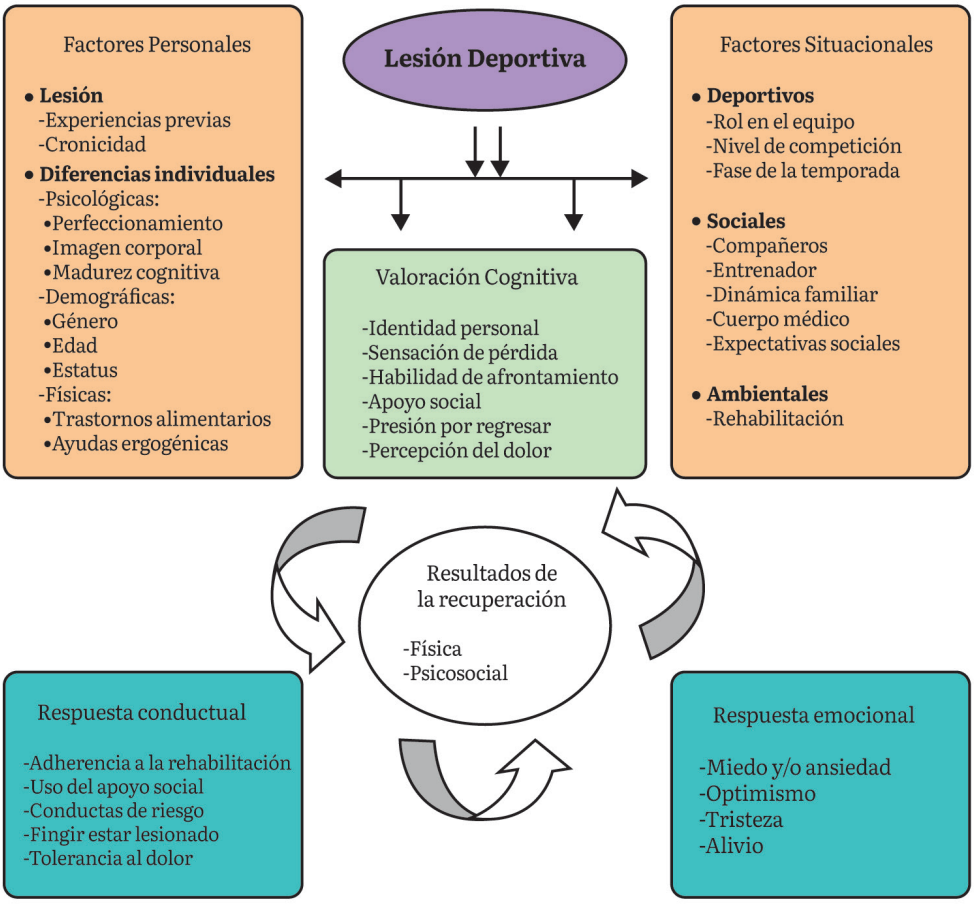


Fig 4 Adaptado de Brewer (10)

Otro modelo explicativo que relaciona las percepciones del atleta y las situaciones alrededor de su práctica deportiva es el modelo de la respuesta a la lesión, propuesto por Weise-Bjornstal en 1998 (31) llamado *Modelo Integral de la Respuesta a la Lesión Deportiva*, con el que intentan completar los modelos teóricos previos y ayudarle a los deportistas a tener un trabajo de afrontamiento hacia la lesión ya que afirman que el impacto y la respuesta que produce la lesión en el deportista depende de la relación existente entre los factores personales y los factores situacionales que desde una perspectiva cognitiva llegan a condicionar la respuesta emocional que tenga el deportista frente a la lesión.

Figura 7. *Modelo Integral de la Respuesta a la Lesión Deportiva*



Fuente: tomado. Wiese-Bjornstal et al. (28)

Los Efectos de una Lesión Deportiva

De acuerdo con la línea de investigación, autores tales como Kübler-Ross (32) presentan el Modelo Grief Reaction, en el cual presentan las etapas emocionales por las que atraviesa el deportista después de sufrir una lesión:

1. Negación
2. Rabia
3. Transacción o Negociación
4. Depresión
5. Aceptación y reorganización.

En primer lugar, como ya se ha mencionado, el deportista pasa por un momento de negación en el momento de sufrir una lesión, con la naturalidad del ser humano al evitar ser consciente de la realidad y de las situaciones que vendrán después. Se niega la importancia y se llega a disimular el dolor y en muchas ocasiones hasta se minimiza la gravedad de la lesión. Es aquí donde entran factores emocionales y relacionados con la necesidad de aceptación que busque el atleta por parte de su entrenador o padres de familia. Recordemos que se ha valorado el esfuerzo de dar el 110% y ser altamente valientes y con alta capacidad para soportar el dolor y los entrenamientos.

Pasando el momento de la negación, llega la rabia, la frustración, el enojo y la culpa, tornándose agresivo y con poca capacidad de tolerancia al apoyo que puede recibir de otras personas en esos momentos. De tal manera que poco a poco puede llegar a la fase de negociación o transacción en donde accede el ser atendido, y comienza a utilizar las estrategias para asimilar la situación. La siguiente fase nos da el espacio para trabajar con el deportista desde la perspectiva del afrontamiento, la aceptación y las consecuencias de la lesión, donde la depresión o la tristeza suelen estar presentes y de ahí se llega a la fase de aceptación donde el deportista se responsabiliza de su tratamiento y de la recuperación.

Claro está que estas fases, por las que pasan todos los atletas, van a variar con relación a la madurez y edad del deportista y en algunos estos procesos duran algunos días y en algunos otros pueden durar varios meses de acuerdo con Gordon et al., (33)

Conclusiones

La revisión del contenido emocional y los factores psicológicos presentes en los procesos de las lesiones deportivas tiene aún un arduo camino para generar conciencia en los profesionales de las ciencias del deporte, para que puedan atender de manera integral a los deportistas que ha sufrido alguna lesión.

Gracias a los autores que han desarrollado los modelos y han puesto en evidencia los elementos que ocurren en los atletas antes, durante y después de la lesión, es que se puede abordar desde un enfoque multidisciplinario, dando un giro a la atención tradicional en la que se realizaban intervenciones en el momento en que la lesión aparecía. Hoy en día se trata de una visión más amplia en la que se toma en cuenta a la persona misma y el entorno y momento en el que ha sufrido la lesión.

La perspectiva desde la psicología del deporte y la psicología de las lesiones abre también un campo nuevo en el tratamiento integral del atleta incluyendo ahora un abordaje desde un aspecto emocional y psicológico, tomando en cuento todo el tiempo que transcurre mientras el atleta se recupera y se integra nuevamente a su práctica deportiva. Es momento de integrar ahora a los especialistas de la ingeniería médica, los desarrolladores de software interactivo para la mejora de la intervención y en la reinserción del atleta a sus entrenamientos.

Referencias

1. Tall RL, DeVault W. Spinal injury in sport: epidemiologic considerations. Clin Sports Med [Internet]. 1993;12 (3):441–8. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/s0278-5919 (20)30405-1
2. Katzenbach JR, Smith DK. Sabiduría de los equipos: el desarrollo de la organización de alto rendimiento. de Santos ED, editor. 1996.
3. Breslin G, Leavey G, editores. Mental health and well-being interventions in sport: Research, theory and practice. 2a ed. Londres, Inglaterra: Routledge; 2024.
4. Williams JM, Andersen MB. Psychosocial antecedents of sport injury: Review and critique of the stress and injury model'. J Appl Sport Psychol [Internet]. 1998 ;10 (1) :5–25. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1080/10413209808406375
5. Crossman J. Psychological rehabilitation from sports injuries. Sports Med [Internet]. 1997;23 (5):333–9. Disponible en: http://dx.doi.org/10.2165/00007256-199723050-00005

6. Sanzano AV. Psicología del rendimiento deportivo. UOC, editor. España: Universidad Oberta de Cataluña; 2003.

7. Heil J. Psicología de las lesiones deportivas. Human Kinteics; 1993.

8. Leddy M, Lambert M, Ogles B. Psychological consequences of athletic injury among high-level competitors. Research Quarterly for Exercise and Sport. 1994;65:347-354. In: Scientific Research Publishing. References [Internet]. [cited 2025 Mar 9]. Available from: https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1839630

9. Kerr G, Minden H. Psychological Factors Related to the Occurrence of Athletic injuries. J Sport Exerc Psychol [Internet]. 1988 ;10 (2):167–73. Disponible en: https://psycnet.apa.org/fulltext/1989-13987-001.pdf

10. Brewer BW. Review and critique of models of psychological adjustment to athletic injury. J Appl Sport Psychol [Internet]. 1994 ;6 (1) :87–100. Disponible en: https://psycnet.apa.org/fulltext/1994-47266-001.pdf

11. Berengüí-Gil R, Garcés de Los Fayos EJ, Hidalgo-Montesinos MD. Características psicológicas asociadas a la incidencia de lesiones en deportistas de modalidades individuales. Anal Psicol [Internet]. 2013 Oct [cited 2025 Mar 26];29(3):674-84. Available from: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-97282013000300006. doi:10.6018/analesps.29.3.175811.

12. Meeuwisse WH, Tyreman H, Hagel B, Emery C. A dynamic model of etiology in sport injury: the recursive nature of risk and causation. Clin J Sport Med [Internet]. 2007 ;17 (3) :215–9. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1097/JSM.0b013e3180592a48

13. Nideffer RM. The injured athlete: psychological factors in treatment. Orthop Clin North Am [Internet]. 1983 ;14 (2) :373–85. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/s0030-5898 (20)31354-7

14. Samulski DM, Ucha FEG, Greco PJ. Psicología del deporte: manual para educación física, psicología y fisioterapia. Kinesis; 2006.

15. Weinberg RS, Gould D. Fundamentos de Psicología del Deporte y del Ejercicio Físico. 4ta edición. Madrid España: Editorial Médica Panamericana S.A; 2010.

16. Eysenck HJ. The science of personality: Nomothetic. Psychol Rev [Internet]. 1954;61 (5):339–42. Disponible en: https://psycnet.apa.org/fulltext/1955-05305-001.pdf

17. Smith RE, Johnson JH, Sarason IG. Life change, the sensation seeking motive, and psychological distress. J Consult Clin Psychol [Internet]. 1978 ;46 (2) :348–9. Disponible en: https://psycnet.apa.org/fulltext/1979-06044-001.pdf

18. People Expand Collapse. Sensation Seeking Scale (SSS) [Internet]. Addiction Research Center. [citado el 9 de marzo de 2025]. Disponible en: https://arc.psych.wisc.edu/self-report/sensation-seeking-scale-sss/

19. Spielberger CD. Theory and research on anxiety. In: Spielberger CD, editor. Anxiety and behavior. New York: Academic Press; 1966. p. 3-22. Disponible en: https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1082142

20. Burks N, Martin B. Everyday problems and life change events: ongoing versus acute sources of stress. J Human Stress [Internet]. primavera de 1985;11 (1):27–35. Disponible en: https://psycnet.apa.org/fulltext/1985-29720-001.pdf

21. Kanner AD, Coyne JC, Schaefer C, Lazarus RS. Comparison of two modes of stress measurement : daily hassles and uplifts versus major life events. J Behav Med [Internet]. 1981;4 (1):1–39. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1007/bf00844845

22. Olmedilla Zafra A, García Montalvo C, Martínez Sánchez F. Factores psicológicos y vulnerabilidad a las lesiones deportivas: un estudio en futbolistas. Revista de Psicología del Deporte [Internet]. 2006;15 (1):37-52. Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=235119204006

23. Rivera AY, Rodríguez MS. Psicología de las lesiones, 3 décadas prodigiosas: origen, desarrollo y consolidación (Revisión). PORTAL AMELICA [Internet]. 2021; Disponible en: https://portal.amelica.org/ameli/journal/429/4292570011/

24. Heyman S. Psychological problem patterns found with athletes. Clinical Psychologist [Internet]. 1986;39 (3):68–71. Disponible en: https://psycnet.apa.org/fulltext/1986-30065-001.pdf

25. Junge A. The influence of psychological factors on sports injuries. Review of the literature. Am J Sports Med [Internet]. 2000;28 (5 Suppl): S10-5. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1177/28.suppl_5.s-10

26. Booth-Kewley S, Friedman HS. Psychological predictors of heart disease: a quantitative review. Psychol Bull [Internet]. 1987;101 (3):343–62. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1037//0033-2909.101.3.343

27. Wann DL, Schrader MP. Team identification and the enjoyment of watching a sporting event. Percept Mot Skills [Internet]. 1997 ;84 (3) :954–954. Disponible en: http://dx.doi.org/10.2466/pms.1997.84.3.954

28. Wiese-bjornstal DM, Smith AM, Shaffer SM, Morrey MA. An integrated model of response to sport injury: Psychological and sociological dynamics. J Appl Sport Psychol [Internet]. 1998 ;10 (1) :46–69. Disponible en: https://psycnet.apa.org/fulltext/1998-01185-003.pdf

29. Kübler-Ross E. On death and dying. viii [Internet]. 1970;260. Disponible en: https://psycnet.apa.org/fulltext/1993-98374-000.pdf

30. Gordon AM, Forssberg H, Johansson RS, Westling G. Integration of sensory information during the programming of precision grip: comments on the contributions of size cues. Exp Brain Res [Internet]. 1991 ;85 (1) :226–9. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1007/bf00230004

CAPÍTULO 9

Nutrición y Suplementación en la Rehabilitación Deportiva

Nutrition and Supplementation in Sports Rehabilitation

Luis Hebert Palma Pulido
Unidad Central del Valle del Cauca (UCEVA); Universidad del Valle; Nutrición deportiva Inter de Palmira (Cortulua)
https://orcid.org/0000-0001-8751-1636
lpalma@uceva.edu.co

Resumen

Este capítulo tiene como objetivo ofrecer pautas específicas relacionadas con la nutrición y la suplementación, centrándose tanto en la prevención de lesiones como en los procesos de rehabilitación deportiva. En primer lugar, se analiza el gasto energético diario total en diferentes perfiles de individuos, diferenciando entre personas activas y sedentarias, y se explica cómo este gasto puede variar considerablemente cuando un deportista pasa por un proceso postoperatorio o sufre alguna lesión. La importancia de una adecuada ingesta de nutrientes durante las distintas fases de recuperación es otro aspecto destacado del capítulo, donde se aborda en detalle el consumo de macro y micronutrientes esenciales para optimizar la recuperación y apoyar la reparación de tejidos. Igualmente, se subraya la relevancia de mantener una buena hidratación, que muchas veces es olvidada, ya que una correcta hidratación ayuda a reducir la fatiga muscular y prevenir lesiones asociadas a desequilibrios de líquidos. Para facilitar la implementación de recomendaciones, se proponen protocolos sencillos y accesibles, útiles tanto para atletas como para entrenadores, que contribuyen a mejorar el estado físico y prevenir complicaciones. Finalmente, se describen los principales suplementos que pueden acompañar a los deportistas en las diferentes

Cita este capítulo / *Cite this chapter*

Palma Pulido LH. Nutrición y suplementación en la rehabilitación deportiva. En: Calero Saa PA, editor. Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo III: rehabilitación y readaptación deportiva. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 375-426. https://doi.org/10.35985/9786287914179.9

etapas de rehabilitación, incluyendo la creatina, proteínas, ácidos grasos esenciales, entre otros, señalando su papel como coadyuvantes para favorecer la recuperación muscular, mejorar el rendimiento y facilitar la reintegración a la actividad deportiva tras una lesión.

Palabras Clave: Nutrición en el Deporte, Rehabilitación, Volver al Deporte

Abstract

This chapter aims to offer specific guidelines related to nutrition and supplementation, focusing on both injury prevention and sports rehabilitation processes. First, it analyzes total daily energy expenditure in different individual profiles, differentiating between active and sedentary individuals, and explains how this expenditure can vary considerably when an athlete undergoes a postoperative process or suffers an injury. The importance of adequate nutrient intake during the different recovery phases is another highlight of the chapter, which addresses in detail the consumption of essential macro- and micronutrients to optimize recovery and support tissue repair. It also emphasizes the importance of maintaining good hydration, which is often overlooked, as proper hydration helps reduce muscle fatigue and prevent injuries associated with fluid imbalances. To facilitate the implementation of recommendations, simple and accessible protocols are proposed, useful for both athletes and coaches, that contribute to improving physical fitness and preventing complications. Finally, the main supplements that can be used by athletes during the different stages of rehabilitation are described, including creatine, protein, essential fatty acids, among others, highlighting their role as adjuvants in promoting muscle recovery, improving performance, and facilitating return to sports activities after an injury.

Keywords: *Nutrition in Sport, Rehabilitation, Return to Sport*

Introducción

Para nadie es un secreto que el deporte y en especial aquel que tiene un enfoque hacia el alto rendimiento puede generar la aparición de diversas lesiones, las cuales pueden ser principalmente óseas, ligamentarias, tendinosas y musculares. Esto se da por los niveles tan altos de entrenamiento y competencias a los que es sometido un atleta. Un ejemplo claro de ello, es que jugadores de fútbol que compiten 2 veces a la semana, tienen tendencia a lesionarse 6,2 veces más, que aquellos que solo juegan una vez por semana (1), además, dicha lesión es ocasionada en gran medida por la realización de movimientos repetitivos.

Para conocer la cantidad de lesiones o por lo menos generar una idea general de las personas que pasan por esto, hablando de la parte recreacional, la National

Safety Council (2), entrega datos que van desde el 2013 al 2022, evidenciando que es en los centros de acondicionamiento físico o gimnasios donde se producen la gran mayoría de lesiones, mientras que el ciclismo, baloncesto y futbol ocupan el segundo, tercero y cuarto lugar, respectivamente (2). La incidencia de las lesiones se estable de acuerdo a la cantidad de lesiones que presenta un deportista por cada 1000 horas, ya sea de entrenamiento o competencia (1). Para entregar un dato relacionado con lo anterior, en EEUU entre los atletas universitarios, se evidencia una tasa anual de aproximadamente 9,2 lesiones por cada 1000 horas de exposición de los deportistas, siendo las tendinitis y fracturas por estrés las lesiones más comunes (3).

Ahora bien, dentro de las variables a tener en cuenta tanto para evitar lesiones como para mejorar su recuperación cuando ya existen, se tienen estrategias que entregan datos importantes de cada uno de los atletas, Brown et al. (4) nos brindan las siguientes:

- Pruebas físicas que determinaran la capacidad cardiorrespiratoria y de fuerza de los atletas, con estos resultados se manejan las cargas para mejorar la performance deportiva
- Datos de composición corporal, arrojan resultados importantes en lo que corresponde a la masa muscular, grasa, tejido óseo, residual y piel
- Pruebas específicas de laboratorio para conocer niveles de fatiga, inflamación, genes, microbiota, función inmune y estado nutricional general.
- Pruebas de bienestar, con ello se conoce el estado actual del deportista en lo que respecta a su recuperación y calidad de vida
- Test de hidratación. Determina los niveles de electrolitos y agua que pierde el deportista después de entrenar
- Dispositivos portátiles para la carga interna. Aquí se puede monitorear de forma precisa la calidad del sueño y variabilidad de la frecuencia cardiaca.

Lo anterior debería ser una constante en todos los deportes, además de contar con un departamento médico especializado que pueda atender sugerencias por parte de los deportistas y obviamente responder de forma eficaz cada una de las demandas de los atletas tanto en la parte médica, nutricional y de fisioterapia. Claro está que, esto lastimosamente no se cumple o por lo menos en el deporte amateur.

Después de mencionar de forma general algunos conceptos, a continuación, se ahondará en la variable objeto de estudio de este capítulo, es decir, la nutrición, pero la nutrición aplicada tanto a disminuir el riesgo de lesión en atletas, como la utilización de estrategias nutricionales en la recuperación de ellas. La nutrición es entonces, el proceso biológico en el que los organismos asimilan y utilizan los nutrientes y la energía para el crecimiento y el mantenimiento de las funciones normales, (5), sin embargo, es el estado nutricional lo que para muchos interesa realmente, en este caso los mismos autores determinan esto como la resultante del equilibrio entre el consumo y el gasto de energía y de nutrientes.

Continuando con lo anterior y discriminado este capítulo de acuerdo a la temática central, en primera instancia se explicará cómo hallar las calorías que requiere un atleta, teniendo en cuenta si tiene algún tipo de lesión o no, seguido a ello, se describirán las propiedades de los macronutrientes (proteínas, carbohidratos y grasas), ya que finalmente son estos los que pueden intervenir de una u otra forma en procesos pro o antiinflamatorios, ganancia de masa grasa o muscular e incluso en la recuperación de la fuerza, adicional a ello, se mencionaran los micronutrientes (vitaminas y minerales) que más actúen en esta población, ya que son esenciales para que los procesos metabólicos se puedan dar de forma satisfactoria y por último se indicarán los suplementos que pueden ayudar tanto a evitar la aparición de lesiones como a mejorar los procesos de recuperación cuando estas ya existen.

Requerimiento Energético Estimado (Ree) o Gasto Energético Diario Total (GEDT)

Antes de iniciar cualquier proceso nutricional se debe conocer la cantidad de energía ingerida y la que gastan los atletas en su día a día, esto es conocido como gasto energético total (GEDT), para ello, existen muchas formas de obtenerlo como lo es la calorimetría directa, indirecta, agua doblemente marcada y métodos generados por fórmulas. Un dato curioso es que la cantidad de energía que se requiere durante las primeras fases de rehabilitación tiende a aumentar hasta un 20% más de lo normal, esto ocurre porque el cuerpo se encuentra en un proceso muy catabólico y requiere de dicha energía para iniciar procesos de curación, (1). A continuación, se describirán de forma general las mencionadas con anterioridad, profundizando un poco en las fórmulas, ya que es uno de los métodos que más se utiliza en los diferentes clubes por su economía y rápidos resultados.

Calorimetría directa: El GEDT puede determinarse por la medición de la cantidad de calor producida por el organismo. Esto se realiza en cámaras herméticas con paredes aislantes, en donde se confina al sujeto y se registra el calor almacenado y el perdido por radiación, convección y evaporación; se precisa un mínimo de seis horas para estabilizar el sistema (6).

Calorimetría indirecta: Bajo el supuesto de que la energía química de un sustrato se obtiene en el organismo tras su completa oxidación con el consiguiente consumo de oxígeno y liberación de dióxido de carbono y agua, es posible estimar la cantidad de calor total producido en el organismo a partir de la determinación del volumen de ambos gases, (6), esto por medio del coeficiente respiratorio, ya que refleja el metabolismo de los nutrientes que se utilizan, (7)

Agua doblemente marcada: es un método indirecto que usa isótopos estables de deuterio y oxígeno para rastrear la producción de dióxido de carbono del cuerpo en humanos, durante la vida cotidiana. Las ventajas de este método son, que no se necesita colocar a la persona en una cámara cerrada (como en la calorimetría), ni siquiera es necesario que esté en actividad física y use un espirómetro, sino que simplemente se tome un vaso de agua marcada con los isótopos y siga con su vida cotidiana fuera del laboratorio por un tiempo determinado, (8). Este método consiste en determinar la diferencia en la tasa de eliminación de dos isótopos (deuterio/2 H2 y O18), que contienen agua (2 H2O18), esta diferencia equivale a la producción de dióxido de carbono (CO2).

Una condición previa necesaria del método del agua doblemente marcada es que el O2 del CO2 espirado esté en equilibrio con el O2 del agua corporal. Igualmente se debe tener en cuenta que la concentración de O2 marcado en el agua corporal disminuirá con el tiempo debido a la pérdida de CO2, por medio de la espiración y a través del agua corporal excretada, es decir, la orina, la respiración y la transpiración (9).

Métodos indirectos basados en fórmulas: como se ha descrito, los métodos más confiables para determinar las calorías que un sujeto requiere en su día, son complejos de realizar, ya sea por su costo o por carencia de la tecnología, es por ello por lo que, de los anteriores nacen otras formas mediadas por fórmulas para determinar dicho gasto de energía/día, dentro de ellos tenemos el método factorial y método combinado**.** El primero hace referencia a que después de conocer el gasto en reposo (GER) o tasa metabólica basal (TMB), la cual se puede determinar por medio de ecuaciones como la de Harris y Benedict (1919), Mifflin, et al. (1990), Cunningham (1980), entre otras, se debe multiplicar este

resultado por el factor de actividad física que varía de 1.2 si la persona realiza una actividad física mínima y hasta 2.0 o más si es intensa (10).

Fórmula para hombres de Mifflin (1990)
(10 * Peso) + (6,25* talla) – (5 * edad) + 5.

Fórmula para mujer de Mifflin (1990)
(10*peso) + (6,15*talla) - (5*edad) +161

Después de hallar la tasa de metabolismo basal, el resultado se debe multiplicar por el nivel de actividad física (ver siguiente tabla)

Tabla 1. *Nivel de actividad física*

Descripción del estilo de vida	Ejemplo de ocupaciones	Nivel de actividad física (NAF)
En reposo o sedentarios o estar acostados	Ancianos, individuos enfermos o que no se pueden mover solos	1,2
Actividad muy sedentaria, trabajo sentado, poca o ninguna actividad	Empleados de oficina o mecánicos de precisión	1,4-1,5
Actividad sedentaria, trabajo sentado y con una caminata ocasional o actividad de pie, pero nada agotador	Personal de laboratorio, conductores, estudiantes o trabajadores de líneas de montaje	1,6-1,7
Trabajo que se realiza de pie o caminando	Amas de casa, vendedores, camareros, mecánicos, comerciantes	1,8-1,9
Trabajo laboral pesado o personas muy activas en su tiempo libre	Trabajadores de construcción, agricultores, trabajadores forestales, mineros o atletas de alto rendimiento.	2,0-2,4
Práctica deportiva significativa o actividad agotadora en tiempo libre, además de lo indicado de los otros puntos		Adicionar extra de NAF

Fuente: Tomado y adaptado de Barele, Adrian, (11).

Lo anterior es completamente válido para conocer las calorías en personas o deportistas sanas, no obstante, cuando ocurre una lesión, se debe revisar muy bien el nivel de actividad y el tipo de lesión para ajustar dichas calorías. Es por ello por lo que Smith-Ryan et al. (12), resumen lo que se debe hacer en caso de querer conocer la cantidad de calorías que necesita un deportista que ha pasado por una lesión (ver siguiente tabla).

Tabla 2. *Cálculo del gasto energético*

Tasa metabólica en reposo **=**	• Calorimetría indirecta • Harris Benedict Hombres: TMR= 66+(13.7x peso [kg]) + (5 x altura [cm]) – (6.8 x edad [años]) Mujeres: TMR = 655 + (9.6 x peso [kg]) + (1.8 x altura [cm]) – (4.7 x edad [y]) • Masa magra (Cunningham, 1980) • TMR = 370 + (21.6 X MLG [kg])
X **Nivel de actividad**	• Sedentario = 1.2 (poco o ningún ejercicio, trabajo de escritorio) • Ligeramente activo = 1.375 (ejercicio ligero, deportes 1-3 días/semana) • Moderadamente activo = 1.55 (ejercicio moderado/deportes 6-7 días/semana) • Muy activo = 1.725 (ejercicio intenso todos los días o ejercicio 2 veces/día) • Extra activo 1.9 (ejercicio intenso más de 2 veces/día; entrenamiento para eventos de resistencia larga).
X **Factor de estrés**	• Lesión menor (ejemplo, esguince de tobillo, dislocación) =1.2 • Cirugía menor = 1.2 • Herida limpia = 1.2 • Fractura ósea = 1.2 • Herida infectada = 1.5 • Traumatismo mayor (ejemplo, cirugía del ligamento cruzado anterior) = 1.5 • Quemadura grave = 1.5

Nota. TMR: tasa metabólica en reposo.

Fuente: *Tomado y adaptado al español de Smith-Ryan* (12).

Lo anterior se puede resumir de la siguiente forma:

Requerimientos energéticos diarios totales = TMB × *Factor de estrés* × *nivel de actividad.*

Ahora bien, teniendo ya el cálculo de las calorías que el deportista necesita (lesionado o no), lo siguiente a analizar son los macronutrientes.

Los carbohidratos (CHO) son, en su definición química, "polihidroxi aldehídos, cetonas, alcoholes, ácidos, sus derivados simples y sus polímeros con uniones de tipo acetal (13).

Dentro de los carbohidratos se encuentran diversas clasificaciones, siendo las más conocidas como monosacáridos, disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos, no obstante, Gómez et al. (14), entregan una taxonomía un poco más completa, involucrando los polialcoholes y una mejor distribución de polisacáridos, además de sustancias relacionadas, (ver tabla 25).

Tabla 3. *Discriminación de los carbohidratos*

Clase/grado de polimeración	subgrupo	componentes	Monómeros	Digestibilidad
Azúcares/1-2	Monosacáridos	Glucosa		+
		Galactosa		+
		Fructosa		+
	Disacáridos	Sacarosa	Glucosa y fructosa	+
		Lactosa	Glucosa y galactosa	±
		maltosa	Glucosa	+
		Trehalosa	Glucosa	+
Oligosacáridos/3-9	Maltooligosacáridos	Maltodextrinas	Glucosa	+
	Otros	Alfa-galactósidos	Galactosa y Glucosa	-
		Fructooligosacáridos	Fructosa y glucosa	-
		Polidextrosas	Glucosa	-
		Dextrinas resistentes	Glucosa	-
polialcoholes	Maltitol, sorbitol, xilitol, lactitol			±
Polisacáridos/>9	Almidones	Amilosa	Glucosa	±
		Amilopectina	Glucosa	±
		Almidones modificados	Glucosa	-
		Almidones resistentes	Glucosa	-
	Otros	Inulina	Fructosa	-
		Celulosa	Glucosa	-
		Hemicelulosa	Variable	-
		Pectinas	Ácidos urónicos	-
		Otros, hidrocoloides (gomas, mucilagos, beta glúcanos)	Variable	-

Fuente: Tomado y adaptado de Gonzales et al. (15)

Es de resaltar que, estos autores mencionan también los edulcorantes, los cuales pueden ser calóricos o acalóricos, (ver tabla 26). Así mismo, cabe recalcar que, en condiciones normales e incluso en momentos donde hay mucha exigencia

física o psíquica, los carbohidratos son la fuente principal del cuerpo en especial del cerebro, claro está, que, en algunos momentos como el ayuno prolongado o largas jornadas de actividades aeróbicas, otros macronutrientes como las grasas y algunos aminoácidos ayudan a la producción de energía

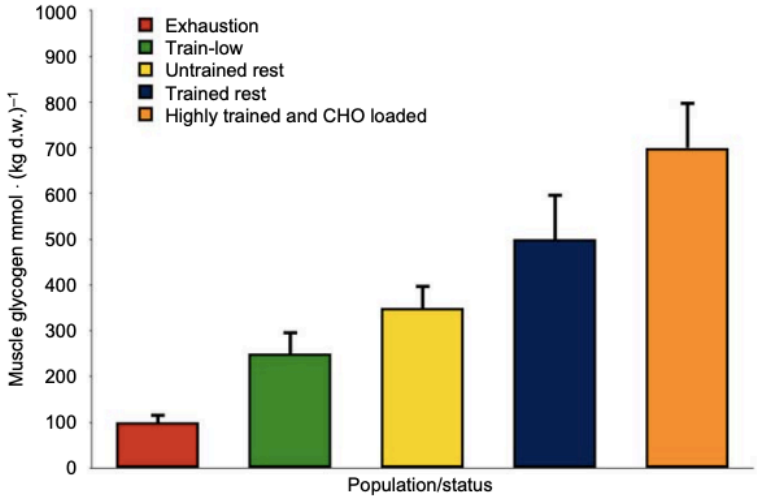
Tabla 4. *Edulcorantes calóricos y acalóricos*

	Calóricos	
Naturales	Azúcares	Sacarosa, glucosa, dextrosa, fructosa, lactosa, maltosa, galactosa, thehalosa, tagatosa, sucromalt
	Edulcorantes	Miel, jarabe de arce y de sorgo, azúcar de palma o coco
Artificiales	Azúcares modificados	Jarabe de maíz alto en fructosa, caramelo, azúcar invertido
	Alcoholes del azúcar	Sorbitol, xilitol, manitol, eritritol, maltitol, isomaltulosa, lactitol, glicerol
	Acalóricos	
Naturales	edulcorantes	Luo Han Guo, Stevia, taumatina, pentatina, monelina, brazeína
Artificiales	Edulcorantes	Aspartato, sucralosa, sacarina, neotamo, acesulfamo K, ciclamato, neohesperidina, dihidrocalcona, alutamo, advantamo

Fuente: Tomado y adaptado de Gómez et al. (14)

Ahora bien, el cuerpo no puede generar energía directamente de oligosacáridos o polisacáridos, así que estas moléculas deben ser convertidas en partículas más pequeñas como lo son los monosacáridos, es decir que todos los carbohidratos deben finalizar en galactosa glucosa y fructosa para poder ser absorbidos y así, pasar a la sangre portal, (16). Igualmente, se debe conocer que, la glucosa o en general los carbohidratos son indispensables, ya sea para obtener energía rápidamente como lo es por medio del sistema glucolítico, o generar ATP en mayor cantidad, pero de forma más lenta, como lo es el sistema de la glucólisis lenta (17). Es por ello que, tener niveles de glucógeno (ahorro de la glucosa) repletos en el músculo, hacen que el rendimiento sea mejor o por el contrario que la aparición de la fatiga se pronuncie más rápido y esto conlleve a una lesión (18).

Figura 1. *Variaciones en el almacenamiento de glucógeno muscular según el estado de fatiga, el estado de entrenamiento y la ingesta dietética de CHO*



Fuente: Tomado de Zoladz Jerzy (18)

La Imagen anterior, deja ver claramente diversos niveles de glucógeno en varias personas y momentos, indicando que es un macronutriente crucial para la práctica deportiva y para evitar la aparición de fatiga que puede generar lesiones.

Con relación al uso de CHO en fases de rehabilitación, existe todavía en algunas personas la creencia que se deben disminuir bastante para evitar la ganancia de masa grasa, no obstante, desde hace décadas atrás ya se hablaba de la importancia de este, tanto para evitar lesiones como su consumo durante las recuperaciones de ellas. Un ponente de esto fue Schlabach (19), donde deja claro que las reservas de glucógeno ayudan a evitar la fatiga y por ende posibles lesiones que se puedan presentar, ya que un músculo fatigado pierde fácilmente la fuerza y la capacidad de proteger las articulaciones, (19), es decir que, existe una relación directa entre este macronutriente y la respuesta del organismo hacia la fatiga y fuerza muscular. Igualmente, la ingesta simultánea de carbohidratos y proteínas ayuda a inhibir la degradación de proteína y por ende la atrofia muscular (20).

Siguiendo con la importancia del consumo de CHO en procesos de recuperación post lesión, estos aportan además de energía, funciones en el sistema inmune, hormonas y enzimas (21). La cantidad de carbohidratos que se deben utilizar

se debe individualizar, sin embargo, existen algunas recomendaciones que se pueden tener en cuenta en lo que respecta a la cantidad de por kg de peso día en personas que se encuentran en procesos de rehabilitación, esto es ideal que oscile que se encuentre de un 3 a 5 g/kg de peso/día o del 50 y 55% de las calorías totales, (22). Una recomendación principal es no sobrepasar el 60% de las calorías totales ya que puede afectar el trabajo del sistema inmune y los procesos de curación gracias a una hiperglucemia constante, adicional a esto, se debe tener en cuenta que dichos CHO deben ser en su gran mayoría complejos, dejando el consumo de simples, siempre por debajo del 10% por día.

Proteínas

Particularmente, las proteínas son moléculas que se distinguen estructuralmente de los carbohidratos y las grasas por la presencia del grupo amino (NH_2-). Las proteínas están compuestas de aminoácidos, 21 de los cuales son utilizados por cada célula del cuerpo para construir proteínas (23). Estas para poder absorberse necesitan ser catabolizadas a aminoácidos, proceso que está regulado la pepsina gástrica en el estómago y proteasas pancreáticas (24). Una característica especial de las proteínas es que existen de forma conjunta procesos de síntesis y degradación de proteínas. Lo anterior deja un recambio o *turnover,* que es más rápido para las proteínas de la mucosa intestinal, de los eritrocitos y de la piel y más lento para las proteínas del tejido conjuntivo y del sistema nervioso (25).

Cuando se da la degradación de proteínas, algunos aminoácidos se vuelven a utilizar en la resíntesis de las proteínas, no obstante, gran parte de ellas se cataboliza entre un 15-20% del total, lo que obliga a su reposición dietética (26).

Como se ha mencionado, las proteínas están compuestas por aminoácidos y estos están clasificados en esenciales y no esenciales. Los esenciales son los que el cuerpo no puede producir y por tal motivo se deben ingerir por medio de la dieta, mientras que los no esenciales el cuerpo los produce, sin embargo, Leaf en 2018 (27), entrega una tercera clasificación indicando que en ocasiones se deben consumir algunos de los aminoácidos que el cuerpo produce, a estos lo llama aminoácidos condicionalmente esenciales (27), (ver siguiente tabla).

Tabla 5. *Clasificación de los aminoácidos*

Aminoácidos esenciales	Aminoácidos no esenciales	Aminoácidos condicionalmente esenciales
Valina	Alanina	Arginina
Leucina	Asparagina	Cisteína
Isoleucina	Ácido aspártico	Glutamina
Histidina	Ácido glutámico	Glicina
Lisina	Serina	Prolina
Metionina		Tirosina
Fenilalanina		
Treonina		
Triptófano		

Fuente: Tomado y adaptada al español de Leaf (27)

Como se puede observan en la tabla anterior, se evidencian 3 clasificaciones cuando se ha descrito que solo existen aminoácidos esenciales y no esenciales, sin embardo, se realiza una tercera columna llamada aminoácidos condicionalmente esenciales, esto quiere decir que aunque el cuerpo los produce, en algún momentos se vuelven necesario consumirlos (27).

Dentro de las funciones de las proteínas, describe las siguientes (28):

- Las proteínas son esenciales para la contracción muscular.
- El sistema inmunológico se alimenta de proteínas y de algunos aminoácidos específicos.
- Toda persona necesita proteína, incluido niños (dependiendo del peso, igual la dosis), personas adultas e incluso con daño renal, esta última acompañada del especialista.
- Adicional, las proteínas tienen funciones de regulación, vías de señalización, transporte y generación de estructuras, siendo esta última una de las más importantes (29) .

Como se sabe, las proteínas forman en gran medida la masa muscular y por tal motivo cuando existe una lesión o un proceso donde el cuerpo deba quedarse inmóvil por algún tiempo, la perdida de músculo se incrementa de forma significativa y esto está influenciado directamente por el tiempo que dura toda la rehabilitación (30). En total se pierde aproximadamente 0,6% del área transversal de la zona muscular lesionada acompañada de una disminución del 50% en la síntesis de proteína por día (31), lo expuesto conlleva a que fácilmente se pierdan entre 150 a 400 g de músculo en las primeras semanas de la lesión. Algo que es incluso más preocupante que la reducción de masa muscular es que la fuerza puede llegar a verse reducida en un 9% con solo 14 días de inmovilización y la activación de vías catabólicas se aumenta (30). Similar fue lo encontrado por Hortobágyi, T, et al., donde después de 3 semanas de inmovilización de la pierna izquierda a 48 sujetos entre 20 y 30 años (24 hombres y 24 mujeres), se vieron reducidas las áreas de las fibras musculares de tipo I, IIa y IIx en un 13, 10 y 10 % respectivamente (32), además la fuerza excéntrica, concéntrica e isométrica también disminuyo en un 47%, esto puede deberse a una inflamación aguda, gracias al incremento de citocinas que inducen a la atrofia y pueden retrasar tanto la fuerza como la recuperación funcional (33). Por ello, es importante que por medio de la nutrición se busque reducir estos procesos catabólicos y optimizar los anabólicos con el fin de mantener la masa muscular y evitar al máximo la ganancia de masa grasa de forma excesiva (30).

Ahora bien, el objetivo del consumo de proteína y su importancia además de las mencionadas en este apartado, es que también puede incrementar la insulina y esta hormona es muy anabólica (34), siendo esto una de las cosas que se buscan en estos procesos, ya que la síntesis de proteína puede mejorar. El consumo de proteína promedio y de acuerdo a la persona, se puede evidenciar en las siguientes tablas (28), sin embargo en condiciones donde exista una inmovilización completa del segmento, la dosis que se debe utilizar es de 2.0 g/kg de peso/día, mientras que para responder al estrés metabólico propio del deporte, se deben ingerir 1.5 a 2.0 g/kg de peso/día (22) (21), incluso autores como Smith-Ryan, hablan de hasta 3.0 g/kg de peso/día con adición de 3 g de leucina en la población lesionada (12), ya que este aminoácido es el que desencadena el anabolismo (35)

Tabla 6. A, B, C, D *de consumo de proteína según la población*

Ingesta diaria óptima de proteínas para adultos sedentarios sanos

Peso corporal (lb)	Peso corporal (kg)	Extremo inferior (g)	Extremo superior (g)
100	45	54	82
125	57	68	102
150	68	82	122
175	79	95	143
200	91	109	163
225	102	122	184
250	113	136	204
275	125	150	225
300	136	163	245

Ingesta diaria óptima de proteínas para perder grasa (si tiene sobrepeso)

Peso corporal (lb)	Peso corporal (kg)	Extremo inferior (g)	Extremo superior (g)
100	45	54	68
125	57	68	85
150	68	82	102
175	79	95	119
200	91	109	136
225	102	122	153
250	113	136	170
275	125	150	187
300	136	163	204

a. Ingesta de proteína para sedentarios sanos. b. Ingesta proteína Sedentario con sobrepeso

c. Ingesta de proteína para deportista

d. Ingesta de proteína para ganar masa muscular con peso y masa muscular normal

Ingesta diaria óptima de proteínas para la ganancia muscular

Peso corporal (lb)	Peso corporal (kg)	Extremo inferior (g)	Extremo superior (g)
100	45	73	109
125	57	91	136
150	68	109	163
175	79	127	191
200	91	145	218
225	102	163	245
250	113	181	272
275	125	200	299
300	136	218	327

Ingesta diaria óptima de proteínas para deportistas

Peso corporal (lb)	Peso corporal (kg)	Extremo inferior (g)	Extremo superior (g)
100	45	64	91
125	57	79	113
150	68	95	136
175	79	111	159
200	91	127	181
225	102	143	204
250	113	159	227
275	125	175	249
300	136	191	272

Nota. Para levantadores de pesas experimentados y culturistas, el consumo de proteína puede llegar hasta 3.3 g/ kg de peso/día. *Fuente*: *Tomado de Editors of Examine* (28)

En la siguiente tabla se describe lo que puede ser un consumo de proteína bajo, normal o alta.

Tabla 7. *Consumo de proteínas, bajo, normal y alto*

Macronutrientes	Baja proteína	Proteína normal	Alto en proteína
Proteína (g/kg)	0.7	1.8	3.0
Proteína (% de la ingesta calórica)	5	15	25

Fuente: Tomado y adaptado al español de Editors of Examine (28)

Para atenuar la degradación proteica muscular, se sugiere un consumo de 20 a 40 g de proteína al finalizar una sesión (36) y dicho consumo de debe ocurrir además dentro de la hora posterior al despertar y cada 3 a 4 horas durante el día, esto, siempre y cuando se realicen las sesiones de rehabilitación que corresponde (37).

Grasas

Este macronutriente a diferencia de las proteínas y carbohidratos aporta más energía, entregando 9 calorías por cada gramo (38) y tienen dentro de sus funciones principales trasportar vitaminas liposolubles, actuar en procesos fisiológicos, inmunológicas y estructurales, además de aportar mucha energía al organismo. Dentro de las clasificaciones generales de las grasas, se encuentran grasas saturadas, monoinsaturadas y poliinsaturadas, de acuerdo con si tienen o no enlaces dobles entre sus átomos de carbono

Con relación al consumo de grasas, son las monoinsaturasas las más saludables para las personas, ya que tienen la capacidad de regular colesterol LDL (39) y en segunda medida las poliinsaturadas, en especial el omega 3, sin embargo, se observa en ocasiones una disminución de triglicéridos, pero un pequeño aumento del LDL, por tal motivo si se consume pescado unas 4-5 veces/semana y además se suplementa con omega 3, se debe supervisar el LDL. Una de las características importantes del por qué se debe ingerir omega 3, ya sea en alimentos o suplementos, es antinflamatorias, mientras que el omega 6, es especialmente inflamatorio.

Con relación al colesterol, es fundamental en la producción de testosterona junto con las células de Leydig en los testículos (40), es por ello que, no se debe llegar al extremo de no ingerir colesterol, puesto que la masa muscular y en general la salud se puede ver afectada negativamente. Desde 1990 la American Heart Association recomendó ingerir alrededor de 300 mg de colesterol/día (41), sin embargo, otros entes como el American College of Cardiology/American

Heart Association (ACC/AHA) y el Dietary Guidelines Advisory Committee (DGAC) de Estados Unidos, en el año de 2015 han retirado la recomendación que limita el consumo de colesterol dietario, pero de igual forma enfatizan que se promueva una dieta saludable alta en fibra y baja en grasas saturadas y ácidos grasos trans. Lo anterior se puede explicar fácilmente ya que a partir de dos moléculas de AcetilCoA se genera el colesterol y éste promueve a la producción de hormonas como la testosterona.

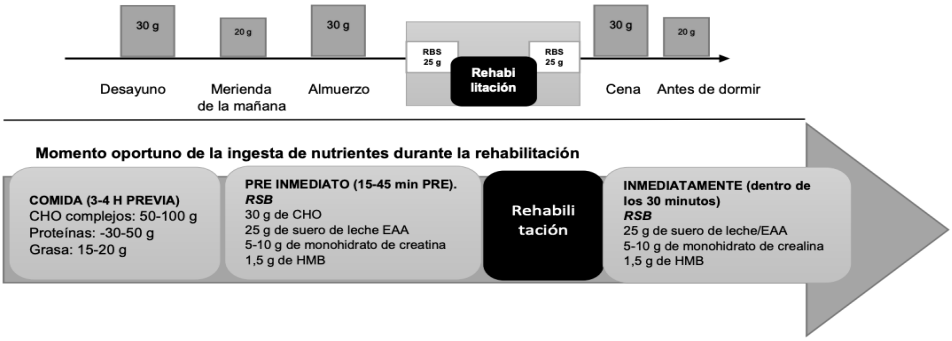
La grasa es fundamental para la curación de heridas y para incrementar la proliferación celular, ya que los ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados se utilizan para la producción de membranas celulares, mientras que los ácidos grasos saturados se utilizan a menudo como combustible. Durante un proceso de recuperación, la dieta debe contener en grasa (saturada, monoinsaturados y poliinsaturados) aproximadamente entre el 20% y el 25% de las calorías totales, es decir deben entre 0,8 a 2 g/kg de peso/día, (21). El ratio entre omega 6 y 3 debe ser aproximadamente 4/1 o 5/1 y nunca más de 10/1 (42), ya que el omega 6 es proinflamtario.

Para finalizar esta parte de los macronutrientes, es importante destacar el momento de ingesta de estos, puesto que en estos procesos se vuelve extremadamente importante esta variable.

Teniendo en cuenta lo anterior se expone lo siguiente: teóricamente, consumir la proporción adecuada de nutrientes durante este tiempo no solo inicia la reconstrucción del tejido muscular dañado y la restauración de las reservas de energía, sino que lo hace de una manera supercompensada que mejora tanto la composición corporal como el rendimiento deportivo (43)

Igualmente, se puede potenciar la síntesis de proteínas, mejorar la masa magra, fuerza y funcionalidad en aquellas personas que se encuentran en procesos de rehabilitación. todo lo anterior lógicamente va de la mano el entrenador deportivo y el fisioterapeuta para coordinar dicha ingesta de nutrientes antes y después de ver a un paciente, (12). Tanto ingerir carbohidratos y proteínas durante estas fases de rehabilitación, evidencian incrementos en fuerza, la masa muscular y la función general del atleta, (36). Para entender un poco más este proceso, a continuación, se dejan unas imágenes relacionadas con el consumo y cantidad de nutrientes durante el día cuando se está en fases de recuperación de alguna lesión. En la siguiente Imagen se puede ver la distribución de los macronutrientes y en especial la ingesta de proteínas en una persona que realiza su terapia habitual.

Figura 2. *Ejemplo de horario diario de comidas y proteínas*



Nota. Proteína total: 180 g. *Fuente*: *tomada y adaptada de Smith-Ryan* (12)

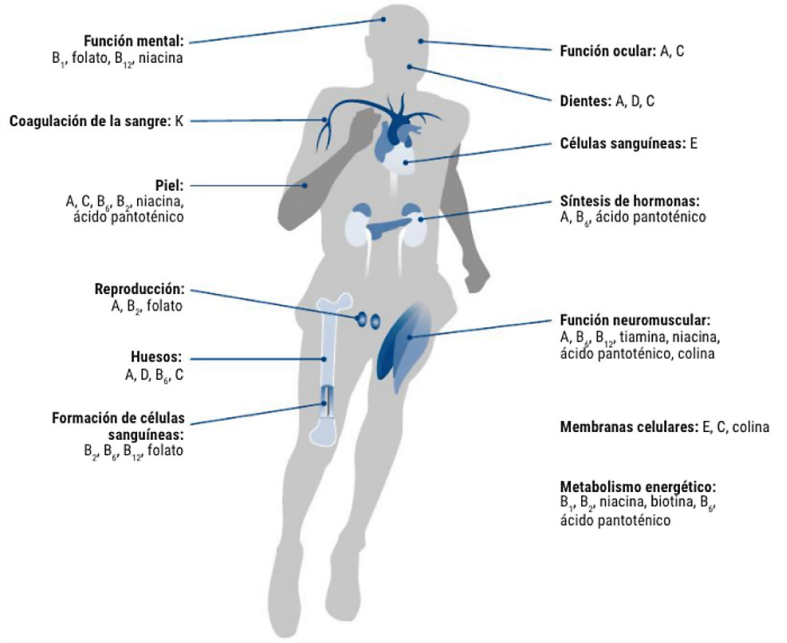
Como dato final en esta parte del capítulo se debe tener en cuenta lo expuesto por Tipton en el 2015, citado por Melin et al. en 2023:

"*La consideración nutricional más importante durante la recuperación de una lesión es evitar las deficiencias de energía y nutrientes, ya que eso perjudicará la curación de la herida y empeorará la pérdida de masa y función de músculos y tendones*"(44).

Micronutrientes

Las vitaminas y los minerales a diferencia de los macronutrientes no aportan calorías, sin embargo, son necesarios en una amplia gama de reacciones químicas que se llevan a cabo en el cuerpo, incluyendo las que participan en el metabolismo energético, el crecimiento celular, la reparación de tejidos, la protección contra el daño de los radicales libres y la función nerviosa y muscular. Adicional a ello, forman parte de los sistemas enzimáticos que involucran la producción energética y el rendimiento físico (45). El mejor aporte de estos macronutrientes se encuentra en las frutas y verduras, por ello es importante ingerir estas en todos los colores y todos los días, ya que en algunos casos dichos colores pueden indicar un aporte superior en cierta vitamina, como, por ejemplo, se sabe que las frutas amarillas o zapotes son ricas en vitamina A. En la siguiente Imagen se puede ver de forma resumida, el sitio de acción de tanto vitaminas hidro como liposolubles en el cuerpo humano.

Figura 3. *Funciones de vitaminas hidro y liposolubles*



Fuente: Tomado de Gonzales et al. (15).

Las vitaminas hidrosolubles (complejo B y C) se denominadas así porque se disuelven en agua, lo que significa que algunos alimentos al lavarlos pierden parte de sus vitaminas, o también al cocerlos. Al ser hidrosolubles se almacenan poco y a diario se deben suplir sus necesidades, o en su defecto en algunas ocasiones ingerir suplementos vitamínicos. El exceso de estas vitaminas se excreta por la orina, lo que significa que no son toxicas en condiciones normales, (46). Con relación a las liposolubles, se destaca que su exceso si puede llegar a ser tóxico, lo que indica que se deben ciclar, es decir consumir por 1 o 2 meses y después para el mismo tiempo. Dentro de ellas tenemos la A, D, E y K. Las vitaminas tanto hidro como liposolubles cumplen funciones que pueden afectar positivamente el rendimiento deportivo, puesto que muchas sirven como coenzimas (caso de la B1, como pirofosfato de tiamina), que ayuda a generar el paso de piruvato a AcetilCoA.

Se sabe que la deficiencia en el consumo de vitaminas y minerales conduce a una escasez de estas en los tejidos corporales, perjudicando la salud y el rendimiento del deportista, al igual que puede afectar la recuperación cuando se está en proceso de recuperación de una lesión, sin embargo, no hay evidencia de que

la suplementación con vitaminas y minerales mejore el rendimiento de forma significativa, a menos que realmente se conozca una deficiencia preexistente de algún micronutriente específico, descrito por Williams (2006) en su texto *Nutrition for Health, Fitness & Sports* (45).

y con relación a los minerales, Peralta, Ascencio y otros autores describen que se pueden dividir en dos categorías (47).

- **Macrominerales:** el cuerpo necesita más de 100 mg por día, ya que están presentes en el organismo en cantidades superiores a 5 g dentro de ellos tenemos calcio, fosforo, sodio, potasio, magnesio, azufre y cloro.
- **Microminerales:** presentes en cantidades inferiores a 5 g en el cuerpo y se necesitan menos de 100 mg/día. Los elementos trazan incluyen aluminio, arsénico, boro, cadmio, níquel, hierro, silicio, vanadio, yodo, flúor, zinc, cromo, cobre, cobalto, manganeso, selenio y molibdeno.

A nivel deportivo y en procesos de recuperación, priman unos un poco más que otros, ya que su función radica en mantener une buena contracción muscular o ayudar a una buena hidratación, dentro de ellos tenemos el sodio, potasio, magnesio, calcio, entre otros. Teniendo en cuenta lo expuesto por Gonzales Gros (15), En el próximo apartado de este capítulo se hablará de deshidratación y lesiones además de la suplementación aplicada a la recuperación de estas. Igualmente, se debe entender que muchas de estas vitaminas y minerales también son consideradas como antioxidantes, por tal motivo en procesos de recuperación post lesión se hace importante el consumo durante algunos meses, en especial la vitamina C, E y A (44), ya que tienen funciones importantes en la inmunonutrición para la recuperación de lesiones y la cicatrización de heridas (48).

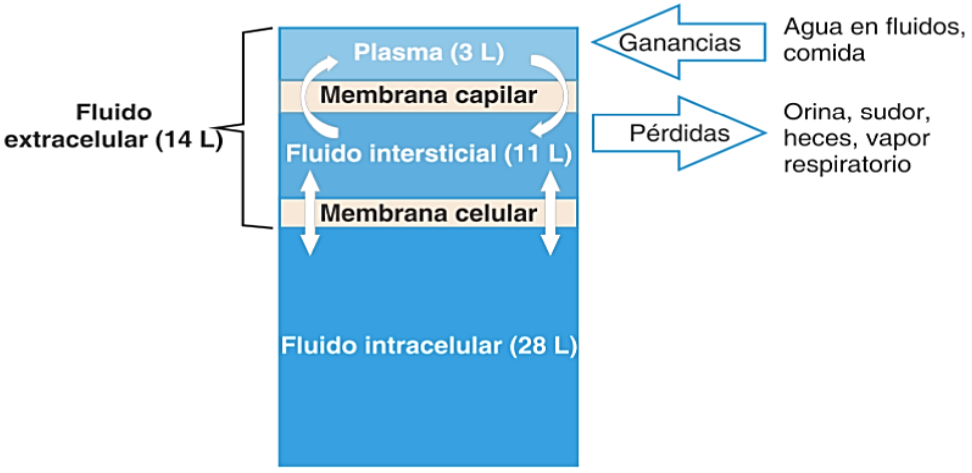
Deshidratación y Lesiones

En la práctica de cualquier deporte, la temperatura y humedad afectan directamente a los atletas, generando mayor desgaste físico y metal, fatiga y en ocasiones lesiones, ya sean musculares o afectando la salud como lo hace el golpe de calor, (49). Lo primero a tener en cuenta, es cómo está distribuida el agua en nuestro cuerpo (ver siguiente Imagen), la cual se encuentra entre un 60 y 65% del peso total y esta puede variar de la cantidad de glucógeno que posea la persona y de la masa muscular (1 g de glucógeno retiene 3 ml de agua), (50). Un ejemplo claro es el siguiente, una persona que pesa 70 kg es sano y está euhidratado, su volumen total será de 42 litros, de los cuales se distribuirán de la siguiente forma:

- 3 litros corresponden al plasma
- 11 litros al intersticio
- 28 litros estarán dentro de la cédula

Lo anterior es por día. La eliminación se realiza por medio de la orina, sudor, heces y CO2 espirado, mientras que, y su ganancia será por medio del agua y comida que se ingiere en el día a día, (49).

Figura 4. *Representación de los compartimentos donde se almacenan los fluidos*

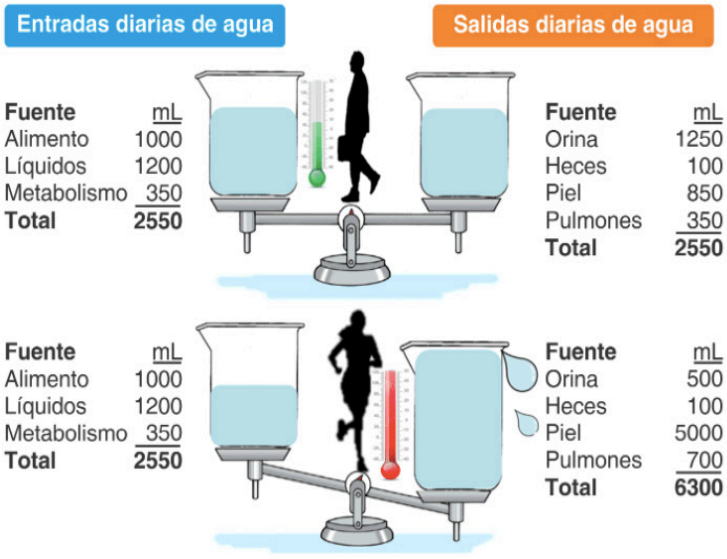


Fuente: Tomado Geers (51)

Representación de los compartimentos donde se almacenan los fluidos, así como sus pérdidas, para un sujeto de 70 kg con un volumen total de 42 litros.

Lo anterior aplica para personas sedentarias y bien de salud o que practican deporte de forma recreativa, esto varía abruptamente en personas atletas que están sujetas a sesiones de entrenamiento o competencia en lugares donde el ambiente es una variable difícil de manipular (calor, humedad, frío, lluvia, entre otros). La diferencia puede llegar a ser de 3 y hasta más litros que se pierden durante la actividad como se puede ver en la siguiente Imagen (51).

Figura 5. *Balance de agua corporal total, en ausencia de ejercicio vs durante la práctica de este*



Fuente: Tomado Geers (51)

La eliminación por medio del sudor es extremadamente alta en personas deportistas con relación a los que no lo son, es por ello que las estrategias de hidratación deben hacer parte de cualquier equipo o departamento médico, para asegurar no solo una buena performance sino además la salud de los deportistas. Claro está que no todos los deportes eliminan el calor interno por medio de la evaporación del sudor, existen otros medios que también cumplen esta función y son: conducción, convección y radicación. Para ello algunos autores indican lo siguiente (52):

- **Radiación:** Es la transferencia de calor por ondas electromagnéticas infrarrojas entre la piel y los objetos que la rodean.
- **Conducción:** Se trata de la transferencia de calor molécula a molécula, entre sólidos, líquidos y gases, pero sobre todo sólidos o líquidos, este mecanismo toma verdadera importancia al sumergir el cuerpo en agua.
- **Convección:** Es un concepto limitado a los fluidos (líquidos o gases), que implica corrientes de estos, es decir, cuando moléculas más calientes entran en contacto con otras más frías, las primeras transfieren calor a las segundas (por conducción) y estas se alejan, con lo que se crean corrientes.

Las corrientes externas de aire o agua, si el cuerpo está sumergido, facilitan el intercambio de calor por esta vía.

- **Evaporación:** en condiciones normales es el 20% de la pérdida de calor en reposo, constituyendo la principal defensa fisiológica en contra del sobrecalentamiento. De manera que cuando la temperatura ambiente supera a la del organismo sólo se puede perder calor por esta vía. El calor se transfiere continuamente hacia el ambiente conforme el agua se evapora de las vías respiratorias y de la superficie de la piel, constituyendo la evaporación insensible.

Tabla 8. *Estimación de pérdida de calor por distintos mecanismos en reposo y ejercicio de duración prolongada*

Mecanismo de pérdida de calor	Reposo		Ejercicio	
	% total	Kcal-min	% total	Kcal-min
Conducción y convección	20	0,3	15	2,2
Radiación	60	0,9	5	0,8
Evaporación	20	0,3	80	12,0
Total	100	1,5	100	15,0

Fuente: tomado de López (52)

Como se ha observado, la hidratación es una variable que puede afectar demasiado la salud y performance del deportista, es por ello que, se deben tener estrategias que ayuden a mantener al futbolista euhidrato y que mejoren la reposición de líquidos y electrolitos post-actividad. Para ello existen varias formas, a continuación de describirán algunas de ellas (53):

- Conocer el agua corporal total, debe ser < 2%
- La osmolalidad del plasma <290 mOsmol
- Gravedad específica de la orina <1.020 g/ml
- Osmolalidad de la orina <700 mOsmol
- Peso corporal < 1%.

- **Osmolalidad de la sangre:** corresponde a la medición de las partículas contenidas en una disolución expresada en osmoles o miliosmoles por litro de solución. Esta medición en sangre es considerada un patrón de referencia con relación a la hidratación. Lastimosamente es un método invasivo y requiere cierta tecnología para hacerse la medición y el valor de referencia corresponde a 290 mOsmol o menos para diagnosticar una buena hidratación, (54).
- **Osmolalidad de la orina:** es uno de los métodos más validados que existen**,** es un método no invasivo, sin embargo, se realiza en un laboratorio que requiere procesos bioquímicos costosos y complejos, (54).
- **Gravedad específica de la orina:** es un método sencillo y económico y se mide por medio de un refractómetro. Este método consiste en determinar la densidad de la orina y entre más alta sea, mayor es el nivel de deshidratación. Algo que se debe mencionar es que, en algunos estudios, deportistas con mucha más muscular pueden generar más subproductos y por tal motivo parecerá que están deshidratados cuando no lo están. Los valores de referencia son los siguientes.

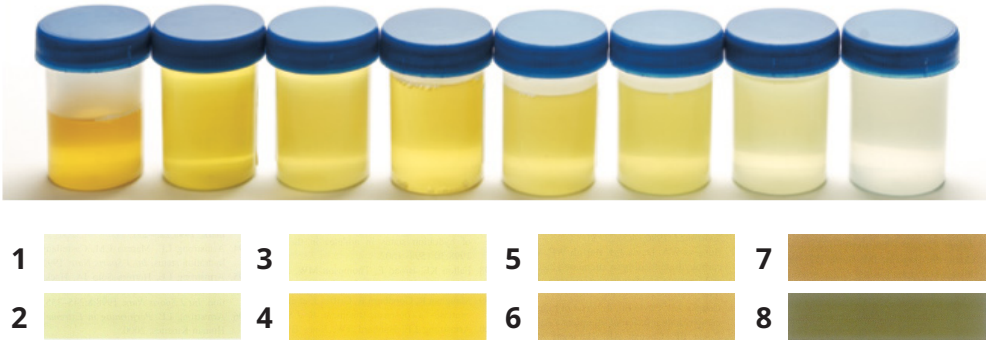
Tabla 9. *Clasificación del niveles de hidratación por medio de la gravedad específica de la orina*

Nivel de hidratación	Gravedad especifica de la orina
Extremadamente hiperhidratado	< 1.012
Algo hiperhidratado	1.012 – 1.014
Bien hidratado	1.015 – 1.017
Euhidratado	1.018 – 1.020
Algo deshidratado	1.021 – 1.024
Muy deshidratado	1.025 – 1.027
Extremadamente deshidratado	>1.027

Fuente: Tomado y adaptada de Fernández et al. (54).

Color de la orina y peso corporal: estas dos medidas son las más sencillas de todas las descritas y lo que se requiere es minino, de igual forma pueden dar resultados muy coherentes con respecto a la deshidratación del deportista. Para ello existe una escala del color de la orina que es confiable y se usa en muchos casos para determinar esta variable, (55).

Figura 6. *Escala de orina para determinar hidratación*



Fuente Tomado y adaptado de Casa et al. (55)

Teniendo en cuenta le color de la orina, se debe determinar que aquellos deportistas que estén en 4 o por encima en la escala, el nivel de deshidratación es más fuerte y su reposición de líquidos y electrolitos debe ser de manera inmediata.

Con relación al peso, es de gran importancia conocer tomarlo antes y después de cada entrenamiento o juego, ya que este indica el nivel de deshidratación entre otras y predice cuantos litros de líquido aproximado debería ingerir el deportista en las siguientes horas. Para conocer la cantidad de líquidos que debe ingerir el deportista solo se resta el peso inicial-peso final y el resultado se multiplica por 150%, (56), mientras que, para determinar el nivel de deshidratación, se realiza la siguiente operación: peso inicial-peso final*100/peso inicial. Ejemplo futbolista que peso 70 kg antes del entrenamiento y 68 después.

*70-68=2 kg*150%=3 litros, es lo que debe recuperar en las siguientes horas*
*70-68=2*100=200/70 2.8% es el nivel de deshidratación.*

Se debe tener en cuenta que, lo recomendable es no encontrase por encima del 2% de deshidratación post actividades, pues como se muestra a continuación, se ve afectada la performance y niveles ya muy altos pueden atentar contra la salud o generar lesiones principalmente musculares.

Tabla 10. *Porcentaje de deshidratación y sintomatología*

Pérdida de agua (% peso corporal)	Síntomas	Pérdida de agua		
		Niño 10 Kg	Adolscentes 15 Años, 60 Kg	Adulto 70 Kg
1%	• Sed Ligera	0,3	0,6	0,8
2%	• Disminución del rendimiento de resistencia • Tendencia a calambres musculares	0,6	1,2	1,4
3 - 5%	• Piel y mucosas secas • Menor saliva y orina • Disminución del rendimiento de fuerza • Enrojecimiento cutáneo	0,9 – 1,5	1,8 – 3,0	2,1 - 3,5
5 – 10%	• Pulso aumentado • Mareo, dolor de cabeza • Menor volumen sanguíneo • Dificultad para hablar • Imposibilidad de andar	1,5 – 3,0	3,0 – 6,0	3,5 – 7,0
10 – 15%	• Confusión • Incapacidad para deglutir • Vision borrosa • Lengua inflamada • Calambres, delirio	3,0 – 4,5	6,0 – 9,0	7,0 – 10,5
15 – 20%	• Muerte	>4,5	>9,0	>10,5

Tomado González Gross M, (7) y adaptado.

El uso de bebidas deportivas debe tener unas características especiales en lo que respecta a los minerales y el contenido de carbohidratos que debe consumir un deportista, para ello, Urdampilleta A en Morente Álvaro brinda una guía sencilla de entender a la hora de adquirir este tipo de bebidas (57), (56), las características son:

- Carbohidratos (mezcla de azúcares) entre el 6 y 9%.
- Sodio entre 0.46 a 1.2 g/litro
- Osmolaridad 200 a 330 (mOsm/L)

- Volumen que se debe consumir por hora, 500 a 1000 ml
- Temperatura de la bebida, 10-15º
- Frecuencia de consumo, cada 15 a máximo 30 min

A continuación, se muestran las estrategias hídricas con la cantidad de carbohidratos y electrolitos necesarias para los momentos de pre, per y post entreno, las cuales son muy útiles ya que si se hacen de forma constante pueden mantener al deportista euhidratado y como se ha mencionado, la probabilidad de generar lesiones en especial musculares puede ser menor.

Tabla 11. *Características de bebidas deportivas antes, durante y después de un entrenamiento*

Antes **Isotónica o ligeramente hipotónica**	**Durante** **Isotónica**	**Después** **Hipertónica**
4-6% azucares	6-9% azucares	9-10% azucares
0,5 – 0,7 g Na* / L	0,5 – 0,7 g Na* /L 0,7 – 1,2 g Na*/L (si + 1h o estrés por calor)	1-1,5 g Na* /L

Fuente: tomado de (57) y adaptada por (56)

Tabla 12. *Recomendaciones post competencia*

0-90 minutos	**120-140 minutos**	**Total 24 horas**
Ingesta de Líquidos 500 ml	450-680 ml/450 g peso perdido por sudor	150% del total de peso perdido por sudor
Ingesta de Electrolitos 12-24g/L Na* + 1-2 g/L K*	20 mmol/L Na* + 3 mmol/L K*	6 g de ClNa
Ingesta de CHO 1,2 g/kg de peso/h	1.2 g/kg de peso/h	5-7,712.10-12g / kg / día. Según carga

Fuente: tomado de Urdampilleta et al. (57) y adaptada por Morente y LLorente (56).

Ayudas Ergogénicas Nutricionales

Según Maughan, et al., "*No existe una definición única, ni legal ni dentro de ciencia nutricional, de lo que constituye un suplemento dietario*" (58). El Congreso de los Estados Unidos, por ejemplo, menciona que, un Suplemento Dietético, es un producto, distinto del tabaco, que se utiliza en conjunto con una dieta saludable y contiene uno o más de los siguientes ingredientes dietéticos:

- Una vitamina, un mineral, una hierba u otro botánico, un aminoácido o una sustancia dietética para complementar la dieta, aumentando su ingesta diaria total. Además, menciona también que puede ser un metabolito, un extracto o combinaciones de todos estos ingredientes mencionados".

Presentaciones de los Suplementos Dietéticos

- Alimentos funcionales, alimentos enriquecidos con nutrientes adicionales o componentes fuera de su composición de nutrientes típica (p. ej., alimentos enriquecidos con minerales y vitaminas, así como alimentos enriquecidos con nutrientes)
- Alimentos formulados y para deportistas, productos que proporcionan energía y nutrientes en una forma más conveniente de lo normal como apoyo nutricional general (ej., sustitutos de comidas líquidas) o para uso específico en torno al ejercicio (ej., bebidas deportivas, geles, barras)
- Nutrientes únicos y otros componentes de alimentos o hierbas, además, productos suministrados en formas aisladas o concentradas.
- Productos de múltiples ingredientes que contienen diversas combinaciones de aquellos productos descritos anteriormente, (58).

Cuando se habla de suplementación deportiva, uno de los máximos exponentes de esta temática es la *Australian Institute of Sport*, (59). Son ellos, los que cada 3-4 años categorizan los suplementos de acuerdo con diversos estudios realizados y a la función que cumplen dichos suplementos en los deportistas. A continuación, se presentan los suplementos clasificados en A, B, C y D. De forma resumida se puede decir que, aquellos suplementos que están en A, poseen evidencia científica sólida para su uso en situaciones específicas en el deporte, utilizando protocolos basados en evidencia, en la categoría B, se encuentran los suplementos que tienen un apoyo científico válido, pero necesita más investigación, en C, la evidencia científica no es fuerte o falta más investigación y en D, están aquellas sustancias que son prohibidas o con alto riesgo de contaminación que podrían dar positivo en una prueba de dopaje.

Tabla 12. A, B, C y D. *clasificación de los suplementos*

Categoría A

Descripción general de la categoría dentro de AIS **Marco de suplementos deportivos**	**Subcategorías**	**Ejemplos**
Nivel de evidencia: Fuerte evidencia científica para su uso en situaciones específicas en el deporte, usando protocolos basados en evidencia. Usar dentro de los programas suplementarios: Permitido para su uso en atletas, con las mejores prácticas Protocolos.	**Alimentos deportivos** Productos especializados utilizados para proporcionar una fuente conveniente de nutrientes cuando no es práctico consumir alimentos cotidianos.	• Bebidas deportivas • Geles deportivos • Confitería Deportiva • Barras deportivas • Suplementos de electrolitos • Suplementos de proteínas • Suplemento de macronutriente mixto (barra, polvo, comida líquida)
	Suplementos médicos Suplementos utilizados para prevenir o tratar problemas clínicos que incluyen una deficiencia de un nutriente. Debe usarse con la planificación de un experto.	• Hierro • Calcio • Vitamina D • multivitamínicos • Probióticos • Zinc
	Suplementos de rendimiento Suplementos/ ingredientes que puede mejorar el rendimiento. Se usa mejor con un protocolo individualizado y específico y con una guía de un experto/ Dietista Deportivo Acreditado.	• Cafeína • β-alanina • Bicarbonato • Jugo de remolacha / Nitrato • Creatina • Glicerol

Fuente: Tomado y adaptado al español de Australian Institute of Sport (59).

Categoría B

Descripción general de la categoría dentro de AIS **Marco de suplementos deportivos**	**Subcategorías**	**Ejemplos**
Nivel de evidencia: Apoyo científico emergente, merece más investigación. Usar dentro de los programas suplementarios: su uso en atletas o en situaciones de seguimiento clínico.	**Polifenoles alimentarios** Compuestos alimentarios que pueden tener bioactividad, incluyendo propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. consumir en formas alimenticias (entero o concentrado) o como extractos aislados.	• Polifenoles derivados de frutas
	Antioxidantes Los compuestos que se encuentran a menudo en alimentos que protegen contra el daño oxidativo y radicales libres.	• Vitamina C • N-acetilcisteína
	Saborizantes Compuestos derivados de alimentos que interactuar con los receptores en la boca / intestino para activar el sistema nervioso central.	• Mentol • Jugo de pepinillos • Quinina
	Otro	• Suplemento de colágeno • Curcumina • Suplementos de cetonas • Aceites de pescado • Carnitina

Fuente: *Tomado y adaptado al español de Australian Institute of Sport* (59).

Categoría C

Descripción general de la categoría dentro de AIS **Marco de suplementos deportivos**	**Subcategorías**	**Ejemplos**
Nivel de evidencia: Evidencia científica que no respalda Un beneficio entre los atletas o falta más investigación Usar dentro de los programas suplementarios: Puede permitirse su uso por parte de atletas donde hay especificidad de aprobación, o reportando a un Panel de suplementos deportivos.	Productos de categoría A y B usado fuera de protocolos aprobados	
	Productos nombrados Productos que se han movido a un nueva categoría.	• Magnesio • ácido alfa lipoico • HMB • BCAA / Leucina • Fosfato • Prebióticos • Vitamina e • Tirosina
	El resto Si no puede encontrar un ingrediente / producto de los Grupos A, B o D, probablemente merece estar aquí.	
	Otro	

Fuente: Tomado y adaptado al español de Australian Institute of Sport (59).

Categoría D

Descripción general de la categoría dentro de AIS Marco de suplementos deportivos	Subcategorías	Ejemplos
Nivel de evidencia: Prohibido o con alto riesgo de contaminación con sustancias que podrían dar lugar a una prueba de dopaje positiva. No debe ser utilizado por deportistas.	**Estimulantes**	• Efedrina • Estricnina • Sibutramina • Metilhexanamina (DMAA) • 1,3-dimtilbutilamina (DMBA) • Otros estimulantes a base de hierbas
	Prohormonas y hormonas impulsores	• DHEA • Androstenediona • 19-norandrosteniona /ol • Otras prohormonas • Tribulus terrestris y otros, aceleradores de testosterona * • Polvo de raíz de maca *
	Liberadoras de GH y "Péptidos"	
	Agonistas beta-2	• Higenamina
	Andrógeno selectivo Moduladores de receptores (SARMS)	• Andarine • Ostarine • Ligandrol
	Moduladores metabólicos	GW1516 (Cardarine)
	Otro Consulte la lista de la AMA para todos ejemplos: https://www.wada-ama.org/	• Calostro – no recomendado por la AMA debido a la inclusión de factores de crecimiento dentro de su composición.

Nota. * Estos productos no aparecen en la lista de WADA y, por lo tanto, no están específicamente prohibidos. Sin embargo, ellos se encuentran a menudo en productos de múltiples ingredientes que contienen ingredientes prohibidos o tienen un alto riesgo de ser contaminado. *Fuente: Tomado y adaptado al español de Australian Institute of Sport (59).*

A continuación, se describirán los suplementos que pueden aportar aspectos positivos, ya sea para prevenir lesiones o para ayudar en los procesos de recuperación de estas.

El suplemento que más evidencia científica tiene en la actualidad y que es útil tanto para sedentarios, deportistas, adultos, adultos mayores, lesionados y en general, es la proteína de suero de leche.

La proteína de suero de leche o *whey protein*, es extraída de la leche, para ello debe pasar por varios procesos como lo son ultrafiltración, nanofiltración y secado para el caso de la proteína concentrada, mientras que para la aislada se adiciona el paso de microfiltración, (60). Adicional a los beneficios conocidos como lo son mejora de la síntesis de proteína, entrega de aminoácidos esenciales, un excelente valor biológico, (27, 61) entre otras, la proteína de suero de leche tiene péptidos bioactivos, los cuales actúan brindando beneficios en la salud en las personas que las consumen.

Tabla 13. *Péptidos bioactivos en el suero de leche*

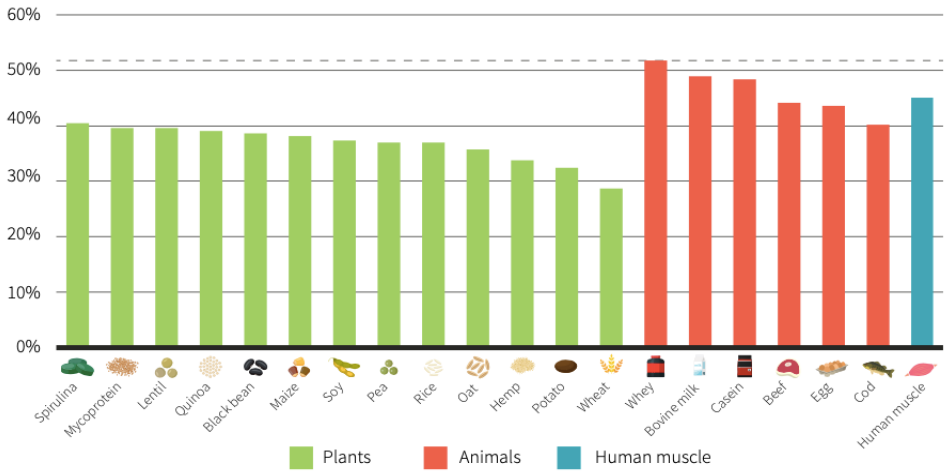
Subfracción de suero	% de whey protein	Efectos potenciales sobre la salud
β-lactoglobulina	56–60%	Podría reducir la presión arterial y fortalecer el sistema inmunológico.
α-lactoalbúmina	18–24%	Podría beneficiar la cognición y reducir la presión arterial. Posee propiedades inmunomoduladoras, antimicrobianas, antivirales y antioxidantes.
Inmunoglobulinas	6–12%	Podría fortalecer el sistema inmunológico.
Albúmina sérica	6–12%	Rica fuente de precursores de glutatión.
Lactoferrina	1–2%	Puede reducir el apetito y la grasa corporal mientras beneficia el control glucémico. Fortalece el sistema inmunológico.
Lactoperoxidasas	0.5–1%	Tiene propiedades antibacterianas.

Fuente: tomado y adaptado al español de Leaf (27)

Las fuentes de proteína de alta calidad como el suero de leche son beneficiosas para acumular la proteína posprandial lo que incluye una mejor síntesis de proteína muscular, (62), además, esto puede inducir a un aumento en la tasa de síntesis de proteína muscular tanto en reposo como en respuesta al ejercicio de fuerza (63). La cantidad de proteína que se debe ingerir post actividad debe ser

entre 20 y 40 g, esta, lo ideal es que sea de alto valor biológico debe ser como lo es el suero de leche aislada, ya que conduce a mayores tasas de síntesis de proteína muscular que otras proteínas, adicional a esto, la proteína láctea después del entrenamiento actúa favorablemente sobre la composición corporal y la fuerza muscular (64). Una de las ventajas es que la proteína se suero de leche tiene todos los aminoácidos esenciales y dosis altas de aquellos que habitan en la masa muscular (ver Imagen).

Figura 7. *Aminoácidos esenciales en alimentos de origen animal y no animal*



Nota. *La franja azul indica los aminoácidos que se encuentran en la masa muscular, las rojas los aminoácidos que aportas las proteínas de origen animal y las verdes las proteínas de origen vegetal. *Fuente: tomado de Leaf, Alex* (27)

Aunado a lo anterior, la proteína de suero es rica en aminoácidos de cadena ramifica entre ellos la leucina, siendo esta la que inicia el proceso de síntesis de proteínas puedo que reduce la pérdida de nitrógeno urinaria afectando positivamente el anabolismo (65). Con relación a la ingesta, aunque el consumo de este tipo de proteína puede realizarse en cualquier momento del día, si es importante que post actividad no se deje pasar más de dos horas al terminar la sesión (66), Además, se ha informado que 20 g de proteína de suero consumidos cada 3 h son superiores a una ingesta más frecuente cada 1,5 h o menos frecuente, es decir cada 6 h, para estimular la síntesis de proteína muscular a lo largo del día (67).

Creatina: es un compuesto orgánico que se sintetiza en pequeñas cantidades en el cuerpo a partir de los aminoácidos arginina, metionina y glicina, (12), dentro de las funciones principales de ella se encuentran:

- Realizar re-síntesis de ATP (la molécula que da energía)
- Activas vías de señalización anabólicas
- Mejora la recuperación entre series durante el entrenamiento
- Incrementa significativamente la fuerza
- Ahorra energía e incrementa el glucógeno muscular
- Mantiene la célula hidratada
- Excelente como coadyuvante para la ganancia de peso y mejora muscular
- Aumenta la vía MAPK (proteína kinasa activada por mitógenos), e inhibe la AMPK (proteína kinasa activada por AMP), es decir, mejora los procesos anabólicos y ayuda a inhibir los catabólicos.
- Cardioprotector, ya que puede disminuir la homocisteína por consumo exógeno
- Mejora los procesos de recuperación, puesto que ayuda a la disminución de CK (-19%), prostaglandina (-61%) y factor de necrosis tumoral (TNF) y < lactato deshidrogenasa (LDH), en comparación con controles.
- Es neuroprotector. No disminuye ni cura, pero ayuda a mantener una mejor salud neuronal en personas que padecen enfermedades neurodegenerativas.

Adicional y ya relacionándolo exclusivamente con las lesiones, la cretina tiene la capacidad de, aumentar la creatina muscular puede tener un efecto positivo en la rehabilitación de lesiones deportivas, (68), tiene funciones terapéuticas en algunas enfermedades crónicas y traumáticas como lesiones agudas, lesión de la médula espinal, distrofia muscular, atrofia, entre otras, (69), igualmente se han visto efectos positivos de la suplementación con creatina durante períodos de inmovilización, (70) como lo son el mantenimiento de la masa muscular, mejora de la fuerza, un buen trabajo de los GLUT-4 que pueden dar como resultado un aumento del glucógeno muscular y estimulo de factores de crecimiento muscular, (70).

En la actualidad existen muchos tipos de creatina, no obstante, el de mayor evidencia científica es el monohidrato de creatina, (71). Con relación a las dosis,

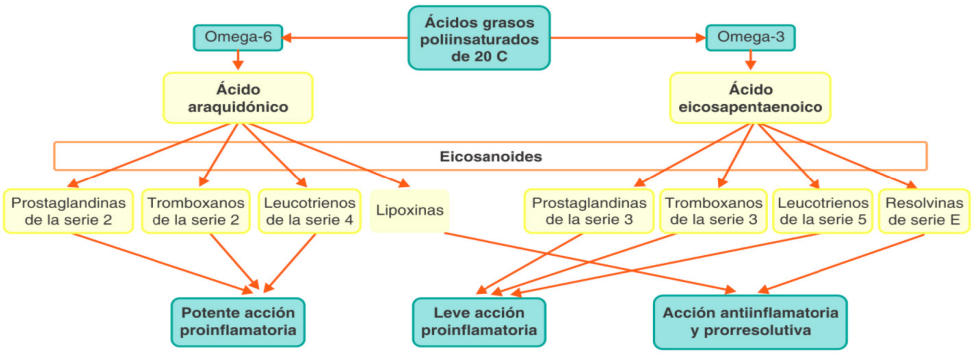
la *International Society of Sports Nutrition*, (72), deja claro que se pueden ingerir de 3 a 5 gramos al día o si se desea hacer la carga de 20 a 25 g/día y después consumir 5 g, con las dos se obtienen beneficios en lo que respecta a la parte muscular y salud. Algo importante de la creatina es que debe tomarse todos los días se entrenó o no se realice ninguna práctica, ya que esta actúa es por acumulación y su efecto no es inmediato sino a mediano y largo plazo, (73)

Ácidos grasos omega 3 (N-3): dentro de suplementos enfocados a la disminución de la inflamación, este suplemento tiene beneficios importantes, ya tiene la capacidad de producir resolvinas y protectinas (ver Imagen), las cuales son antiinflamatorias a diferencia de los omega 6 que estimulan la inflamación (74). Algo interesante con este tipo de suplementos es que además de lo descrito también pueden mejorar la síntesis de proteínas, (75), ya que pueden estimular vías de señalización intracelular. Tanto en estudios in vivo como in vitro, se evidencia un impacto positivo en el mantenimiento del músculo y síntesis de proteínas, no solo en personas con alguna patología, sino también en sujetos jóvenes y mayores que consumen 4 g de este suplemento durante 8 semanas, (76, 77).

Es de resaltar que los ácidos grasos saturados se encuentran principalmente en los alimentos provenientes de animales, mientras que las mono-insaturadas se hallan en el aceite de oliva, cacao, frutos secos y aguacate principalmente. Por último, las poli-insaturadas en especial el omega 3 está en los peces de mar, mientras que el 6 en los aceites vegetales, así mismo, estos últimos (3 y 6) se conocen como ácidos grasos esenciales ya que el cuerpo no tiene las enzimas necesarias para producirlas. (39).

Los N-3 tiene la capacidad de atenuar la pérdida de fuerza muscular, disminuir los marcadores sanguíneos inflamatorios como TNF-α, y marcadores de daño muscular, como mioglobina, creatina quinasa y troponina I lenta del músculo esquelético, (78), Además, el Docosahexaenoico parece aumentar la oxidación de lípidos y mejora la sensibilidad a la insulina en el músculo esquelético y puede estimular la capacidad glucolítica en los miocitos, (75).

Figura 8. *Ácidos grasos y procesos inflamatorios*



Fuente: *Tomada de Wensing AGCL. (79)*

Con relación al daño del cartílago y dolor articular, el cual es muy común en deportistas en especial donde el impacto es constante como el futbol, baloncesto, BMX entre otros, el consumo de N-3 puede tener efectos positivos, ya que 3 g/día puede reducir la incidencia en un 69% al 93% de la aparición de la artritis y puede retrasar la aparición de esta de 25 días a 34 días, (80).

Igualmente al ser los N-3 un suplemento de grasa se debe prestar atención en su consumo, puesto que dosis altas o muy prolongadas puede aumentar la producción de tromboxano A_3, el cual es un activador de plaquetario menos potente que el tromboxano A 2, por tal motivo, puede afectar la activación plaquetaria debido a los diferentes eicosanoides producidos, lo que conduce a un efecto antitrombótico que causa efectos perjudiciales para la cicatrización de heridas, (81), no obstante el efecto sobre la cicatrización de heridas probablemente depende de la cantidad y la duración de la suplementación, además de la gravedad de la herida. Otro efecto no deseado puede estar representado por la peroxidación lipídica, ya que los ácidos grasos de cadena larga, altamente insaturados, como el EPA y el DHA, se acumulan en las membranas celulares y tienen un alto riesgo de peroxidación, por tal motivo es bueno que se utilicen antioxidantes mientras se usen N-3. Con relación a las interacciones, la suplementación con N-3 sola, está contraindicada durante el tratamiento antiplaquetario y anticoagulante debido al efecto sinérgico sobre los tiempos de sangrado cuando se administran juntos, (82).

Cúrcuma: es una hierba perteneciente a la familia del jengibre, esta aporta curcumina y curcuminoides los cuales sirven para producir suplementos, los cuales tienen una potencia mayor que la misma cúrcuma. Sin embargo,

la curcumina ingerida por vía oral no se absorbe bien durante la digestión, (83) por lo que se han creado diversas formulaciones para mejorar su biodisponibilidad, (84). Algunas de ellas son: curcumina fitosomal, leche dorada de cúrcuma y cúrcuma blanca. La suplementación con curcumina reduce de manera confiable algunos marcadores de inflamación como proteína c reactiva, interleucina 6, factor de necrosis tumoral alfa e interleucina 8 (85) y puede aumentar los niveles de antioxidantes endógenos en el cuerpo (86), (87), sin embargo, la curcumina tiene un efecto mínimo en los marcadores de inflamación en personas con enfermedades inflamatorias crónicas, (88). La dosis de la curcumina Los estudios han utilizado dosis diarias que van desde 300 mg a 4000 mg, dependiendo de la afección específica, (89). Como se describía este extracto por vía oral no se absorbe bien, para solucionar esto, se puede consumir con piperina (un extracto de pimienta negra) o combinarla con lípidos como BCM-95 ® o Meriva ®. Si la curcumina se toma con piperina, se debe tomar 500 mg de curcumina con 5–6,7 mg de piperina tres veces al día para una dosis total de 1500 mg de curcumina y 15–20 mg de piperina por día. Para ingerir con BCM-95 ® (una combinación patentada de curcumina y aceites esenciales), se deben ingerir 500 mg dos veces al día para una dosis total de 1000 mg/día. Si la combinación es con Meriva ® (combinación patentada de curcumina y lecitina de soja), se deben tomar 200 a 500 mg dos veces al día para una dosis total de 400 a 1000 mg/día. La curcumina se vende en tabletas, cápsulas, geles blandos, polvo y gotas y generalmente se toma junto con la comida.

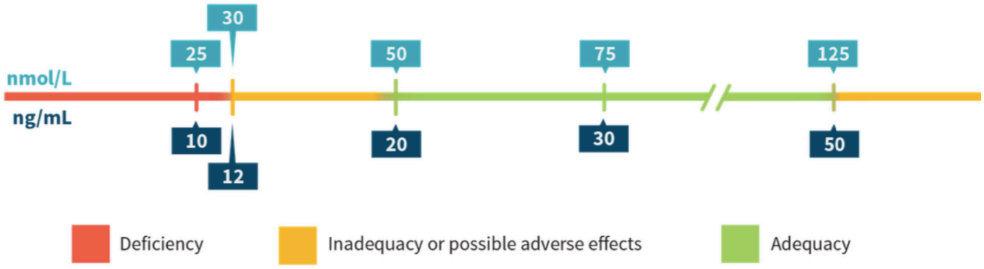
Vitamina D: este suplemento se ha popularizado principalmente por los efectos que posee con el metabolismo óseo, pero realmente tiene acciones en células y tejidos en todo el cuerpo, lo cual puede afectar una amplia gama de procesos fisiológicos. Los efectos adicionales de la vitamina D en el cuerpo incluyen, aunque no se limitan a los siguientes según Wang, Li y Meng (90):

- Efectos anticancerígenos (promoción de la muerte celular o supresión de la proliferación de células cancerosas)
- Desarrollo cerebral
- Diferenciación celular
- Efectos antiinflamatorios
- Efectos antioxidantes
- Efectos antibacterianos (a través de los efectos de la vitamina D sobre las células inmunes y su promoción de la expresión de genes que codifican péptidos antimicrobianos)

- Protección de los vasos sanguíneos
- Salud del sistema nervioso
- Regulación del calcio.

Ahora bien, al ser una vitamina liposoluble, se debe tener cuidado en no caer en un exceso al ingerirla, ya que puede a diferencia de las hidrosolubles, esta necesita de la grasa y no es fácil para el cuerpo eliminar sus excesos, por tal motivo, después de una lesión y en procesos de recuperación de estas, es ideal hacerse un examen de sangre para conocer cómo se encuentra el atleta y ya decidir si se debe suplementar o no.

Figura 9. *Concentraciones séricas de vitamina D*



Fuente: Tomado de Gelse et al. (91)

La vitamina D se establece en <80 nmol/L, mientras que su deficiencia es <50 nmol/L. También se ha documentado que la suplementación con 800 UI de vitamina D3 además de 2 g/día de calcio puede reducir las fracturas por estrés en mujeres en un 20%.

Colágeno: El colágeno es la proteína estructural más abundante en el cuerpo humano. Esta proteína ayuda a determinar la estructura de la piel, los tejidos conectivos, los huesos, los tendones y el cartílago (92), (93). Hasta ahora, se han clasificado 29 tipos de proteínas de colágeno (94). La propiedad más importante es la resistencia mecánica superior a la media, que resulta directamente de la estructura espacial. El colágeno es un material de construcción para la mayoría de los tejidos y órganos, También desempeña un papel importante en el proceso de crecimiento y diferenciación celular, que resulta de la estructura específica de las fibras de colágeno, así como de su capacidad para adherirse (94). Es posible que tomar colágeno pueda ayudar a reparar el cartílago, hipótesis planteada en varios estudios preclínicos (95). El problema con este suplemento y su utilización es que las investigaciones realizadas con las mejores metodologías

y disminución de sesgos han sido financiadas por la misma industria que vende dicho suplemento, (96). La dosis más efectiva de colágeno aún no está clara, pero los estudios indica que utilizar 10 gramos de colágeno hidrolizado o 40 mg de colágeno tipo II no desnaturalizado (UCP-II), puede tener efectos positivos, adicional a esto, los atletas que toman colágeno para prevenir el dolor articular relacionado con la actividad pueden ver un beneficio moderado con 5 a 10 gramos/día, no obstante, se necesita más investigación para ser precisos sobre la dosis óptima o para tener confianza en su utilidad en este caso, el colágeno parece ser seguro en dosis de hasta 10 gramos diarios durante 6 meses (En ocasiones se consume el postre de gelatina para ingerir colágeno, pero este tiene muy poco colágeno). (96). De igual forma, una de las preocupaciones por los investigadores, es que se ha demostrado que el colágeno (en dosis de alrededor de 10 gramos por día) aumenta los niveles de oxalato en la orina, probablemente porque el colágeno está compuesto aproximadamente por un 10 % de hidroxiprolina, y un metabolito importante de la hidroxiprolina es el oxalato. Como resultado, podrían aumentar el riesgo de cálculos renales a base de oxalato en personas susceptibles, (96).

Probióticos: el primer concepto nació en 1965 e indicaba que eran sustancias secretadas por los microorganismos que estimulaban el crecimiento de otros y haciendo referencia a la oposición de los antibióticos (97). Para la OMS, son **se** microorganismos vivos que cuando se administran en una proporción adecuada y constante, ofrecen un efecto beneficioso sobre la salud del huésped. Cuando se habla de un entorno médico, es importante describir que los antibióticos pueden causar un cambio negativo dentro de la flora gastrointestinal, lo que puede alterar un el metabolismo de los nutrientes (98) y es qui donde se hace importante que un deportista consuma este tipo de ayudas, puesto que muchas veces los atletas por orden médica deben ingerir fármacos que de forma indirecta afectan negativamente la micorbiota. El papel de los probiótico en la recuperación muscular, se relacionaa directaente con la interacción de los microorganismos con las células inmunes del tejido linfoide asociado al intestino, dando como respuesta la mejora en la eficiencia y los parámetros de permeabilidad intestinal. Adicional, es posible que de manera indirecta los probióticos puedan contribuir al proceso de reparación muscular, a través de la actividad de las células inmunes reduciendo el tiempo empleado en el proceso de reparación. (99). Para El consumo de probióticos en caso de lesión, no existe una norma clara de una dosis recomendada, claro está que, algunos estudios relacionados con deportistas fatigados se les han administrado Lactobacillus acidophilus en una dosis de 2 × 10 10 unidades formadoras de colonias (UFC)/ día, Bifidobacterium longum (2,0 × 10 8 UFC/día) para reducir los síntomas

respiratorios y la duración de la infección en jugadores de rugby, además se ha observado que microorganismos como Lactobacillus plantarum (10 7 UFC/día) se pueden ayudar para el incremento de la masa muscular y tiene un efecto antifatiga, (100). En el deporte y en la nutrición deportiva son los *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* los que más se recomiendan en dosis para atletas de ≥ 10 10 UFC, estos se pueden encontrar en alimentos fermentados, como el yogur y el kéfir y suplementos dietéticos.

Con relación a la interacción entre el ejercicio, suplementos y microbiota, Donati, et al., indican algunas ayudas que pueden tener buena sinergia entre estas tres variables y otras que carecen de evidencia, no obstante esta tabla no se debe confundir con suplementos que tienen muy buena evidencia científica en procesos de recuperación y en la performance deportiva como la proteína y creatina, entre otros, ya que como lo indican estos autores, la referencia indica es a la interacción entre ejercicio, suplementos y microbiota, (101).

Figura 10. *Suplementos para utilizar de forma conjunta*

Evidencia contundente	Evidencia moderada o emergente	Falta de evidencia
• Antioxidantes (polifenoles) • Probióticos • Proteínas	• BCAA • L-glutamina • bicarbonato de sodio • Vitamina D • Omega -3 PUFas • Bebida deportiva con electrolitos CHO • L-carnitina • Cafeína	• Creatina • Taurina • Beta-Alanina • Jugo de remolacha • Colágeno • Glucosamina • Vitamina C

Fuente: tomada y adaptada al español de Sabrina et al. (101)

Conclusiones

- Un proceso de rehabilitación de un atleta se debe realizar con un trabajo inter y transdisciplinar, ya que cada profesional como le médico especialista, el fisioterapeuta el readaptador y el nutricionista cumplen funciones importantes en cada una de las lesiones.
- El conocer las calorías que necesita el deportista y su distribución es de gran importancia, ya que en algunas ocasiones se cae en el error de disminuir bastantes los carbohidratos buscando que el atleta no aumente masa grasa, pero se corre el riesgo de disminuir síntesis de proteínas significativamente evitando la ganancia de masa muscular.

- La cantidad de proteína que requiere una persona en los procesos de rehabilitación puede llegar a ser superior con relación a otros momentos, en especial antes y/o después de la sesión de trabajo.
- Las grasas y en especial los ácidos grasos esenciales y más puntualmente el omega 3, juegan un rol importante en la inflamación, ya que la puede disminuir.
- Es de gran valor saber de forma sencilla como manejar la hidratación de los deportistas, ya que niveles de deshidratación por encima del 2% pueden llevar a una mala toma de decisiones e incluso a fatigas que pueden terminar en lesiones en especial musculares.
- Los suplementos serán siempre de gran ayuda, sin embargo, estos juegan un papel de "aditivo" a cada fase, ya que lo primordial siempre será la alimentación y quien dirija cada una de las etapas de la rehabilitación, no obstante, existen ayudas que realmente funcionan como las descritas en el capítulo.

Referencias

1. Mata O F, Novella M. Nutrición en la prevención y la recuperación de lesiones deortivas. In Gross M. Nutrición deportiva. Desde la Fisiología a la práctica. Madrid: Panamericana; 2021.
2. NSC. Injury facs. [Online].; 2022. Available from: https://injuryfacts.nsc.org/home-and-community/safety-topics/sports-and-recreational-injuries/.
3. Yardi S. MarketUS. [Online].; 2024. Available from: https://media.market.us/sport-medicine-statistics/.
4. Brown L, Tarnowski C, Randell R, Carter J, Rollo I, Lizarraga T, et al. Nutrición deportiva. Kit de herramientas. Barcelona:; 2021. https://es.scribd.com/document/715491171/Herramientas-GSSI-FCB
5. Velasquez de Correa G. Fundamentos de alimentación saludable Medellin: Universidad de Antioquia; 2006.
6. Blasco Redondo R. Gasto energético en reposo. Métodos de evaluación y aplicaciones. Rev Esp Nutr Comunitaria. 2015;: p. 243-251. https://doi.org/10.14642/RENC.2015.21.sup1.5071
7. Gonzalez Gross M. Nutrición deportiva, desde la fisiología a la práctica Madrid : Panamericana médica; 2021.

8. MiradorSalud. Hallazgos interesantes sobre nuestro gasto energético [Internet]. 2021 Sep 21 [cited 2025 Mar 9]. Available from: https://miradorsalud.com/hallazgos-interesantes-sobre-nuestro-gasto-energetico/.

9. Von Loeffelholz C. The role of non-exercise activity thermogenesis in human obesity. Endotexto. 2014. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279077/

10. Barele A. Conceptos básicos sobre nutrición humana y deporte. Argentina:; 2008.

11. Smith-Ryan A, Hirsch K, Saylor H, Gould L, Blue M. Nutritional Considerations and Strategies to Facilitate Injury Recovery and Rehabilitation. J Athl Train. 2020 Septiembre 1; 55 (9): p. 918-930. doi: 10.4085/1062-6050-550-19

12. García Luna PP, Pérez de la Cruz AJ. Nutrientes específicos. Hacia una nutrición clínica individualizada Madrid: Aula médica, información en salud; 2013. Disponible en https://www.chospab.es/biblioteca/libros/nutrientes_especificos.pdf

13. Gómez MJ, Moreno Dominguez O, González Madroño A, Gómez Candela C. Hidratos de carbono: suplementación y ayudas ergogénicas. In Cross MG. Nutricion deportiva, desde la fisiología a la práctica.: Panamericana; 2020.

14. Gonzales Gross M, Aparicio Urraziga R, Fuentes Jiménez F. Vitaminas, suplementación yayuda ergogénica. In Marcela GG. Nutrición deportiva, desde la fisiología a la práctica. Madrid: Panamericana médica; 2021.

15. Hall JE. Guyton y Hall. Tratado de fisiología médica [Internet]. 14.ª ed. Barcelona: Elsevier; 2021 [citado 2026 Jul 19]. Disponible en: Elsevier Inspection Copy

16. López Chicharro J, Fernández Vaquero A. Metabolismo y sistemas básicos de energía. In Cross MG. Nutrición Deportiva. Desde la fisiología a la práctica. Madrid: Panamericana médica; 2020.

17. Zoladz. Muscle and Exercise Physiology Cambridge: Academic Press is an imprint of Elsevier; 2019. Disponible en https://shop.elsevier.com/books/muscle-and-exercise-physiology/zoladz/978-0-12-814593-7

18. Schlabach G. Carbohydrate strategies for injury prevention. J Athl Train. 1994 Septiembre 29. Disponible en https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1317793/

19. Papadopoulou SK. Rehabilitation Nutrition for Injury Recovery of Athletes: The Role of Macronutrient Intake. nutrients. 2020; p. 1-17. doi: 10.3390/nu12082449

20. Demling R. Nutrition, anabolism, and the wound healing process: an overview. Eplasty. 2009 Febrero 3. Disponible en https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2642618/

21. Thomas D, Erdman K, Burke L. American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and Athletic Performance. Med Sci Sports Exerc. 2016 Marzo; 48 (3): p. 543-568. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000852

22. Bonilla Ocampo D. G-SE. [Online].; 2016. Available from: https://g-se.com/consideraciones-metabolicas-de-las-proteinas-bp-n57cfb26dde6c6.

23. García Luna PP, López Gallardo G. Evaluación de la absorción y metabolismo intestinal. Nutr Hosp. 2007;22(Supl 2):5-13 [Internet]. [citado 2026 Jul 19]. Disponible en: https://scielo.isciii.es/pdf/nh/v22s2/fisiologia1.pdf

24. Baskin K, Taegtmeyer H. Taking pressure off the heart: the ins and outs of atrophic remodelling. Cardiovasc Res. 2011. doi: 10.1093/cvr/cvr060

25. Álvarez L, Iglesias. I. Avances en Alimentación y Nutrición. Biblioteca Fundación Universitaria Iberoamericana. 2004. Disponible en https://nutricion.org/wp-content/uploads/2019/04/AVANCES-ALIMENTACION-2012.pdf

26. Leaf A. The Definitive Guide to Whey Protein. Examine; 2018. Disponible en https://examine.com/guides/protein-intake/?srsltid=AfmBOooMGnqdMwj-Uq1RaWgSMUZpTaZFmf_vcpDgxfQzvoZxgZnqvlB-

27. Examine. Optimal Protein Intake Guide & Calculator [Internet]. Solana Beach (CA): Examine.com; [citado 2026 Jul 19]. Disponible en: https://examine.com/guides/protein-intake/

28. MacLaren D, Morton J. Biochemistry for Sport and Exercise Metabolism Oxford: Wiley-Blackwell; 2024. https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-24683216-0377c3eb6f.pdf

29. Wall B, Morton J, van Loon L. Strategies to maintain skeletal muscle mass in the injured athlete: nutritional considerations and exercise mimetics. Eur J Sport Sci. 2015; 15 (1): p. 53-62. DOI: 10.1080/17461391.2014.936326

30. Phillips S, Van Loon L. Dietary protein for athletes: from requirements to optimum adaptation. J Sports Sci. 2011; 29 (1): p. 29-38. DOI: 10.1080/02640414.2011.619204

31. Hortobágyi T, Dempsey L, Fraser D, Zheng D, Hamilton G, Lambert J, et al. Changes in muscle strength, muscle fibre size and myofibrillar gene expression after immobilization and retraining in humans. J Physiol. 2000 abril 1; p. 293-304. DOI: 10.1111/j.1469-7793.2000.00293.x

32. Mendias C, Lynch E, Davis M, Sibilsky Enselman E, Harning J, Dewolf P, et al. Changes in circulating biomarkers of muscle atrophy, inflammation, and cartilage turnover in patients undergoing anterior cruciate ligament reconstruction and rehabilitation. Am J Sports Med. 2013 Agosot; 41 (8): p. 1819-1826. DOI: 10.1177/0363546513490651

33. Izquierdo Redín, González-Badillo JJ, Ibáñez Santos, Alonso Martínez, Gorostiaga Ayestarán EM. Entrenamiento de fuerza: adaptaciones neuromusculares y hormonales. In Lopez Chicharro J. Fisiología del ejercicio. Madrid: Panamericana; 2019. p. 168. Disponible en https://es.scribd.com/document/567342526/ADADTACIONES-NEUROMUSCULARES-Y-HORMONALES-DEL-ENTRENAMIENTO-DE-FUERZA

34. Tipton KD. Nutritional Support for Exercise-Induced Injuries. Sports Med. 2015; 45 (1): p. 93-104. DOI: 10.1007/s40279-015-0398-4

35. Kerksick CM, Arent S, Schoenfeld BJ, Stout JR, Campbell B, Wilborn CD, et al. International society of sports nutrition position stand: nutrient timing. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2017; 14 (33): p. 1-21. https://doi.org/10.1186/s12970-017-0189-4

36. Areta JL, Burke LM, Ross ML, Camera DM, West DW, Broad EM, et al. Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. The Journal of Physiology. 2013 Marzo 05; 591 (9): p. 1-13. doi: 10.1113/jphysiol.2012.244897

37. Cabezas Sabana C, Hernández Torres B, Vargas Zarate M. Aceites y grasas: efectos en la salud y regulación mundial. Rev. Fac. Med. 2016; p. 761-768. DOI: http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v64n4.53684

38. Kathleen Mahan, Escott-Stump S, Raymond, JL. Dietoterapia: ELSIVIER; 2013. Disponible en https://www.academia.edu/44464991/Krause_Dietoterapia_14_a_EDICI%C3%93N

39. Nieschlag E, Behre H, Nieschlag S. Testosterone Action, Deficiency, Substitution Cambridge: Cambridge University Press; 2004.

40. Dussaillan C, Echeverría G, Rozowsk J, Velasco N, Arteaga A, Rigotti A. Consumo de huevo y enfermedad cardiovascular: una revisión de la literatura científica. Nutrición Hospitalaria. 2017. https://dx.doi.org/10.20960/nh.473

41. García Luna PP, Pérez de la Cruz AJ. Nutrientes específicos, Hacia una nutrición clínica individualizada Madrid: Aula médica; 2013. Disponible en https://www.chospab.es/biblioteca/libros/nutrientes_especificos.pdf

42. Aragon, Schoenfeld. Nutrient timing revisited: is there a post-exercise anabolic window? Journal of the International Society of Sports Nutrition volume. 2013; 10 (5): p. 2-11. https://doi.org/10.1186/1550-2783-10-5

43. Melin A, Spanoudaki MJ, Rikardt Andersen J, Papadopoulo S. Nutrition Needs During Recovery Following Athletic Injury. Sports Injuries. 2024 abril 30. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36801-1_304-2

44. Elena QA, Janeth GB, Maritza DC, Lucía QO, Mercedes M, Eduardo MF, et al. Lineamiento de política pública en ciencias del deporte en nutrición Bogotá: COLDEPORTES; 2016. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/328602944_LINEAMIENTOS_DE_POLITICA_PUBLICA_EN_CIENCIAS_DEL_DEPORTE_LINEA_TECNICA_METODOLOGICA_Coldeportes_Colombia

45. Gil MA. Manual de nutrición deportiva Badaloña: Paidotribo ; 2005.

46. Peralta CA. Fisiología de la Nutrición México: Mc Graw Hill; 2012. Disponible en https://politecnicometro.edu.co/wp-content/uploads/2021/10/Fisiologi%CC%81a-de-la-nutricio%CC%81n.pdf

47. Jiang Q. Natural forms of vitamin E: metabolism, antioxidant, and anti-inflammatory activities and their role in disease prevention and therapy. Free Radic Biol Med. 2014 Jul; 72:76-90. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2014.03.035. Epub 2014 Apr 3. PMID: 24704972; PMCID: PMC4120831.

48. Quinchia Castro A, González Pulido B, Díaz Torres C, Quiroz Bastidas O, Mora Plazas M, Marino Isaza F, et al. Lineamientos de Política Pública en Ciencias del Deporte en Nutrición Coldeportes, editor. Bogotá: Coldeportes; 2016. Disponible en https://es.scribd.com/document/410216299/LINEAMIENTO-NUTRICION-DEPORTIVA-PDF-2016-pdf

49. Palma Pulido LH, Portela J, Lerma R, Mendez C, Bonilla D. Descriptive analysis of the water balance in swimmers of the club orcas Tuluá. Wseas Transactions on Environment and Development. 2018;: p. 619-629. Disponible en https://wseas.com/journals/ead/2018/b305915-096.pdf

50. Geers AB, Bohn D. Body fluids and salt metabolism – Part I. Ital J Pediatr. 2009; 35:36. doi:10.1186/1824-7288-35-36.

51. López Chicharro J. físico, Estrés térmico y ejercicio. In López Chicharro J, Fernández Vaquero A. Fisiología del ejercicio. Madrid: Panamericana; 2019.

52. Palacio Lacambra ME, Sabin Urkia P. Hidratación y rendimiento físico. Barcelona: 2015.

53. Fernández V, Mora R, González M. El agua y la hidratación en el deporte. In M G. Nutrición deportiva de la fisiología a la práctica. Barcelona: Panamericana; 2020.

54. Casa D, Armstrong L, Hillman S, Montain S, Reiff RV, Rich B, et al. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes. Journal of Athletic Training. 2000; p. 212-224. Disponible en https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1323420/pdf/jathtrain00002-0094.pdf

55. Morente A, LLorente F. Hidratación y deshidratación en la actividad física sevilla: Wanceulen; 2020.

56. Urdampilleta A, Gómez-Zorita S, Soriano JM, Martínez-Sanz JM, Medina , Gil-Izquierdo. Hydration and chemical ingredients in sport drinks: food safety in the European context. Nutr Hosp. 2015; p. 1889-1899. DOI: 10.3305/nh.2015.31.5.7867

57. Maughan Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J, Larson-Meyer DE, Peeling P, Phillips SM, Rawson ES, Walsh NP, Garthe I, Geyer H, Meeusen R, van Loon LJC, Shirreffs SM, Spriet LL, Stuart M, Vernec A, Currell K, Ali VM, Budgett RG, Ljungqvist A, Mountjoy M, Pitsiladis YP, Soligard T, Erdener U, Engebretsen L. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. Br J Sports Med. 2018 Apr;52(7):439-455. doi: 10.1136/bjsports-2018-099027. Epub 2018 Mar 14. PMID: 29540367; PMCID: PMC5867441.

58. AIS. Australian Institute of Sport. [Online].; 2022. Available from: https://www.ais.gov.au/nutrition/supplements.

59. Department of Nutrition and Food Sciences. Whey Protein Production, Chemistry, Functionality, and Applications Guo M, editor. Burlington: Wiley; 2019. Disponible en https://www.wiley.com/en-us/Whey+Protein+Production%2C+Chemistry%2C+Functionality%2C+and+Applications-p-9781119256021

60. Marshall K. Therapeutic Applications of Whey Protein. Alternative Medicine Review. 2004; 9 (2): p. 136-156. Disponible en https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15253675/

61. Quintero KJ, de Sá Resende A, Fogaça Leite GS, Lancha Junior AH. An overview of nutritional strategies for recovery process in sports-related muscle injuries. Nutrire. 2018; 43 (27). DOI: 10.1186/s41110-018-0084-z

62. Nicholas A B, Yang Y, Moore, Tang JE, Tarnopolsky M, Phillips S. Greater stimulation of myofibrillar protein synthesis with ingestion of whey protein isolate v. micellar casein at rest and after resistance exercise in elderly men. British Journal of Nutrition. 2012 enero; 108 (6) DOI: 10.1017/S0007114511006271

63. Hartman J, Tang J, Wilkinson S, Tarnopolsky M, Lawrence R, Fullerton A, et al. Consumption of fat-free fluid milk after resistance exercise promotes greater lean mass accretion than does consumption of soy or carbohydrate in young, novice, male weightlifters. The American Journal of Clinical Nutrition. 2007; 86 (2): p. 373-381. DOI: 10.1093/ajcn/86.2.373

64. Rittig N, Bach E, Thomsen H, Møller A, Hansen J, Johannsen M, et al. Anabolic effects of leucine-rich whey protein, carbohydrate, and soy protein with and without β-hydroxy-β-methylbutyrate (HMB) during fasting-induced catabolism: A human randomized crossover trial. Clinical Nutrition. 2017 Junio; 36 (3): p. 697-715. DOI: 10.1016/j.clnu.2016.05.004

65. Helms E, Aragon A, Fitsche P. Evidence-based recommendations for natural bodybuilding contest preparation: nutrition and supplementation. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2014; 11 (20): p. 1-20. https://doi.org/10.1186/1550-2783-11-20

66. Areta J, Burke L, Camera D, West D, Crawshay S, Moore D, et al. Reduced resting skeletal muscle protein synthesis is rescued by resistance exercise and protein ingestion following short-term energy deficit. Endocrinology and metabolims. 2014 marzo 4; 306: p. 989-998. DOI: 10.1152/ajpendo.00590.2013

67. Giraldo-Vallejo JE, Cardona-Guzmán MÁ, Rodríguez-Alcivar EJ, Kočí, Petro JL, Kreider RB, et al. Nutritional Strategies in the Rehabilitation of Musculoskeletal Injuries in Athletes: A Systematic Integrative Review. Nutrients. 2023; 15 (4). DOI: 10.3390/nu15040819

68. Marshall RP, Droste JN, Giessing , Kreider RB. Role of Creatine Supplementation in Conditions Involving Mitochondrial Dysfunction: A Narrative Review. Nutrients. 2022; 14 (3). DOI: 10.3390/nu14030529

69. Souza Padilha C, Sanches Cella P, Rodrigues Salles , Deminice R. Oral creatine supplementation attenuates muscle loss caused by limb immobilization: a systematic review. Fisioter Mov. 2017 Octubre; 30 (4): p. 831-838. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1980-5918.030.004.AR01

70. Kreider RB, Jäger R, Purpura M. Bioavailability, Efficacy, Safety, and Regulatory Status of Creatine and Related Compounds: A Critical Review. Nutrients. 2022; 14. DOI: 10.3390/nu14051035

71. Jose A, Candow DG, Forbes SC, Gualano B, Jagim AR, Kreider RB, et al. Common questions and misconceptions about creatine supplementation: what does the scientific evidence really show? Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2021; 18 (13). https://doi.org/10.1186/s12970-021-00412-w

72. Muccini AM, Tran NT, de Guingand DL, Philip M, Della Gatta PA, Galinsky R, et al. Creatine Metabolism in Female Reproduction, Pregnancy and Newborn Health. nutrients. 2021 febrero; 13. DOI: 10.3390/nu13020490

73. García Luna PP, Pérez de la Cruz AJ. Nutrientes específicos. Hacia una nutrición clínica individualizada Madrid: Aulamedica; 2013. Disponible en https://www.chospab.es/biblioteca/libros/nutrientes_especificos.pdf

74. Gammone MA, Riccioni G, Parrinello G, D'Orazio. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids: Benefits and Endpoints in Sport. Nutrients. 2019; 11 (46). DOI: 10.3390/nu11010046

75. Gingras A, White P, Chouinard P, Julien P, Davis T, Dombrowski L, et al. Long-chain omega-3 fatty acids regulate bovine whole-body protein metabolism by promoting muscle insulin signalling to the Akt-mTOR-S6K1 pathway and insulin sensitivity. J Physiol. 2007 febrero 15. DOI: 10.1113/jphysiol.2006.121079

76. Gordon S, Atherton P, Reeds D, Mohammed S, Rankin D, Renn M, et al. Omega-3 polyunsaturated fatty acids augment the muscle protein ana-

bolic response to hyperinsulinaemia–hyperaminoacidaemia in healthy young and middle-aged men and women. Clinical Science. 2011 septiembre; 121 (6). DOI: 10.1042/CS20100597

77. Mickleborough TD, Sinex JA, Platt D, Chapman RF, Hirt M. The effects PCSO-524®, a patented marine oil lipid and omega-3 PUFA blend derived from the New Zealand green lipped mussel (Perna canaliculus), on indirect markers of muscle damage and inflammation after muscle damaging exercise in untrained men: a random. Journal of the International Society of Sports Nutrition. 2015; 12 (1). DOI: 10.1186/s12970-015-0073-z

78. Smith GI, Atherton P, Reeds DN, Mohammed BS, Rankin D, Rennie MJ, Mittendorfer B. Dietary omega-3 fatty acid supplementation increases the rate of muscle protein synthesis in older adults: a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr*. 2011;93(2):402-412. doi:10.3945/ajcn.110.005611.

79. Leslie CA, Gonnerman WA, Ullman MD, Hayes KC, Franzblau, Cathcart ES. Dietary fish oil modulates macrophage fatty acids and decreases arthritis susceptibility in mice. J Exp Med. 1985; 162 (4): p. 1336–1349. DOI: 10.1084/jem.162.4.1336

80. Wensing AGCL, Mensink RP, Hornstra. Effects of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids from plant and marine origin on platelet aggregation in healthy elderly subjects. British Journal of Nutrition (1999); 82: p. 183-191. PMID: 10655965. Disponible en https://www.cambridge.org/core/journals/british-journal-of-nutrition/article/effects-of-dietary-n3-polyunsaturated-fatty-acids-from-plant-and-marine-origin-on-platelet-aggregation-in-healthy-elderly-subjects/8DBAB9C2AE95CB69412C6ABA2D90ABB7

81. Harris WS, Silveira S, Dujovne C. The combined effects of N-3 fatty acids and aspirin on hemostatic parameters in man. Thrombosis Research. 1990; 57 (4): p. 517-526. DOI: 10.1016/0049-3848 (90)90069-o

82. Anand P, Kunnumakkara A, Newman R, Aggarwal B. Bioavailability of curcumin: problems and promises. Mol Pharm. 2007 noviembre; 4 (6). DOI: 10.1021/mp700113r

83. Jamwal R. Bioavailable curcumin formulations: A review of pharmacokinetic studies in healthy volunteers. J Integr Med. 2018 noviembre; 16 (6): p. 367-374. DOI: 10.1016/j.joim.2018.07.001

84. Ferguson J, Abbott K, Garg M. Anti-inflammatory effects of oral supplementation with curcumin: a systematic review and meta-analysis of

randomized controlled trials. Nutr Rev. 2021 agosto; 79 (9): p. 1043-1066. DOI: 10.1093/nutrit/nuaa114

85. Alizadeh M, Kheirouri S. Curcumin reduces malondialdehyde and improves antioxidants in humans with diseased conditions: a comprehensive meta-analysis of randomized controlled trials. Biomedicine (Taipei). 2019 diciembre; 4 (23). DOI: 10.1051/bmdcn/2019090423

86. Jakubczyk K, Drużga A, Katarzyna J, Skonieczna-Żydecka K. Antioxidant Potential of Curcumin-A Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials. Antioxidants (Basel). 2020 Noviembre; 9 (11). DOI: 10.3390/antiox9111092

87. White C, Pasupuleti V, Roman Y, Li Y, Hernandez A. Oral turmeric/curcumin effects on inflammatory markers in chronic inflammatory diseases: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Pharmacol Res. 2019 agosto; 14 (6). DOI: 10.1016/j.phrs.2019.104280

88. Tabrizi R, Vakili S, Akbari M, Mirhosseini N, Lankarani K, Rahimi M, et al. The effects of curcumin-containing supplements on biomarkers of inflammation and oxidative stress: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Phytother Res. 2019 febrero; 33 (2): p. 253-262. DOI: 10.1002/ptr.6226

89. Wang W, Li Y, Meng X. Vitamin D and neurodegenerative diseases. Heliyon. 2023 enero; 12 (9). DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e12877

90. Hull M, Brown W, Sicart PA. Healthy Aging Supplement Guide. Canada: Examine; 2020. Disponible en https://examine.com/guides/healthy-aging/?srsltid=AfmBOorIPlyG41Xe-dEc3xng19-UP7u2jKLaHrt-K7rLi4XTZRlUtcFt

91. Supriya S, Sanjay D, Shaleen C, Akansha S, Pradkshana V. Colágeno: un breve análisis. OMPJ. 2019; 10 (1): p. 11-17. DOI: 10.5005/jp-journals-10037-1143

92. Gelse, Poschl E, Aigner T. Collagens—structure, function, and biosynthesis. Science direct. 2003; 55: p. 1531–1546. DOI: 10.1016/j.addr.2003.08.002

93. Owczarzy A, Kurasiński R, Kulig K, Rogóż W, Szkudlarek A, Maciążek-Jurcz M. Collagen - structure, properties and application. Engineering of Biomaterials. 2020; p. 17-23. DOI: https://doi.org/10.34821/eng.biomat.156.2020.17-23

94. Bello A, Oesser S. Collagen hydrolysate for the treatment of osteoarthritis and other joint disorders: a review of the literature. Curr Med Res Opin. 2006 Noviembre; 22 (11): p. 2221-2232. DOI: 10.1185/030079906X148373

95. Antonis D, Gregas M, Brown W, Gregas M. Joint Health Supplement Guide. Examine; 2022. Disponible en https://examine.com/guides/joint-health/?srsltid=AfmBOoou_4oGqcECL7wWh3VDIXZDTPMrtadDbtcCis8rW-4fRkjsMERcs

96. Olveira Fuster G, González-Molero I. Probiotics and prebiotics in clinical practice. Nutr Hosp. 2007. 2007 7; 22 (7): p. 26-34. PMID: 17679291

97. Smith-Ryan AE, Hirsch KR, Saylor HE, Gould LM, Blue MNM. Nutritional Considerations and Strategies to Facilitate Injury Recovery and Rehabilitation. J Athl Train. 2020 septiembre 19; 55 (9). DOI: 10.4085/1062-6050-550-19

98. Quintero KJ, Resende AdS, Fogaça Leite, Lancha Junior A. An overview of nutritional strategies for recovery process in sports-related muscle injuries. Nutrire. 2018; 43 (27). https://doi.org/10.1186/s41110-018-0084-z

99. Coqueiro A, Oliveira Garcia A, Macedo Rogero M, Tirapegui J. Probiotic supplementation in sports and physical exercise: Does it present any ergogenic effect? Nutrition and Health. 2017 diciembre; 23 (4). DOI: 10.1177/0260106017721000

100. Sabrina Zeppa D, Agostini D, Gervasi M, Annibalini G, Amatori S, Ferrini F, et al. Mutual Interactions among Exercise, Sport Supplements and Microbiota. Nutrients. 2017 octubre; 12 (17). doi: 10.3390/nu12010017

CAPÍTULO 10

Elementos Para El Abordaje Integral Del Deportista Paralímpico

Elements for the Comprehensive Approach of the Paralympic Athlete

Olga Lucía Hincapié Gallón
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
https://orcid.org/0000-0003-0635-6510
olga.hincapie@endeporte.edu.co

Lina Marcela Tierradentro Gómez
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
https://orcid.org/0000-0003-0675-0569
linatierragomez@gmail.com

Resumen

La discapacidad evoluciona, y es relevante reconocer este proceso, dado que facilita comprender la actualidad del tema que convoca la escritura del presente capítulo. Para lo cual, se debe reconocer la individualidad y multidimensionalidad del ser humano, por lo que, es de valor reconocer que la generalidad tiene poca aplicabilidad cuando de abordajes en el componente paralímpico se escribe, por tal razón, el presente capítulo ahondará en el baloncesto en silla de ruedas. Esto dado a que, desde los inicios del deporte paralímpico, en los años 1945, cuando el Dr. Ludwig Guttman reconoce el uso del deporte como herramienta que favorece la rehabilitación de los soldados víctimas de la guerra, el mismo que en aras de darle mayor relevancia al deporte Paralímpico propone la posibilidad en 1960 de los primeros juegos paralímpicos en los tiempos de los juegos olímpicos, con esa mirada intencionada de igualar las condiciones con los deportistas no paralímpicos Todo esto explica como la Fisioterapia como parte del equipo interdisciplinar que promueve en el área deportiva la disminución de riesgos de lesión, facilita la potencialización

Cita este capítulo / *Cite this chapter*

Hincapié Gallón OL, Tierradentro Gómez LM. Elementos para el abordaje integral del deportista paralímpico. En: Calero Saa PA, editor. Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo III: rehabilitación y readaptación deportiva. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 427-458. https://doi.org/10.35985/9786287914179.10

de cualidades físicas para mejora del rendimiento, además de intervenir en procesos de lesión aguda y crónica en sus fases. Para lograrlo los Fisioterapeutas tiene como soportes teóricos la Clasificación Internacional de la Discapacidad y la Salud y la Asociación Americana de Fisioterapia (APTA), herramientas que permiten la evaluación e intervención con claridad en los elementos a considerar para el caso de deporte paralímpico muy especializado según deporte y discapacidad.

Palabras Clave: Paratletas, Especialidad de Fisioterapia, Silla de Ruedas

Abstract

Disability evolves, and it is important to recognize this process, as it facilitates understanding the current state of the topic addressed in this chapter. To this end, the individuality and multidimensionality of human beings must be acknowledged. Therefore, it is important to recognize that generalizations have little applicability when writing about approaches to the Paralympic component. For this reason, this chapter will delve into wheelchair basketball. This is because, since the beginnings of Paralympic sport, in 1945, when Dr. Ludwig Guttman recognized the use of sport as a tool that favors the rehabilitation of soldiers who were victims of war, he who, in order to give greater relevance to Paralympic sport, proposed the possibility of the first Paralympic Games in 1960 at the time of the Olympic Games, with that intentional view of equalizing conditions with non-Paralympic athletes. All this explains how Physiotherapy, as part of the interdisciplinary team that promotes the reduction of injury risks in the sports area, facilitates the potentialization of physical qualities to improve performance, in addition to intervening in acute and chronic injury processes in their phases. To achieve this, Physiotherapists have as theoretical supports the International Classification of Disability and Health and the American Physical Therapy Association (APTA), tools that allow for clear evaluation and intervention in the elements to be considered in the case of highly specialized Paralympic sport according to sport and disability.

***Keywords**: Para-Athletes, Return to Sport, Physical Therapy Specialty, Wheelchairs*

Introducción

La actualidad en el deporte, la actividad física y los juegos tienden, no solo a la potencialización de lo llamado convencional, sino, a la inclusión y posicionamiento del deporte practicado por personas con discapacidad, los cuales realizan ajustes para su práctica; lo que a su vez ha visibilizado diferencias en los abordajes en rehabilitación que sin dudas deben ser

integrales. Se reconoce entonces ampliamente la necesidad de evidenciar los elementos fundamentales para el abordaje del deportista paralímpico, haciendo posible una participación segura en el deporte practicado; reconociendo que para entenderla se requiere el reconocimiento de aspectos personales, pero también sociales.

La discapacidad es un fenómeno social que ha evolucionado en el tiempo, siendo el deporte paralímpico uno de los procesos que evoluciona con la misma Discapacidad; el deporte paralímpico, tiene sus inicios en el año 1945 cuando el Dr. Ludwig Guttman reconoce el deporte como una herramienta que favorece la rehabilitación de los soldados víctimas de la guerra, siendo el baloncesto, como otros, uno de los deportes escogidos para ser utilizado como favorecedor de los procesos de rehabilitación e inclusión, debido a los beneficios que este genera (1).

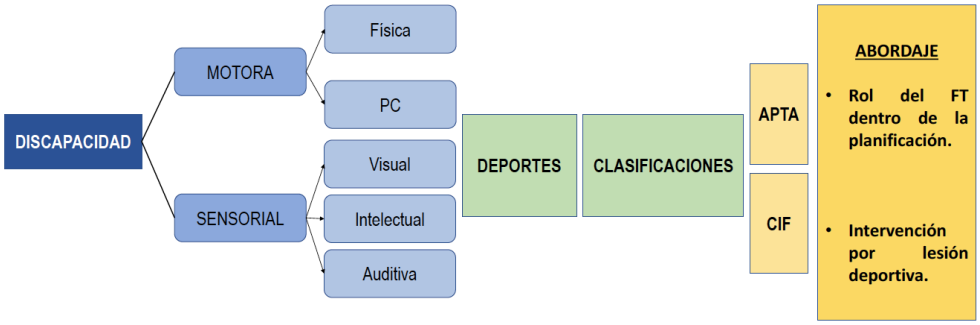
De acuerdo con la evolución del deporte para personas con discapacidad el Dr. Guttman en aras de darle mayor relevancia al deporte adaptado propone la posibilidad en 1960 de realizar los primeros Juegos Paralímpicos en los tiempos de los Juegos Olímpicos, con la mirada intencionada de igualar las condiciones de ambos, sin embargo, inició únicamente con equipos masculinos, para que así, en el año 1968 se vincularan mujeres. Todo este crecimiento se dio gracias a los avances tecnológicos debido a la revolución industrial que trajo evolución en diversas áreas, siendo una de ellas, el deporte (1).

En el mismo orden de ideas la Fisioterapia evoluciona con miras a aportar en diversas áreas dentro de las que se encuentra la deportiva en la cual el Fisioterapeuta cumple su rol y considera varias actividades, como las siguientes (2):

- Disminución riesgo de lesión
- Abordaje en etapa aguda
- Abordaje en las 4 etapas de procesos de recuperación
- Mejora de las capacidades
- Apoyo en promoción de la salud y vida
- Gestión de proyectos deportivos desde la Fisioterapia
- Generador, promotor y ejecutor de proyectos de investigación
- Educación de buenas practicas
- Uso de ayudas tecnológicas e innovación
- Facilitador y promotor de juego limpio y antidopaje

Dentro de las mismas en el deporte paralímpico implica la mirada de diversos aspectos los cuales se muestran de manera esquemática en el siguiente diagrama:

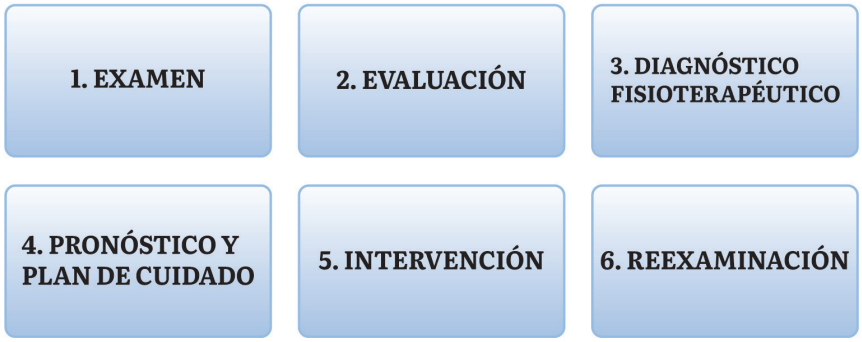
Figura 1. *Deporte paralímpico y discapacidad*



Para comprender de una manera práctica cada uno de los elementos explicados a profundidad tendrá como referente el Baloncesto en Silla de Ruedas, que como se mencionó, fue uno de los primeros deportes adaptados y con esto se convierte en uno de los más practicados por personas con discapacidad a nivel mundial, por lo tanto, reconocer las especificidades del deporte desde las adaptaciones tanto del deporte como de las reglas y la conceptualización de las clasificaciones funcionales que convierten a este deporte en uno de los más emblemáticos cuando hablamos de deporte paralímpico.

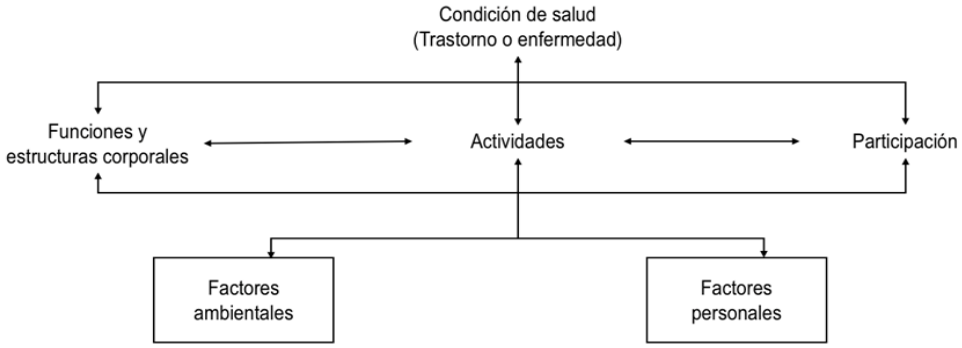
Entender cada uno de los componentes del deporte paralímpico requiere una mirada de los referentes teóricos los cuales se considerarán uno a uno de manera explicativa. En primer lugar se presenta el APTA considerada la guía de evaluación Fisioterapéutica la cual permite a los Fisioterapeutas formular de manera sistemática la evaluación, abordaje y seguimiento, para el deporte paralímpico la guía favorece la mirada multidimensional al deportista pero más allá se puede equiparar desde el modelo de riesgo de lesión dado que ofrece los elementos necesarios para lo comprensión de la condición del de deportista (3).

Figura 2. *Guía Práctica Asociación Americana de Fisioterapeutas* (APTA)



Por otra parte, nos encontramos con la CIF la cual es el referente protagonista dado que ofrece un lenguaje común, promueve reconocimiento de las personas como multidimensionales y como foco tiene la comprensión del funcionamiento, la discapacidad y la salud, lo que la constituyó como referente central de los manuales de clasificación funcional de los diferentes deportes paralímpicos.

Figura 3. *Guía metodológica para elaborar el diagnóstico fisioterapéutico según la Clasificación Internacional del Funcionamiento* (CIF), *de la discapacidad y de la salud* (4)



Como tercer elemento se encuentra la guía de clasificación de deportes paralímpicos el cual permite entender como cada deporte paralímpico tiene su propio manual de clasificación.

Guía Práctica para Fisioterapeutas de APTA

La Guía Práctica para Fisioterapeutas de la Asociación Americana de Fisioterapeutas (APTA) permite identificar aspectos específicos del deportista desde una mirada integral, proponiendo los siguientes pasos (5):

Examinación

Los primeros pasos del APTA invitan a hacer una anamnesis completa donde se reconocen dentro el mismo diagnóstico médico relacionado con el origen de la discapacidad, patología, deporte paralímpico de elección, tiempo de práctica, antecedentes de lesión deportiva o lesiones asociadas a predisposición por patología origen de la discapacidad, entre otros. Incluye la toma de historia del deportista, realización de pruebas para identificar trastornos ya existentes relacionados con el movimiento corporal humano (5).

Revisión por Sistemas

Se realiza un examen del estado anatómico y fisiológico de cada uno de los sistemas, además, se tiene en cuenta las habilidades comunicativas, cognición, lenguaje y formas de aprendizaje del deportista. Todas las anteriores teniendo presente la discapacidad presente, con todos los elementos que la acompañan como ser biopsicosocial.

En este paso se eligen los test y medidas, los cuales son los medios de recolección de datos del atleta que permite determinar las necesidades individuales, generando así hipótesis que deben ser profundizadas de manera que se comprenda de manera objetiva la condición del para atleta. Se debe realizar una toma de medidas individualizada y funcional de todos los deportistas con discapacidad, incluyendo tareas específicas del deporte (6).

El baloncesto en silla de ruedas sirve como marco para el presente capítulo, para comprender que, en el deporte paralímpico, cada deporte tiene sus especificidades dadas por la clasificación funcional, las cuales se mencionarán en el último apartado. Por tal motivo, en este deporte, reconocer medidas específicas según los sistemas involucrados favorecerá comprender mejor el riesgo de lesión.

Específicamente, en el baloncesto en silla de ruedas, según algunos artículos cuyo objetivo es reconocer las deficiencias más frecuentes, se encontró que se relacionan con estructuras del hombro, codo y muñeca (7). En esa misma línea, algunos autores se refieren a la importancia de evaluar los músculos con sus respectivos movimientos, especificando rotación interna, retracción y

elevación de escápula (8). Por otro lado, deportes como éste, que implican el uso de silla de ruedas, presentan ciertas incidencias en la aparición de lesiones en el miembro superior, a causa de movimientos repetitivos durante la propulsión, lanzamientos que superan una flexión de 90º, malas posturas, sobrecarga y/o situaciones traumáticas como choques y caídas (9).

Por otra parte, una examinación adecuada apoya los procesos de mejora del rendimiento, dado que, da luz de las capacidades presentes las cuales se pueden contrastar con las necesidades para el deporte, como lo es una buena resistencia cardiovascular, postura adecuada en la silla, para este caso, igual permite reconocer la necesidad de soportes para lograrla o en su defecto la remisión al especialista para revisión y posible cambio de silla. Además, la revisión por sistemas en baloncesto en silla de ruedas permite identificar el riesgo de lesiones por el uso prolongado de la silla, como lo son las ulceras por presión, infecciones urinarias que son las más frecuentes.

Es de considerarse en la revisión por sistemas:

Estructura

Resumen de la patología de base con sus estructuras en deficiencia, las cuales se revisan con el apoyo de ayudas diagnósticas según patología y lesiones existentes o latentes.

Las condiciones de salud que generalas la discapacidad son variadas a continuación algunos ejemplos:

- Trauma raquimedular
- Síndrome de Down
- Glaucoma
- Enfermedad Cerebro Vascular

Es de destacar que para baloncesto en silla el trauma raquimedular de diversos orígenes es una de las patologías más frecuentes que generan deficiencia relacionada con la disminución de potencia muscular, siendo uno de los criterios de elegibilidad para el deporte.

Otras consideraciones son las lesiones deportivas de las cuales existen una gran variedad se mencionan algunas relacionadas con deportes donde los miembros superiores son los más impactados.

- Síndrome de manguito rotador
- Síndrome de Quervain
- Síndrome del túnel del carpo
- Epicondilitis

En consideración al baloncesto en silla de ruedas la mayor cantidad de lesiones se presentan en las estructuras del hombro por situaciones de sobreuso, en muy pocas ocasiones, por situaciones traumáticas, siendo las principales lesiones el síndrome de manguito rotador, contusiones, trauma en dedos y sobrecargas en musculatura de cintura escapulohumeral (10).

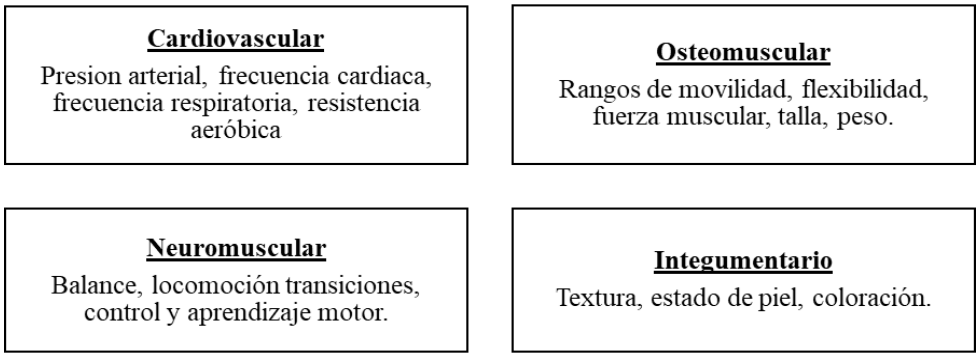
Otras con una tendencia especifican algunas patologías

- Infección urinaria
- Escaras
- Escoliosis

Función

Se deben identificar test y medidas para cada sistema involucrado en la patología origen de la discapacidad, cualidades relacionadas con el deporte y las relacionadas con la clasificación funcional establecida o posible dando contexto se planean algunas pruebas según sistema.

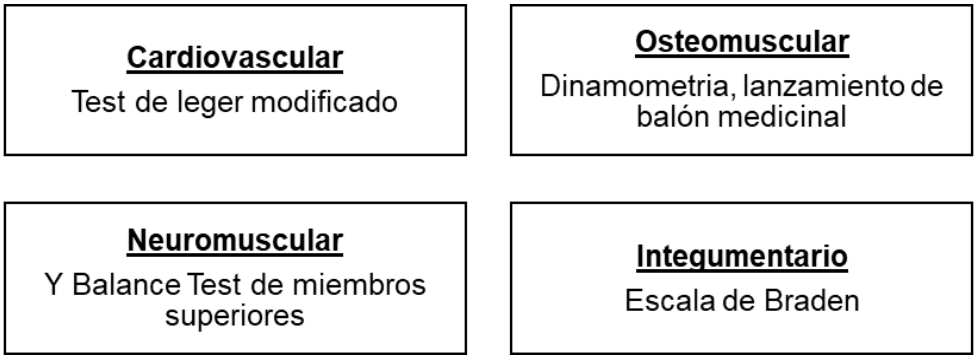
Figura 4. *Evaluación por sistemas*



En consideración al baloncesto en silla de ruedas se consideran algunos test específicos según cada sistema que permiten identificar deficiencias, o por el

contrario, fortalezas en cada una de las cualidades necesarias para el desarrollo del deporte, como es en este caso la resistencia aeróbica por la naturaleza del deporte, fuerza prensil por gestos específicos con el balón, fuerza potencia para lanzamientos a la cesta, estabilidad central que les permita un mayor volumen de acción y estabilidad en miembros superiores para favorecer a un gesto armónico y coordinado.

Figura 5. *Test de evaluación por sistemas*



Actividad y Participación

Dentro de este ítem se deben de tomar en cuenta las actividades de la vida diaria básicas, instrumentales y/o avanzadas, considerando para la decisión de elección del instrumento de evaluación teniendo en cuenta el deporte paralímpico elegido y la clasificación funcional. Para el presente caso, instrumentos tales como la FIM o Índice de Barthel (11, 12). Esto resulta conveniente, ya que, nos permite identificar patrones de movimiento que el paciente realiza durante su cotidianeidad que puede influir en aspectos deportivos, como la propulsión en la silla de ruedas o forma de realizar traslados.

Se realiza también una indagación frente a su participación en el trabajo, educación, deporte y familia, por medio de instrumentos que permitan reconocer la participación en la misma, por medio de instrumentos de calidad de vida dentro de las que se encuentra GENCAT o World Health Organization Quality of Life, versión breve (WHOQOL–Bref) (13, 14).

Factores Contextuales

Incluyen los facilitadores y barreras que presenta cada deportista, como los productos tecnológicos, su entorno natural y relaciones, actitudes, entre otros (15, 16).

- Factores personales y/o factores intrínsecos
- Factores ambientales y/o factores extrínsecos

Para el caso de baloncesto en silla de ruedas (17), para la prevención de lesiones deportivas, el primer paso es evaluar el alcance del problema de las lesiones mediante la vigilancia de las mismas. A partir de entonces, se podrían establecer factores de riesgo de lesiones y mecanismos de lesión, y sobre la base de esta información se pueden introducir estrategias preventivas. Los factores de riesgo de lesiones deportivas a menudo se clasifican en intrínsecos o extrínsecos. Factores de riesgo intrínsecos están relacionados con el jugador, mientras que los factores de riesgo extrínsecos están relacionados con el medio ambiente.

Dentro de los factores personales o intrínsecos se tienen en cuenta los siguientes:

- Edad: A mayor edad, mayor probabilidad de dolor en el hombro.
- Género: El género masculino tiene mayor puntuación de dolor de hombro en el Índice de Dolor de Hombro en personas que utilizan silla de ruedas.
- Predisposición a enfermedades cardiovasculares y/o pulmonares.
- Composición corporal incrementada.

Por el contrario, para los factores de riesgo relacionados con los factores ambientales, se contemplan por ejemplo la falta de una red de apoyo, como amigos, familiares, profesional de salud, o en algunos casos, un mal amarre a la silla, ya que, implicaría un mayor riesgo de situación de caída.

Evaluación

Posterior a los datos obtenidos en la examinación, hallazgos de la historia médica, revisión por sistemas y test y medidas, se debe de sintetizar, organizar y analizar esta información de forma que se comprenda el funcionamiento del para atleta desde la discapacidad, y el deporte que practica que incluye su clasificación funcional la cual lo hace particular en su comportamiento (5).

La evaluación permite reconocer para el baloncesto en silla de ruedas esa relación entre la patología origen de la discapacidad, la deficiencia elegible que le permite la práctica deportiva o la condición de salud por la que consulta. Es en este momento donde se deben analizar los datos obtenidos en las pruebas y así mismo correlacionarlo con aspectos deportivos específicos.

Diagnóstico

Pretende en contexto plantear lo encontrado en la examinación y como por medio del raciocinio se determina las deficiencias en estructura, deficiencia en función, limitación en las actividades, restricción en la participación y objetivos del abordaje según lo encontrado y las necesidades del deportista y el grupo interdisciplinario a cargo del deportista (5).

Se debe establecer un diagnóstico fisioterapéutico, teniendo en cuenta en análisis realizado en la evaluación y la clínica del deportista, para así reconocer el estado actual del deportista, siendo así, un punto de partida para la elaboración del plan de trabajo.

Para el baloncesto en silla de ruedas se deberá tener en cuenta aspectos propios del deporte, como desarrolla las diferentes actividades, cómo se encuentran las estructuras anatómicas y cómo están funcionando, partiendo así, desde los dominios propuestos por APTA para cada uno de los sistemas.

Pronóstico

Reconoce las metas a largo, mediano y corto plazo según corresponda al deportista y contempla el momento de la planificación en el que se encuentra, de modo que se considere el impacto en la competencia fundamental.

En caso de que exista una lesión deportiva latente, se deberá considerar la fisiopatología de la lesión para determinar los tiempos de cicatrización del tejido a intervenir.

Intervención

En el componente del deporte paralímpico, según los objetivos del grupo interdisciplinar y las necesidades del deportista, se pretende dar respuesta al rol del fisioterapeuta. Por ello, la intervención se da desde la disminución del riesgo de lesión, comprendiendo las lesiones más frecuentes en el deporte, en particular las lesiones resultantes de su condición de salud, del origen de la discapacidad que le genera la deficiencia elegible u otras por la sumatoria de riesgos. Desde esa mirada, las intervenciones se dan con diversas herramientas terapéuticas que se pueden agrupar en 5, las cuales se explican a continuación:

Tabla 1. *Estrategias de intervención fisioterapéutica según el momento de preparación del deportista*

Deporte	Baloncesto en silla de ruedas
Estrategias En Preparación General: Disminuir riesgo de lesiones, recuperar y potenciar capacidades.	Importancia de evaluar el déficit de flexión y abducción, la rotación interna del hombro durante el entrenamiento (18), los cuales podrían influir en el gesto deportivo, como el rebote, y, de esta forma, disminuir el riesgo de lesión. Por otro lado, considerar los factores intrínsecos, como la edad y la clasificación funcional, y los extrínsecos, como la silla de ruedas acorde a su posición de juego y clasificación. Igualmente, educar sobre recuperación, hábitos saludables y/o entrenamiento invisible (19).
Estrategias En Preparación Específica: Disminuir riesgo lesiones, recuperar y potenciar capacidades.	En la preparación específica reconocer los músculos implicados en el deporte de baloncesto en silla de ruedas como lo son estabilidad de core durante los desplazamientos, cambios de dirección y pases lo que invita hacer activados durante el entrenamiento de manera que la carga en el entrenamiento no recaiga sobre hombro, codo y muñeca y de esta manera disminuir el riesgo de lesión en esta etapa del entrenamiento, se continua con educación sobre entrenamiento invisible y recuperación
Estrategias En Preparación Especial: Disminuir riesgo lesiones, recuperar y potenciar capacidades	Atender al trabajo maximizado de las cualidades propias del deporte como son para baloncesto lanzamiento para este momento los trabajos controlados con resistencia y con pocas repeticiones se convierten en relevantes para el logro de pases efectivos con disminución de riesgo de lesión en estructuras como hombro muñeca y dedos. Se refuerza entrenamiento invisible y educación sobre recuperación y se aumenta la vigilancia en la aparición de deficiencias relacionadas con cargas altas en algunos músculos

Tabla 2. *Estrategias de intervención fisioterapéutica según el momento de competencia y/o lesión deportiva*

Deporte	Baloncesto en silla de ruedas
Estrategias en precompetitivo disminuir riesgo lesiones, recuperar (20). FASE 1: Reconocimiento del problema FASE 2: Detección de factores de riesgo por medio de una evaluación inicial. FASE 3: Medidas de acción: Estrategias educativas, estrategias de recuperación, medidas cinéticas. FASE 4: Evaluación de control por medio de test específicos FASE 5: Verificación del programa de prevención FASE 6: Restructuración de las medidas preventivas.	Atender a la vigilancia constante de diversas molestias en estructuras donde la literatura ya da luz especifica en hombro, codo, muñeca y dedos. Buenos trabajos de recuperación con ejercicios como estiramiento, masajes de liberación, frio y/o calor, hidroterapia. Hidratación (21).

Deporte	Baloncesto en silla de ruedas
Estrategias en competitivo **Disminuir riesgo lesiones, recuperar.** Ejercicios aeróbicos de baja intensidad. Ejercicios de respiración. Relajación. Estiramientos. Masaje general Electroestimulación local.	Atender a la vigilancia constante de diversas molestias en estructuras donde la literatura ya da luz especifica en hombro, codo, muñeca y dedos. Buenos trabajos de recuperación con ejercicios como estiramiento, masajes de liberación, frio y/o calor, hidroterapia. Hidratación.
Intervención en rehabilitación (20) FASE 1: Disminución del dolor e inflamación. FASE 2: Alcance de ROM completo FASE 3: Alcance total de potencia y resistencia. FASE 4: Alcance de niveles altos de propiocepción FASE 5: Alcance de niveles previos de agilidad y destreza. FASE 6: Retorno total al entrenamiento con prevención FASE 7: Retorno a la práctica deportiva.	Teniendo en cuenta la fisiopatología de la lesión a tratar se deberán contemplar los tiempos de cicatrización de cada tejido para así mismo establecer un pronóstico y objetivos por cada una de las fases (20). FASE 1: Si se presenta una lesión aguda se debe iniciar con la reducción de la inflamación. FASE 2: Una movilidad temprana va a permitir la reducción de dolor, rigidez y edema. FASE 3: Se deben alcanzar los niveles de fuerza potencia y resistencia de la extremidad no lesionada, se deben implementar la mayor cantidad de actividades funcionales que pueden ser ejecutadas debido a la estructura que adopta el tejido. FASE 4: Se realiza una estimulación de mecanorreceptores y receptores sensoriomotores para alcanzar niveles apropiados de propiocepción y coordinación del segmento lesionado. FASE 5: En esta fase se debe tener un mayor cuidado para no reincidir en la lesión del deportista por lo que se realizan ejercicios específicos, individualizados de acuerdo con el deporte y a su clasificación. FASE 6: Recomendaciones generales para cada caso en particular para asegurar una vuelta segura al deporte. FASE 7: Es en esta fase donde el tejido se encuentra totalmente restablecido, en condiciones óptimas para lograr el alta deportiva. Se debe considerar que, se debe realizar una evaluación constante para la progresión de las fases, en donde se evidencie que los objetivos propuestos para cada uno de ellos se han cumplido a cabalidad.

Técnicas Fisioterapéuticas por Sistemas

Sistema neuromuscular:

- Bobath
- Kabat
- Terapia de espejo

Sistema osteomuscular:

- Ejercicio activo libre
- Ejercicio resistido
- Ejercicio de estiramiento estático o dinámico

Sistema Cardiopulmonar:

- Técnicas instrumentales respiratorias
- Expansibilidad torácica
- Entrenamiento muscular respiratorio

Equipos y Ayudas

Técnicas Manuales

- Ciriax
- Liberación de tejidos blandos.
- Drenaje linfático

Técnicas Educativas

- Videos
- Cartillas
- Juego de roles
- Presentación
- Cursos de corta duración

Otras Alternativas

- Punción seca
- Ventosas
- Sueroterapia

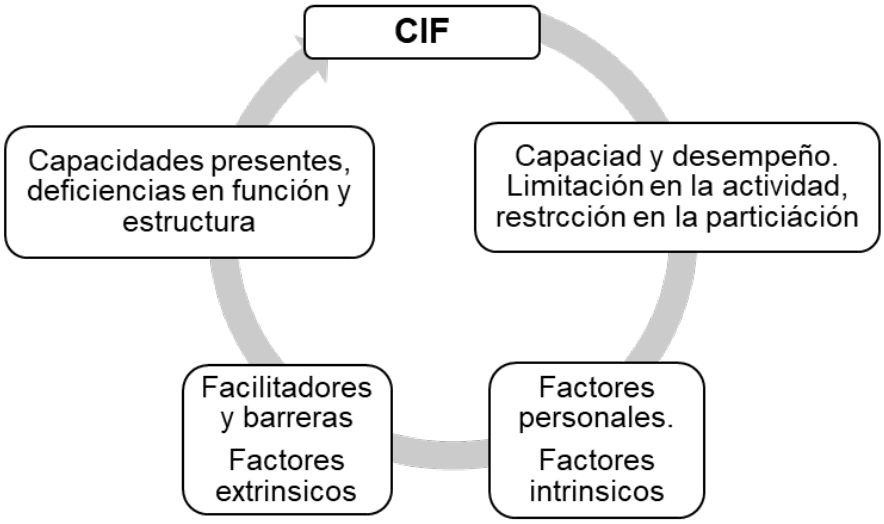
Reexaminación

El objetivo del sexto paso del APTA es evidenciar el cumplimiento de los objetivos y que requiere de claridad de los elementos a reevaluar de manera que permita el redireccionamiento de la intervención o la dada de alta por Fisioterapia dado que se cumplió a cabalidad con los objetivos y deportista se encuentra en condiciones para proseguir con lo planificado por el resto de los integrantes del grupo de profesionales que hacen parte del equipo y en especial por el deportista.

Elementos de Profundización de la Clasificación Funcional Internacional de la Discapacidad y de la Salud (CIF)

La CIF es el referente que permite la comprensión de los deportes paralímpicos y así mismo, la clasificación de estos.

Figura 6. *Clasificación funcional internacional de la discapacidad y de la salud (cif)* (22)



Comprender en la práctica la CIF requiere siempre ubicar un contexto, para el caso deporte paralímpico urge profundizar más, por lo tanto, se toma el baloncesto en silla de ruedas como ejemplo que permita aterrizar cada elemento teórico de la clasificación como lo son las funciones corporales, estructuras, actividad y participación, factores ambientales y factores personales. Cada uno de los componentes anteriormente mencionados se encuentran agrupados

por capítulos para facilitar la comprensión de la forma como el ser humano funciona, iniciando este abordaje se describirá cada uno de sus componentes.

Funciones Corporales

Definido como las funciones de los sistemas u órganos del cuerpo. Se analiza a continuación para comprender el BSR y de esta manera facilitar los abordajes para los diferentes profesionales que intervienen para mejora del desempeño de los de paratletas que practican el BSR.

Tabla 3. *Componentes relacionados con las funciones corporales en el* BSR

Funciones mentales	Funciones de orientación respecto al tiempo, espacio, y personas que permiten al deportista ubicarse a él mismo, otras personas, tiempo y lo que lo rodea ubicándolo en la cancha de juego. Funciones psicomotoras definidas como control de actos motores y psicológicos a nivel corporal facilitan el control secuenciado en gestos como los pases de balón y el lanzamiento a la cesta, para lo cual entra otra función favorecedora de procesos de secuenciación la cual es organización y planificación al igual que manejo del tiempo esta permite tener presente los tiempos de retención de pelota tan importante para el desempeño a la hora de los lanzamientos.
Funciones sensoriales y dolor	Funciones vestibulares que permiten control de la posición, el equilibrio y el movimiento unida a estas están las funciones propioceptivas que favorecen el reconocimiento de la posición de las partes del cuerpo elemental para los momentos de sorpresa y más allá los relacionado con prevención de lesiones dado que son las funciones propioceptivas las que permiten movimientos seguros.
Funciones de la voz y el habla	Función de producción de la voz que permite la comunicación entre los deportistas para promover el trabajo en equipo. Elemento fundamental para el ahorro de energía en el sistema respiratorio por acción del musculo diafragma
Función de los sistemas cardiovasculares, hematológicos, inmunológico y respiratorio	Funciones relacionadas con la tolerancia al ejercicio se ven activadas dado que es un deporte que requiere por sus momentos de velocidad una gran capacidad respiratoria y cardiovascular para resistir los tiempos de juego de relevancia en estas funciones las relacionadas con la fatigabilidad dado que por los cambios rápidos durante el juego es necesario el control de esta.

Funciones de los sistemas digestivos, metabólico y endocrino	Aquí es de resaltar su contemplación en los deportistas con lesión medular niveles altos, es decir, aquellos cuya clasificación funcional es 1.0 o 2.0, dada la importancia de considerar los tiempos de eliminación de heces y más allá de los facilitadores para la misma de manera que no interfiera con los momentos de la práctica deportiva por los elementos técnicos y de apoyo de profesionales para su manejo en especial en momentos de deficiencia en control de heces dados por el nivel de lesión misma o por otras alteraciones que se pueden presentar. Además, es importante tener en cuenta el componente nutricional, en este mismo capitulo el balance hídrico es una función de importancia para tener en cuenta en el deporte reconociendo que en deportes de resistencia como el presente se pierde agua durante la práctica por gran componente aeróbico.
Funciones genitourinarias y reproductoras	Aquí las funciones urinarias se hacen relevantes dado que en muchas ocasiones los deportistas son personas con lesión medular altas los cuales no presentan control de la orina generándose deficiencias relacionadas con la filtración de orina que puede generar otras deficiencias relacionadas con las estructuras de la piel, como las escaras, las cuales son alteraciones en la piel que de no ser consideradas de manera relevante puede conducir a infecciones de difícil manejo. En el caso de las mujeres, las funciones relacionadas con la regularidad del ciclo menstrual deben de tenerse en cuenta dado que existen soportes científicos que indican que los niveles de rendimiento pueden verse afectados por estos ciclos en las mujeres y de igual manera es de contemplar que en mujeres con lesión medular también tiene impacto.
Funciones neuromusculoesqueléticas y relacionadas con el movimiento	Funciones relacionadas con la movilidad de las articulaciones específicamente de miembros superiores las cuales se encuentran presente el gesto deportivo todo el tiempo, otra dentro de este capítulo funciones relacionadas con la fuerza muscular de miembros superiores dada su relevancia en los componentes de los gestos deportivos presentes en el BSR. Aquí cabe resaltar la fuerza desarrollada de algunos músculos como lo es infraespinoso, supraespinoso, subescapular, redondo menor, bíceps, tríceps, flexo extensores de dedos para los lanzamientos al igual que la musculatura del tronco y aquí el trasverso del abdomen tan importante a la hora de "remar" desplazamientos en silla de ruedas. De igual forma, las funciones relacionadas con la resistencia muscular que está relacionada con la capacidad de los músculos de trabajar por un tiempo determinado, en este orden se encuentran las funciones relacionadas con el control de los movimientos voluntarios de esta manera los atletas logran condicionar cada uno de los movimientos necesarios durante la práctica deportiva.
Funciones de la piel y estructuras relacionadas	Reconocer las funciones reparadoras de la piel importante función dado que el deporte es de choque y es común que se den lesiones por traumas generados por impactos entre los deportistas o por caídas.

Estructuras Corporales

En segundo lugar, encontramos como componente las Estructura conceptualizada como las partes anatómicas del cuerpo dentro de las más involucradas en el BSR se encuentran músculos de miembros superiores, huesos de miembros superiores.

Tabla 4. *Componentes relacionados con las estructuras corporales en el BSR*

Estructuras del sistema nervioso	La importancia de mantener la estructura del cerbero que permita las funciones que están bajo su control. Por otro lado, dentro de este capítulo es importante la comprensión de las estructuras de la medula espinal y estructuras relacionadas dado que muchos deportistas que practican BSR tienen deficiencias elegibles que se relacionan con la misma, dado que, generan deficiencias relacionadas con la fuerza de la musculatura de miembros inferiores dando lugar a mantener las estructuras de miembros superiores con capacidades para la práctica deportiva.
Ojo, oído y estructuras relacionadas	Se hace relevante una buena condición de estas para permitir la comunicación no verbal entre los miembros del equipo incluyendo el técnico y profesionales de apoyo.
Estructuras involucradas en la voz y el habla	Estas estructuras indemnes facilitan que la comunicación verbal entre los miembros el equipo se dé conforme a los requerimientos del deporte dada la energía que es propia del deporte.
Estructuras de los sistemas cardiovascular, inmunológico y respiratorio	Estas estructuras son las que permiten mantener el dinamismo en el deporte razón por la cual debe mantenerse en monitoreo tanto de una manera perceptiva como con chequeos médicos sistemáticos que permitan garantizar el seguimiento a estas estructuras especialmente las relacionadas con el corazón y los pulmones, esto de la mano de programas preventivos que incluyen ejercicios respiratorios y de resistencia cardiovascular.
Estructuras relacionadas con el sistema digestivo, metabólico, y endocrino	Estas estructuras garantizan en buen funcionamiento la apropiación de los alimentos y por ende garantizan la energía para la práctica es de anotar que evaluar el funcionamiento de estas estructuras de la mano de los requerimientos metabólicos facilitan la ingesta adecuada de los alimentos según sea la etapa de entrenamiento.
Estructuras relacionadas con el sistema genitourinario y el sistema reproductor	Estas estructuras se complementan con las del capítulo anterior en especial las del sistema genitourinario de gran importancia dada la necesidad de prevención de infecciones urinarias es deportistas con lesión medular y otras que incluyan deficiencias relacionadas con las estructuras relacionadas en este capítulo.

Estructuras relacionados con el movimiento	El movimiento es el principal elemento del deporte, especialmente huesos de miembros superiores, músculos de miembros superiores, tendones, ligamentos parte de las articulaciones de miembros superiores, todas articuladas entre sí para garantizar la posibilidad de una buena práctica de BSR. De igual forma, los planos y ejes en los que el cuerpo humano se mueve para comprender como en este deporte, según la clasificación funcional, se debe prestar atención a las sobrecargas dadas por las deficiencias elegibles que invitan a segmentos corporales a ocuparse de tareas que podrían ser hechas por cadenas más largas y que se acortan dado que el trabajo es desarrollado de la cintura hacia arriba para algunos deportistas pero para otros de este deporte de las tetillas para arriba es importante agregar como estructuras relevantes en el deporte las estructuras del tronco tan importantes para el desplazamiento en silla de ruedas.
Piel y estructuras relacionadas	Deben estar presentes dado el cuidado que requieren en deportes que requieren posturas que favorecen las ulceras por presión como lo es el BSR por las largas jornadas en posición sedente con grados de fricción durante la práctica deportiva es por esto que la hidratación, la buena alimentación los cambios de posturas frecuentes la inminente necesidad de bajarse de la silla de ruedas tanto deportiva como de actividades de la vida diaria como un hábito es relevante dentro del día del deportista sobre todo aquel que presenta lesión medular completa, por otra parte y no menos importante los cuidados de la piel por las lesiones ocasionadas durante los juegos por choques.

Actividad y Participación

La actividad y participación hace referencia en orden actividad o tarea realizada por parte de un individuo, en este caso, en el Baloncesto en Silla de Ruedas, en donde se hacen evidentes lanzar, llevar objetos con las manos. Por otro lado, la participación es el acto de involucrarse en una situación vital, en este sentido, la participación en el deporte.

Tabla 5. *Componentes relacionados con la actividad y participación en el BSR*

Aprendizaje y aplicación del conocimiento	Actividades como repetir se hace relevante para lograr el óptimo desempeño en tareas como la cesta, el pase y la ubicación en el campo de juego, en el mismo capitulo. Por otro lado, la actividad de resolver problemas se convierte en un aspecto a entrenar de manera que cuando se presente durante el juego se cuente con las estrategias adecuadas para resolver los problemas para que el desempeño en el juego permita el logro de objetivos relacionados con la suma de puntos. Esta actividad va de la mano de la toma de decisiones en aras de dar respuesta a las situaciones con la capacidad de asumir el resultado.
Tareas y demandas generales	Dentro de este capítulo se contemplan actividades a trabajar en el deporte para el logro de objetivos, tanto en entrenamiento como en competencia, entre ellas el llevar a cabo una única o múltiples tareas sencillas y/o complejas de manera individual o en grupo, llevar a cabo rutinas diarias, manejo de responsabilidades, manejo del estrés. Este capítulo al igual que otros que incluye aspectos psicológicos y de ocupación invita de manera inminente al trabajo interdisciplinar que permita la adecuada introspección de las rutinas propias de las tareas.
Comunicación	Se encuentran dentro de las actividades a considerar para integrar en el entrenamiento del BSR la comunicación y recepción de mensajes hablados al igual que los no verbales que facilitan la puesta en marcha de las estrategias requeridas durante el entrenamiento para que cuando llegue el momento de la competencia aporten a los logros.
Movilidad	El BSR está estrechamente relacionado con algunas tareas descritas como llevar, mover y usar objetos, y dentro de estas actividades llevar objetos en la mano en este caso el balón y vinculadas a esta el pasar objetos y de manera más precisa se encuentra uso de la mano y el brazo que incluye lanzar, siendo propio del deporte, al igual que desplazarse por distintos lugares específicamente usando algún equipamiento, en este caso, la silla de ruedas. Las anteriores deben ser entrenadas de manera adecuada para el logro de objetivos propios del deporte como pases, lanzamiento a la cesta, reconociendo aquí que, dependiendo de la clasificación funcional estas tareas deben ser adoptadas y/o ajustadas para dar el rendimiento requerido en la cancha de juego, más aún se hace relevante organizador del juego, alero, y ala, al igual que, reconociendo esto definir según la capacidad para la tarea la relevancia del respeto por la misma, tema que se convierte en motivo de evaluación y abordaje (23).
Autocuidado	Este capítulo permite evidenciar que según la clasificación funcional y el deporte, se requiere de una independencia o necesidad de asistencia, como por ejemplo en Boccia siendo permitida por el sistema paralímpico. Para el caso de BSR la clasificación funcional es amplia, sin embargo, para las clasificaciones bajas donde los para atletas se encuentran con limitaciones para realizar actividades relacionadas con cambios de posición, traslados por el deficiente control de tronco para lo cual requieren asistencia, hecho a considerar a la hora de evaluar y abordar durante las competencias de tal forma que se logre el objetivo de inclusión, propio del deporte paralímpico.

Vida doméstica	El desarrollo de actividades favorece al crecimiento integral del para atleta, este capítulo es relevante independiente del deporte aquí la especificidad no aplica.
Interacciones y relaciones interpersonales	Este capítulo apoya el trabajo en equipo propio de los deportes de conjunto, el BSR deporte que se caracteriza por interacciones constantes antes durante y después de entrenamiento y competencias.
Áreas principales de la vida	En este capítulo se hace relevante reconocer el contexto, como se ha estado mencionando, en la singularidad de cada deporte, en este se realza la importancia del deporte practicado como eje de la vida de quien lo practica.
Vida comunitaria, social y cívica	Se describe como una temática transversal en su esencia al deporte dado que es en comunidad donde se desarrolla el deporte visto como contribuyente a la salud comunitaria

Factores Ambientales

Los factores ambientales se entienden como el ambiente físico, actitudinal y de la comunicación.

Tabla 6. *Componentes relacionados con los factores ambientales en el BSR*

Productos y tecnología	La práctica del deporte paralímpico requiere de elementos propios de la tecnología, es crucial y más en ocasiones en donde es un factor diferenciador de la práctica misma. Para el baloncesto para personas con discapacidad el uso de la silla de ruedas adecuada con las especificidades justas promueve un mejor desempeño dado que la silla son el elemento que permite el desplazamiento de los para atletas, siendo un factor extrínseco pasa a ser un factor intrínseco cuando es bien formulado.
Entorno natural y/o cambios en el entorno generado por el ser humano	Este capítulo constituye un elemento que permite identificar que hay factores que impactan tanto a los deportistas con o sin discapacidad, dado que, aspectos como el clima se considera, según el deporte, como facilitador o barrera. De igual manera, los ajustes que el hombre hace al entorno pueden favorecer u obstaculizar la práctica deportiva, para el caso del BSR, un terreno de juego adecuado para la práctica deportiva sin lugar a dudas se convierte en un facilitador además de un promotor del entrenamiento del deporte.
Apoyo y relaciones	El papel de la red de apoyo es un facilitador o barrera, y tal como la mayoría de los capítulos del componente permite el reconocimiento del deporte y deportista como tal, dado que, tanto para el que tiene discapacidad como el que no, afecta negativa o positivamente el desempeño en el deporte, es por esto que, se queda sin elementos diferenciadores para el BSR.

Actitudes	La literatura evidencia el impacto de las actitudes de familiares, amigos, entrenador, entre otros, donde se hace relevante el reconocer la mirada que cada persona externa tiene del concepto de discapacidad y deporte como facilitador o barrera en la carrera deportiva.
Servicios, sistemas y políticas	Esta temática ha venido siendo evaluada y considerada a profundidad dada la conceptualización que se tiene de discapacidad y derechos, para Colombia la Ley 1618 del 27 de Febrero (24) y la Ley 1946 de 2019 (25), el deporte ha permitido un avance significativo en la puesta en marcha de proyectos facilitadores de la práctica deportiva por parte de las personas con discapacidad con miras a la inclusión.

Factores Personales

Los factores personales entendidos como los factores propios de las personas que hacen referencia a la edad, el género, estrato socioeconómico, es decir, todos los aspectos que hacen diferente a una persona de otra, que a la hora de evaluar se queda corto, sólo queda describir y reconocerlos de manera que apoyados en diversas perspectivas escritas, algunos en términos de determinantes sociales, otros en características sociodemográficas y para la CIF en factores ambientales.

Sin embargo, para el deporte paralímpico, identificar que las personas puedan adquirir la discapacidad en diferentes etapas de la vida se convierte en un factor relevante para asumir la discapacidad. Aspectos como, si practicó deporte antes de la discapacidad y más allá como elementos relacionados con el tipo de discapacidad permite la práctica deportiva en el alto rendimiento, en el caso tomado para el capítulo, el BSR, los deportistas elegibles en primera instancia deben tener discapacidad física o PC.

En este orden de ideas la deficiencia elegible como aspecto a considerar para la clasificación funcional es un factor personal que para la práctica del BSR considera en discapacidad física la deficiencia de miembros, deficiencia de fuerza de miembros inferiores, deficiencia de longitud miembros inferiores, rango pasivo disminuido en miembros inferiores, sin embargo, a la hora del alto rendimiento se considera con miras de un buen funcionamiento que permita desarrollo de cualidades del deporte, y se descarta baja talla. Por otra parte, la deficiencia de PC es considerada a hipertonía, ataxia y atetosis, sin embargo, el reconocimiento de los grados permite reconocer la ubicación del deportista en el campo o no elegibilidad por severidad.

Para terminar este componente es importante reconocer que, los textos de deporte que dialogan sobre modelos explicativos de riesgo de lesión mencionan los factores personales dese otra denominación como lo son los factores intrínsecos, donde se da valor a los aspectos genéticos tanto para juzgar talentos como para presumir la necesidad de cuidados especiales por el supuesto riesgo dado por el genotipo.

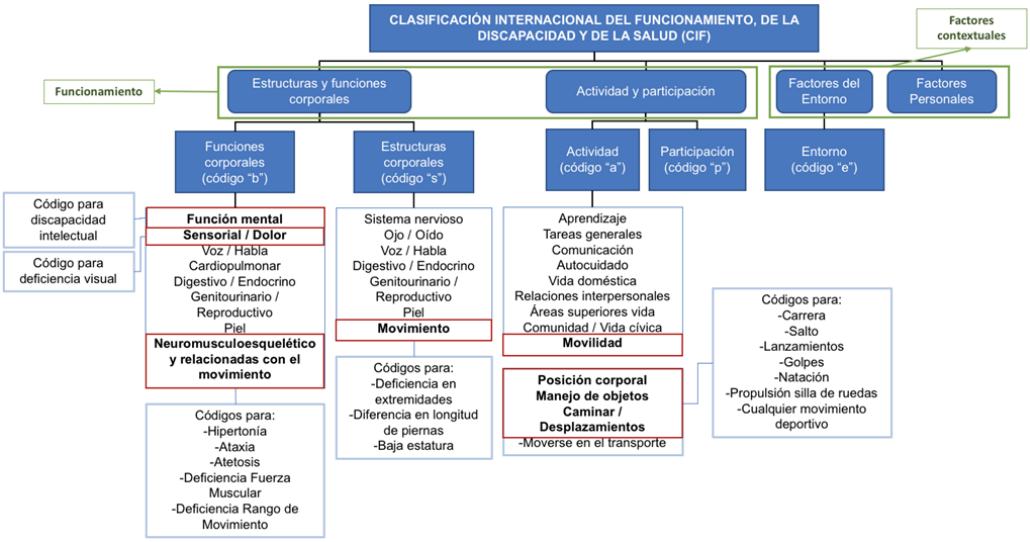
En términos generales los factores personales son un componente de estudio constante en el medio deportivo y que requiere en el deporte paralímpico una inversión en investigación y trabajos interdisciplinares a profundidad dada la complejidad. Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, es relevante resaltar que, en el deporte paralímpico, sin lugar a especulaciones, los seres humanos son multidimensionales y en formas de funcionamiento diferentes, que, por tanto, van a requerir de un abordaje integral.

Proceso de la Clasificación Funcional en el Deporte Paralímpico

La clasificación funcional es un elemento único y diferenciador del deporte paralímpico, permitiendo el acceso a la práctica y competencia del deporte. Todo deportista debe presentar una deficiencia que les produzca una desventaja en la competencia con respecto al deporte regular, para ello se utiliza un sistema de clasificación para minimizar el impacto que las deficiencias tienen en el rendimiento deportivo (26).

A nivel conceptual se debe recurrir a la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y la Salud (CIF), que aplicada a la clasificación se representa en la Figura 5. La CIF contempla las condiciones de salud y los factores personales y del entorno, sin embargo, la clasificación funcional sólo considera las deficiencias del deportista (deficiencia en la estructura o función corporal) y limitación en la actividad (como por ejemplo las habilidades requeridas en cada deporte), por lo cual los factores personales y ambientales no son considerados en la clasificación funcional del deporte, sin embargo, es un elemento determinante para el desarrollo del deporte.

Figura 7. *Conceptualización de la Clasificación Funcional con referencia a la CIF*



Fuente: Adaptado de Tweedy y Vanlandewijck (27)

Anteriormente, para la década de los 40, la clasificación funcional era netamente según el diagnóstico médico, basada según la deficiencia del deportista y era igual para todos los deportes, por ejemplo, sistema para lesión medular, amputaciones, entre otros. Debido a diferentes eventualidades, como la falta de credibilidad en los resultados en las pruebas en 1992 se inició el proceso de la clasificación funcional, pero es en el 2015 donde el Comité Paralímpico Internacional (IPC) aprobó una estrategia de clasificación que tiene como funciones clave (26):

- Definir quién es elegible para competir en un deporte determinado.
- Agrupar los deportistas en clases para asegurar que el impacto de la deficiencia sea minimizado.

La clasificación se da por medio de los siguientes pasos por medio de un grupo de clasificadores que cada federación internacional y/o nacional debe certificar a sus clasificadores para realizar las evaluaciones de los deportistas (médicos, fisioterapeutas, oftalmólogos u optómetras o técnicos deportivos). Esta evaluación debe realizarse antes de la competición (26).

1. Identificar la presencia de una deficiencia elegible: Revisar registros médicos, historia clínica y/o cualquier otra documentación que permita valorar la existencia de la deficiencia elegible.

2. Valorar si el deportista presenta el Criterio de Deficiencia Mínima (MIC): Este criterio debe asegurar que la deficiencia elegible afecta el grado en que el deportista sea capaz de realizar las tareas y actividades específicas del deporte.
3. Evaluar la limitación en las actividades propias del deporte.
4. Observación del desempeño en la competición (Si se requiere).
5. Asignar una clase: Una vez realizado el proceso de evaluación por parte de la mesa de clasificación se debe asignar la clase deportiva, sin embargo, el deportista puede ser evaluado en diferentes ocasiones a lo largo de su carrera deportiva. Los clasificadores pueden decidir si el deportista tiene que ser evaluado de nuevo en la próxima competición ("R" – Revisión) o en un plazo de tiempo ("RFD" – Revisión con Fecha Fija) si el deportista presenta una deficiencia progresiva o deportistas jóvenes que aún no han alcanzado la madurez esquelética.

Tabla 7. *Las deficiencias elegibles en el Deporte Paralímpico son las siguientes* (28)

Deficiencia en la potencia muscular	Deportistas que presentan un estado de salud que disminuye o elimina su capacidad de contraer de manera voluntaria sus músculos para mover o generar fuerza.
Deficiencia en el rango de movimiento pasivo	Deportistas con una condición de salud que reduce o elimina el movimiento de una o varias articulaciones (Ejemplo: Artrogriposis, contractura derivada de la inmovilización crónica, entre otros)
Deficiencia de los miembros	Deportista con ausencia total o parcial de huesos o articulaciones como consecuencia de un traumatismo, enfermedad o deficiencia congénita.
Deficiencia en la longitud de las piernas	Deportistas con diferencia en la longitud de sus piernas producto de una alteración del crecimiento o traumatismo.
Baja estatura	Deportistas con reducción en la longitud de los huesos de miembros superiores e inferiores y/o del tronco (Acondroplasia, disfunción de la hormona del crecimiento, osteogénesis imperfecta).
Hipertonía	Aumento en la tensión muscular y una capacidad reducida de estiramiento muscular a causa de un daño en el sistema nervioso central (Parálisis cerebral, trauma craneoencefálico e ICTUS).
Ataxia	Deportistas que presentan movimientos descoordinados causados por daños en el sistema nervioso central (Parálisis cerebral, trauma craneoencefálico, ICTUS, esclerosis múltiple…).

Atetosis	Deportistas que presentan de manera continua movimientos lentos involuntarios (Parálisis cerebral, trauma craneoencefálico, ICTUS).
Deficiencia visual	Deficiencia en estructuras del ojo, nervio óptico, vías ópticas o corteza visual.
Deficiencia intelectual	Deportistas con limitación en el funcionamiento intelectual y la conducta adaptativa, sin embargo, debe ser originada antes de los 18 años.

Teniendo en cuenta las deficiencias elegibles, a continuación, se presentan cada una de ellas con los deportes paralímpicos que pueden ser practicados:

Figura 8. *Deportes paralímpicos según deficiencias elegibles* (26)



Específicamente el Baloncesto en Silla de Ruedas, es elegible para todas las deficiencias excepto discapacidad visual e intelectual, como se evidenció anteriormente, existiendo así 8 clases deportivas desde 1.0 hasta 4.5, las cuales dependerán del nivel de control de tronco y se relaciona con las deficiencias que afectan los miembros inferiores. Todos los jugadores deberán usar la silla de ruedas, incluso si, en su vida diaria no la requieran.

Para comprender la clasificación funcional, se describe a continuación cada una de las clases deportivas, sin embargo, se debe tener en cuenta que durante el juego las suma de las clases de los deportistas activos no debe sobrepasar 14.

Entre cada una de las clases se puede clasificar a un jugador en medio punto (Ej.: 1.5, 2.5, 3.5) cuando no encaja perfectamente en las características en una clase presentando particularidades de dos o más clases (29).

Figura 9. *Clases deportivas en Baloncesto en Silla de Ruedas*

Clase 1.0

Los jugadores de esta clase presentan poco o nulo control de tronco para llevar el cuerpo de manera frontal, lateral o rotaciones para coger o pasar el balón. Como facilitadores para mantener la posición sedente la silla cuenta con un espaldar más alto, de igual forma utilizan amarras para sostener el tronco.

Clase 2.0

Los jugadores de esta clase presentan control de tronco parcial cuando requieren dominio del balón hacia adelante y rotación este control permite un mayor manejo, sin embargo, también usan espaldares altos y amarras como facilitadores para la estabilidad del tronco.

Clase 3.0

Esta clase deportiva en BSR se caracteriza por un buen control del tronco frontal y hacia las rotaciones en el uso del balón no tienen control de tronco hacia los lados.

Clase 4.0

Los deportistas de esta clase presentan dominio del tronco en todas las direcciones, sin embargo, presentan dificultades hacia un lado en el uso del balón.

Clase 4.5

Los deportistas no tienen dificultades en el control de tronco generalmente esta clase este asociado a deficiencias en la estructura relacionada con longitud de extremidades y/o artrodesis de tobillos.

Tener en cuenta cada una de las clasificaciones otorgadas a cada deportista permitirá tomar decisiones frente a las intervenciones a realizar, asimismo los ajustes pertinentes para cumplir con el objetivo de la actividad propia del deporte, por lo cual, se resalta la importancia del principio de individualización en el deporte paralímpico, ya que, a pesar de dos deportistas presentar una misma lesión de origen de la discapacidad, cada uno tendrá características físicas que lo diferenciarán del otro. Esto genera que se deban de realizar ajustes tanto en evaluación, intervención y educación de los deportistas, ya que, las tareas tanto deportivas como de las actividades de la vida diaria cambian para cada una de las clasificaciones. Es por esto que es relevante el reconocimiento de la clasificación funcional de cada uno de los deportes que permitan esclarecer los procesos de planeación y ejecución dentro de los abordajes fisioterapéuticos.

Esto permite comprender que se debe contemplar una mirada integral del deportista, la cual es posible establecer desde la CIF, siendo esta la referente de la clasificación funcional de los deportes paralímpicos para los fisioterapeutas.

Consideraciones Generales

Para considerar en los elementos para el abordaje del deportista paralímpico siempre se debe reconocer la diferencia que existe entre cada uno de los deportistas, o sea, la importancia del trabajo individualizado y parados en las capacidades, sin olvidar el rol del Fisioterapeuta direccionado en gran medida a la disminución de riesgo de lesión para lo que se debe identificar en primer lugar las estructuras vulnerables según el deporte.

Así se puede concluir que, en primer lugar, para baloncesto en silla de ruedas que, la deficiencia en la función relacionada con el dolor de hombro es muy prevalente en jugadores de baloncesto en silla de ruedas. Además, se reconoce la importancia de evaluar cualidades como la movilidad articular en el desempeño específicamente en movimientos de flexión, abducción, rotación interna del hombro y las asimetrías escapulares durante la propulsión de la silla de ruedas.

Por otra parte, reconocer las deficiencias más relevantes que se pueden presentar relacionadas con el deporte para comprender y lograr hacer un buen raciocinio clínico que permita dar respuesta asertiva según el deporte que practica esa persona con características individuales relacionadas con la discapacidad. Por lo anterior, en segundo lugar, se considera como relevante en este trabajo que, la debilidad de la musculatura posterior del hombro genera un acortamiento

en los músculos anteriores del hombro y contribuye al desarrollo del dolor de hombro en jugadores de baloncesto en sillas de ruedas. De acuerdo a lo anterior, una búsqueda bibliográfica de las principales estrategias de intervención según el deporte permite intervenciones con una mayor fiabilidad y confianza.

En este orden de ideas, en tercer lugar, los lineamientos de una intervención preventiva para jugadores de baloncesto en silla de ruedas deben de centrarse en el rango de movimiento escapular y de hombro, fortalecimiento de los músculos serrato anterior y aquellos que realizan movimientos escapulares, rotaciones y abducción de hombro; además se debe de considerar incluir la rehidratación adecuada durante la recuperación en el estiramiento esto según lo encontrado en la literatura, sin embargo, se evidencia poca información relacionada con deporte adaptado en las bases de datos propias de la profesión, reconociéndose más un enfoque clínico.

Finalmente, es vital en el deporte paralímpico evaluar e intervenir los factores ambientales o llamados extrínsecos de manera que los abordajes sean integrales. En este sentido, en baloncesto en silla de ruedas, se deben considerar los factores ambientales como la silla de ruedas, la cual se debe cambiar o readaptar a medida que las habilidades de los jugadores se desarrollen y así el jugador siga siendo competitivo. También es importante el apoyo del entorno social en los jugadores de baloncesto en silla de ruedas.

Referencias

1. Schültke E. Ludwig Guttmann: emerging concept of rehabilitation after spinal cord injury. Journal of the History of the Neurosciences. 2001;10 (3):300-7. https://doi.org/10.1076/jhin.10.3.300.9090

2. Mantilla JIA. 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. https://doi.org/10.24310/riccafd.2018.v7i1.4853

3. Gómez EPM, Silva VA, David JAF. Perfil profesional y ocupacional de los fisioterapeutas en Colombia. CES Movimiento y salud. 2015;3 (1):35-43.

4. Jiménez Tordoya EJ. Guía metodológica para elaborar el diagnóstico fisioterapéutico según la Clasificación Internacional del Funcionamiento (CIF), de la discapacidad y de la salud. Gaceta Médica Boliviana. 2016;39 (1):46-52.

5. De Paula LÁA, Gordo JLH. La guía de atención fisioterapéutica paciente/cliente descrita por la apta en la formación de los fisioterapeutas iberoamericanos. Movimiento científico. 2011;5 (1):90-3. https://doi.org/10.33881/2011-7191.%x

6. MacDonald J, Schaefer M, Stumph J. The Preparticipation Physical Evaluation. American family physician. 2021;103 (9):539–546.

7. Derman W, Runciman P, Jordaan E, Schwellnus M, Blauwet C, Webborn N, et al. High incidence of injuries at the Pyeongchang 2018 Paralympic winter games: a prospective cohort study of 6804 athlete days. British journal of sports medicine. 2020;54 (1):38-43. https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100170

8. Cratsenberg KA, Deitrick CE, Harrington TK, Kopecky NR, Matthews BD, Ott LM, et al. Effectiveness of exercise programs for management of shoulder pain in manual wheelchair users with spinal cord injury. Journal of Neurologic Physical Therapy. 2015;39 (4):197-203. https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000103

9. van Drongelen S, De Groot S, Veeger H, Angenot E, Dallmeijer A, Post M, et al. Upper extremity musculoskeletal pain during and after rehabilitation in wheelchair-using persons with a spinal cord injury. Spinal cord. 2006;44 (3):152-9. https://doi.org/10.1038/sj.sc.3101826

10. León Benítez EM. Liner: sistema de fortalecimiento muscular para la prevención de lesiones deportivas en el complejo articular de hombro de deportistas de baloncesto en silla de ruedas de la Liga del Valle del Cauca [trabajo de grado]. Cali: Universidad del Valle; 2019. Disponible en: Repositorio Institucional de la Universidad del Valle

11. Ayuso DMR. Actividades de la vida diaria. Anales de Psicología/Annals of Psychology. 2007;23 (2):264-71.

12. Peña-Casanova J. Escalas funcionales e instrumentales de las actividades de la vida diaria. Rev Neurol. 1998;27 (1):27-9.

13. Verdugo M, Schalock RL, Arias B, Gómez L, Jordán de Urríes B. Calidad de vida. MA Verdugo & RL Schalock (Coords), Discapacidad e inclusión manual para la docencia. 2013:443-61. https://doi.org/10.15581/004.27.499

14. Freire Muñoz CP. Determinar la calidad de vida, de los cuidadores de personas con discapacidad física y mentales, mediante la aplicación del

cuestionario de Whoqol–Bref, en el hogar de ancianos Santa Catalina Labouré–Quito 2019. 2020.

15. Ramírez MPM. Factores intrínsecos y extrínsecos que generan ansiedad y su implicación en el rendimiento deportivo. Cuerpo, Cultura y Movimiento. 2018;8 (2):49-61. https://doi.org/10.15332/2422474x/5126

16. Prieto Luna SJ. Percepción de la influencia de los factores de riesgo psicosociales: ambiente deportivo, factores intrínsecos, estado de salud, factores extrínsecos en el rendimiento deportivo de los patinadores de la Liga Santandereana de Patinaje [trabajo de grado]. Bucaramanga: Universidad Autónoma de Bucaramanga; 2004. Disponible en: Repositorio Institucional UNAB

17. Fagher K, Lexell J. Sports-related injuries in athletes with disabilities. Scandinavian journal of medicine & science in sports. 2014;24 (5):e320-e31. https://doi.org/10.1111/sms.12175

18. Gómez SG. Effects of a therapeutic exercise program for injuries prevention in wheelchair basketball (WB) players: Universidad Politécnica de Madrid; 2018.

19. Asencio Mas NI, Rubio-Quintanilla Puig N, Jiménez-Alfageme R, Sebastiá Rico J, Castillo Martínez M, Martínez Sanz JM. Recetario aplicado al deporte. 2021.

20. Neira Tolosa N, Campos A, Moreno Collazos J, Mena Bejarano B, Quiceno Noguera C. Lineamientos de política pública en ciencias del deporte en fisioterapia. Bogotá: Coldeportes. 2015.

21. Braulick KW, Miller KC, Albrecht JM, Tucker JM, Deal JE. Significant and serious dehydration does not affect skeletal muscle cramp threshold frequency. British Journal of Sports Medicine. 2013;47 (11):710-4. https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091501

22. World Health O. Clasificación internacional del funcionamiento de la discapacidad y de la salud: CIF: versión abreviada. Versión abreviada ed: Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2001.

23. Kryeziu AR, Iseni A. Características Morfológicas Según las Posiciones de Juego del Baloncesto. International Journal of Morphology. 2023;41 (1):1-8. http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022023000100001

24. Martínez-Rozo AM, Uribe-Rodríguez AF, Velázquez-González HJ. La discapacidad y su estado actual en la legislación colombiana. Duazary. 2015;12 (1):49-58. https://doi.org/10.21676/2389783X.1398

25. Congreso de Colombia. Ley 1946 de 2019 (enero 4). Diario Oficial, No. 50.826 (ene. 4, 2019) [Internet]. [citado 8 Jul 2026]. Disponible en: [sitio web oficial].

26. Reina R, Vivaracho I, García Alaguero J, Roldán A. Guía sobre la clasificación en el deporte paralímpico. Ed Limencop SL España. 2021.

27. Tweedy SM, Vanlandewijck YC. International Paralympic Committee position stand—background and scientific principles of classification in Paralympic sport. British journal of sports medicine. 2011;45 (4):259-69. https://doi.org/10.1136/bjsm.2009.065060

28. Paladino L, Tow S, Blauwet C, Hutchinson MR. Paralympic Athletes. Sideline Management in Sports: Springer; 2024. p. 29-55. https://doi.org/10.1007/978-3-031-33867-0_3

29. Federación Internacional del Baloncesto en Silla de Ruedas. Manual de Clasificación del Jugador de Baloncesto en Silla de Ruedas. Comisión de Clasificación de la IWBF. 2014.

CAPÍTULO 11

Retos y Oportunidades de la Tecnología en el Deporte y la Actividad Física

Challenges and Opportunities of Technology in Sport and Physical Activity

Javier Ferney Castillo-García
Universidad Autónoma de Occidente
https://orcid.org/0000-0002-0630-3198
jfcastillo@uao.edu.co

Pedro Antonio Calero Saa
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
https://orcid.org/0000-0002-9978-7944
pcalero22@gmail.com

Resumen

Este capítulo examina el impacto de la tecnología en el deporte y la actividad física, destacando tanto las oportunidades como los desafíos asociados. El estudio se centra en cómo la introducción de tecnologías avanzadas, como sensores portátiles, GPS (del inglés, *Global Positioning System*) Sistema de Posicionamiento Global y monitores de sueño, ha permitido una evaluación precisa del rendimiento de los atletas, facilitando la creación de programas de entrenamiento personalizados y basados en datos. Se investigaron también los avances en rehabilitación de lesiones mediante dispositivos como unidades de medición inercial y sensores de EMG (del inglés, *Electromyography*), y el uso emergente de realidad virtual y aumentada en este contexto. También se aborda cómo la tecnología ha mejorado la seguridad en el deporte al permitir el seguimiento de conmociones cerebrales y otras lesiones graves. Sin embargo, se identifican desafíos significativos en términos de costos y privacidad de datos.

Cita este capítulo / *Cite this chapter*

Castillo García JF, Calero Saa PA. Retos y oportunidades de la tecnología en el deporte y la actividad física. En: Calero Saa PA, editor. Elementos básicos de la rehabilitación deportiva: una mirada multidisciplinaria. Tomo III: rehabilitación y readaptación deportiva. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2026. p. 459-487. https://doi.org/10.35985/9786287914179.11

Para superar estos obstáculos, se propone la democratización de las tecnologías y la implementación de protocolos claros para la gestión de datos, asegurando así el acceso equitativo a estas herramientas. Finalmente, se exploran innovaciones futuras en inteligencia artificial, *machine learning* y dispositivos portátiles avanzados, los cuales prometen ofrecer un monitoreo continuo y altamente personalizado. A pesar de las ventajas, se deben enfrentar retos como la dependencia tecnológica y las disparidades en el acceso. Abordar estos problemas es crucial para equilibrar la innovación tecnológica con los valores fundamentales del deporte y garantizar que todos los atletas se beneficien de manera equitativa. Finalmente, el proceso de aprendizaje se complementa con preguntas orientadoras del aprendizaje, que guían al lector en su reflexión y análisis de los contenidos abordados. Además, se incluye la resolución de "Cuestionarios" como parte del "Aprendizaje activo", lo que busca promover una participación del lector en la asimilación de los conocimientos.

Palabras Clave: Tecnología Deportiva, Rendimiento deportivo, Rehabilitación de Lesiones, Seguridad en el Deporte, Accesibilidad Tecnológica.

Abstract

This chapter examines the impact of technology on sports and physical activity, highlighting both the opportunities and challenges associated with its use. The study focuses on how the introduction of advanced technologies, such as wearable sensors, GPS (Global Positioning System), and sleep monitors, has enabled precise performance evaluation, facilitating the development of data-driven, personalized training programs. It also explores advancements in injury rehabilitation through devices such as inertial measurement units and EMG (electromyography) sensors, as well as the emerging use of virtual and augmented reality in this context. Additionally, the chapter addresses how technology has enhanced safety in sports by allowing the monitoring of concussions and other serious injuries. However, significant challenges related to cost and data privacy are identified. To overcome these obstacles, the chapter advocates for the democratization of technology and the implementation of clear data management protocols to ensure equitable access to these tools. Finally, it explores future innovations in artificial intelligence, machine learning, and advanced wearable devices, which promise continuous and highly personalized monitoring. Despite these advantages, challenges such as technological dependency and access disparities must be addressed. Tackling these issues is crucial to balancing technological innovation with the core values of sports and ensuring that all athletes benefit equitably. Finally, the learning process is complemented by guiding questions that steer the reader's reflection and critical

analysis of the content addressed. In addition, the completion of "Questionnaires" is incorporated as part of an "Active Learning" approach, aimed at fostering meaningful reader engagement in the assimilation and construction of knowledge.

Keywords: *Sports Technology, Athletic Performance, Injury Rehabilitation, Sports Safety, Technological Accessibility.*

Introducción

> "El *aspecto más triste de la vida en este preciso momento es que la ciencia reúne el conocimiento más rápido de lo que la sociedad reúne la sabiduría".*
>
> —Isaac Asimov

La tecnología ha revolucionado casi todos los aspectos de la vida moderna, y el deporte y la actividad física no son una excepción (1). Desde el análisis de rendimiento hasta la rehabilitación de lesiones, la tecnología ofrece numerosas oportunidades para mejorar el rendimiento, la seguridad y la accesibilidad en el deporte. Sin embargo, también presenta desafíos significativos que deben ser abordados para aprovechar plenamente su potencial (2).

A medida que la tecnología continúa evolucionando, las oportunidades para su aplicación en el deporte son inmensas. Las innovaciones en inteligencia artificial y *machine learning* prometen mejorar aún más el análisis de datos y la personalización de los programas de entrenamiento, identificando patrones complejos en los datos de rendimiento y proporcionando recomendaciones precisas para optimizar el rendimiento. La integración de la tecnología en el entrenamiento diario también tiene un potencial significativo, con tecnologías emergentes como las telas inteligentes y los dispositivos portátiles avanzados que pueden proporcionar un monitoreo continuo y detallado de los parámetros fisiológicos, permitiendo a los entrenadores y atletas ajustar los programas de entrenamiento en tiempo real (3).

La tecnología también ha revolucionado la rehabilitación de lesiones deportivas (4). Dispositivos como las unidades de medición inercial (IMU - *Inertial Measurement Unit*) y los sensores de EMG (*electromyography*) incrustados en telas inteligentes permiten monitorear en tiempo real la actividad muscular y otros parámetros fisiológicos. Esto facilita una rehabilitación más rápida y eficaz, y además proporciona datos precisos para prevenir la reaparición de lesiones. Por otro lado, la realidad virtual y la realidad aumentada están emergiendo como herramientas poderosas en

la rehabilitación deportiva, permitiendo a los atletas realizar ejercicios de rehabilitación en entornos virtuales controlados, simulando situaciones de juego real y ayudando a los atletas a recuperar la confianza en sus habilidades después de una lesión.

La seguridad es una preocupación primordial en el deporte, y la tecnología ha jugado un papel crucial en mejorarla. Sistemas de monitoreo como el GPS (*Global Positioning System*) y los sensores de aceleración pueden rastrear las conmociones cerebrales y otras lesiones graves, proporcionando datos inmediatos sobre la magnitud y la ubicación del impacto (5). Esta información es vital para tomar decisiones rápidas y precisas sobre la atención médica necesaria (6). Los monitores de sueño también contribuyen a la seguridad al identificar problemas de sueño que pueden afectar el rendimiento y aumentar el riesgo de lesiones, permitiendo ajustes en los programas de entrenamiento para asegurar una recuperación adecuada y reducir la fatiga acumulada (7).

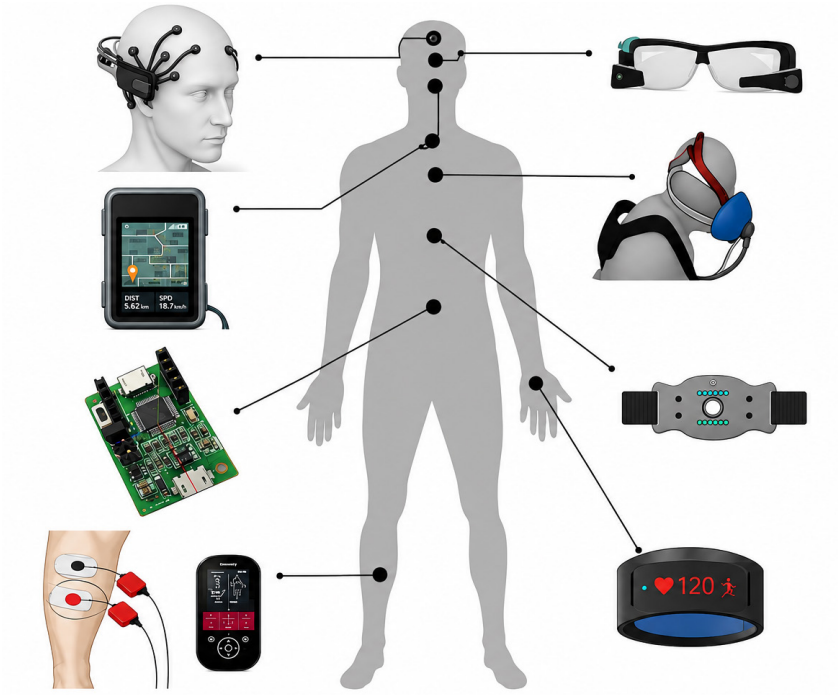
A pesar de las numerosas oportunidades, la implementación de tecnologías avanzadas en el deporte presenta varios desafíos. Uno de los principales obstáculos es el costo. Los dispositivos de monitoreo y análisis de alto rendimiento pueden ser prohibitivamente caros, limitando su accesibilidad a atletas de élite y equipos con grandes presupuestos. La democratización de estas tecnologías es esencial para garantizar que todos los atletas, independientemente de su nivel o recursos, puedan beneficiarse de sus ventajas. Otro desafío significativo es la privacidad y la gestión de datos. La recopilación masiva de datos plantea preocupaciones sobre la seguridad de la información y el uso ético de los datos personales de los atletas. Es crucial establecer protocolos claros y transparentes para la gestión de datos, asegurando que los atletas estén informados y consientan el uso de su información (8).

Este capítulo explora los retos y oportunidades que la tecnología trae al mundo del deporte y la actividad física, estos aspectos del uso de la tecnología se abordarán desde la perspectiva de ofrecer un amplio potencial para transformar el deporte y la actividad física, mejorando el rendimiento, la seguridad y la inclusión. Sin embargo, también se observarán los desafíos significativos que deben ser abordados para maximizar sus beneficios y minimizar sus riesgos, donde se esbozarán caminos posibles para un equilibrio entre la innovación tecnológica y el mantenimiento de los valores fundamentales del deporte, asegurando que todos los atletas, independientemente de su nivel o recursos, puedan beneficiarse de estos avances. Finalmente, para encaminar este capítulo como documento guía e involucrar al lector en su proceso de aprendizaje se incluyen unas preguntas orientadoras de aprendizaje.

Análisis y Monitoreo del Rendimiento

El análisis y monitoreo del rendimiento es una de las áreas donde la tecnología ha tenido un impacto transformador en el deporte y la actividad física. La capacidad de recopilar, analizar y utilizar datos detallados en tiempo real permite a los entrenadores y atletas tomar decisiones informadas para mejorar el rendimiento y la seguridad. La figura 84 presenta algunos elementos usados para el análisis y monitoreo del rendimiento en el deporte y la actividad física.

Figura 1. *Dispositivos usados en el análisis y monitoreo del rendimiento en el deporte y la actividad física*



Oportunidades

Wearables y Sensores

Los dispositivos *wearables* o vestibles (9) y sensores han revolucionado la manera en que los atletas y entrenadores monitorean el rendimiento. Estos dispositivos, que incluyen relojes inteligentes, monitores de ritmo cardíaco, sensores de movimiento y unidades de medición inercial (IMU), proporcionan datos en tiempo real sobre una amplia gama de parámetros fisiológicos y biomecánicos.

- **Relojes Inteligentes y Monitores de Ritmo Cardíaco:** Los relojes inteligentes y los monitores de ritmo cardíaco permiten a los atletas rastrear su frecuencia cardíaca, niveles de oxígeno en sangre, calorías quemadas y otros indicadores vitales durante el ejercicio. Esto ayuda a los atletas a mantenerse dentro de sus zonas de entrenamiento óptimas y a evitar el sobreentrenamiento (Masoumian Hosseini M, 2023).
- **Sensores de Movimiento:** Los sensores de movimiento, como acelerómetros y giroscopios, proporcionan datos precisos sobre la aceleración, la velocidad y la orientación del cuerpo del atleta. Estos datos son esenciales para analizar la técnica y la eficiencia del movimiento, identificar patrones de fatiga y riesgo de lesiones, y mejorar la biomecánica del deportista (Wang Huifeng, 2020).
- **IMU:** Las IMU combinan acelerómetros, giroscopios y magnetómetros para ofrecer un análisis detallado de los movimientos complejos. Estos dispositivos son especialmente útiles para deportes que requieren movimientos precisos y repetitivos, como el atletismo, la gimnasia y el esquí (Reena J. Olsen, 2025).

Big Data y Análisis Predictivo

La capacidad de recopilar grandes volúmenes de datos a través de vestibles y otros dispositivos ha abierto nuevas oportunidades para el análisis predictivo en el deporte. El *Big Data* y el análisis predictivo permiten a los entrenadores y equipos deportivos utilizar algoritmos avanzados y modelos matemáticos para anticipar lesiones, planificar entrenamientos y mejorar estrategias de juego. El procesamiento de *Big Data* implica una serie de etapas críticas que transforman grandes volúmenes de datos en información útil y accionable. Estas etapas son esenciales para gestionar y analizar datos de manera efectiva. La figura 85 presenta el proceso de gestión de datos y análisis incorporados en el procesamiento de *Big Data*.

Figura 2. *representación de las fases del procesamiento Big Data*



El procesamiento de *Big Data* es un proceso complejo y multifacético que requiere una gestión meticulosa de los datos y un análisis riguroso para transformar grandes volúmenes de datos en información útil. Cada etapa, desde la adquisición y limpieza de datos hasta el análisis y la interpretación, juega un papel crucial en la obtención de conceptos valiosos que pueden guiar la toma de decisiones y estrategias aplicadas al campo deportivo o de la actividad física.

- **Anticipación de Lesiones:** Los modelos de análisis predictivo pueden identificar patrones en los datos fisiológicos y de rendimiento que indican un mayor riesgo de lesiones. Al detectar estos patrones temprano, los entrenadores pueden ajustar los programas de entrenamiento para reducir el riesgo de lesiones, implementar programas de recuperación específicos y mejorar la salud general del atleta (13).
- **Planificación de Entrenamientos:** El análisis de Big Data permite personalizar los programas de entrenamiento basados en los datos individuales de cada atleta. Esto incluye ajustar la carga de entrenamiento, la intensidad y la duración en función de la respuesta fisiológica del atleta, lo que resulta en programas de entrenamiento más efectivos y eficientes (14).
- **Mejora de Estrategias de Juego:** En deportes de equipo, el análisis predictivo puede utilizar datos de rendimiento para desarrollar estrategias de juego más informadas. Por ejemplo, el análisis de los patrones de

movimiento y el rendimiento de los jugadores puede ayudar a identificar las tácticas más efectivas contra un oponente específico, mejorar la cohesión del equipo y optimizar las decisiones tácticas en tiempo real (15).

Retos

Aunque la tecnología ofrece numerosas oportunidades para el análisis y monitoreo del rendimiento, también plantea varios desafíos significativos que deben ser abordados para maximizar sus beneficios. Dos de los retos más importantes son la privacidad y seguridad de los datos y la exactitud y fiabilidad de la información recopilada.

Privacidad y Seguridad de los Datos

La recopilación masiva de datos a través de dispositivos vestibles y sensores plantea serias preocupaciones sobre la privacidad y seguridad de la información personal de los atletas. A medida que se recopilan y almacenan grandes volúmenes de datos fisiológicos y de rendimiento, es crucial garantizar que estos datos se manejen de manera segura y ética (16,17).

- **Protección de la Información Personal:** Los datos recopilados pueden incluir información altamente sensible, como la frecuencia cardíaca, los patrones de sueño y otros parámetros fisiológicos. La divulgación no autorizada de esta información puede tener implicaciones significativas para la privacidad de los atletas. Es esencial implementar medidas de seguridad robustas, como la encriptación de datos y el control de acceso, para proteger la información personal.
- **Cumplimiento de Normativas:** Los datos de los atletas deben manejarse de acuerdo con las normativas de protección de datos aplicables, como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) en Europa o la Ley de Privacidad del Consumidor de California (CCPA) en Estados Unidos. Las organizaciones deportivas deben asegurarse de que cumplen con estas regulaciones y de que los atletas están informados y consienten el uso de sus datos.
- **Riesgos de Ciberseguridad:** A medida que los datos se almacenan y transmiten a través de redes digitales, aumentan los riesgos de ciberseguridad, incluyendo el acceso no autorizado y los ataques cibernéticos. Las organizaciones deportivas deben invertir en soluciones avanzadas de ciberseguridad y adoptar prácticas de seguridad proactivas para mitigar estos riesgos.

Exactitud y Fiabilidad

La exactitud y fiabilidad de los datos recopilados son fundamentales para que las decisiones basadas en estos datos sean efectivas. La precisión de los dispositivos vestibles y sensores puede verse afectada por diversos factores, lo que plantea desafíos en la interpretación y uso de los datos (18).

- **Calibración de Dispositivos:** Los dispositivos vestibles y sensores deben estar correctamente calibrados para garantizar la precisión de los datos recopilados. La calibración incorrecta puede llevar a mediciones inexactas y, en consecuencia, a decisiones erróneas. Es crucial realizar calibraciones periódicas y ajustes de los dispositivos para mantener su precisión.
- **Interferencias y Variabilidad:** Los sensores pueden estar sujetos a interferencias externas y variabilidad en las condiciones de medición, lo que puede afectar la exactitud de los datos. Por ejemplo, los monitores de ritmo cardíaco pueden ser influenciados por el movimiento del cuerpo o la sudoración. Es importante considerar estos factores y desarrollar métodos para minimizar su impacto en las mediciones.
- **Validación y Verificación:** La validación y verificación de los datos recopilados son pasos cruciales para asegurar su fiabilidad. Esto incluye la comparación de los datos de los dispositivos vestibles con medidas de referencia estándar y la implementación de controles de calidad para detectar y corregir posibles errores en los datos.
- **Interpretación de Datos:** Incluso con datos precisos, la interpretación correcta es esencial. Los entrenadores y profesionales del deporte deben estar capacitados para entender y utilizar los datos de manera efectiva. La capacitación en análisis de datos y la colaboración con expertos en ciencia de datos pueden mejorar la capacidad de interpretar los datos de manera precisa y utilizar conocimientos para mejorar el rendimiento y la seguridad de los atletas.

Innovaciones en el Entrenamiento y la Preparación Física

La tecnología está transformando rápidamente el ámbito del entrenamiento y la preparación física, ofreciendo nuevas herramientas y metodologías que potencian el rendimiento de los atletas y optimizan los programas de entrenamiento. Dos de las innovaciones más destacadas en este campo son la realidad virtual y aumentada y las plataformas online de entrenamiento. La figura 86 presenta las posibles aplicaciones de la realidad virtual en diversos deportes.

Figura 3. *Posibles aplicaciones de realidad virtual en el deporte*



Oportunidades

Realidad Virtual y Aumentada

La realidad virtual VR (del inglés *Virtual Reality*) y la realidad aumentada AR (del inglés *Augmented Reality*) están revolucionando la manera en que los atletas entrenan y se preparan para las competiciones. Estas tecnologías permiten crear entornos de entrenamiento inmersivos y altamente controlados que simulan situaciones reales de competencia, lo que proporciona una serie de beneficios únicos (19).

- **Simulaciones Inmersivas para Entrenamientos Específicos:** La VR y AR permiten a los atletas entrenar en entornos virtuales que replican fielmente las condiciones de juego y los escenarios de competencia. Por ejemplo, un jugador de fútbol puede practicar tiros libres en un estadio virtual con público, mientras que un ciclista puede entrenar en una réplica exacta de una pista de competencia. Estas simulaciones ayudan a mejorar

las habilidades técnicas y tácticas en un entorno seguro y controlado, sin los riesgos asociados con el entrenamiento en vivo.

- **Visualización de Tácticas y Estrategias:** Las tecnologías de VR y AR permiten a los entrenadores y atletas visualizar y ensayar tácticas y estrategias de juego de manera más efectiva. Los atletas pueden ver representaciones virtuales de jugadas y movimientos desde diferentes ángulos, mejorando su comprensión espacial y capacidad de toma de decisiones. Además, estas tecnologías facilitan el análisis post-entrenamiento, permitiendo a los entrenadores identificar áreas de mejora y ajustar las estrategias en consecuencia.
- **Rehabilitación y Recuperación:** La VR y AR también están siendo utilizadas en la rehabilitación de lesiones deportivas. Los atletas pueden realizar ejercicios de rehabilitación en entornos virtuales que replican las demandas físicas de su deporte, lo que acelera la recuperación y ayuda a los atletas a recuperar la confianza en sus habilidades después de una lesión.

Plataformas Online de Entrenamiento

Las plataformas online de entrenamiento están democratizando el acceso a programas de entrenamiento personalizados y a entrenadores expertos, eliminando las barreras geográficas y permitiendo a los atletas recibir orientación de alta calidad desde cualquier lugar (20).

- **Acceso a Programas Personalizados:** Las plataformas de entrenamiento online ofrecen programas de entrenamiento personalizados basados en las necesidades y objetivos específicos de cada atleta. Utilizando algoritmos y análisis de datos, estas plataformas pueden ajustar los programas de entrenamiento en tiempo real, asegurando que los atletas sigan un plan óptimo que maximiza su rendimiento y minimiza el riesgo de lesiones.
- **Conexión con Entrenadores Expertos:** Las plataformas online permiten a los atletas conectar con entrenadores y especialistas de todo el mundo. Esto es especialmente beneficioso para atletas en áreas rurales o con acceso limitado a entrenadores de alta calidad. A través de videollamadas, análisis de videos y seguimiento en tiempo real, los entrenadores pueden proporcionar orientación y retroalimentación personalizada, ayudando a los atletas a alcanzar sus metas.
- **Comunidad y Soporte:** Las plataformas online de entrenamiento también crean comunidades de atletas que pueden compartir sus experiencias, motivarse mutuamente y recibir apoyo. Esta sensación de

comunidad puede ser una fuente valiosa de motivación y responsabilidad, especialmente para aquellos que entrenan solos o a distancia.

- **Flexibilidad y Comodidad:** La capacidad de acceder a programas de entrenamiento y orientación de entrenadores desde cualquier lugar ofrece una gran flexibilidad y comodidad para los atletas. Esto es particularmente útil para aquellos con horarios ocupados o que viajan con frecuencia. Las plataformas online permiten a los atletas seguir sus programas de entrenamiento sin interrupciones, asegurando una continuidad en su preparación física.

Retos

Aunque las innovaciones tecnológicas en el entrenamiento y la preparación física presentan numerosas oportunidades, también enfrentan desafíos significativos. Dos de los retos más críticos son la dependencia tecnológica y el costo y accesibilidad de estas tecnologías.

Dependencia Tecnológica

La integración de tecnologías avanzadas en el entrenamiento deportivo puede llevar a una excesiva dependencia de los dispositivos y plataformas digitales, lo que podría tener consecuencias negativas para los atletas.

- **Reducción de la Toma de Decisiones Intuitiva:** La tecnología puede proporcionar datos precisos y análisis detallados, pero también puede reducir la capacidad de los atletas para tomar decisiones intuitivas durante el juego. Los deportistas que confían demasiado en los dispositivos y las simulaciones pueden desarrollar una dependencia que limite su capacidad para adaptarse rápidamente a situaciones imprevistas en la competencia real. Es fundamental que los programas de entrenamiento encuentren un equilibrio entre el uso de la tecnología y el desarrollo de habilidades cognitivas y de toma de decisiones autónomas.
- **Menor Enfoque en la Experiencia Práctica:** La tecnología puede hacer que los entrenadores y atletas se enfoquen demasiado en los datos y menos en la experiencia práctica y el "sentir" del deporte. Es importante que los entrenadores utilicen la tecnología como una herramienta complementaria y no como un sustituto de la experiencia y la intuición. La integración adecuada de la tecnología debe incluir el desarrollo de habilidades prácticas y la toma de decisiones basada en la experiencia real.

Costo y Accesibilidad

Las tecnologías avanzadas en el deporte a menudo vienen con un alto costo, lo que puede limitar su accesibilidad para muchos atletas y equipos, especialmente en países en desarrollo o en niveles de deporte *amateur*.

- **Inversión Inicial Elevada:** La implementación de tecnologías como la realidad virtual, la realidad aumentada y las plataformas de entrenamiento online requiere una inversión inicial significativa en equipos y software. Además, el mantenimiento y las actualizaciones periódicas pueden agregar costos adicionales. Estos gastos pueden ser prohibitivos para muchos clubes deportivos, escuelas y atletas individuales, restringiendo el acceso a estas innovaciones a aquellos con mayores recursos financieros.
- **Desigualdad en el Acceso:** La disparidad en el acceso a la tecnología puede crear una brecha significativa entre los atletas de élite y aquellos con menos recursos. Los deportistas en países en desarrollo o en comunidades con menos apoyo financiero pueden quedarse atrás, ya que no tienen acceso a las mismas herramientas y oportunidades de entrenamiento que sus contrapartes más privilegiadas. Esta desigualdad puede perpetuar las diferencias en el rendimiento y las oportunidades de éxito.
- **Requerimientos de Infraestructura:** Algunas tecnologías avanzadas requieren una infraestructura específica, como conexiones a internet de alta velocidad, dispositivos de realidad virtual de última generación o equipos de monitoreo especializados. La falta de infraestructura adecuada puede ser un obstáculo importante para la adopción de estas tecnologías en muchas regiones.

Mejora de la Seguridad y Prevención de Lesiones

La seguridad y la prevención de lesiones son aspectos críticos en el deporte y la actividad física. La tecnología ha abierto nuevas oportunidades para proteger a los atletas y reducir el riesgo de lesiones, pero también presenta retos significativos que deben ser abordados.

Oportunidades

Dispositivos de Prevención de Lesiones

Los avances en tecnología han dado lugar a dispositivos innovadores diseñados para prevenir lesiones y asistir en la rehabilitación de los atletas.

- **Exoesqueletos:** Los exoesqueletos son dispositivos portátiles que apoyan y potencian los movimientos naturales del cuerpo, reduciendo el esfuerzo y la carga en las articulaciones y músculos. En el ámbito deportivo, los exoesqueletos pueden ser utilizados para prevenir lesiones al proporcionar soporte adicional durante el entrenamiento y la competencia. También son útiles en la rehabilitación, ayudando a los atletas a recuperar la movilidad y fuerza después de una lesión.
- **Dispositivos de asistencia:** Otros dispositivos de asistencia, como plantillas ortopédicas inteligentes y rodilleras con sensores, pueden monitorear la biomecánica del atleta en tiempo real y proporcionar retroalimentación para corregir movimientos y posturas. Estos dispositivos pueden identificar y corregir patrones de movimiento que podrían llevar a lesiones, ayudando a los atletas a mantenerse seguros durante sus actividades.

Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial (IA) está transformando la manera en que se analizan y previenen las lesiones en el deporte. Los algoritmos de IA pueden procesar grandes volúmenes de datos de manera rápida y precisa, identificando patrones y riesgos que pueden pasar desapercibidos para los entrenadores y atletas.

- **Análisis de Patrones de Movimiento:** Los algoritmos de IA pueden analizar los patrones de movimiento de los atletas para identificar riesgos de lesiones antes de que ocurran. Utilizando datos de sensores y cámaras, la IA puede detectar anomalías en la biomecánica del atleta y proporcionar recomendaciones para corregir estos problemas. Esto permite una intervención temprana y reduce el riesgo de lesiones a largo plazo.
- **Predicción de Lesiones:** La IA también puede ser utilizada para predecir lesiones basadas en el historial de entrenamiento y el rendimiento del atleta. Analizando datos como la carga de entrenamiento, la frecuencia de entrenamiento y los signos de fatiga, los modelos predictivos pueden identificar atletas que están en riesgo de lesiones y recomendar ajustes en su régimen de entrenamiento para prevenir problemas.

Retos

Adaptación y Usabilidad

La implementación de nuevas tecnologías en la prevención de lesiones requiere tiempo y recursos significativos, y puede enfrentar varios obstáculos.

- **Proceso de Adaptación:** La adaptación a nuevas tecnologías puede ser un proceso lento y costoso. Los atletas y entrenadores deben aprender a usar y confiar en estos dispositivos, lo cual puede requerir capacitación y cambios en los métodos tradicionales de entrenamiento. Este proceso puede ser especialmente desafiante en deportes con una larga tradición de técnicas y prácticas establecidas.
- **Costo de Implementación:** Los dispositivos avanzados y las tecnologías de IA pueden ser costosos de implementar y mantener. Esto incluye no solo el costo de los dispositivos en sí, sino también el software, la infraestructura y la capacitación necesarios para su uso efectivo. Para muchos equipos y atletas, especialmente en niveles no profesionales o en países con menos recursos, estos costos pueden ser prohibitivos.

Aceptación Ética

El uso de ciertas tecnologías en el deporte puede plantear cuestiones éticas relacionadas con la equidad y la ventaja competitiva.

- **Equidad en el Deporte:** La disponibilidad desigual de tecnologías avanzadas puede crear una brecha en la equidad competitiva. Los atletas y equipos con mayores recursos pueden tener acceso a dispositivos y análisis avanzados que mejoran su rendimiento y seguridad, mientras que aquellos con menos recursos pueden quedar en desventaja. Esta disparidad plantea preguntas sobre la equidad y la justicia en el deporte.
- **Ventaja Competitiva:** El uso de tecnologías avanzadas también puede ser visto como una ventaja competitiva no justa. Algunos argumentan que la dependencia de dispositivos y algoritmos para mejorar el rendimiento y prevenir lesiones puede desvirtuar la naturaleza del deporte y la competencia justa. Es crucial establecer regulaciones y normas éticas claras para guiar el uso de estas tecnologías y asegurar un campo de juego equitativo para todos los atletas.

Accesibilidad e Inclusión en el Deporte

La accesibilidad e inclusión son aspectos fundamentales para asegurar que todas las personas, independientemente de sus capacidades o recursos, puedan participar en el deporte y la actividad física. La tecnología tiene el potencial de derribar barreras y fomentar una mayor participación, pero también enfrenta desafíos que deben ser superados para lograr una verdadera inclusión. La figura 87 muestra el uso de prótesis avanzadas y equipos especializados para adaptar deportes a personas con diversidad funcional.

Figura 4. *Deportes adaptados para personas con diversidad funcional*



Oportunidades

Tecnologías Adaptativas

Las tecnologías adaptativas están transformando la manera en que las personas con discapacidades pueden participar en el deporte, ofreciendo soluciones innovadoras que mejoran la movilidad y la capacidad de los atletas.

- **Prótesis Avanzadas:** Las prótesis modernas, diseñadas específicamente para el deporte, permiten a los atletas con amputaciones competir a niveles elevados. Estas prótesis, que pueden incluir materiales ligeros y resistentes como la fibra de carbono, están diseñadas para soportar las demandas físicas del deporte, mejorando la movilidad y el rendimiento.
- **Equipos Especializados:** Además de las prótesis, hay una amplia gama de equipos diseñados para personas con discapacidades. Por ejemplo, sillas de ruedas deportivas adaptadas para baloncesto, rugby y tenis permiten a los atletas competir en igualdad de condiciones. Estos dispositivos son ergonómicos y están optimizados para proporcionar agilidad y velocidad, lo que mejora la experiencia deportiva.

Plataformas Digitales

Las plataformas digitales están jugando un papel crucial en la promoción de la inclusión en el deporte, facilitando el acceso a información, entrenamiento y comunidad para todos los segmentos de la población.

- **Aplicaciones Inclusivas:** Las aplicaciones móviles y los sitios web pueden ofrecer programas de entrenamiento personalizados para personas con diversas habilidades y condiciones físicas. Estas plataformas proporcionan instrucciones adaptadas, rutinas de ejercicio y consejos de salud, asegurando que todos puedan encontrar actividades adecuadas a sus necesidades.
- **Comunidades Online:** Las plataformas digitales también permiten la creación de comunidades en línea donde las personas pueden compartir sus experiencias, obtener apoyo y conectarse con otros deportistas con condiciones similares. Estas comunidades fomentan un sentido de pertenencia y motivación, ayudando a más personas a involucrarse en el deporte.
- **Acceso a Información:** Las plataformas digitales pueden proporcionar información sobre eventos deportivos inclusivos, instalaciones accesibles y recursos para personas con discapacidades. Esto facilita la participación en actividades deportivas y la conexión con organizaciones y entrenadores que apoyan la inclusión.

Retos

Disparidades Digitales

La brecha digital representa un desafío significativo para la accesibilidad de las tecnologías deportivas avanzadas, especialmente en comunidades de bajos recursos.

- **Acceso Limitado a Tecnología:** En muchas áreas, especialmente en comunidades rurales y países en desarrollo, el acceso a dispositivos tecnológicos y a internet de alta velocidad es limitado. Esto puede restringir la capacidad de las personas para utilizar plataformas digitales y tecnologías adaptativas, creando una desigualdad en el acceso a oportunidades deportivas.
- **Costo de la Tecnología:** Los dispositivos avanzados, como prótesis deportivas y equipos especializados, pueden ser costosos, lo que los hace inaccesibles para muchas personas. Incluso las plataformas digitales, que pueden requerir suscripciones o equipos específicos, pueden ser prohibitivas para aquellos con recursos limitados.

Educación y Capacitación

Para que las tecnologías adaptativas y las plataformas digitales sean efectivas, es esencial educar y capacitar tanto a los atletas como a los entrenadores.

- **Conciencia y Conocimiento:** Muchos atletas y entrenadores pueden no estar al tanto de las tecnologías disponibles o de cómo utilizarlas efectivamente. Programas de educación y capacitación son necesarios para aumentar la conciencia sobre estas herramientas y sus beneficios, y para enseñar a las personas cómo integrarlas en su rutina deportiva.
- **Capacitación en el Uso de Tecnología:** La adopción de nuevas tecnologías requiere habilidades técnicas que no todos los entrenadores y atletas poseen. La capacitación continua y el apoyo técnico son fundamentales para asegurar que estas tecnologías se utilicen de manera efectiva y segura.

Casos de Estudio: Tecnología en Diferentes Deportes

Para comprender mejor cómo la tecnología está transformando el deporte, es útil analizar casos de estudio específicos. En esta sección, examinaremos cómo diferentes deportes han adoptado tecnologías innovadoras para mejorar el rendimiento, la seguridad y la experiencia general de los atletas y entrenadores.

Fútbol: Análisis de Rendimiento y Toma de Decisiones

En el fútbol, el análisis de rendimiento ha avanzado significativamente con la ayuda de la tecnología. Los sistemas de cámaras de alta velocidad y los sensores de ubicación en tiempo real permiten a los equipos rastrear los movimientos de los jugadores durante los entrenamientos y los partidos (21). Esta información es utilizada para analizar la eficiencia de los movimientos, la posición en el campo y la toma de decisiones de los jugadores. Por ejemplo, el uso de cámaras instaladas en los estadios y drones permite capturar cada movimiento de los jugadores desde múltiples ángulos. Los datos recogidos son analizados mediante algoritmos de IA para proporcionar conocimientos detallados sobre el rendimiento individual y colectivo. Los entrenadores pueden utilizar esta información para ajustar las tácticas y estrategias de juego, así como para personalizar los entrenamientos de acuerdo con las necesidades específicas de cada jugador.

Ciclismo: Monitoreo de Rendimiento y Seguridad

En el ciclismo, los dispositivos portátiles y los sensores integrados en las bicicletas han revolucionado la manera en que los ciclistas monitorean su rendimiento y seguridad. Los ciclocomputadores avanzados pueden medir una amplia gama de métricas, incluyendo la velocidad, la potencia de pedaleo, la cadencia y la frecuencia cardíaca. Estos datos se sincronizan con aplicaciones móviles y plataformas en línea, donde los ciclistas y sus entrenadores pueden

analizar el rendimiento en tiempo real y a lo largo del tiempo. Además, los sistemas de navegación GPS y las aplicaciones de rutas ofrecen a los ciclistas información detallada sobre el terreno, las condiciones climáticas y el tráfico, mejorando la seguridad durante los entrenamientos y las competiciones. Los sensores de seguridad, como los detectores de colisión, también están siendo integrados en las bicicletas para alertar a los ciclistas y a los servicios de emergencia en caso de accidente.

Natación: Análisis de Biomecánica y Técnica

La natación ha adoptado tecnologías innovadoras para analizar la biomecánica y la técnica de los nadadores. Los sistemas de cámaras subacuáticas y los sensores portátiles pueden capturar movimientos detallados de los nadadores durante sus entrenamientos (22). Estos datos se analizan para identificar áreas de mejora en la técnica, como la eficiencia de las brazadas, la posición del cuerpo y la mecánica de las vueltas. Los trajes de baño inteligentes, equipados con sensores integrados, pueden medir parámetros como la velocidad, la aceleración y la posición del cuerpo en el agua. Esta información es crucial para los entrenadores, quienes pueden utilizarla para diseñar programas de entrenamiento personalizados que mejoren la eficiencia y el rendimiento de los nadadores.

Tenis: Entrenamiento con Realidad Virtual y Aumentada

En el tenis, la VR y la AR están siendo utilizadas para mejorar el entrenamiento y la preparación de los jugadores. Los sistemas de VR permiten a los tenistas simular partidos y situaciones específicas en un entorno controlado, donde pueden practicar sus habilidades y estrategias sin las limitaciones del espacio físico. Los dispositivos de AR, como las gafas inteligentes, pueden superponer información en tiempo real sobre la visión del jugador durante los entrenamientos. Esto incluye datos sobre la velocidad de la pelota, la precisión de los golpes y la posición en la cancha. Estas tecnologías ayudan a los jugadores a mejorar su toma de decisiones y su precisión, proporcionando una ventaja competitiva significativa (23).

Atletismo: Monitoreo de Datos Biométricos y Prevención de Lesiones

En el atletismo, la tecnología ha jugado un papel crucial en el monitoreo de datos biométricos y la prevención de lesiones (24). Los corredores pueden usar dispositivos portátiles que registran una amplia gama de métricas, incluyendo la frecuencia cardíaca, la variabilidad de la frecuencia cardíaca, la oxigenación muscular y la cadencia de pasos. Estos datos permiten a los entrenadores y

atletas ajustar los entrenamientos para optimizar el rendimiento y minimizar el riesgo de lesiones. Los sistemas de análisis de la pisada, por ejemplo, utilizan sensores en el calzado para evaluar la mecánica del pie durante la carrera. Esta información puede identificar patrones de movimiento que podrían conducir a lesiones, permitiendo a los atletas corregir su técnica antes de que se produzcan problemas graves.

Baloncesto: Análisis de Datos y Mejora de Estrategias

El baloncesto ha adoptado ampliamente el análisis de datos para mejorar las estrategias y el rendimiento de los equipos. Los sistemas de seguimiento de jugadores, que utilizan cámaras y sensores, recopilan datos detallados sobre los movimientos, la velocidad, la aceleración y las interacciones de los jugadores en la cancha (25). Estos datos son analizados para identificar fortalezas y debilidades tanto a nivel individual como colectivo. Los entrenadores pueden utilizar estos conceptos para ajustar las tácticas de juego, diseñar jugadas más efectivas y mejorar la cohesión del equipo. Además, los jugadores pueden revisar su rendimiento en video y recibir retroalimentación detallada sobre cómo mejorar sus habilidades y su toma de decisiones en tiempo real.

Rugby: Mejora de la Seguridad y Prevención de Conmociones

En el rugby, la seguridad de los jugadores es una prioridad, y la tecnología ha sido fundamental para mejorarla. Los sensores de impacto, que se integran en los cascos y los protectores bucales, permiten monitorear la fuerza y la frecuencia de los impactos recibidos por los jugadores. Estos datos son cruciales para la detección temprana de conmociones cerebrales y otras lesiones graves. Los algoritmos de IA analizan estos datos en tiempo real y pueden alertar a los entrenadores y al personal médico cuando un jugador ha recibido un impacto que podría requerir una evaluación médica. Además, los entrenadores pueden utilizar esta información para ajustar las prácticas de entrenamiento y reducir la exposición a impactos repetitivos, mejorando la seguridad general del equipo.

Golf: Análisis de Swing y Optimización de Equipamiento

El golf ha incorporado tecnologías avanzadas para analizar y optimizar el swing de los jugadores. Los sensores de movimiento y las cámaras de alta velocidad capturan cada aspecto del swing, desde la postura inicial hasta el impacto con la pelota. Estos datos se analizan para identificar áreas de mejora y ayudar a los jugadores a perfeccionar su técnica. Además, la

tecnología ha permitido personalizar el equipamiento de golf. Los sistemas de análisis pueden determinar las características ideales del palo, como la longitud, la flexibilidad del eje y el ángulo de la cara, en función del swing y las preferencias del jugador. Esto no solo mejora el rendimiento, sino que también reduce el riesgo de lesiones al garantizar que el equipo se ajuste perfectamente al jugador (26).

Futuro de la Tecnología en el Deporte

Innovaciones Emergentes

Biotecnología y Genética: La biotecnología y la genética están avanzando a pasos agigantados, y su aplicación en el deporte podría redefinir el rendimiento atlético. La biotecnología está abriendo nuevas posibilidades para la mejora del rendimiento deportivo. Desde suplementos nutricionales avanzados hasta técnicas de recuperación innovadoras, las aplicaciones de la biotecnología están transformando la manera en que los atletas cuidan sus cuerpos. Los estudios genéticos, por ejemplo, pueden ayudar a identificar predisposiciones a ciertas lesiones o a responder mejor a determinados tipos de entrenamiento. Los avances en modificación genética podrían permitir la optimización de características físicas como la resistencia, la velocidad y la recuperación. Por ejemplo, la edición de genes mediante Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Interespaciadas (CRISPR-Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) podría potencialmente mejorar la eficiencia metabólica o la resistencia a lesiones. Sin embargo, esto también plantea cuestiones éticas sobre la equidad en el deporte y la posibilidad de crear "superatletas".

Otra área prometedora es la bioimpresión, que puede ser utilizada para crear tejidos y órganos personalizados para la recuperación de lesiones. Los avances en la biotecnología también pueden llevar a la creación de dispositivos implantables que monitoreen la salud y el rendimiento de los atletas en tiempo real, proporcionando datos vitales para la optimización del entrenamiento y la prevención de lesiones.

Computación Cuántica: La computación cuántica tiene el potencial de transformar el análisis de datos en el deporte. Esta tecnología emergente puede procesar grandes volúmenes de datos a velocidades incomparables con las computadoras tradicionales. En el contexto deportivo, esto podría llevar a modelos predictivos más precisos para el rendimiento de los atletas, estrategias de juego más optimizadas y una mejor comprensión de los factores que

influyen en las lesiones. La capacidad de realizar cálculos complejos en tiempo real podría revolucionar la forma en que los entrenadores y los científicos deportivos toman decisiones.

Interfaces Cerebro-Computadora: Las interfaces cerebro-computadora BCI (del inglés *Brain computer interface*) representan una frontera emocionante en la tecnología deportiva. Estas interfaces permiten una comunicación directa entre el cerebro humano y un dispositivo externo, lo que podría tener aplicaciones revolucionarias en el deporte. Los BCI pueden ser utilizados para mejorar la concentración y la toma de decisiones, entrenando a los atletas para que controlen mejor sus respuestas neurológicas y optimicen su rendimiento mental. En el futuro, podríamos ver el desarrollo de dispositivos BCI que permitan a los atletas controlar equipos o incluso a sus propios cuerpos de manera más eficiente. Esta tecnología también podría ser utilizada para la rehabilitación de lesiones, ayudando a los atletas a recuperar el control de sus músculos y movimientos después de una lesión.

Deportes Electrónicos y Deporte Digital: El auge de los deportes electrónicos e-sports (del inglés *electronics sports*) y el deporte digital está redefiniendo lo que consideramos deporte. Los e-sports están atrayendo a millones de espectadores y generando ingresos significativos, compitiendo con los deportes tradicionales en popularidad e influencia. Los avances en la tecnología de videojuegos y las plataformas de transmisión están impulsando esta tendencia, ofreciendo experiencias de juego y visualización cada vez más inmersivas. Los deportes digitales también están utilizando tecnologías avanzadas para mejorar la experiencia del jugador y del espectador. La VR, la IA y los sensores de movimiento están siendo integrados en los videojuegos para crear experiencias de juego más realistas y envolventes. Los espectadores pueden disfrutar de transmisiones en vivo con gráficos y estadísticas avanzadas, mejorando su experiencia de visualización y participación.

Desafíos Futuros

Regulación y Normativa: La introducción de nuevas tecnologías en el deporte requiere marcos regulatorios robustos para garantizar su uso ético y seguro. La modificación genética, por ejemplo, puede plantear problemas relacionados con la equidad y la integridad de la competición. Establecer normas claras para la aplicación de tecnologías emergentes ayudará a prevenir el uso indebido y a mantener la integridad de los deportes. Las organizaciones deportivas y los cuerpos reguladores tendrán que colaborar para crear políticas que aborden estos desafíos de manera efectiva.

• **Sostenibilidad:** El desarrollo y la implementación de nuevas tecnologías deben ser sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Esto incluye considerar el impacto ambiental de la producción y desecho de dispositivos tecnológicos, así como el consumo de recursos durante su uso. Fomentar prácticas sostenibles en la fabricación y el reciclaje **de equipos deportivos tecnológicos es fundamental para minimizar el impacto ambiental.** Además, la investigación en tecnologías que reduzcan la huella de carbono de las actividades deportivas puede contribuir a un futuro más verde y responsable.

Conclusión

La integración de tecnologías avanzadas, como vestibles, sensores, Big Data y análisis predictivo, ha revolucionado el análisis y monitoreo del rendimiento deportivo. Estas innovaciones proporcionan datos detallados y en tiempo real, lo que permite a entrenadores y atletas tomar decisiones informadas para mejorar el rendimiento, prevenir lesiones y optimizar estrategias de juego. Además, las tecnologías emergentes como la realidad virtual, la realidad aumentada y las plataformas online están transformando el entrenamiento al crear entornos inmersivos y personalizados, y conectar a los atletas con expertos de todo el mundo, ofreciendo nuevas oportunidades para el desarrollo físico y estratégico.

Sin embargo, la implementación de estas tecnologías enfrenta desafíos significativos. La privacidad, la seguridad de los datos y la exactitud y fiabilidad de la información recopilada son preocupaciones cruciales que deben ser abordadas. Es esencial aplicar medidas de seguridad robustas, cumplir con normativas de protección de datos, y llevar a cabo la calibración y validación de dispositivos, además de capacitar adecuadamente en la interpretación de datos, para superar estos retos y garantizar el uso ético y efectivo de la tecnología en el deporte.

La accesibilidad y el costo son obstáculos importantes que limitan la disponibilidad de estas tecnologías para todos los niveles del deporte. La solución a estos desafíos es fundamental para asegurar que los beneficios de la tecnología sean accesibles para todos los atletas, sin importar su nivel o recursos. Abordar estos problemas permitirá una distribución más equitativa de las oportunidades tecnológicas en el ámbito deportivo.

Además, la dependencia excesiva de la tecnología puede afectar la capacidad de los atletas para tomar decisiones intuitivas y centrarse en la experiencia práctica. El alto costo y la falta de acceso a estas tecnologías también pueden generar desigualdades significativas en las oportunidades de entrenamiento. Para mantener la competencia justa y asegurar una distribución equitativa de

los beneficios tecnológicos, es crucial abordar estos desafíos con un enfoque equilibrado y ético.

Con un enfoque adecuado, la tecnología tiene el potencial de transformar el deporte y la actividad física, mejorando el rendimiento, la seguridad y la inclusión. La continua innovación promete un futuro lleno de posibilidades para el deporte, pero es necesario encontrar un equilibrio entre la tecnología y los valores fundamentales del deporte. Invertir en infraestructura, programas de capacitación y políticas inclusivas es clave para maximizar el impacto positivo de la tecnología y asegurar que todos puedan disfrutar de sus beneficios.

Preguntas Orientadoras de Aprendizaje

La finalidad didáctica de las preguntas orientadoras de aprendizaje radica en estructurar y profundizar el proceso cognitivo del lector durante la construcción del conocimiento. Estas preguntas estimulan el pensamiento crítico al fomentar el análisis, la comparación, la inferencia y la argumentación, al tiempo que fortalecen la metacognición, pues invitan a reflexionar sobre su propio nivel de comprensión. Además, favorecen una comprensión relacional y sistémica del contenido y orientan la transferencia del aprendizaje hacia contextos diversos.

1. ¿De qué manera el uso de dispositivos *wearables* y sensores (como monitores de ritmo cardíaco y acelerómetros) permite a los atletas evitar el sobreentrenamiento y mejorar su biomecánica?
2. ¿Cuáles son las fases esenciales del procesamiento de Big Data y por qué es fundamental una gestión meticulosa de los datos para la toma de decisiones estratégicas?
3. ¿Cómo puede el análisis predictivo identificar patrones de riesgo para anticipar lesiones y personalizar las cargas de entrenamiento según la respuesta fisiológica de cada individuo?
4. ¿Qué beneficios únicos ofrecen la Realidad Virtual (VR) y la Realidad Aumentada (AR) en el proceso de recuperación física y psicológica de un deportista lesionado?
5. ¿De qué forma tecnologías como el GPS y los sensores de impacto integrados en el equipamiento mejoran la atención médica inmediata ante lesiones como las conmociones cerebrales?
6. ¿Cuáles son las principales preocupaciones éticas respecto a la privacidad de los datos y qué medidas de seguridad se recomiendan para proteger la información sensible de los atletas?

7. ¿Cómo podría una dependencia excesiva de los datos y las simulaciones digitales afectar la toma de decisiones intuitiva y la experiencia práctica del deportista en situaciones de competencia real?
8. ¿De qué manera las tecnologías adaptativas (como prótesis de fibra de carbono o sillas de ruedas especializadas) están derribando barreras para las personas con diversidad funcional?
9. ¿Cómo influye el alto costo de implementación de estas tecnologías en la creación de brechas de éxito entre atletas de élite y aquellos en niveles *amateur* o de países en desarrollo?
10. ¿Qué desafíos éticos y regulatorios plantean innovaciones emergentes como la biotecnología y la edición genética para el mantenimiento de los valores fundamentales del deporte?

Cuestionario

1. ¿Qué dispositivos permiten a los atletas rastrear indicadores vitales como la frecuencia cardíaca y los niveles de oxígeno para evitar el sobre entrenamiento?

a) Cámaras de alta velocidad.
b) Relojes inteligentes y monitores de ritmo cardíaco.
b) Sensores de impacto en cascos.
d) Realidad aumentada.

2. Las Unidades de Medición Inercial (IMU) son especialmente útiles en deportes de movimientos precisos porque combinan:

A) GPS y sensores de sueño.
B) Acelerómetros, giroscopios y magnetómetros.
C) Inteligencia artificial y Big Data.
D) Realidad virtual y tejidos inteligentes.

3. ¿Cuál es una de las etapas críticas del procesamiento de Big Data mencionada en el texto?

a) Venta de datos personales.
b) Adquisición, limpieza y análisis predictivo.
c) Eliminación de registros históricos.
d) Creación de perfiles públicos de atletas.

4. ¿Cuál es un beneficio principal de la Realidad Virtual (VR) en el entrenamiento deportivo?

a) Reducción total de la fatiga muscular.
b) Creació n de simulaciones inmersivas en entornos seguros y controlados.
c) Sustitución definitiva del entrenador físico.
d) Eliminación de la necesidad de equipo deportivo real.

5. Según las fuentes, un riesgo de la dependencia tecnológica excesiva es:

a) El aumento de la fuerza física.
b) La reducción de la toma de decisiones intuitivas durante el juego.
c) La mejora automática de la técnica.
d) El cumplimiento estricto del GDPR.

6. ¿Cómo ayuda el GPS y los sensores de aceleración a la seguridad del atleta?

a) Midiendo las calorías quemadas por minuto.
b) Rastreando impactos para detectar conmociones cerebrales y otras lesiones graves.
c) Mejorando la señal de internet en los estadios.
d) Identificando el calzado más barato del mercado.

7. En el contexto de la prevención, ¿qué función cumple la Inteligencia Artificial (IA)?

a) Reemplazar la cirugía en casos graves.
b) Analizar patrones de movimiento para detectar anomalías biomecánicas y predecir riesgos.
c) Automatizar el cobro de entradas a los eventos.
d) Entrenar a los árbitros en tiempo real.

8. ¿Qué materiales se mencionan como fundamentales en las prótesis avanzadas para atletas con diversidad funcional?

a) Plásticos reciclados.
b) Hierro y bronce.
c) Materiales ligeros y resistentes como la fibra de carbono.
d) Madera tratada.

9. ¿Cuál es el principal desafío de las disparidades digitales en el deporte?

a) La falta de interés de los jóvenes.
b) El acceso limitado a tecnología en comunidades rurales y países en desarrollo.
c) La abundancia de plataformas gratuitas.
d) El exceso de capacitación de los entrenadores.

10. ¿Qué tecnología emergente podría permitir a los atletas controlar equipos o sus propios cuerpos mediante respuestas neurológicas?

a) Computación cuántica.
b) Interfaces Cerebro-Computadora (BCI).
c) Bioimpresión de tejidos.
d) Realidad Aumentada (AR).

11. La tecnología CRISPR se menciona en el ámbito de la biotecnología para:

a) Fabricar mejores balones.
b) La edición de genes para mejorar potencialmente la resistencia o recuperación.
c) Crear simulaciones de estadios virtuales.
d) Encriptar los datos de privacidad del GDPR.

12. ¿Cuál es un desafío ético futuro crítico mencionado en relación con la innovación tecnológica?

a) El color de los uniformes.
b) La equidad competitiva y el riesgo de crear "superatletas".
c) La duración de los partidos de e-sports.
d) El uso de redes sociales por los entrenadores.

Referencias

1. Frevel N, Beiderbeck D, Schmidt S. The impact of technology on sports – A prospective study. Technological Forecasting and Social Change. 2022; p. 121838, https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121838.

2. Ringuet-Riot C, Carter S, James D. Programmed Innovation in Team Sport Using Needs Driven Innovation. Procedia Engineering. 2014; 72: p. 817-822, https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.06.139.

3. van M, Kok M, Berger M, Hoozemans M, Veeger D. Machine Learning to Improve Orientation Estimation in Sports Situations Challenging for Inertial Sensor Use. Frontiers in Sports and Active Living. 2021; p. 1-18 https://doi.org/10.3389/fspor.2021.670263.

4. Jiang Y. Combination of wearable sensors and internet of things and its application in sports rehabilitation. Computer Communications. 2020; p. 167-176, https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.11.021.

5. Fulu L. Development of Athlete Health Monitoring and Early Warning System Based on Sensor Data. Journal of Electrical Systems. 2024; p. 2037-2047, https://doi.org/10.52783/jes.3118; https://pdfs.semanticscholar.org/87d9/9e0aced39aea8c7be7a788386bea62910826.pdf

6. Varley M, Jaspers A, Helsen W, Malone J. Methodological Considerations When Quantifying High-Intensity Efforts in Team Sport Using Global Positioning System Technology. International Journal of Sports Physiology and Performance. 2017; p. 1059-1068, https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0534.

7. Nobari H, Banihashemi M, Saedmocheshi S, Prieto-González P, Oliveira R. Overview of the impact of sleep monitoring on optimal performance, immune system function and injury risk reduction in athletes: A narrative review. Sports Sciences, Exercise, and Health – Medicine & Health Sciences. 2023; p. 1-18. https://doi.org/10.1177/00368504231206265.

8. Schmid S. 21st Century Sport How technologies will change sport in the digital age: Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-030-50801-2; 2020.

9. Ometov A, Shubina V, Klus L, Skibińska J, Saafi S, Pascacio P, et al. A Survey on Wearable Technology: History, State-of-the-Art and Current Challenges. Computer Networks. 2021; p. 108074, https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108074 .

10. Masoumian M, Masoumian S, Qayumi K, Hosseinzadeh S, Sajadi S. Smartwatches in healthcare medicine: assistance and monitoring; a scoping review. BMC Med Inform Decis Mak. 2023 Nov 3;23 (1): p. 248. https://doi.org/10.1186/s12911-023-02350-w.

11. Huifeng W, Kadry S, Raj E, Continuous health monitoring of sportsperson using IoT devices based wearable technology, Computer Communications,Volume 160, 2020; p. 588-595, https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.04.025.

12. Olsen R, Hasan S, Woo J, Nawabi D, Ramkumar P, The Fundamentals and Applications of Wearable Sensor Devices in Sports Medicine: A Scoping Review, Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery, Volume 41, Issue 2, 2025, p. 473-492, https://doi.org/10.1016/j.arthro.2024.01.042 .

13. Dong X, Sun Y. Injury Risk Prediction and Prevention Algorithm for Athletes Based on Data Mining. Journal of electrical systems. 2024; p. 717-1728, https://doi.org/10.52783/jes.3090; https://pdfs.semanticscholar.org/ef34/ed6aae8c514623f9e095b863a5dcb4799ead.pdf.

14. Ma S. Enhancing sports education through Big Data analytics: Leveraging models for improved teaching strategies. In Proceedings of the 6th International Conference on Computing and Data Science; 2024. p. 184-189, https://doi.org/10.54254/2755-2721/57/20241331.

15. Xiao Y. A Study on Improving Tactical Strategies in Sports Games Using Optimization algorithms. Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. 2024; p. 1-12, https://doi.org/10.2478/amns-2024-0016.

16. Zhang Z, Cai J. Athlete muscle strength control training based on network security and multi-source information fusion. Molecular & Cellular Biomechanics. 2024; p. 1-17, https://doi.org/10.62617/mcb.v21.142; https://pdfs.semanticscholar.org/c587/32c0843fdb5184f4584a02bf861e8bd84b23.pdf.

17. Jamal H, Algeelani N, Al-Sammarraie N. Safeguarding data privacy: strategies to counteract internal and external hacking threats. Computer Science and Information Technologies. 2024; p. 46-54, https://doi.org/10.11591/csit.v5i1.pp46-54.

18. Nahavandi D, Alizadehsani R, Khosravi A, Acharya U. Application of artificial intelligence in wearable devices: Opportunities and challenges. Computer Methods and Programs in Biomedicine. 2022; p. 106541, https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2021.106541 .

19. Viglialoro R, Condino S, Turini G, Carbone M, Ferrari V, Gesi M. Review of the Augmented Reality Systems for Shoulder Rehabilitation. Information. 2019; p. 54, https://doi.org/10.3390/info10050154 .

20. Pardos A, Gallos P, Menychtas A, Panagopoulos C, Maglogiannis I. Enriching Remote Monitoring and Care Platforms with Personalized Recommendations to Enhance Gamification and Coaching. Studies in health technology and informatics. 2023; p. 332-336, https://doi.org/10.3233/shti230129.

21. Oliveira L, Melendi D, García R. Comparing Tactical Analysis Methods in Women's Soccer Using Positioning Data from Electronic Performance and Tracking Systems. Electronics 13, no. 10. 2024; p. 1876. https://doi.org/10.3390/electronics13101876.

22. Ladyka P, Kuz Y. Use of modern information technologies in the educational and training process of swimmers: innovations, challenges and prospects. Grail of science. 2023; p. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.09.06.2023.76.

23. Novak D, Sinković F, Bilić Z, Barbaros P. The Effects of a Short Virtual Reality Training Program on Dynamic Balance in Tennis Players. Journal of Functional Morphology and Kinesiology 8, no. 4. 2023; p. 168. https://doi.org/10.3390/jfmk8040168.

24. Wu B. Real Time Monitoring Research on Rehabilitation Effect of Artificial Intelligence Wearable Equipment on Track and Field Athletes. EAI Endorsed Transactions on Pervasive Health and Technology. 2024; p. https://doi.org/10.4108/eetpht.10.5150.

25. Xu M. Basketball Tactics Analysis Based on Improved Openpose Algorithm and Its Application. Journal of Electrical Systems. 2024; p. https://doi.org/10.52783/jes.1303. https://pdfs.semanticscholar.org/2e99/df60f56316bd64ebd43364721a08de90e413.pdf

26. Lückemann P, Haid D, Brömel P, Schwanitz S, Christian C. Validation of an Inertial Sensor System for Swing Analysis in Golf. In Proceedings; 2018. p. 246, https://doi.org/10.3390/proceedings2060246.

27. Luder V, Bian S, Magno M. CycloWatt: An Affordable, TinyML-enhanced IoT Device Revolutionizing Cycling Power Metrics. arXiv.org. 2024; p. https://doi.org/10.48550/arxiv.2403.07915.

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 Minciencias.

Acerca de los Autores

About the Authors

Wilson González Marmolejo
Fundación Universitaria María Cano
https://orcid.org/0000-0002-8960-5801
wilsongonzalezmarmolejo@fumc.edu.co

Fisioterapeuta- Universidad del Valle, Magister en gerencia de servicios de salud – Universidad Libre, Master en cadenas miofasciales – Kinésica Madrid, certificado en neurodesarrollo adulto con hemiplejia – NDTA, certificado en Watsu – WABA, certificado en terapia específica en el agua- IATF, Diplomado en gerencia universitaria- Fundación Universitaria María Cano. Ha desarrollado una amplia trayectoria en el campo de la fisioterapia y la educación, destacándose por su participación en diversos eventos internacionales y nacionales relacionados con la terapia acuática, rehabilitación física y educación en salud. Ha sido conferencista en cursos y diplomados, abordando temas como la rehabilitación deportiva, neurorrehabilitación y terapia acuática con enfoques variados.

En cuanto a su formación académica, ha realizado varios diplomados y cursos especializados en áreas como docencia virtual, gerencia universitaria, gestión del conocimiento en educación, prevención y promoción de la salud, entre otros. Además, ha obtenido certificaciones en terapia específica en el agua, RCP, pedagogía y currículo, telemedicina e imágenes musculoesqueléticas. Se destaca su título de Fisioterapeuta de la Universidad del Valle y su maestría en Gerencia de Servicios de Salud de la Universidad Libre.

A lo largo de su carrera, ha desempeñado roles diversos, desde docente a tiempo completo en la Fundación Universitaria María Cano hasta fisioterapeuta en diferentes instituciones como el centro de neurorrehabilitación Surgir, el Gimnasio Seven Club, el Gimnasio Gym Plus y el gimnasio del Club Colombia. Ha sido instructor de pilates, profesor de patinaje y fisioterapeuta de apoyo en la Fundación Parkinson de Colombia. También ha coordinado programas y entrenamientos en terapia acuática, ortopedia, traumatología y rehabilitación deportiva. Además, ha participado como autor y conferencista en publicaciones y eventos especializados en el campo de la fisioterapia y la educación en salud.

Jorge Enrique Ramírez Malagón
Escuela Colombiana de Rehabilitación
https://orcid.org/0009-0004-7319-7999
jramirezmalagon595@gmail.com

Fisioterapeuta – Universidad Manuela Beltrán. Diplomado en Neuro rehabilitación pediátrica – Universidad Manuela Beltrán. Especialista en fisioterapia del deporte – Universidad Manuela Beltrán. Se desempeñó como fisioterapeuta en la academia de futbol formativo de Millonarios FC implementando programas de valoración enfocada en capacidades físicas y detección temprana del talento (2022), se desempeñó como coordinador de fisioterapia en el programa de talento y reserva deportiva del ministerio del deporte, creando protocolos de valoración os cuales puedan facilitar la detección del talento y hallazgos en la capacidades físicas y condiciones de salud en la población infantil a nivel nacional, realizando capacitaciones para deportistas y entrenadores de la prevalencia en la sifones osteomusculares en los deportes y modalidad específicas de deportes olímpicos y paralímpicos, dando estrategias de como poder mitigar el riesgo de lesiones (2023). desempeñó como. En el (2024) siguió desempeñándose como coordinador de talento y reserva deportiva desde el área de fisioterapia realizando valoraciones funcionales a las poblaciones inferior a mayores en el deporte Olímpico y Paralímpico con el fin de detectar capacidades físicas resaltable acordes a la edad cronológica y deportiva, como también condiciones normales de salude a nivel osteomuscular. Realizando también acompañamiento en las concentraciones de las selecciones nacionales de BMX, JUDO, ESGRIMA, KARATE-DO y levantamiento de pesas, se desempeñó como fisioterapeuta deportiva en el acompañamiento a la selección Colombia SUB-18 de atletismo en los juegos suramericanos en el 2024. Ha sido invitado especial en la semana de la actividad física y deporte en la universidad sanitas donde desarrollo un taller sobre la importancia de la masa y control muscular en la salud el paciente, dirigido a estudiantes de medicina. Invitado especial por parte de la universidad Iberoamericana para desarrollar un taller teórico práctico para estudiantes del pregrado de fisioterapia, donde se desarrollaron temas como: valoración funcional al deportista, intervención integral al deportista. Invita como ponente en encontró internacional de medicina del deporte realizado en la ciudad de Cali donde se expuso el tema de la relación directa entre lesiones deportivas y la movilidad articular.

Se desempeña como docente de post grado, del módulo de modalidades cinéticas en la especialización en fisioterapia del deporte en la Escuela Colombiana de Rehabilitación (2025).

Diego Fernando Orejuela Aristizábal
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
ⓘ *https://orcid.org/0000-0001-8699-2933*
✉ *diegoorejuelaaristizabal@gmail.com*

Profesional en Deporte y Actividad Física. Especialista en Actividad Física Terapéutica. Especialista Dirección y Gestión Deportiva. Especialista Teoría y Metodología IUEND. Magister en Direccionamiento Estratégico "Énfasis en Gerencia" Universidad Iberoamericana. Magister Educación mediada por las TIC – ICESI. Doctorando Deporte y Actividad Física Universidad Iberoamericana. Doctorando en Ciencia y Tecnologías de la Actividad Física y el Deporte. Ha desempeñado diversos roles a lo largo de su trayectoria profesional. Fue Entrenador y Preparador Físico del Club Delfines del Valle entre 2005 y 2008, así como Preparador Físico de la Selección Valle para las Interligas en 2005. Entre 2003 y 2005, laboró como Entrenador de planta CAF del Club San Fernando. En 2009, ejerció como Entrenador y Coordinador de personalizados en Bodytech. Fue metodólogo de la Liga de Ciclismo del Valle en la disciplina de BMX desde 2008 hasta 2019. Asimismo, se desempeñó como docente ocasional en la Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte durante el periodo 2009–2010. Posteriormente, entre 2011 y 2017, fue Docente Coordinador de Práctica en la Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte de la misma institución. Entre 2017 y 2022, ocupó el cargo de Coordinador del programa académico de Deporte en dicha facultad e institución. Actualmente, se desempeña como Decano de la Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte.

Laura Jimena Rodríguez Romero
Universidad Santiago de Cali; Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
ⓘ *https://orcid.org/0000-0003-0436-5798*
✉ *lau.rodriguez0626@gmail.com*

Profesional en Deporte. Magister en Deporte y actividad física. Doctorando en ciencias aplicadas. Se ha desempeñado como entrenadora de preparación física en el gimnasio Sportlab, con enfoque en entrenamiento funcional. Desde el año 2018 hasta la actualidad, ejerce como docente de levantamiento de pesas I, II y IV en el programa de Deporte y Tecnología en Deporte de la Escuela Nacional del Deporte. Asimismo, imparte el curso de ampliación profesional en acondicionamiento con ejercicios físicos II dentro del programa de Deporte desde 2018 hasta la actualidad. Entre 2021 y 2023, ha sido docente de apoyo en el curso de teoría y metodología del entrenamiento II. De igual forma, se desempeña como coordinadora de práctica pedagógica del programa de Deporte en la Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte, cargo que ocupa desde 2020 y mantendrá hasta 2024.

Leidy Tatiana Ordoñez-Mora
Universidad Santiago de Cali. Colombia
https://orcid.org/0000-0002-4476-0867
leidy.ordonez01@usc.edu.co / tatiana.ormora@gmail.com

Fisioterapeuta de la Escuela Nacional del Deporte, Cali, Colombia. Especialista en Neurorrehabilitación de la Universidad Autónoma de Manizales, Manizales, Colombia. Magister en Neurorrehabilitación de la Universidad Autónoma de Manizales, Manizales, Colombia.

Doctora en Ciencias Aplicadas de la Universidad Santiago de Cali, Colombia.

Doctora en Ciencias de la Salud de la Universidad de Cádiz, España. Docente titular de la Universidad Santiago de Cali, Cali, Colombia. Investigador categoría Senior, integrante y líder del grupo de Investigación Salud y movimiento de la Universidad Santiago de Cali.

Camilo Alberto Camargo Puerto
CIEDES Hospital Universitario San Rafael de Tunja
https://orcid.org/0000-0002-9607-1692
dc.camilocamargo@gmail.com

Médico Cirujano - Universidad de Boyacá. Especialista en Medicina de la Actividad Física y del Deporte - Fundación Universitaria Ciencias de la Salud (FUCS). Su formación académica incluye especializaciones en Biomecánica y Obesidad, destacándose como Preceptor de Chip en Obesidad en la Universidad de Campinas en Sao Pablo. Con una sólida trayectoria en el ámbito deportivo, ha ejercido como Médico de equipo FIFA, complementando su conocimiento con un Diplomado en Docencia Universitaria y otro en Infiltraciones Osteomusculoarticulares. Especializado en ecografía musculoesquelética, ha tomado cursos adicionales sobre ortobiológicos e infiltraciones articulares. Su experiencia incluye haber sido Médico de la selección Bogotá para UCAD y trabajar en eventos como los Juegos FIDES, ASCUN, y Nacionales y Paranacionales. Asimismo, ha colaborado con las fuerzas básicas de clubes como Millonarios F.C. y Fortaleza F.C., y ha sido Especialista en Gestión de Riesgo en la Secretaría de Salud de Bogotá para eventos deportivos.

Académicamente, es docente en la Especialización en Medicina de la Actividad Física y del Deporte en la FUCS y ha sido profesor asociado en varias áreas en la Universidad de Boyacá, donde también cofundó y dirigió la Especialización en Medicina del Deporte. Su labor en investigación incluye la coordinación de la línea de investigación CIEDES y la fundación de CERMED IPS y la Media

Maratón de Tunja. Ha publicado numerosos artículos y capítulos de libros, además de dirigir congresos y ser ponente en eventos internacionales. Es miembro activo de AMEDCO y vicepresidente de la Sociedad Colombiana de Medicina Regenerativa. Su contribución al campo y su participación en comités académicos lo posicionan como un referente en su área.

Martín Hernán Bonilla Obando
CIEDES Hospital Universitario San Rafael de Tunja
https://orcid.org/0000-0001-6577-0127
mhbonilla@uniboyaca.edu.co

Médico Cirujano - Universidad Libre Seccional Cali. Especialista en Medicina del Deporte y la Actividad Física - Universidad de Boyacá en Tunja, Boyacá. A lo largo de su carrera, ha sido reconocido como Médico de equipo FIFA y ha obtenido un Diplomado en Docencia Universitaria en el Politécnico Superior. Además, se ha destacado como ponente nacional en temas relacionados con la medicina del deporte y es autor de varios artículos científicos. En la actualidad, el Dr. ejerce como médico del deporte en el Hospital Universitario San Rafael de Tunja, el Hospital Regional de Duitama y el Centro Médico Colsanitas de Tunja. Anteriormente, trabajó como Médico del Deporte en CERMED IPS, contribuyendo significativamente al campo de la medicina deportiva.

Raúl Yesid Rodríguez Mayorga
CIEDES Hospital Universitario San Rafael de Tunja
https://orcid.org/0000-0002-2605-2461
raurodriguez@uniboyaca.edu.co

Médico Cirujano - Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) en Tunja, Boyacá. Especialista en Medicina del Deporte y la Actividad Física - Universidad de Boyacá. A lo largo de su carrera, ha alcanzado el reconocimiento como Médico de equipo FIFA y obtuvo un Diplomado en Ondas de Choque a través de la Sociedad Colombiana de Ondas de Choque. Además, se ha destacado como ponente en eventos nacionales abordando temas relacionados con el alto rendimiento deportivo. En cuanto a su trayectoria profesional, el Dr. ocupa el cargo de director del Departamento Médico del Club Atlético Bucaramanga. En su gestión, ha logrado llevar al club a la victoria, convirtiéndose en Campeón de la Liga Colombiana Betplay en el primer semestre de 2024. Su experiencia también incluye la participación como médico de campo en competencias deportivas internacionales, destacándose en la Conmebol Libertadores 2025.

Julián Andrés Lasprilla Bueno
Universidad del Valle. Cali, Colombia
https://orcid.org/0000-0002-5758-1104
ftjulianlasprilla@gmail.com

Fisioterapeuta – Universidad del Valle. Especialista en Actividad Física Terapéutica – Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Magíster en Fisioterapia – Universidad del Valle. Doctorando en Ergonomía – Universidad del Valle. Desde su graduación en 2002 como fisioterapeuta de la Universidad del Valle, ha construido una trayectoria integral, combinando la práctica clínica, la docencia universitaria y la investigación, con un enfoque especializado en fisioterapia deportiva. Su experiencia en diversos entornos clínicos le ha permitido adquirir un conocimiento profundo sobre la complejidad del sistema musculoesquelético y las lesiones deportivas.

A lo largo de su trayectoria, ha complementado su formación académica con diplomados y cursos especializados, perfeccionando técnicas avanzadas en terapia manual ortopédica, anatomía palpatoria y creeping fascial. Además, su formación en docencia universitaria y gerencia académica ha sido clave para su desarrollo como educador, fortaleciendo su compromiso con la formación de futuros fisioterapeutas.

Desde 2005, ha ejercido la docencia en reconocidas instituciones de Cali, como la Fundación Universitaria María Cano, la Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte y la Universidad del Valle. En estas instituciones, ha impartido conocimientos teóricos y habilidades prácticas, guiando a estudiantes en su formación como fisioterapeutas competentes y comprometidos en el ámbito deportivo.

Ha acumulado una amplia experiencia en fisioterapia deportiva, participando en diversos eventos nacionales e internacionales. Ha trabajado como fisioterapeuta en los Juegos Deportivos Nacionales y Departamentales en Colombia, brindando apoyo a atletas en múltiples disciplinas. Su labor ha sido fundamental en competencias como la Copa Loyola de la Pontificia Universidad Javeriana, el Campamento Internacional de Taekwondo y la Bienal Internacional de Danza de Cali, donde ha coordinado la atención fisioterapéutica para los participantes. Su compromiso con el bienestar de los deportistas y su conocimiento en rehabilitación le ha permitido contribuir al desarrollo de estrategias de prevención y recuperación de lesiones en atletas de alto rendimiento.

Comprometido con la investigación, ha participado en congresos, simposios y encuentros científicos, destacándose como ponente en temas de

fisioterapia deportiva, biomecánica y rehabilitación en eventos nacionales e internacionales. Su trabajo de grado en la Maestría en Fisioterapia recibió mención meritoria, reflejando la calidad y el impacto de sus investigaciones sobre activación excéntrica de los isquiotibiales en mujeres deportistas. Su perfil académico e investigativo se complementa con su registro en CvLAC y ORCID, donde documenta sus contribuciones al campo de la fisioterapia y ergonomía.

Actualmente, su trabajo se centra en Santiago de Cali, Valle del Cauca, donde sigue comprometido con el crecimiento de la fisioterapia y la formación de profesionales que contribuyan al bienestar de la comunidad como docente de la Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte y la Universidad del Valle.

Norma Elizabeth Mora Rosas

Sport Med Centro Médico. Guadalajara Jalisco, México
ⓘ *https://orcid.org/0009-0003-0152-5220*
✉ *morarosas@gmail.com*

Licenciatura en Psicología – Universidad ITESO, México. Especialidad en PNL -Centro Mexicano de Programación Neurolingüística. Maestría Psicología del Deporte y Actividad Física – Universidad Autónoma de Madrid, España. Diplomado en Psicología Budista – Universidad Antropológica de Guadalajara, México. Maestrante en Maestría en Conciencia Plena Mindfulness – Universidad Utel México. Se desempeñó como psicóloga del deporte en Code Jalisco (Consejo Deportivo del Estado de Jalisco) del año 2008 a al 2011 donde estuvo a cargo del entrenamiento mental y el proceso psicológicos de atletas infantiles y juveniles de los deportes de tiempo y marca en especial Atletismo, Halterofilia y Natación y otros deportes de precisión y de combate. Como miembro del equipo multidisciplinario acompañó a los atletas a las Olimpiadas Nacionales de esos años, donde Jalisco se coronó campeón indiscutible a nivel nacional.

A partir del 2011 a la fecha ha dirigido su consultoría particular Marcher Psicología para el Éxito, en done ha atendido a atletas rumbo a los juegos olímpicos de Río 2016, ToKyo 2020 y Paris 2024; además de seguir el desarrollo mental de atletas seleccionados nacionales y estatales logrando la oportunidad de estar con sus atletas en la Copa del Mundo de Judo en Corea 2015, Juegos Panamericanos Lima 2019, Copa del Mundo Italia 2021, Nacional de España en Mérida, España 2021, Copa del Rey en Granada, España, concentrado de entrenamiento mental en Panamá 2022, Campeonato Mundial de Ultimate Frisbee de Playa en Huntington Beach California como psicóloga de la selección mexicana; Psicóloga en el Grand Prix de Para Atletismo en Xalapa Veracruz, 2024.

A lo largo de su trayectoria profesional y académica ha sido ponente en conferencias nacionales e internacionales, además de docente de diversas maestrías y licenciaturas, entre ellas la Maestría en Nutrición Deportiva y en la de Fisioterapia deportiva de la Universidad UVM de Guadalajara del 2013 al 2014. Comenzó la cátedra en la Licenciatura en ciencias del deporte en la Universidad Amerike desde el 2018 a la fecha; así como también en la licenciatura en Fisioterapia y la Maestría en Readaptación deportiva de la misma universidad. También en la licenciatura de Psicología de la Universidad UNIVA durante 7 años impartiendo Psicología de la Actividad Física y del Deporte por 7 años, del 2015 al 2022. Desde el 2017 a la fecha imparte cátedra online en la Universidad Montrer en la Maestría en Actividad Física y Fisioterapia. A partir del 2023 se apertura la Maestría en Psicología del Deporte online por la Universidad CDEFIS en la cual participa en 4 asignaturas hasta el día de hoy.

Inició su carrera en la Licenciatura de Psicología en 1989 egresando en 1993, al principio su desempeño profesional se dirigió hacia la psicología organizacional, siendo Jefe de Recursos Humanos de la empresa Sorteos del Tec en la ciudad de Guadalajara y en el año de 1994 apertura su consultorio particular en el que ha atendido a los empleados de empresas bancarias y particulares. En el 2008 se conecta con lo que ha sido su pasión, la psicología del deporte, ya que desde niña ha practicado taekwondo y actualmente es cinta negra 5to Dan, teniendo la oportunidad de estudiar psicología del Deporte por la Universidad de Autónoma de Madrid y el ITESO. Después de laborar para el CODE Jalisco, a partir del 2013 comienza la carrera de docente universitario hasta el presente. Se ha desempeñado como conferencista, capacitadora y a partir de ese año 2013 es la presidente de la Sociedad Mexicana de Psicología del Deporte. Ha sido asesora de tesis en la licenciatura de Psicología de la Universidad UNIVA del 2016 al 2022.

Luis Hebert Palma Pulido
Unidad Central del Valle del Cauca (UCEVA)
https://orcid.org/0000-0001-8751-1636
lpalma@uceva.edu.co

Licenciado en Deporte. Especialista en suplementación, farmacología y nutrición deportiva. Magister en Deporte. Magister en Nutrición y Dietética. Doctorando Ciencias Biomédicas. Docente Nutrición Deportiva de pregrado y postgrado y Docente investigador. Responsable del área de nutrición del Club de fútbol Internacional de Palmira. Asesor Científico Laboratorio Healthy Sports. Durante el período de 2005 a 2009, se desempeñó como docente en diversos institutos de formación deportiva mientras cursaba su pregrado. En 2010, inició su formación de posgrado en la ciudad de Manizales. En 2012, se integró a la Universidad Central del Valle del Cauca (UCEVA) como docente a tiempo completo, liderando asignaturas como biomecánica, kinesiología, nutrición deportiva y seminarios electivos. También se unió al grupo de investigación en educación y currículo, involucrándose en las sublímelas de entrenamiento, deporte y nutrición. Asimismo, fue invitado por la Universidad Autónoma de Manizales para impartir la asignatura de nutrición deportiva en la maestría de intervención integral en el deportista.

En los años siguientes, realizó diversas investigaciones y publicó artículos en diferentes revistas nacionales e internacionales. Continuó su capacitación, llevando a cabo estudios de posgrado en farmacología y nutrición. En 2017, comenzó a trabajar como asesor científico en un laboratorio de suplementos deportivos conocido como Healthy Sports, lo que le permitió adquirir más experiencia y mejorar sus habilidades como conferencista tanto a nivel nacional como internacional. Esto derivó en invitaciones para participar como expositor en eventos en Roma y República Dominicana en 2018.

Ese mismo año, contribuyó a la publicación del libro "Elementos Básicos de la Rehabilitación Deportiva, Tomo I y II", en el que escribió un capítulo dedicado a la importancia de la nutrición y la recuperación de lesiones. En 2021, fue llamado por el equipo de fútbol profesional Cortuluá para gestionar la nutrición del equipo y de toda la cantera, y comenzó su segunda maestría con un enfoque nutricional, la cual finalizará en 2024.

Adicionalmente, ha sido convocado por varias universidades para impartir sesiones académicas a estudiantes de especializaciones y maestrías a nivel nacional, incluyendo instituciones como la Universidad de Barranquilla y CECAR. También fue invitado a colaborar con la plataforma "Fivestars", un

reconocido sitio web en España que se especializa en la formación en temas de entrenamiento y nutrición deportiva. Actualmente, se encuentra cursando un doctorado en Ciencias Biomédicas y continúa desempeñándose como docente nombrado en la UCEVA, es asesor de Healthy Sports, y es encargado de la nutrición del equipo Cortuluá, además de actuar como conferencista a nivel nacional e internacional.

Olga Lucía Hincapié Gallón
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
https://orcid.org/0000-0003-0635-6510
olga.hincapie@endeporte.edu.co

Fisioterapeuta desde 1994 – Universidad Autónoma de Manizales. Especialista en Teoría y Metodología del Entrenamiento Deportivo – Institución Universitaria Escuela Nacional del deporte 2023. Magister en Discapacidad desde 2013 – Universidad Autónoma de Manizales Diplomado en Docencia Universitaria – Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. 21 años en el área clínica en el Hospital Universitario del Valle, 14 años de trayectoria en la docencia en diferentes universidades María Cano Cali, Santiago de Cali, invitada a la maestría de Fisioterapia en la Universidad del Valle. Dedicada al área del deporte en personas con discapacidad desde el 2010 hasta la fecha.

En la actualidad vinculada a la Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte donde soy docente del componente paralímpico lo que le permitió participar en los juegos para nacionales 2019 y 2023, acompañamientos a torneos internacionales de tenis en silla de ruedas desde el 2017; por otra parte Investigadora asociada según Colciencias del grupo GIESS del programa de Fisioterapia de la IUEND, línea de investigación Deporte Discapacidad e Inclusión, coordinadora del semillero de investigación DIPIUEND deporte interdisciplinar paralímpico IUEND con más de 30 trabajos relacionados con deporte paralímpico enfocados a la evaluación, abordaje, facilitadores y barreras para la práctica deportiva, proyectos de iniciación deportiva y en general de valoración del deportista paralímpico, con artículos publicados y capítulos de libros en el área de Deporte y Discapacidad. En la actualidad Coordinadora Red Latinoamericana de Discapacidad en Deporte, Educación Física, Actividad Física, Juegos Indígenas y Recreación.

Lina Marcela Tierradentro Gómez
Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte
https://orcid.org/0000-0003-0675-0569
linatierragomez@gmail.com

Fisioterapeuta – Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Especialista en Fisioterapia del Deporte – Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte. Diplomado en Docencia y Didáctica Universitaria – Politécnico Superior. Se desempeñó como fisioterapeuta en acciones de atención inicial y recuperación en torneos nacionales e internacionales como el XV Cali Open de Tenis en Silla de Ruedas (2023), IX Abierto Nacional de Para Powerlifting (2022), Concentración Junior Nacional y Campamento Regional de Tenis en Silla de Rudas (2022) y en el área de Servicios Médicos del Mundial de Atletismo Sub-20 (2022). Ha realizado publicaciones en revistas nacionales e internacionales. Hace parte del Semillero de Investigación en Deporte Interdisciplinar Paralímpico de la Institución Universitaria Escuela Nacional del Deporte del Grupo de Investigación Grupo Interdisciplinario de estudios en salud y sociedad (2020-2024). Participó en la Feria Internacional de Ciencia y Tecnología CIENTEC 2022, Lima-Perú como ponente. En la actualidad se desempeña como fisioterapeuta en el área de rehabilitación en la IPS Biomedical Group en la Ciudad de Cali.

Javier Ferney Castillo-García
Universidad Autónoma de Occidente
https://orcid.org/0000-0002-0630-3198
jfcastillo@uao.edu.co

Obtuvo su título de Ingeniería Electrónica en 2004, su Magíster en Automática en 2009 y su Doctorado en Ingeniería en 2015 en la Universidad del Valle, en Cali, Colombia. Obtuvo su título de Magíster en Ingeniería Eléctrica con Énfasis en Robótica de Rehabilitación en 2014 en la Universidad Federal de Espíritu Santo, en Vitoria, Brasil. Actualmente, trabaja como docente en el programa de Ingeniería Mecatrónica de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas de la Universidad Autónoma de Occidente. Áreas de Interés: Interfaces Cerebro-Computador, Robótica de rehabilitación, Sistemas Embebidos, Inteligencia Computacional, Instrumentación y SmartGrids. Cuenta con el registro de 2 patentes una de ellas sobre una plataforma robótica de rehabilitación cognitiva y física para niños en condición de discapacidad. Trabajos publicados en revistas de alto impacto en el área de ingeniería y neurociencias.

Pares Evaluadores

Peer Evaluators

Zaily del Pilar García Gutiérrez

Corporación Universitaria Iberoamericana. BogotaPopayán, Colombia
Investigador Senior (IS)
https://orcid.org/0000-0002-9846-7762

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

Juan Alejandro Cortés Ramirez

Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia
Investigador Junior (IJ)
https://orcid.org/0000-0002-8528-1141

Rosa Mercedes Gómez 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
octubre de 2026.

Esta obra fue publicada por la Facultad de Salud
de la Universidad Santiago de Cali.

"Elementos Básicos de la Rehabilitación Deportiva: Una Mirada Multidisciplinaria" es una obra concebida con el propósito de revitalizar el hábito de la lectura, entendida como una herramienta esencial para el crecimiento académico y profesional. En un contexto donde este ejercicio se ha visto relegado, el libro invita a redescubrir el valor de detenerse en cada página para reflexionar, aprender y construir conocimiento colectivo.

La obra se estructura en tres tomos que abordan los fundamentos de la salud física y la actividad deportiva, los procesos de evaluación y diagnóstico, y las estrategias de rehabilitación y readaptación. Su contenido está orientado a estudiantes y profesionales de las ciencias de la salud vinculadas al ámbito deportivo, con el objetivo de fomentar un trabajo interdisciplinario que integre diversas perspectivas en beneficio del deportista y de la práctica clínica.

Un rasgo distintivo de este proyecto es la participación voluntaria de un equipo multidisciplinario de especialistas, quienes respondieron al llamado a aportar sus saberes y experiencias para dar forma a una obra rigurosa y a la vez cercana. Esta unión de esfuerzos refleja la convicción de que el conocimiento se fortalece cuando se comparte y se construye de manera colaborativa.

VIGILADA MINEDUCACIÓN
USC UNIVERSIDAD SANTIAGO DE CALI
EDITORIAL