

# LA FISIOTERAPIA APOYADA DE LOS SISTEMAS MECATRÓNICOS

ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE LA TRANSDISCIPLINARIEDAD  
EN EL DESARROLLO DE PROTOTIPOS DE DISPOSITIVOS DE  
REHABILITACIÓN





# **LA FISIOTERAPIA APOYADA DE LOS SISTEMAS MECATRÓNICOS**



# LA FISIOTERAPIA APOYADA DE LOS SISTEMAS MECATRÓNICOS

ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE LA  
TRANSDISCIPLINARIEDAD  
EN EL DESARROLLO DE PROTOTIPOS DE DISPOSITIVOS  
DE REHABILITACIÓN

Ronnie Paredes-Gómez  
Verónica Potosí- Moya  
Cosme Damián Mejía-Echeverría



## **Edita**

**Editorial Universidad Técnica del Norte**  
Av. 17 de Julio, 5-21. Campus Los Olivos  
IBARRA - IMBABURA - REPÚBLICA DEL ECUADOR  
[www.utn.edu.ec](http://www.utn.edu.ec)  
[editorial@utn.edu.ec](mailto:editorial@utn.edu.ec)



## **Pares Revisores:**

### **Félix Vladimir Bonilla Venegas**

*Universidad Internacional del Ecuador*  
[febonillave@uide.edu.ec](mailto:febonillave@uide.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-6542-9666>

### **Evelyn Andrea Ojeda Báez**

*Universidad Pontificia Universidad Católica del Ecuador*  
[eojeda007@puce.edu.ec](mailto:eojeda007@puce.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-7542-8624>

## **Diagramación y Estilo:**

### **José Buitrón**

*GoPrint*  
[luisjosee@hotmail.com](mailto:luisjosee@hotmail.com)

© de los textos y fotografías: Sus respectivos autores, 2025.

© de esta edición: Editorial Universidad Técnica del Norte, 2025.

1ª edición, digital: Septiembre 2025 / e-ISBN: 978-9942-572-17-2

**Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra sin la previa autorización escrita de la Editorial Universidad Técnica del Norte**

## **Autores:**

### **Ronnie Paredes-Gómez**

*Docente Investigador Facultad de Ciencias de la Salud  
Grupo de Investigación Discapacidad, Actividad Física y Calidad de vida (DAR)  
Red de Investigación de Fisioterapia (RIF)  
Universidad Técnica del Norte  
<https://orcid.org/0000-0002-0691-3367>*

### **Verónica Potosí- Moya**

*Docente Investigador Facultad de Ciencias de la Salud  
Grupo de Investigación Discapacidad, Actividad Física y Calidad de vida (DAR)  
Red de Investigación de Fisioterapia (RIF)  
Universidad Técnica del Norte  
<https://orcid.org/0000-0002-4035-0967>*

### **Cosme Damián Mejía-Echeverría**

*Docente Investigador Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas  
Grupo de Investigación de Sistemas Industriales y Bio-Ingeniería (SIBI)  
Red Internacional de Procesos en Ingeniería Sostenibles (RIPIS)  
Universidad Técnica del Norte  
<https://orcid.org/0000-0001-6961-2644>*

# ÍNDICE

PRÓLOGO.....	13
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO I	
FISIOTERAPIA Y MECATRÓNICA	
FISIOTERAPIA EN SALUD Y DEPORTE .....	21
Introducción .....	21
Pilares fundamentales de la fisioterapia.....	24
Definiciones.....	24
Ejercicio Terapéutico.....	25
Alianza Terapéutica (AT).....	26
Educación.....	27
Áreas de intervención.....	28
MECATRÓNICA EN SALUD Y DEPORTE.....	30
Introducción.....	30
Definición y Fundamentos.....	31
Perspectivas y Desafíos.....	32
Mecatrónica y Salud: Un Vínculo Inquebrantable.....	33
Mecatrónica y Deporte: Optimizando el Rendimiento.....	37
CAPÍTULO 2	
HISTORIA CLÍNICA Y EVALUACIÓN FISIOTERAPEÚTICA	
HISTORIA CLÍNICA .....	41
Partes Iniciales del Historia Clínica .....	41
MODELO DE ATENCION FISIOTERAPEÚTICA .....	42

EXAMINACIÓN CLÍNICA .....	43
Evaluación .....	44
Aspectos de la evaluación Física .....	44
Pruebas Funcionales por Zonas .....	49
Diagnóstico Fisioterapéutico .....	57
Pronóstico .....	59
Intervención .....	60
Resultados .....	60
CAPÍTULO 3	
EL DISEÑO MECATRÓNICO	
EL DISEÑO .....	65
EL DISEÑO MECATRÓNICO .....	65
Uso del Diseño para la Elaboración de Prototipos.....	66
Normativas Relevantes .....	66
AVANCES EN EL DESARROLLO DE PROTOTIPOS .....	67
Evolución de los Prototipos en General .....	67
Prototipos Mecatrónicos .....	67
Nuevas Tendencias en el Desarrollo de Prototipos .....	67
Desarrollo de Prototipos en el Área Médica .....	68
FASES DEL DISEÑO .....	68
Identificación del problema .....	68
Formulación de objetivos y especificaciones del diseño ...	68
Desarrollo conceptual .....	69
Evaluación y selección del diseño .....	69
Desarrollo detallado .....	69
Construcción de prototipos y pruebas .....	69
Evaluación, optimización y refinamiento .....	70
Comunicación y documentación del diseño .....	70
METODOLOGÍAS ÁGILES EN EL DISEÑO DE PROTOTIPOS ..	
.....	70
Scrum .....	71

Kanban .....	71
Extreme Programming (XP) .....	71
Lean Development .....	72
Design Thinking .....	72
Ventajas generales de las metodologías ágiles.....	73
Desventajas generales de las metodologías ágiles .....	74

## CAPÍTULO 4

### DINAMÓMETRO DE PRUEBAS FÍSICAS

INTRODUCCIÓN.....	79
DISPOSITIVO .....	80
CDIO del dispositivo .....	80
Ventajas .....	87
Limitaciones .....	87
Indicaciones .....	87
Contraindicaciones .....	88
RESULTADOSDELA APLICACIÓN.....	88
Metodología .....	88
Resultados .....	90

## CAPÍTULO 5

### MÁQUINA ISOINERCIAL

INTRODUCCIÓN.....	95
Objetivos del dispositivo .....	96
Efectos fisiológicos .....	97
DISPOSITIVO .....	99
CDIO del dispositivo .....	99
Ventajas y limitaciones.....	108

## CAPITULO 6

### LASER TERAPÉUTICO

INTRODUCCIÓN.....	115
EFFECTOSFISIOLÓGICOS.....	117
DISPOSITIVO .....	117

Objetivos del dispositivo .....	117
CDIO del dispositivo .....	118
Ventajas y limitaciones.....	126
Ventajas .....	127
Contraindicaciones .....	129
BIBLIOGRAFIA .....	131

## ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen 1.- Modelo Biopsicosocial .....	25
Imagen 2.- Pilares de la Fisioterapia .....	26
Imagen 3.- Transdisciplinariedad de la Mecatrónica .....	30
Imagen 4.- Modelo de atención fisioterapéutico .....	43
Imagen 5.- Vista frontal (test postural) .....	45
Imagen 6.- Vista lateral (test postural) .....	46
Imagen 7.- Evaluación subjetiva mediante palpación (cuádriceps) .....	47
Imagen 8.- Dinamometría de mano (Instrumento jamar) .....	48
Imagen 9.- Dinamómetro casero(crane scale) .....	48
Imagen 10.- Evaluación de rodilla (goniometría) .....	49
Imagen 11.- Neurodinamia (movilidad cervical) .....	50
Imagen 12.- Neurodinamia (nervio radial) .....	50
Imagen 13.- Neurodinamia (nervio mediano) .....	51
Imagen 14.- Evaluación neural (spurling´s test A) .....	51
Imagen 15.- Evaluación neural (spurling´s test B) .....	52
Imagen 16.- Evaluación neural (spurling´s test B carga axial) .....	52
Imagen 17.- Evaluación rodilla (test de cajón anterior) .....	53
Imagen 18.- Evaluación de rodilla (test de lachman) .....	54
Imagen 19.- Evaluación de rodilla (test de cajón posterior) .....	54
Imagen 20.- Evaluación de rodilla (signo de hundimiento posterior) .....	55

Imagen 21.- Evaluación de rodilla (test de estrés en valgo y varo)	56
Imagen 22.- Evaluación de rodilla (test de Mc Murray).....	56
Imagen 23.- Evaluación de rodilla (test de Apley) .....	57
Imagen 24.- Esquema de control y transmisión .....	82
Imagen 25.- Vista explosionada de base portátil .....	83
Imagen 26.- Aplicación en proceso de obtención de medición .....	83
Imagen 27.- Partes de dispositivo implementado .....	84
Imagen 28.- Dinamometría en Rodilla .....	85
Imagen 29.- Dinamometría en Rodilla (fuerza excéntrica de isquiotibiales) .....	86
Imagen 30.- Dinamometría en Rodilla (fuerza concéntrica de isquiotibiales) .....	86
Imagen 31.- Dinamometría en Rodilla (fuerza excéntrica de isquiotibiales 3-5 seg) .....	87
Imagen 32.- Beneficios del Entrenamiento .....	96
Imagen 33.- Matriz morfológica del dispositivo .....	101
Imagen 34.- Simulación de cargas en disco inercial. ....	102
Imagen 35.- Vista explosionada de dispositivo isoinercial .....	102
Imagen 36.- Dispositivo ensamblado .....	104
Imagen 37.- Entrenamiento isoinercial (fase concéntrica-carga) .....	105
Imagen 38.- Entrenamiento isoinercial (fase excéntrica) .....	108
Imagen 39.- Cualidades deportivas. ....	109
Imagen 40.- Limitaciones entrenamiento isoinercial. ....	110
Imagen 41.-Diseño del dispositivo propuesto .....	121
Imagen 42.-Diseño final e impresión .....	122
Imagen 43.- Aplicación y puesta en marcha .....	122
Imagen 44.- Control motor de hombro ( músculos estabilizadores) .....	123

Imagen 45.- Colocación de diadema incorporada con láser terapéutico(control cervical) .....	124
Imagen 46.- Fijación de diadema incorporada con láser terapéutico y feedback fisioterapéutico (control cervical) .....	124
Imagen 47.- Ejercicio de estabilidad motora lumbar guiado por fisioterapeuta (control motor) .....	125
Imagen 48.- Ejercicio de estabilidad motora lumbar en bossu guiado por fisioterapeuta (control motor) .....	126
Imagen 49.- Ventajas láser terapéutico .....	127
Imagen 50.- Limitaciones .....	128

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Nivel de concordancia y fiabilidad del dinamómetro UTN .....	90
Tabla 2. Resultados de características alcanzadas .....	104
Tabla 3.- Protocolo de Entrenamiento .....	107
Tabla 4.- Conceptos de diseño .....	119



# PRÓLOGO

El avance tecnológico ha transformado innumerables disciplinas, y la fisioterapia no ha sido la excepción. En los últimos años, la integración de sistemas mecatrónicos en los procesos de rehabilitación ha revolucionado la forma en que los profesionales de la salud abordan la recuperación del movimiento, optimizan las terapias y mejoran la calidad de vida de los pacientes en diversas áreas de la fisioterapia.

Este libro surge de la necesidad de comprender y aplicar estos avances desde una perspectiva basada en la evidencia científica, ofreciendo un enfoque integral que va desde los fundamentos teóricos hasta las aplicaciones prácticas de dispositivos innovadores en rehabilitación, entrenamiento y deportivo. A lo largo de sus capítulos, se exploran la historia clínica y la evaluación fisioterapéutica, así como los procesos de diseño y validación de prototipos mecatrónicos, permitiendo entender cómo estas herramientas están transformando la atención clínica y deportiva. Más allá de la tecnología, se resalta el papel fundamental del fisioterapeuta, cuyo criterio clínico y capacidad de adaptación son esenciales en este entorno en constante evolución.

Dirigido a fisioterapeutas, ingenieros mecatrónicos, entrenadores y estudiantes de estas disciplinas, este libro se convierte en una guía esencial para integrar tecnologías de vanguardia en la práctica profesional. A través de un enfoque accesible y aplicado, el lector podrá conocer las ventajas, limitaciones e impacto de estas herramientas, fomentando un aprendizaje interdisciplinario que contribuirá significativamente al desarrollo de la fisioterapia y la ingeniería aplicada al movimiento humano.

Más que un compendio de conocimientos, esta obra invita al lector a adentrarse en un campo donde la ciencia y la innovación se fusionan para transformar el futuro de la rehabilitación y el rendimiento físico. Asimismo, busca impulsar nuevas investigaciones y desarrollos tecnológicos, fortaleciendo el papel fundamental de la tecnología en la evolución de la fisioterapia y la salud del futuro.

**Sebastián López Cifuentes. Lcdo. MSc**

*Especialista en análisis de movimiento y Docente Investigador  
Universidad Internacional SEK*



# INTRODUCCIÓN

La fisioterapia ha venido creciendo como una rama de salud en el Ecuador adquiriendo nuevas tecnologías enfocadas a la mejora de los procesos de evaluación, diagnóstico y tratamiento de diversas condiciones musculoesqueléticas, neurológicas y deportivas. Por lo que ha requerido realizar alianzas multidisciplinarias, entre estas con mecatrónica con el fin de desarrollar dispositivos innovadores que optimizan las intervenciones y la mejora funcional del paciente, en este caso, del deportista.

La mecatrónica es una disciplina integradora que combina mecánica, electrónica, informática y control automático. En los últimos años, su evolución ha permitido un avance significativo en áreas como la salud y el deporte, destacando en el desarrollo de tecnologías innovadoras que facilitan procesos diagnósticos más precisos, intervenciones terapéuticas personalizadas y métodos avanzados de entrenamiento deportivo. La incorporación de sensores inteligentes, sistemas robóticos y dispositivos de monitorización continua representa un salto cualitativo en la atención y recuperación de pacientes.

El diseño mecatrónico se ha convertido en un factor clave para generar soluciones tecnológicas prácticas y eficientes en la fisioterapia deportiva y clínica. Actualmente, las nuevas tendencias en diseño de prototipos incluyen métodos ágiles e iterativos, impresión 3D, modelado digital avanzado y validación mediante simulaciones virtuales, que permiten acortar los tiempos de desarrollo y mejorar la precisión y funcionalidad de los dispositivos creados. Estas técnicas brindan la posibilidad de adaptar rápida y eficientemente las tecnologías a necesidades específicas en el ámbito deportivo y terapéutico.

Este libro tiene como objetivo explorar cómo la fisioterapia y la mecatrónica se han venido vinculando a través de las tecnologías que permitan desarrollar prototipos que mejoren los procesos de evaluación y el tratamiento fisioterapéutico, destacando sus funciones, indicaciones, limitaciones y fortalezas para la atención a pacientes en el mundo deportivo y terapéutico.

Los capítulos están descritos de manera general a específica de la siguiente forma:

- Fisioterapia y Mecatrónica donde detalla cómo se vinculan estas dos ramas para la rehabilitación y el rendimiento deportivo
- La historia clínica y la evaluación fisioterapéutica, donde incluye métodos y herramientas clave para la evaluación del paciente enfocado en miembro inferior y columna cervical.
- Diseño mecatrónico y nuevas tendencias en prototipos, enfocado en las metodologías actuales de diseño, fabricación digital, impresión 3D, validación de prototipos y aplicación práctica en dispositivos terapéuticos y deportivos.
- Dinamómetros de pruebas físicas enfocado a la evaluación de cuádriceps, isquiotibiales y mano, indicando las ventajas y limitaciones de cada uno, incluyendo parte del estudio de confiabilidad realizado.
- Máquina Isoinercial utilizada para la rehabilitación de pacientes y la mejora de sus cualidades físicas, además de optimizar el rendimiento físico mediante un enfoque progresivo.
- Láser Terapéutico orientado a la rehabilitación, basado en el principio del control motor. Su aplicación, supervisada por el fisioterapeuta, contribuye a mejorar la coordinación, propiocepción y manejo del dolor con el enfoque de neurociencia del dolor.

Por lo que esta obra está dirigida a fisioterapeutas, ingenieros mecatrónicos, profesionales de la rama de entrenamiento deportivo y estudiantes de estas áreas, con el fin de que este texto pueda ser utilizados como guía para la atención fisioterapéutica, entrenamiento y para el desarrollo de tecnologías a fines a este campo, aportando conocimiento actualizado y práctico en el uso de dispositivos mecatrónicos para la evaluación y mejora de la funcionalidad del deportista y pacientes en general.



# **CAPÍTULO I**

## **FISIOTERAPIA Y MECATRÓNICA**



# FISIOTERAPIA EN SALUD Y DEPORTE

## Introducción

La fisioterapia interviene de forma activa en la mejora de la salud de las poblaciones teniendo como objetivo principal la búsqueda, la recuperación o la mejora de la funcionalidad (Giuffre et al., 2020).

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), un sistema de salud basado en la atención primaria se enfoca al derecho de que todo ser humano debe gozar del grado máximo de salud (Atención Primaria de Salud - OPS/OMS | Organización Panamericana de La Salud, n.d.) .Por lo que la fisioterapia se ha venido consolidando como un servicio de salud fundamental a nivel mundial tanto en países potencia como aquellos en vías de desarrollo con el propósito mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad permanente o transitoria en todos los grupos etarios (Organización Mundial de la Salud, 2020).

En el Informe Mundial sobre el Envejecimiento se menciona la importancia de promover un envejecimiento saludable, requiriendo atención de tipo integral, donde la fisioterapia tiene un papel fundamental en el mantenimiento de la autonomía, la funcionalidad y el estado de bienestar (Organización Mundial de la Salud, 2015).

En enfermedades no transmisibles (ENT) como las enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes y enfermedades respiratorias crónicas, son responsables de una gran parte de las muertes y discapacidades a nivel mundial, representando el 65% de todas las muertes y el 54% de los años de vida saludable perdidos.

Además, se estima que el costo económico global asociado con estas enfermedades alcanzará los 47 billones de dólares entre 2010 y 2030, afectando tanto a países desarrollados como a los de ingresos medios y bajos, además los organismos internacionales y los gobiernos

buscan políticas para modificar este riesgo (Bloom et al., 2020), dentro de las estrategias tomadas a nivel general se propone al Plan de Acción Mundial sobre la Actividad Física 2018- 2030 que busca promover a la actividad física a nivel global reconociendo al sedentarismo como un factor clave en el aumento de las ENT (Organización Panamericana de la Salud, 2019). Siendo importante que los profesionales en fisioterapia se convierten en entes cruciales para el cumplimiento de este plan, estando capacitados para promover a la actividad física con ejercicio dosificado y adecuado para cada caso, vinculada a la mejora de sus capacidades y sus actividades de la vida diaria, laborales y deportivas.

En el ámbito deportivo, se presenta una prevalencia de lesiones musculoesqueléticas entre el 10% y el 42,8 %, requiriendo en su gran mayoría un tratamiento conservador, incluyendo a la fisioterapia como una modalidad de tratamiento de lesiones deportivas que genera mayor impacto no solo en la reparación del tejido afectado sino en la mejora de la funcionalidad del deportista, sobre todo a nivel de miembro inferior (Romero-Morales et al., 2024).

En Norte América, la fisioterapia ha alcanzado un alto grado de profesionalización y autonomía, se han centrado principalmente en estudiar las formas de movimiento corporal humano regidas por el sistema biomecánico del cuerpo en casos de normalidad y recuperación de lesiones en diferentes ámbitos clínicos (Fornasier, 2017).

Convirtiendo a estos profesionales en parte integral del equipo médico en lesiones de tipo traumatológica, neurológica, respiratoria, en el ámbito hospitalario deportivo etc., capacitados para diagnosticar y tratar pacientes de manera independiente, donde el uso de tecnología avanzada, como la robótica y la realidad virtual están siendo integrados paulatinamente a sus intervenciones (Mahmoud et al., 2023).

En Latinoamérica, la fisioterapia es más visible abarcando dimensiones en diferentes campos de atención y con mayor presencia en los sistemas de salud, sus funciones están encaminadas a la prevención y tratamiento de enfermedades (Suárez Dávila, 2023). Es también importante para tratar y prevenir síntomas de las enfermedades no transmisibles mejorando la calidad de vida e incluso reduciendo el tiempo de hospitalización como en el caso de las enfermedades respiratorias como el EPOC o las secuelas por la COVID 19, incluso se ha demostrado su presencia en las etapas pre y post operatorias lesiones del sistema osteomuscular y cardio vasculares (Márquez et al., 2024; Vilchez, 2023). En cuanto a la fisioterapia deportiva, se ha

visto impulsada por el desarrollo de eventos deportivos importantes que demandan de su intervención (Labastida Espinoza, 2021). Universidades de Brasil, México y Argentina vienen desarrollando proyectos, investigaciones e intervenciones donde se busca analizar a la biomecánica del deportista y una óptima intervención fisioterapéutica, en donde un claro ejemplo es el fútbol, como motor clave en la búsqueda de soluciones a las lesiones que ocurren en este ámbito siendo las más comunes las de rodilla, tobillo, tendinopatías y musculo esqueléticas (Mendonça et al., 2020; Tondelli et al., 2024; Yakubova, 2021)

Durante los últimos años, la fisioterapia en Ecuador tiene mayor presencia en los sistemas de salud, se ha venido enfocando en la prevención, tratamiento y rehabilitación de diversas afecciones, incorporando tecnologías innovadoras para mejorar la calidad de la atención que incluyen equipos terapéuticos específicos, realidad virtual y telerehabilitación. En el país la fisioterapia de tipo deportiva ha venido creciendo a la par con el desarrollo del deporte nacional, la destacada labor en el atletismo, el ciclismo y el fútbol, ha hecho que las instituciones y los mismos deportistas busquen personal capacitado para las competencias y la intervención cuando una lesión se haya instaurado.

Un proceso importante para el crecimiento de la profesión es el impulso del trabajo interdisciplinario, involucrando a la misma dentro del equipo de salud y de tipo multidisciplinario cuando se busca trabajar juntamente con otras áreas de la profesión encaminados en un objetivo común, en este caso vincular a la fisioterapia con la mecatrónica para el diseño de dispositivos y desarrollo de softwares y algoritmos especializados que fomenten la evaluación y el tratamiento a los pacientes.

Siendo el propósito de este libro, describir como la fisioterapia se ha venido relacionando con los sistemas mecatrónicos desarrollo de dispositivos enfocados a la evaluación y la intervención en pacientes, con el fin de innovar y optimizar los tratamientos de rehabilitación física y recuperación funcional, permitiendo a los profesionales y estudiantes de las carreras involucradas acceder a herramientas avanzadas para la elaboración, diagnóstico, evaluación y tratamiento de diversas condiciones musculoesqueléticas, promoviendo la calidad de atención servicios de salud en la región.

## Definiciones

**Fisioterapia:** según la Confederación Mundial de Fisioterapia (WCPT) es definida como una profesión de la rama de salud que permite maximizar, mantener y restaurar el movimiento y la capacidad funcional de las personas, en cualquier etapa de la vida, a través de la promoción, prevención, intervención y rehabilitación (Dreeben-Irimia, 2011)

**Fisioterapia Deportiva:** es una rama de la fisioterapia que se especializa en la prevención, evaluación, tratamiento y rehabilitación de lesiones relacionadas con la actividad física y el deporte, así como en la optimización del rendimiento físico de los atletas. Esta disciplina combina conocimientos de biomecánica, fisiología, kinesiólogía y técnicas manuales para abordar las necesidades específicas de los deportistas, tanto amateurs como profesionales (Liaghat et al., 2023).

**Biomecánica:** es la ciencia que estudia el movimiento de los seres vivos, especialmente los humanos, desde una perspectiva mecánica. Combina principios de la física, la ingeniería y la anatomía para analizar cómo las fuerzas internas y externas actúan sobre el cuerpo y cómo este responde a ellas. Su objetivo principal es entender el funcionamiento del cuerpo en movimiento, mejorar su desempeño y prevenir lesiones.

## Pilares fundamentales de la fisioterapia

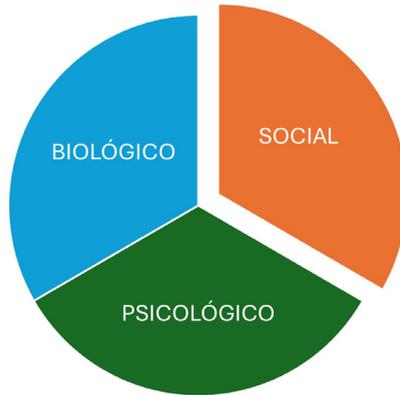
Los pilares de la fisioterapia se fundamentan en principios que guían una práctica clínica eficaz y de calidad, orientada a la mejora, recuperación y prevención de la integridad física de los pacientes. Estos principios aseguran una integración óptima dentro de los servicios de salud, ofreciendo un enfoque centrado en el bienestar y la funcionalidad de quienes acceden a este servicio.

El modelo biopsicosocial se fundamenta en un enfoque integral para el tratamiento del dolor, basado en la evidencia científica y las directrices actuales. Su objetivo principal nace de comprender por qué los fisioterapeutas a menudo enfrentan dificultades en los tratamientos fisioterapéuticos en la intervención (Van Dijk et al., 2023).

La implementación de un enfoque biopsicosocial en la práctica de los fisioterapeutas desde una perspectiva de cambio de comportamiento proporciona nuevas estrategias aplicables para la rehabi-

litación, la práctica de los fisioterapeutas es un proceso complejo que involucra cambios de comportamiento influenciados por varias barreras y facilitadores (Gervais-Hupé et al., 2023).

*Imagen 1.- Modelo Biopsicosocial*



Es necesario profundizar en el conocimiento sobre las barreras y facilitadores que influyen en dicha implementación. Algunos investigadores señalan términos relevantes al momento de tratar a un paciente, entre ellos los más utilizados como pilares importantes son: Educación, Alianza Terapéutica y Ejercicio (Moore et al., 2020).

## **Ejercicio Terapéutico**

El ejercicio terapéutico se define como una gama de procedimientos basados principalmente en movimiento, generalmente utilizados para reducir la discapacidad y mejorar la capacidad funcional prevenir un sin número de patologías y enfermedades englobadas en estas como no hipertensión, diabetes o varias de estas que podrían ocasionar síndromes metabólicos. El ejercicio se puede aplicar en procesos de prevención y recuperación de diversas condiciones, que abarcan afecciones neurológicas, cardiorrespiratorias y musculoesqueléticas (La Touche et al., 2023).

El ejercicio terapéutico describe modalidades, fundamentos, anatomía y la fisiología del ejercicio, aplicado y utilizado como herramienta para el tratamiento de enfermedades de carácter musculoesquelético o patologías que cursan con dolor crónico presentes en la población.

También destaca al médico y al personal de enfermería como componentes clave del equipo de tratamiento interprofesional en la gestión del ejercicio terapéutico potenciado la idea de manejar un modelo biopsicosocial y un trabajo interdisciplinario de salud (Bielecki & Tadi, 2023).

Entre las modalidades no invasivas más utilizadas por los fisioterapeutas, el ejercicio terapéutico se destaca como una de las intervenciones con mayor respaldo científico. Este tipo de ejercicio no solo tiene efectos positivos en el estado físico, sino que también contribuye a mejoras significativas en dimensiones de la salud, como la calidad de vida, la calidad del sueño, la regulación del estrés y la ansiedad y dolor crónico. Además, el ejercicio terapéutico ha demostrado ser efectivo en la reducción de aspectos psicológicos como la kinesiofobia (miedo al movimiento) y el catastrofismo (tendencias a pensar lo peor en situaciones dolorosas). Estas mejoras globales son clave en el tratamiento de pacientes con afecciones musculoesqueléticas y dolor crónico, dado que impactan tanto en su bienestar físico como mental. Su papel preventivo también es relevante, ayudando a evitar recaídas o empeoramiento de las condiciones (Barker & Eickmeyer, 2020; Taylor et al., 2007).

*Imagen 2.- Pilares de la Fisioterapia*



## Alianza Terapéutica (AT)

Un elemento clave en la mejora de los resultados en fisioterapia es la alianza terapéutica, esta se define como la colaboración, vínculo y compromiso entre el terapeuta y el paciente, con un acuerdo sobre los objetivos y las tareas del tratamiento, así como un vínculo emocional

positivo. La alianza ha demostrado estar consistentemente asociada a mejores resultados terapéuticos, aunque existe un debate sobre si es un factor específico que impulsa el cambio o una condición necesaria para cualquier terapia exitosa (Kushner et al., 2016), comprender los mecanismos que subyacen al cambio terapéutico, incluidos los mediadores, es crucial para optimizar los tratamientos y adaptarlos a las necesidades individuales de los pacientes, lo que permitiría mejorar la eficacia del tratamiento en casos de abandono o falta de respuesta (Baier et al., 2020).

La (AT) tiene un impacto significativo en los resultados de los pacientes con dolor musculoesquelético crónico que reciben fisioterapia. Una AT sólida mejora la respuesta al tratamiento del dolor crónico, como lo demuestran varios estudios. Los fisioterapeutas deben ser conscientes de los factores que pueden influir en la AT, tanto positiva como negativamente, para maximizar su efectividad. A través de múltiples estudios, se identificaron consistentemente estos factores, destacando que una buena relación terapéutica es crucial para el éxito en la fisioterapia del dolor crónico (Kinney et al., 2020).

## **Educación**

La individualización del ejercicio y la supervisión son claves para mejorar la adherencia, pero persisten barreras como la falta de motivación y tiempo. La educación sobre el papel del ejercicio y una alianza terapéutica sólida facilitan el compromiso a largo plazo, ayudando a mejorar la adherencia en pacientes con dolor crónico, como en la osteoartritis de rodilla (Stubbe, 2018).

A raíz de la pandemia de COVID-19 se generaron importantes desafíos para la educación clínica en fisioterapia y como tratar pacientes, también permitió avances tecnológicos como la integración de prácticas de investigación clínica en la enseñanza. Modelos de atención como telesalud y atención compartida entre docentes/fisioterapeutas y estudiantes han demostrado ser efectivos (Calvo-Paniagua et al., 2024; Hernández Orobio et al., 2024; Vinolo-Gil et al., 2022), evidencian también avances en la exploración de nuevas formas de competencia clínica, utilizando herramientas como la APP, que mide habilidades profesionales y clínicas de manera confiable. Estas adaptaciones no solo cubrieron necesidades inmediatas, sino que también ofrecen oportunidades para mejorar la formación en fisioterapia y desarrollar habilidades de investigación basadas en evidencia, esenciales para el futuro de la práctica (Reubenson & Elkins, 2022).

La educación, el ejercicio y alianza terapéutica (AT) son fundamentales en la rehabilitación y adherencia al tratamiento, jugando un papel primordial en pacientes post operatorios (Rafiq et al., 2021; Rebbeck, 2017). La educación capacita al paciente para entender su condición y el papel que el ejercicio terapéutico desempeña en su recuperación y fortalecimiento, fomentando un mayor compromiso con el tratamiento, en cuanto a la alianza terapéutica garantiza la empatía y la adherencia al protocolo de rehabilitación (Gallardo Vidal et al., 2022; Gay et al., 2016); estos tres pilares son clave para obtener resultados óptimos en la recuperación óptima del paciente y disminución del tiempo para su reintegración a sus actividades diarias (Barker et al., 2023; Lee et al., 2022).

## **Áreas de intervención**

La fisioterapia abarca un campo terapéutico con un enfoque multimodal en la mejora del bienestar físico, rehabilitación y la gestión del dolor. En palabras de David Butler, destacado investigador clínico en el campo del dolor y la neurociencia, según Wall, P (1995) “la fisioterapia es el gigante dormido en el tratamiento del dolor”. Esto resalta el potencial sin explotar de la fisioterapia para liderar enfoques innovadores y efectivos en el manejo del dolor, y sugiere que, a través de una adecuada implementación de la educación, el ejercicio y la alianza terapéuticos junto con el avance tecnológico, la fisioterapia puede transformar la atención y rehabilitación de los pacientes.

La rehabilitación según la OMS, es un conjunto de intervenciones destinadas a optimizar la función y reducir la discapacidad en personas con diversas condiciones de salud, como enfermedades, lesiones y trastornos. En fisioterapia, el enfoque está en el evaluación, diagnóstico y tratamiento de la incapacidad, la demanda de servicios de Medicina Física y Rehabilitación ha crecido, especialmente tras la pandemia de COVID-19. En este contexto, el ejercicio se destaca como una herramienta clave en la fisioterapia para restaurar la funcionalidad en pacientes afectados por diversas patologías (de Murieta & Cisneros, 2022; Lista-Paz et al., 2020).

Las áreas de abordaje terapéutico engloban especialidades y dentro de estas están: terapia geriátrica, terapia traumatólogica, terapia deportiva, terapia neurológica-pediátrica.

**Terapia geriátrica:** Se han investigado diversos dispositivos para apoyar la rehabilitación de pacientes geriátricos, con especial énfasis en la prevención de caídas y la reducción del deterioro físico y cognitivo; los enfoques más estudiados incluyen el uso de la realidad virtual, junto con dispositivos que emplean estímulos visuales o auditivos para mejorar la atención y la respuesta motora de los pacientes (Rebelo et al., 2023; Szabo et al., 2023).

**Terapia Traumatológica y Deportiva:** Estas áreas han sido las más desarrolladas en el campo de la rehabilitación debido a que los pacientes traumatológicos y deportivos suelen mostrar mejoras a corto plazo, lo que ha impulsado el interés y la investigación, se ha implementado una rehabilitación altamente individualizada, ajustada a la condición específica del paciente y alineada con la periodización del entrenamiento, lo que permite una recuperación más eficiente (Rebelo et al., 2023).

Los planes de tratamiento se adaptan no solo al tipo de lesión, sino también al nivel de actividad física y a los objetivos personales del paciente, optimizando tanto la rehabilitación como el rendimiento luego de la lesión, además, se han desarrollado estrategias que favorecen un regreso o reintegración temprana y segura al deporte, minimizando el riesgo de recaída o nuevas lesiones (Adans-Dester et al., n.d.; Postolache et al., 2021).

Las tecnologías avanzadas como las herramientas de evaluación biomecánica, el entrenamiento isoinercial y el uso de dispositivos de seguimiento de la carga de trabajo o niveles de fuerza, también han potenciado los resultados en esta área, mejorando la precisión en la recuperación y el retorno deportivo de alto rendimiento (Paredes Gómez et al., 2024a; Paredes-Gómez & Potosí-Moya, 2023).

**Terapia neurológica y pediátrica :** La terapia neuro-pediátrica se enfoca en el trabajo de la neuroplasticidad y la adaptación funcional en pacientes que han sufrido diversas patologías neurológicas o presentan condiciones neurológicas congénitas. Este tipo de intervención busca aprovechar la capacidad del cerebro infantil para reorganizarse y crear nuevas conexiones neuronales, favoreciendo la recuperación y el desarrollo motor, cognitivo y sensorial (Tavazzi et al., 2021).

La utilización de herramientas especializadas en este campo, como tecnologías de estimulación neurosensorial y dispositivos interactivos, han demostrado beneficios significativos, según diversas

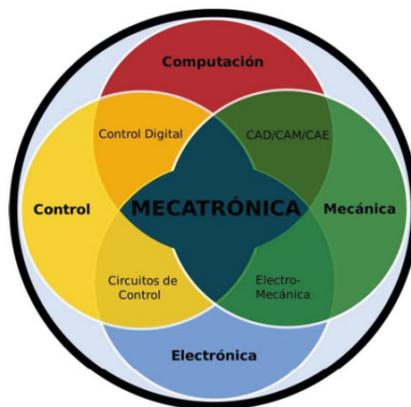
investigaciones. Se han observado resultados positivos en pacientes con patologías como parálisis cerebral y trastornos neurológicos progresivos, incluyendo el Parkinson juvenil, mejorando su calidad de vida y funcionalidad a través de enfoques terapéuticos adaptados a sus necesidades (Iosa et al., 2022; Krucoff et al., 2022a).

## MECATRÓNICA EN SALUD Y DEPORTE

### Introducción

La Mecatrónica es una disciplina fascinante que fusiona diversas áreas del conocimiento para dar vida a sistemas inteligentes y automatizados. Su enfoque transdisciplinario, integra la mecánica, la electrónica, la informática y el control como se observa en la figura 1. Provee de herramientas invaluable para el desarrollo de soluciones tecnológicas innovadores en una amplia gama de sectores.

*Imagen 3.- Transdisciplinariedad de la Mecatrónica*



La mecatrónica, como una disciplina integradora, ofrece soluciones tecnológicas que impactan significativamente en el ámbito de la salud y el deporte, ha permitido la creación de dispositivos que no solo mejoran la calidad de vida de los pacientes, sino que también optimizan el rendimiento deportivo. Este enfoque transdisciplinario está revolucionando la rehabilitación y el entrenamiento, abriendo nuevas posibilidades para la innovación.

## Definición y Fundamentos

La Mecatrónica, acuñada por el ingeniero japonés Tetsuro Mori en 1969, se define como la “sinergia entre la mecánica de precisión, la electrónica y la informática para el diseño y desarrollo de productos y procesos inteligentes” (Yaskawa, 2003). Esta definición pone de relieve la esencia de la disciplina: la convergencia de diferentes áreas para crear sistemas integrados que operan de manera autónoma o con un alto grado de automatización.

### Los pilares fundamentales de la Mecatrónica

**Mecánica de Precisión:** Se encarga del diseño, análisis y construcción de mecanismos con tolerancias estrechas y alta precisión, asegurando un funcionamiento confiable y eficiente.

**Electrónica:** Proporciona los componentes y sistemas electrónicos necesarios para el control, la comunicación y el procesamiento de datos en los sistemas mecatrónicos.

**Informática:** Integra el uso de computadoras, microcontroladores y software para el desarrollo de algoritmos de control, interfaces de usuario y sistemas de comunicación.

**Control:** Aplica principios de teoría de control para el análisis, diseño e implementación de sistemas de control que regulen el comportamiento de los sistemas mecatrónicos.

### Áreas de Aplicación

La Mecatrónica tiene un campo de aplicación sumamente amplio, abarcando diversos sectores industriales y de servicios. Algunos ejemplos destacados son:

**Robótica:** Diseño, construcción y programación de robots para tareas automatizadas en manufactura, logística, exploración espacial y atención médica.

**Automatización Industrial:** Desarrollo de sistemas de control y automatización para la producción en masa, gestión de almacenes y procesos industriales complejos.

**Medicina:** Implementación de dispositivos médicos mecánicos para diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de pacientes.

**Automatización Doméstica:** Diseño de sistemas inteligentes para el control de iluminación, climatización, seguridad y electrodomésticos en el hogar.

**Automoción:** Desarrollo de sistemas electrónicos y de control para el funcionamiento de vehículos, incluyendo sistemas de seguridad, antibloqueo de frenos (ABS) y dirección asistida.

**Aeronáutica:** Diseño y fabricación de componentes mecatrónicos para aeronaves, como actuadores, sistemas de control de vuelo y sistemas de navegación.

## Perspectivas y Desafíos

La Mecatrónica se encuentra en constante evolución, impulsada por los avances en las áreas que la componen. Algunos de los desafíos que enfrenta la disciplina son:

**Integración de nuevas tecnologías :** Incorporación de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, el internet de las cosas y la robótica colaborativa en los sistemas mecatrónicos.

**Desarrollo de sistemas sostenibles :** Diseño de sistemas mecatrónicos que sean eficientes energéticamente y reduzcan su impacto ambiental.

**Estandarización y seguridad :** Desarrollo de estándares y protocolos para garantizar la seguridad y confiabilidad de los sistemas mecatrónicos.

**Ética y responsabilidad :** Consideración de las implicaciones éticas y sociales del desarrollo de sistemas mecatrónicos.

Entre las perspectivas destacan el creciente uso de tecnologías portátiles y dispositivos miniaturizados, mayor enfoque en la rehabilitación personalizada y el monitoreo remoto y el desarrollo de sistemas más accesibles para entornos de bajos recursos (Vitiello et al.,2016).

En definitiva, la Mecatrónica se posiciona como una disciplina fundamental para el desarrollo de soluciones tecnológicas innovadoras que respondan a los desafíos del presente y del futuro. Su carácter multidisciplinario y su enfoque en la integración de tecnologías la convierten en una herramienta invaluable para el progreso tecnológico y la mejora de la calidad de vida.

## **Mecatrónica y Salud: Un vínculo inquebrantable**

La aplicación de la mecatrónica en el ámbito de la salud ha revolucionado las formas tradicionales de diagnóstico, tratamiento y rehabilitación. La integración de tecnologías avanzadas permite abordar problemas complejos con soluciones innovadoras, mejorando la eficiencia de los procedimientos médicos y la calidad de vida de los pacientes.

### **Diagnóstico y Tratamiento:**

**Imágenes médicas:** La mecatrónica ha revolucionado el diagnóstico médico a través del desarrollo de equipos de imágenes de alta precisión, como resonancias magnéticas (RMN), tomografías computarizadas (TC) y ultrasonidos. Estos dispositivos emplean sensores, actuadores y sistemas de control para capturar y procesar información del cuerpo humano, permitiendo la detección temprana de enfermedades y la planificación precisa de tratamientos asistidos por inteligencia artificial (Topol, 2019).

**Telemedicina y monitoreo remoto:** Dispositivos que permiten a los pacientes ser monitoreados desde sus hogares en tiempo real, reduciendo la necesidad de hospitalizaciones prolongadas y brindar alertas tempranas a cuerpos de salud que asistan la emergencia (Bashshur et al., 2016).

**Robótica Médica:** Los robots quirúrgicos, guiados por sistemas de control sofisticados y equipados con instrumentos de última generación, han transformado la cirugía mínimamente invasiva. Su precisión milimétrica y destreza robótica minimizan el trauma del paciente, acortan los tiempos de recuperación y mejoran los resultados clínicos. Sistemas como el Da Vinci permiten cirugías mínimamente invasivas con alta precisión, reduciendo complicaciones postoperatorias y tiempos de recuperación (Lanfranco et al., 2004).

**Prótesis y Órtesis:** La mecatrónica juega un papel crucial en el diseño y desarrollo de prótesis y órtesis avanzadas, restituyendo la función motora y sensorial en pacientes con discapacidades físicas. Sensores integrados en estas prótesis permiten monitorizar la actividad muscular y ajustar su comportamiento en tiempo real, brindando una experiencia más natural y funcional al usuario.

Prótesis inteligentes equipadas con sensores y actuadores, las prótesis modernas interactúan de manera natural con el usuario, mejorando su funcionalidad y calidad de vida (Vitiello et al., 2016).

En la Universidad Técnica del Norte se ha realizado órtesis que apoyan el diagnóstico médico, con el uso de sensores y aplicaciones de interfaz humano máquina; como por ejemplo el Sistema baropodométrico electrónico o la plantilla baropodométrica con impresión 3D (Dorado Sánchez & Mejía-Echeverría, 2021; Terán Flores & Mejía-Echeverría, 2019) que permite obtener datos de la presión plantar en tiempo real.

También se ha desarrollado prótesis de rodilla bajo el uso de diferentes procesos de manufactura que permitan abaratar los costos de fabricación (Erazo Arteaga et al., 2019; Erazo et al., 2019; Valencia Aguirre et al., 2017) y el estudio de los componentes que permiten mejorar el proceso de la marcha en pacientes amputados (Mora Fierro & Mejía-Echeverría, 2023). En los miembros superiores se ha trabajado también con prótesis que permiten mejorar la calidad de vida de pacientes con amputaciones en diferentes secciones del miembro superior (Colimba Moreno & Mejía-Echeverría, 2021).

## **Monitoreo y Rehabilitación:**

**Dispositivos Implantables:** La mecatrónica ha posibilitado la creación de dispositivos miniaturizados implantables para el monitoreo continuo de parámetros fisiológicos como la presión arterial, la glucosa en sangre y la actividad cardíaca. Estos dispositivos envían datos de forma inalámbrica a sistemas de monitoreo remoto, permitiendo la detección temprana de eventos adversos y la toma oportuna de decisiones médicas. Dispositivos implantables con tecnologías miniaturizadas que monitorean y regulan funciones corporales, como marcapasos y bombas de insulina (Laffleur & Keckeis, 2020).

La UTN ha desarrollado prototipos enfocados en la rehabilitación netamente mecatrónicos, que no solo permiten ejecutar la rehabilitación adecuada, sino que permite obtener datos importantes del proceso, como una caminadora para rehabilitación de miembros inferiores (García et al., 2020).

Además se ha podido desarrollar prototipos mecatrónicos que permiten además del monitoreo, la obtención de datos de la marcha humana (Castillos Aldás & Mejía-Echeverría, 2023; Pasuy et al., 2019), centros instantáneos de rotación de la rodilla apoyado de visión artificial (Tirira Pusda & Mejía-Echeverría, 2023), caracterización de cargas que actúan sobre el cuerpo en los procesos de carga y descarga de objetos en los agricultores (Ciaccia et al., 2019, 2020); todos estos con la capacidad de generar bases de datos de pacientes sanos para la obtención de ecuaciones que describan el normal funcionamiento del miembro bajo estudio.

**Exoesqueletos Robóticos:** Los exoesqueletos robóticos, controlados por sistemas de mecatrónica, brindan asistencia motora a personas con movilidad reducida, facilitando su rehabilitación y reincorporación a la vida cotidiana. Estos dispositivos detectan la intención del usuario y proporcionan la fuerza y el soporte necesarios para realizar movimientos específicos. Diseñados para pacientes con discapacidades motoras, estos dispositivos facilitan la movilidad y aceleran el proceso de rehabilitación (Dollar & Herr, 2008).

Sistemas como Lokomat® y Armeo® que proporcionan apoyo activo durante la rehabilitación motora de pacientes con lesiones neurológicas (Mehrholz et al., 2017).

En la UTN se desarrollaron prototipos de exoesqueletos y rehabilitadores pasivos para miembros inferiores (Paredes Altamirano & Mejía-Echeverría, 2021; Ruiz et al., 2018) que permiten una rehabilitación del miembro con movimientos pre seteados utilizando la mecatrónica como soporte del proceso automático, basados en una ecuación construida a partir de los datos de pacientes sanos.

Además, se ha venido realizando trabajo enfocado en exoesqueletos para la rehabilitación de los dedos de la mano (Iza Yugsi & Mejía-Echeverría, 2016), teniendo un sistema de control para la rehabilitación de cada una de las falanges.

## Dispositivos de ayuda

La mecatrónica también está presente en la salud y mejora de calidad de vida, de personas con patologías irreversibles, y que requieren de un apoyo constante que permita aliviar el trabajo de su cuidador. En la UTN se ha desarrollado sillas mecatrónicas bipedestadoras para personas con paraplejía que permiten constantemente cambiar de posición para evitar daños en otros sistemas vitales del paciente (Tambaco et al., 2018).

## Terapias Innovadoras

**Realidad Virtual y Aumentada:** La mecatrónica se integra con la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) para crear experiencias terapéuticas innovadoras. En el ámbito de la rehabilitación física, la RV permite simular entornos y actividades cotidianas, estimulando la recuperación motora y cognitiva del paciente.

La RV se utiliza para crear entornos simulados que ayudan a los pacientes a recuperar funciones motoras y cognitivas. Por ejemplo, sistemas como CAREN (Computer-Assisted Rehabilitation Environment) ofrecen simulaciones inmersivas para tratar lesiones neurológicas y mejorar el equilibrio y la coordinación (Laver et al., 2017).

En la RA, elementos virtuales se superponen al entorno real para facilitar la rehabilitación física. Un ejemplo destacado es el uso de AR en la rehabilitación post-ictus, donde se desarrollan ejercicios interactivos para mejorar la movilidad y la fuerza del paciente (Steenstra & Erkoyuncu, 2014).

**Bioimpresión 3D:** La bioimpresión 3D, impulsada por la mecatrónica, abre un nuevo horizonte en la medicina regenerativa. Esta tecnología permite crear tejidos y órganos artificiales a partir de células del propio paciente, ofreciendo alternativas prometedoras para el tratamiento de enfermedades degenerativas y trasplantes.

Esta tecnología permite fabricar tejidos y órganos personalizados para trasplantes o pruebas farmacológicas. Investigaciones recientes han demostrado que la bioimpresión de cartílago y piel es efectiva para el tratamiento de lesiones graves y quemaduras (Moroni et al., 2018).

En la UTN se ha desarrollado prototipos innovadores que han permitido brindar terapias alternativas o identificación de patologías mediante metodologías no invasivas como el caso del rehabilitador de tobillo interactivo para recuperación de pacientes (Muñoz Puenayan & Mejía-Echeverría, 2019), o el sistema de monitoreo de patologías neuromusculares para miembros superiores e inferiores (Pozo Montenegro & Mejía-Echeverría, 2022).

## **Mecatrónica y Deporte: Optimizando el Rendimiento**

### **Equipamiento Deportivo:**

**Sensores y Wearables:** Los sensores y wearables mecánicos, como relojes inteligentes y bandas de actividad, recopilan datos sobre el rendimiento físico del deportista, como la frecuencia cardíaca, la distancia recorrida y el consumo de calorías. Estos datos se analizan para optimizar el entrenamiento, prevenir lesiones y mejorar el rendimiento deportivo (Seshadri et al., 2019).

**Equipamiento Deportivo Inteligente:** La mecatrónica se integra en diversos elementos deportivos, como raquetas de tenis, bicicletas y prótesis para atletas, para proporcionar información en tiempo real sobre el desempeño del deportista y optimizar su técnica.

### **Entrenamiento y Análisis de Movimiento:**

**Sistemas de Captura de Movimiento:** Los sistemas de captura de movimiento, basados en sensores y cámaras, permiten analizar en detalle la biomecánica del movimiento del deportista, identificando áreas de mejora y optimizando la técnica deportiva.

**Simuladores y Realidad Virtual:** Los simuladores deportivos, impulsados por la mecatrónica, permiten recrear escenarios de competición de forma realista, brindando al deportista la oportunidad de entrenar en situaciones específicas y mejorar su rendimiento bajo presión (Watson & Coker-Cranney, 2018).

### **Medicina Deportiva:**

**Robótica Asistida en Rehabilitación:** Los robots de rehabilitación, controlados por sistemas mecánicos, proporcionan asistencia personalizada al deportista lesionado, facilitando su recuperación y reintegración a la actividad física.



# **CAPÍTULO II**

## **HISTORIA CLÍNICA Y EVALUACIÓN FISIOTERAPEÚTICA**



# HISTORIA CLÍNICA

La historia clínica también conocida como anamnesis es la primera fase de la intervención fisioterapéutica. Siendo importante debido a que se da el primer contacto con el paciente; el objetivo principal de la historia clínica es recolectar y agrupar información de mayor significancia de tipo objetiva y subjetiva, acerca del estado de salud general del paciente actual. Al ser un proceso ordenado, detallado en el cual se relata la cronología de la patología y permite al profesional mediante el razonamiento clínico, el planteamiento de su hipótesis, y consigo llegar a un diagnóstico fisioterapéutico (Díaz Mohedo, 2015).

## Partes Iniciales del Historia Clínica

### Datos básicos

Tienen la finalidad de conocer al paciente y obtener toda la información necesaria sobre el paciente. Podemos partir de las preguntas ¿Cómo se llama? ¿Qué edad tiene? ¿Cuándo nació? Etc.

### Motivo de Consulta

Trata sobre el motivo de consulta. ¿Por qué acude a fisioterapia? ¿Qué lo lleva a consulta? En base a lo observado, escuchado e interactuado, aquí puede que exista una posible derivación del paciente a otro profesional de salud.

### Enfermedad Actual

En este punto lo que se quiere investigar es el origen de la enfermedad, la cronología, signos y síntomas presentes, posibles tratamientos previos médicos o de fisioterapia, entre otros. Por lo que

realizamos las siguientes preguntas: ¿Cuándo surgió el problema? ¿Hace cuanto empezó a doler o molestar? ¿Cuáles son sus síntomas? ¿Acudió antes a fisioterapia? ¿Tiene tratamiento médico? ¿Toma algún medicamento? En caso de fracturas o presencia de luxaciones ¿Cómo fue que se cayó o sucedió el incidente?, etc.

Dentro de este punto añadimos el ítem DOLOR, principal síntoma por el cual el paciente general visita al profesional de salud. Se conoce que el dolor puede referirse como algo subjetivo, debido a que no es lo mismo lo que el paciente percibe en comparación a otro, por ende, es muy difícil cuantificar el dolor.

Es necesario que el profesional haga preguntas cortas y precisas acerca de este síntoma: ¿Por qué inicio? ¿Qué piensa que lo causó?, ¿Desde cuándo inicio estas molestias? ¿Es la primera vez que existe dolor? ¿Dónde le duele? ¿Cuándo alivia el dolor y cuando aumenta? ¿Cómo es el dolor? ¿Es sordo, difuso y profundo?

## **Aspectos psicosociales**

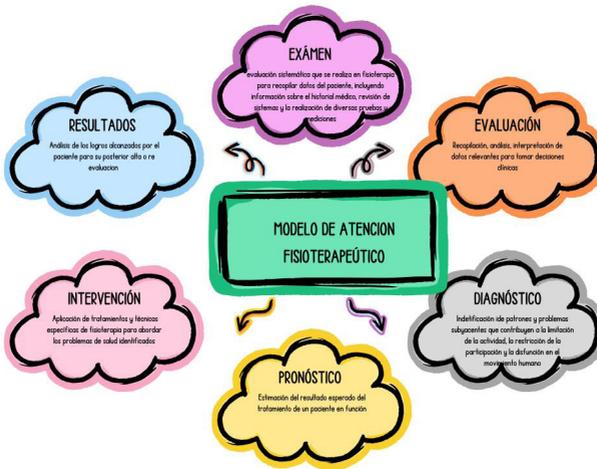
¿A qué se dedica? ¿Qué nivel de escolaridad posee? Entre otros, es importante tener conocimiento de este aspecto por si existe alguna relación en la que pueda afectar en su enfermedad o tratamiento.

El profesional a partir de la información recolectada en la historia clínica analiza la gravedad del dolor, existencias a nivel de la limitación de la actividad, restricción de la participación (Díaz Mohedo, 2015; Naylor et al., 2023) .

## **MODELO DE ATENCION FISIOTERAPEÚTICA**

La Sociedad Americana de Fisioterapia (APTA) ha venido proponiendo un modelo de atención, donde la evaluación sistemática pretende identificar situaciones de salud que puedan irrumpir en la funcionalidad:

Imagen 4.- Modelo de atención fisioterapéutico



## EXAMINACIÓN CLÍNICA

La examinación clínica forma parte esencial en el proceso de intervención de fisioterapia, permite al profesional una toma adecuada de decisiones. El examen es un proceso sistemático que se realiza para recopilar datos del paciente, esto incluye la historia clínica médica, una exhaustiva revisión por sistemas (neuromuscular, musculoesquelético, cardiopulmonar y tegumentario) a través de un screening u observación clínica, aplicación de diversas pruebas y mediciones para identificar afecciones actuales y potenciales que lleguen afectar la recuperación del paciente. Este proceso integral no solo se enfoca en los síntomas del paciente, sino que también en sus antecedentes, condiciones actuales y objetivos funcionales (Universidad Mariana, 2018).

El examen clínico al ser el inicio importante del procedimiento fisioterapéutico tiene varias formas de inspección, sea en reposo, durante el movimiento y la indagación de las funciones físicas, sea a nivel articular, de control y patrón motor, incluso de fuerza muscular. Por lo tanto, la examinación clínica fisioterapéutica al ser un proceso sistemático y continuo presenta dos tipos de examinación:

**Examinación Subjetiva:** el fisioterapeuta tiene como objetivo buscar e identificar posibles causas asociadas o que generen los síntomas del paciente, al recolectar la información necesaria para realizar posteriormente una buena evaluación, para ello puede tomar

en cuenta las siguientes pautas. La información que se obtenga por medio de esta entrevista dependerá del nivel de razonamiento clínico y planteamiento correcto de preguntas, dentro de este punto con la información recabada el examinador empieza a crear un plan de “debería, podría” con el cual hace referencia a que tipo de pruebas y medidas usar, para lograr aceptar o rechazar las distintas hipótesis creadas (Bier et al., 2018).

**Examinación física:** se centra en explorar los componentes de los distintos sistemas: Cardiovascular, tegumentario, neuromuscular, musculoesquelético. Esta examinación se la realiza mediante la observación, auscultación, palpación y movimiento. A través de pruebas tanto dinámicas o funcionales, como estáticas. Estas evaluaciones van de acuerdo con el examen subjetivo anteriormente realizado y el conjunto de estas pruebas recopilan información de manera objetiva para comprobar o rechazar la hipótesis creada, de manera que estas pruebas deben ser selectivas y justificarse mediante un razonamiento clínico, de manera que este adaptado a cada paciente. Es importante seleccionar pruebas y medidas con las que se logre cuantificar y objetivar los resultados del sistema a evaluar, de manera que esto le permita al fisioterapeuta fortalecer su examen clínico, como también el seguimiento de su plan de intervención posteriormente (Petty & Ryder, 2018).

Este libro se centra en la articulación de rodilla y columna cervical, por lo que el modelo de atención sobre todo de la examinación y evaluación se centra en estas zonas.

## **Evaluación**

Una examinación completa es importante, poder establecer un buen juicio de valor, este proceso se denomina evaluación.

La evaluación fisioterapéutica no solo aborda funciones o disfunciones físicas, sino que a través de su enfoque biopsicosocial consigue identificar factores de riesgos que influyen en la recuperación del paciente, sea de una deficiencia, limitación incluso una restricción en la participación social (Jiménez Tordoya, 2016).

## **Aspectos de la evaluación Física**

Se centra en el análisis detallado de las estructuras del sistema musculoesquelético, de manera individual y global. Incluye la

valoración de tejidos blandos, articulaciones y huesos. Para llevar a cabo esta evaluación se utilizan herramientas visuales, palpación manual, y técnicas instrumentales, los principales componentes que abraza este tipo de evaluación son:

### **Examen postural:**

Observación y análisis de la postura del paciente de manera estático y/o dinámico.

El sujeto se coloca al lado de una plomada sostenida de una cuerda, visto desde atrás debe colocar los pies equidistantes con respecto a la cuerda, lateralmente, la línea de plomada debe discurrir por un punto situado inmediatamente delante del maléolo lateral.

Al paciente se lo evaluará dentro de las cuatro posiciones y vistas: anterior, posterior y lado izquierdo y lado derecho. Este a su vez, en la vista anterior y posterior se pueden observar asimetrías mientras que, en la vista lateral, se observará las curvaturas fisiológicas. Las desviaciones encontradas en estas vistas con respecto a la línea de plomada se describen preferiblemente como leves, moderadas o acusadas (Conroy et al., 2024).

*Imagen 5.- Vista frontal (test postural)*



*Imagen 6.- Vista lateral (test postural)*



## **Examen muscular**

Evaluación de fuerza, elasticidad y función muscular.

### **Escala de Daniels:**

Esta escala se utiliza con frecuencia en fisioterapia, permitiendo al fisioterapeuta evaluar la capacidad propia del músculo, el estado de su fuerza al ejecutar un movimiento y obteniendo resultados subjetivos de cómo se encuentran estos valores y si se van modificando en el tiempo con algún entrenamiento o tratamiento específico :

0: No hay contracción muscular; el músculo está completamente paralizado.

1: El músculo logra contraerse, pero no genera movimiento. La contracción puede sentirse o verse, aunque no produce desplazamiento.

2: El músculo se contrae y realiza el movimiento completo, pero únicamente sin ofrecer resistencia, ya que no puede superar la fuerza de la gravedad.

3: El músculo logra realizar el movimiento venciendo la resistencia de la gravedad, pero sin ninguna oposición adicional.

4: El músculo se contrae y ejecuta el movimiento completo en toda su amplitud, superando tanto la gravedad como una resistencia manual moderada.

5: El músculo se contrae y realiza el movimiento con amplitud total, venciendo la gravedad y soportando una resistencia manual máxima(Sánchez, 2020).

*Imagen 7.- Evaluación subjetiva mediante palpación (cuádriceps)*



## **Dinamometría:**

Este método nos permite cuantificar la fuerza muscular ejercida en el movimiento por un músculo o un grupo de músculos específicos, tanto de las extremidades inferiores como de las superiores (Wang et al., 2024).

Existen tipos de dinamometría usados principalmente dentro del campo clínico, los cuales son:

**Fuerza de agarre isométrico:** evalúa la fuerza muscular de agarre y específicamente la fuerza manual, el cual mide la fuerza generada por los músculos sin que haya movimiento en la articulación lo que permite identificar no solo la debilidad muscular de la extremidad superior, sino que también proporciona información de la fuerza y masa muscular de manera global (Concha-Cisternas et al., 2022).

*Imagen 8.- Dinamometría de mano (Instrumento jamar)*



**Dinamometría isocinética:** Se considera como el estándar para las pruebas de la fuerza y potencia muscular en pacientes deportivos, ortopédicos y neurológicos, usa tecnología informática y robótica para obtener datos cuantitativos sobre la capacidad muscular, registrando déficits de fuerza específicos o incluso ayuda a medir los resultados obtenidos tras las intervenciones. Además de diagnosticar lesiones y trastornos musculoesqueléticos (Borges et al., 2023).

*Imagen 9.- Dinamómetro casero (crane scale)*



**Examen articular:** Análisis del rango de movimiento y estabilidad de las articulaciones

### **Goniometría**

Es un método convencional y muy usado dentro de la práctica clínica, sin embargo, no deja de ser una herramienta fundamental a la hora de evaluar el grado de movimiento de múltiples articulaciones.

El goniómetro es un instrumento de bajo costo y portátil, lo que hace fácil su adquisición siendo un procedimiento exigente que requiere de mucho tiempo, incluso de la ayuda de una tercera persona para estabilizar el segmento a evaluar, lo que puede afectar la eficiencia de la atención de salud, es importante que la medición del perímetro afectado y miembro sano: Comparación del tamaño del miembro afectado con respecto al sano, para identificar edemas o atrofas (Fan et al., 2022).

*Imagen 10.- Evaluación de rodilla (goniometría)*



## **Pruebas Funcionales por Zonas**

### **Zona Cervical**

#### **Test de flexión-rotación**

Se coloca al paciente en decúbito supino, el examinador mueve las vértebras cervicales del paciente pasivamente hasta su máxima flexión, luego procede a rotar la cabeza de izquierda a derecha apoyando la zona occipital de la cabeza contra el abdomen. El test es positivo cuando el paciente presenta síntomas de dolor o existe una sensación final firme (Rodríguez García, 18 C.E.).

*Imagen 11.- Neurodinamia (movilidad cervical)*



El paciente se coloca en decúbito supino sobre la camilla y se realiza una extensión de muñeca y dedos, seguido de una pronación del antebrazo, flexión de codo, rotación externa del hombro, depresión de escápula, abducción del hombro y una inclinación lateral de cervical contralateral. Se le pide al paciente que nos indique en qué zona empieza a sentir un hormigueo, pinchazos, entumecimiento o ardor, hasta llegar al punto máximo de tolerancia al dolor del paciente(Llamas Ramos & Llamas Ramos, 2022)

*Imagen 12.- Neurodinamia (nervio radial)*



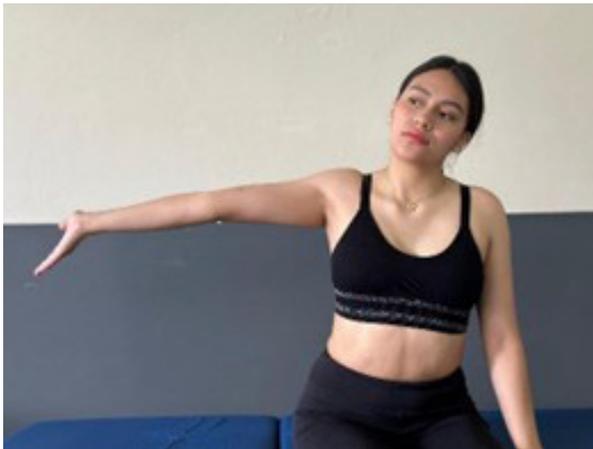
Paciente en decúbito supino, se lleva el hombro y antebrazo del paciente a una rotación interna, luego a una pronación para obtener la máxima tensión, se realiza una extensión de muñeca, posterior a eso se realiza una flexión para el deslizamiento del nervio con movimientos simultáneos de la cabeza hacia el lado contralateral. Es positivo cuando presenta hormigueo pinchazos, entumecimiento o ardor (Llamas Ramos & Llamas Ramos, 2022).

*Imagen 13.- Neurodinamia (nervio mediano)*



El paciente puede estar de pie o sentado, lleva la mano ligeramente hacia atrás, extiende la muñeca sin perder la posición del brazo, seguido a eso realiza una flexión de cuello hacia el lado contrario y rota la cabeza ligeramente. Es positivo cuando presenta hormigueo pinchazos, entumecimiento o ardor (Araya-Quintanilla et al., 2018).

*Imagen 14.- Evaluación neural (spurling's test A)*



Evalúa la presencia de una radiculopatía cervical. El paciente debe estar en sedente, se inclina el cuello ipsilateral y se aplica una presión hacia abajo sobre la cabeza. Es positivo si causo dolor o produjo hormigueo desde el hombro irradiado hasta el codo. Tiene una

sensibilidad del 30% con una especificidad de 93% (Hutchins et al., 2024).

*Imagen 15.- Evaluación neural (spurling's test B)*



Evalúa la presencia de una radiculopatía cervical. El paciente debe estar en sedente, se realiza una extensión de cuello, seguido una inclinación de cuello ipsilateral y se aplica una presión hacia abajo sobre la cabeza. Es positivo si causo dolor o produjo hormigueo desde el hombro irradiado hasta el codo. Tiene una sensibilidad del 30% con una especificidad de 93% (Jones & Miller, 2023).

*Imagen 16.- Evaluación neural (spurling's test B carga axial)*



## Articulación de rodilla

### Pruebas para Ligamento cruzado anterior LCA

#### Prueba de cajón anterior

El paciente debe estar en decúbito supino, la cadera a una flexión de  $45^\circ$  y la rodilla a  $90^\circ$  de flexión. El examinador debe fijar el pie sentándose sobre el pie del paciente, coloca las manos detrás de la tibia proximal y los pulgares deben estar en la meseta tibial. Se aplica una fuerza de posterior hacia anterior sobre la tibia, los tendones isquiotibiales deben estar en relajación. La prueba es positiva si existe mayor desplazamiento hacia posterior a comparación del lado opuesto, es indicativo de un daño en el ligamento cruzado anterior (LCA). Esta prueba tiene una sensibilidad de 41% y una especificidad del 97% (Malanga et al., 2003).

*Imagen 17.- Evaluación rodilla (test de cajón anterior)*



Se coloca al paciente en posición supina llevando a la pierna que se va a examinar a  $30^\circ$  de flexión. Se fija el fémur con la otra mano, realiza ligeramente una rotación externa y luego se intenta trasladar la tibia hacia delante. La prueba es positiva si presenta una sensación blanda o si se traslada hacia delante la tibia. Tiene una sensibilidad del 85% y una especificidad del 94% (van Eck et al., 2013).

*Imagen 18.- Evaluación de rodilla (test de lachman)*



### **Prueba de cajón posterior**

El paciente se encontrará en decúbito supino con una flexión de 45° de cadera y 90° de rodilla, el pie en posición neutra lo estabilizamos sentándose sobre el pie del paciente y con ambas manos sujetamos la tibia tercio proximal y colocamos los pulgares en las metasetas tibiales, luego se aplica una fuerza de anterior hacia posterior. La prueba es positiva si existe un mayor desplazamiento posterior en comparación del lado contrario, indicando un desgarro parcial o completo del ligamento cruzado posterior. La prueba presenta una sensibilidad del 90% y una especificidad del 99% (Malanga et al., 2003).

*Imagen 19.- Evaluación de rodilla (test de cajón posterior)*



## Signo de hundimiento posterior

Se coloca al paciente en decúbito supino con flexión de 90° de rodilla y flexión de cadera de 45°. La rodilla en esta posición puede balancearse o hundirse hacia atrás sobre el fémur si el ligamento cruzado posterior está desgarrado, dando positivo a esta prueba. En condiciones normales la meseta tibial medial se desplaza 1 cm hacia anterior cuando la rodilla se encuentra en flexión de 90° formando un escalón, si se pierde esto se considera una prueba positiva. Tiene una sensibilidad del 97% con una especificidad del 100% (Malanga et al., 2003).

*Imagen 20.- Evaluación de rodilla (signo de hundimiento posterior)*



Pruebas para Ligamento colateral medial LCM y ligamento colateral lateral LCL

### Prueba de esfuerzo en valgo y varo

El paciente debe encontrarse en decúbito supino, en una flexión de rodilla de 30°, se coloca una mano en la zona lateral de la rodilla y con la otra mano se sujeta el tobillo. Se aplica una fuerza en valgo a la rodilla y realizarse una extensión completa de rodilla. Para la prueba en varo se coloca la mano en la rodilla en la zona lateral y ejerce una fuerza en varo. La prueba es positiva para valgo si existe mayor desplazamiento medial en comparación al lado opuesto, indicando una lesión en el ligamento colateral medial y para varo la prueba es positiva si existe un mayor desplazamiento lateral en comparación al lado contralateral. Presenta una sensibilidad del 86% (Malanga et al., 2003).

*Imagen 21.- Evaluación de rodilla (test de estrés en valgo y varo)*



## **Pruebas para meniscos**

### **Prueba de McMurray**

El paciente en decúbito prono, se le realiza una flexión completa de rodilla, sujetando el pie por el talón y se realiza una rotación externa para evaluar el menisco interno y en la rotación interna para evaluar el menisco externo. La prueba es positiva si el paciente presenta dolor en alguno de los meniscos según la rotación que se realizó. La prueba presenta una sensibilidad de entre 16%-58% y una especificidad entre el 77%-98% (Malanga et al., 2003).

*Imagen 22.- Evaluación de rodilla (test de Mc Murray)*



## Prueba de Apley Grind

Se debe colocar al paciente boca abajo, con una mano se flexiona la rodilla a 90° y se coloca la rodilla del examinador sobre el muslo del paciente. Se realiza una tracción de la pierna evitando que el fémur se levante, luego se realiza una rotación externa/interna y se aplica una fuerza de compresión hacia abajo. La prueba es positiva si aumenta el dolor y es un indicativo de daño meniscal. Presenta una sensibilidad del 16% y una especificidad del 80% (Malanga et al., 2003).

*Imagen 23.- Evaluación de rodilla (test de Apley)*



## Diagnóstico Fisioterapéutico

El diagnóstico fisioterapéutico proporciona al evaluador identificar las posibles estructuras lesionadas y su correlación o influencia con otras zonas del cuerpo agrupándolos en patrones de disfunción funcional para su correcta “corrección”.

Este procedimiento implica que el fisioterapeuta desarrolle destrezas de razonamiento clínico en base a los cuatro dominios (musculoesquelético, neuromuscular, cardio respiratorio y tegumentario) estructurado en patrones que orientan al profesional para el análisis de las funciones y disfunciones del movimiento humano desde la perspectiva biopsicosocial, siendo este el siguiente paso después del proceso de evaluación.

## **1. Dominio cardiovascular/pulmonar**

Este dominio aborda problemas relacionados con la función cardiorrespiratoria y la capacidad de tolerancia al esfuerzo físico. Los patrones en forma general se describen: Intolerancia al esfuerzo.

### **Déficit en la circulación periférica.**

Dificultades respiratorias (ventilación, oxigenación, capacidad pulmonar).

## **2. Dominio musculoesquelético**

Este dominio incluye alteraciones en los tejidos conectivos, articulaciones, huesos y músculos. Los patrones típicos son:

### **Déficit de movilidad articular.**

### **Disminución de fuerza muscular.**

Alteraciones en la alineación postural y biomecánica.

## **3. Dominio tegumentario**

Se refiere a problemas en la piel y tejidos conectivos relacionados con heridas, cicatrices y edemas. Los patrones incluyen:

Compromiso de la integridad de la piel.

Edema y problemas de cicatrización.

## **4. Dominio neuromuscular**

Abarca alteraciones en el control motor, el equilibrio y la coordinación, muchas veces relacionadas con el sistema nervioso central o periférico. Los patrones incluyen:

Déficit de control motor y coordinación.

Alteración en el equilibrio y estabilidad postural.

Movimientos involuntarios o espasticidad (Jiménez Tordoya, 2016; Sustentan et al., 2018).

## **Pronóstico**

Este acápite busca el nivel óptimo de mejora funcional permitiendo al paciente ser autosuficiente e independiente en su vida diaria o deportivas dependiendo sus objetivos. Aquí se debe incluir también la meta específica, medible, alcanzable, relevante y con un tiempo definido (criterio SMART) para guiar el plan de tratamiento.

Según la Guía APTA el pronóstico consta de:

### **- Evaluación del estado actual del paciente:**

Se empieza mencionando en el diagnóstico médico, la edad, las comorbilidades asociadas, situaciones específicas de su estilo de vida y aspectos psicológicos que puedan influir en la recuperación; luego en forma general las limitaciones funcionales identificadas en la examinación incluyendo deficiencias en las capacidades físicas, niveles de dolor, fuerza muscular o rango de movimiento etc.; por último la meta o el objetivo general mismo que debe ser alcanzable, relevantes y con un tiempo definido (criterio SMART) para guiar el plan de tratamiento.

### **- Predicción del nivel de mejora funcional:**

Se debe estimar el grado de recuperación que se espera alcanzar, categorizado como: favorable: alta probabilidad de recuperación completa o funcionalidad óptima, moderado: posibilidad de recuperación parcial con funcionalidad suficiente para actividades esenciales, desfavorable: limitaciones permanentes donde el objetivo es mejorar la calidad de vida y maximizar la independencia.

### **- Planificación del tiempo de tratamiento:**

Se identifica el período estimado para alcanzar los objetivos establecidos, incluyendo la frecuencia y duración de las sesiones de fisioterapia.

### **- Identificación de facilitadores o barreras:**

Facilitadores: motivación del paciente, apoyo social, ausencia de enfermedades crónicas.

**Barreras:** presencia de patologías concomitantes, baja adherencia al tratamiento, factores socioeconómicos desfavorables.

### **- Comunicación del pronóstico al paciente:**

Explicación clara y realista al paciente sobre las expectativas del tratamiento, involucrándolo activamente en el proceso de rehabilitación (APTA, 2014; Jewell DV, 2018).

## **Intervención**

También conocido como tratamiento fisioterapéutico, se enfoca en conseguir los cambios en la condición del paciente o que permita alcanzar la meta planificada inicialmente. Este proceso debe ser individualizado y específico para cada caso con un enfoque biopsicosocial (Jewell DV, 2018).

La intervención puede incluir ejercicios terapéuticos, técnicas manuales, educación al paciente y modalidades físicas, entre otros, con un enfoque biopsicosocial y con el objetivo de mejorar la función, reducir el dolor y prevenir o minimizar la discapacidad (APTA, 2014).

Los parámetros de prescripción específicos deben detallar factores fisioterapéuticos, como: método, modo o dispositivo; intensidad, carga, tiempo; duración, frecuencia y progresión del tratamiento (Dreeben-Irimia, 2011).

## **Resultados**

Este acápite se realiza una vez concluida la intervención, aquí se vuelve a evaluar al paciente, se registran los cambios y el nivel de alcance de los objetivos o metas planificadas en donde se busca modificar el tratamiento o el alta del paciente (Universidad Mariana, 2018)

*La evaluación en fisioterapia marca el inicio de la atención clínica, convirtiéndose en la brújula orientadora de cada decisión terapéutica enfocada a la restitución de las funciones y la recuperación.*



# **CAPÍTULO III**

## **EL DISEÑO MECATRÓNICO**



## EL DISEÑO

El diseño es el proceso general mediante el cual el ingeniero aplica sus conocimientos, destrezas y puntos de vista a la creación de un producto o un sistema, que permita solucionar un problema y satisfacer una necesidad, con suficientes detalles para permitir su realización.

La principal tarea de los ingenieros es aplicar sus conocimientos científicos y de ingeniería a la solución de problemas técnicos, y luego optimizar esas soluciones dentro de los requisitos y limitaciones establecidos por lo material, tecnológico, económico, consideraciones legales, medioambientales y humanas.

La creación mental de un nuevo producto es tarea de los ingenieros de diseño y desarrollo, mientras que su realización física es responsabilidad de los ingenieros de producción.

Dentro de la mecatrónica, en las últimas décadas se ha ido evolucionando en el proceso de diseño, tratando de que se tenga un enfoque transdisciplinar en cada una de la aplicación de los conocimientos como en la creación del producto (Pahl et al., 2007).

## EL DISEÑO MECATRÓNICO

El diseño mecatrónico es un proceso transdisciplinario que combina principios de ingeniería mecánica, electrónica, informática y control para crear sistemas integrados que resuelvan problemas específicos (Plateaux et al., 2009). Este enfoque holístico permite desarrollar dispositivos altamente funcionales y adaptados a las necesidades del usuario final, especialmente en el ámbito de la salud.

Las normas VDI (Verein Deutscher Ingenieure) proporcionan directrices técnicas esenciales para el diseño y desarrollo de sistemas

mecatrónicos (VDI/VDE 2206 - Development of Mechatronic and Cyber Physical Systems, 2021). La norma VDI 2206, en particular, es ampliamente reconocida por definir el modelo en “V” para el diseño mecatrónico. Este modelo establece una estructura sistemática que incluye:

- **Análisis de requisitos:** Identificación de las necesidades del usuario y especificaciones del sistema.
- **Diseño conceptual:** Generación de soluciones preliminares basadas en los requisitos.
- **Verificación y validación :** Asegurar que el sistema cumpla con las especificaciones iniciales y satisfaga las necesidades del usuario.

## Uso del Diseño para la Elaboración de Prototipos

El diseño mecatrónico facilita la creación de prototipos mediante herramientas avanzadas como simulaciones computacionales y manufactura aditiva. Estos prototipos permiten:

- **Evaluación temprana:** Identificación de posibles fallos antes de la producción en serie.
- **Iteración rápida:** Ajustes en el diseño basados en pruebas funcionales y retroalimentación del usuario.
- **Optimización de recursos:** Reducción de costos y tiempos en el desarrollo del producto final (Pahl et al., 2007).

## Normativas Relevantes

El desarrollo de dispositivos mecatrónicos para la salud y el deporte debe cumplir con normativas internacionales para su comercialización, tales como:

- **ISO 13485:** Sistemas de gestión de calidad para dispositivos médicos.
- **IEC 60601:** Estándares de seguridad y desempeño para equipos electro médicos.

Estas normativas aseguran que los dispositivos sean seguros, eficaces y cumplan con los estándares internacionales de calidad.

## AVANCES EN EL DESARROLLO DE PROTOTIPOS

El desarrollo de prototipos es un proceso esencial dentro de la ingeniería, puesto que permite validar conceptos, evaluar el desempeño y optimizar productos antes de su producción en serie. La integración de herramientas de diseño computacional y tecnologías emergentes ha transformado radicalmente cómo se diseñan y prueban los prototipos, especialmente en el ámbito de la mecatrónica.

### Evolución de los Prototipos en General

Históricamente, el desarrollo de prototipos dependía de procesos manuales, costosos y lentos. Con el tiempo, la digitalización permitió la simulación y modelado computacional, revolucionando la capacidad de prever problemas antes de construir un modelo físico. La introducción de tecnologías como la impresión 3D ha reducido drásticamente los costos y tiempos de desarrollo, permitiendo iteraciones rápidas y personalizadas (Lipson & Kurman, 2013).

### Prototipos Mecatrónicos

En el campo de la mecatrónica, los prototipos han evolucionado para integrar sensores avanzados, microcontroladores y sistemas de control autónomos. Por ejemplo, los sistemas robóticos han pasado de simples manipuladores a dispositivos autónomos con capacidades adaptativas basadas en inteligencia artificial. Además, herramientas como computacionales permiten la simulación y prueba virtual de sistemas antes de construirlos físicamente.

### Nuevas Tendencias en el Desarrollo de Prototipos

- **Prototipos virtuales:** La realidad virtual permite probar modelos en entornos simulados, reduciendo la necesidad de pruebas físicas iniciales.
- **Fabricación aditiva:** La impresión 3D permite desarrollar geometrías complejas y personalizadas con materiales avanzados.

- **Automatización del diseño:** Software que utiliza algoritmos genéticos y aprendizaje automático para optimizar diseños de manera autónoma (Pilagatti et al., 2022).

## Desarrollo de Prototipos en el Área Médica

En el ámbito médico, los prototipos mecatrónicos han permitido avances como:

1. **Exoesqueletos asistenciales:** Diseñados para ayudar a personas con discapacidades motoras.
2. **Simuladores quirúrgicos:** Que entrenan a cirujanos en entornos seguros y controlados.
3. **Dispositivos portátiles:** Como marcapasos inteligentes que se adaptan a las necesidades del paciente en tiempo real (Pantelopoulos & Bourbakis, 2010).

## FASES DEL DISEÑO

A continuación, se describen las fases del diseño en ingeniería, enfocándose en el método de investigación ingenieril, que integra procesos sistemáticos para la resolución de problemas mediante la generación de conocimientos científicos aplicables en el desarrollo de productos, procesos o sistemas.

### Identificación del problema

La primera fase implica definir claramente la problemática ingenieril o necesidad tecnológica a satisfacer. Aquí, el ingeniero establece el contexto, alcance y restricciones del problema, considerando factores técnicos, económicos, sociales y ambientales (Cross, 2021). Según (Hernández Sampieri et al., 2014), esta etapa también contempla revisar literatura especializada para delimitar adecuadamente el problema, evitando duplicidad de esfuerzos y fundamentando la investigación en avances previos.

### Formulación de objetivos y especificaciones del diseño

Esta fase establece metas específicas del proyecto de ingeniería, generando un marco de referencia con criterios técnicos y operativos medibles (Pahl et al., 2007). Las especificaciones técnicas deben ser

claras, cuantificables y responder directamente al problema inicial. Este proceso se realiza con base en información científica, normativa técnica y requerimientos del cliente o usuario final (Ullman, 2017).

## **Desarrollo conceptual**

En esta etapa, los ingenieros generan múltiples soluciones preliminares mediante técnicas creativas como tormentas de ideas (Brainstorming), métodos morfológicos o árboles de decisión, con el fin de encontrar enfoques viables e innovadores (Cross, 2021). Se evalúan diferentes conceptos iniciales, comparando ventajas, desventajas, factibilidad técnica y económica, así como riesgos potenciales (Pahl et al., 2007).

## **Evaluación y selección del diseño**

Una vez desarrollados los conceptos preliminares, se procede a evaluar y seleccionar la solución más adecuada, usando herramientas analíticas como matrices de decisión multicriterio, análisis costo beneficio, criterios ponderados y simulaciones numéricas para reducir incertidumbre (Ullman, 2017). En esta fase, la investigación ingenieril apoya la toma de decisiones mediante la evaluación sistemática de datos experimentales o simulados, y la validación de criterios técnicos previamente definidos (Hernández Sampieri et al., 2014).

## **Desarrollo detallado**

La solución seleccionada pasa a una fase de desarrollo detallado, donde se realizan cálculos específicos, planos constructivos, simulaciones avanzadas y selección de componentes según especificaciones técnicas (Pahl et al., 2007). Esta fase requiere investigación adicional en aspectos críticos para asegurar que los diseños cumplan con los estándares vigentes, optimicen recursos y reduzcan costos de fabricación (Cross, 2021).

## **Construcción de prototipos y pruebas**

Esta etapa implica la construcción de prototipos o modelos experimentales para validar la solución seleccionada. Los prototipos son sometidos a pruebas rigurosas para verificar desempeño, confiabilidad y cumplimiento de los objetivos iniciales del diseño (Ullman, 2017). La investigación ingenieril aporta metodología experimental,

análisis estadístico e interpretación de resultados para ajustar el diseño, corregir fallos o perfeccionar la solución propuesta (Hernández Sampieri et al., 2014).

## **Evaluación, optimización y refinamiento**

Luego de las pruebas experimentales, la solución se optimiza mediante un análisis crítico de los resultados obtenidos, identificando áreas de mejora en el desempeño o calidad del producto o proceso (Cross, 2021). Se realizan iteraciones sucesivas basadas en investigación ingenieril que combinan simulaciones numéricas y ensayos prácticos, hasta alcanzar un diseño robusto, eficiente y alineado con los objetivos originales (Pahl et al., 2007).

## **Comunicación y documentación del diseño**

Finalmente, el proceso concluye con la documentación técnica completa del proyecto. Esto incluye memorias técnicas, planos definitivos, manuales de operación y mantenimiento, informes de resultados experimentales y recomendaciones para futuras mejoras (Ullman, 2017). La comunicación precisa y documentada asegura la transferencia del conocimiento generado mediante investigación ingenieril, facilitando su reproducción y aplicación futura.

En Latinoamérica este proceso se resume en cuatro pasos específicos, que se han adaptado por la falta de tecnología, infraestructura y recursos destinados a la investigación. Los diseñadores han acertado los pasos, de tal manera que permitan una aplicación del proceso con una optimización de recursos.

Las fases propuestas son: Conceptualización, Diseño, Implementación y Operación (CDIO). La conceptualización incluye las tres primeras fases, el diseño las dos siguientes fases la implementación y operación abarcan en conjunto las tres últimas fases.

## **METODOLOGÍAS ÁGILES EN EL DISEÑO DE PROTOTIPOS**

Las metodologías ágiles en el diseño ingenieril se caracterizan por ser enfoques flexibles y colaborativos que buscan gestionar eficazmente proyectos en entornos dinámicos e inciertos. A continuación, se describen algunas de las metodologías ágiles más utilizadas en ingeniería, así como sus ventajas y desventajas específicas:

## **Scrum**

Scrum se basa en ciclos cortos denominados “sprints” que duran generalmente entre dos y cuatro semanas, donde equipos interdisciplinarios trabajan conjuntamente para desarrollar productos funcionales.

### **Ventajas**

Permite alta adaptabilidad ante cambios, fomenta la comunicación continua y facilita una rápida detección y corrección de problemas (Schwaber & Sutherland, 2020).

### **Desventajas**

Puede generar dificultad en proyectos altamente regulados o que requieren documentación muy detallada y extensa; requiere un compromiso alto por parte del equipo para mantener comunicación constante.

## **Kanban**

Kanban utiliza un sistema visual para gestionar tareas y procesos, mediante un tablero que muestra el flujo de trabajo y limita la cantidad de trabajo en curso.

### **Ventajas**

Mejora considerablemente la visualización del proceso, reduce el desperdicio de recursos, y facilita la identificación inmediata de bloqueos (Anderson, 2011).

### **Desventajas**

No define explícitamente roles ni responsabilidades específicas, lo que puede generar ambigüedad; menos eficiente en contextos que requieren ciclos de entrega muy estructurados.

## **Extreme Programming (XP)**

XP pone especial énfasis en la calidad del código, comunicación continua con clientes y ciclos cortos de desarrollo iterativo.

## Ventajas

Fomenta el desarrollo de alta calidad mediante prácticas como programación en pareja y pruebas continuas; asegura una gran cercanía con los requerimientos reales del cliente (Beck, 2000).

## Desventajas

Exige mucha disciplina técnica y organizacional; puede ser difícil de implementar en equipos grandes o distribuidos geográficamente.

## Lean Development

Inspirado en el sistema productivo Toyota, busca eliminar desperdicios y optimizar continuamente los procesos.

## Ventajas

Maximiza el valor entregado al cliente, reduce costos y tiempos; mejora constantemente los procesos mediante la eliminación de actividades innecesarias (Poppendieck & Poppendieck, 2003).

## Desventajas

Requiere un profundo cambio cultural y de mentalidad organizacional; puede ser difícil implementar en estructuras organizacionales rígidas o tradicionales.

## Design Thinking

Design Thinking es una metodología centrada en el usuario que enfatiza la empatía, definición clara del problema, ideación, prototipado rápido y pruebas iterativas para generar soluciones innovadoras. Sus etapas son:

**-Empatía:** Comprender profundamente las necesidades, deseos y problemas de los usuarios mediante observación, entrevistas y otras técnicas cualitativas.

**-Definición:** Identificar claramente el problema o necesidad específica basándose en los insights obtenidos durante la etapa de empatía.

- **Ideación:** Generar múltiples ideas y soluciones potenciales mediante técnicas creativas como brainstorming y mapas mentales.
- **Prototipado:** Crear versiones rápidas y económicas de las ideas seleccionadas para facilitar la visualización y prueba del concepto.
- **Pruebas:** Validar los prototipos con usuarios reales para recibir retroalimentación inmediata, permitiendo ajustes rápidos y eficaces en el diseño.

Es una de las metodologías más utilizadas en el diseño ingenieril, ya que sus etapas se acoplan en gran medida a su proceso, y mantiene un diseño pensando en el usuario final.

### **Ventajas**

Promueve la creatividad e innovación mediante un enfoque altamente centrado en el usuario; facilita la validación temprana del producto con los usuarios finales, reduciendo riesgos en el desarrollo (Brown, 2009).

### **Desventajas**

Puede ser percibido como menos riguroso desde el punto de vista técnico en proyectos estrictamente ingenieriles; requiere tiempo adicional para procesos de empatía y validación constante con usuarios.

## **Ventajas generales de las metodologías ágiles**

- Adaptabilidad a cambios y requerimientos emergentes.
- Incrementa la colaboración y comunicación efectiva en equipos multidisciplinares.
- Reduce tiempos de desarrollo y ciclos de entrega.
- Mejora la satisfacción del cliente mediante productos o soluciones alineadas con sus expectativas reales.

## **Desventajas generales de las metodologías ágiles**

- Posibles dificultades en proyectos que exigen documentación detallada o cumplimiento de normativas estrictas.
- Dependencia fuerte de la autogestión y comunicación efectiva del equipo.
- Riesgo de que equipos sin experiencia pierdan enfoque o control.

*El diseño mecatrónico, en su esencia integradora,  
se convierte en una herramienta clave para  
transformar la fisioterapia moderna, al permitir la  
creación de soluciones tecnológicas que potencian  
la evaluación, el tratamiento y la rehabilitación del  
movimiento humano.*



# **CAPÍTULO IV**

## **DINAMÓMETRO DE PRUEBAS FÍSICAS**



# INTRODUCCIÓN

La evaluación de la fuerza muscular es un factor importante dentro de los procesos diagnósticos y de intervención en fisioterapia, de hecho, esta capacidad es clave para conocer la aptitud física del deportista, e incluso puede ser considerada como predictor de salud (Negro Prieto et al., 2020).

La fuerza es el resultante de la combinación de factores morfológicos y neuronales, que incluyen el área y la arquitectura de la sección transversal muscular, la rigidez musculo-tendinosa, el reclutamiento de unidades motoras, la codificación de frecuencia, la sincronización de unidades motoras y la inhibición neuromuscular (Suchomel et al., 2018).

Un tipo fuerza necesaria es la fuerza máxima, definiéndose como el torque voluntario máximo que puede generar un grupo muscular alrededor de una articulación (Tillin et al., 2018).

Este tipo de fuerza permite el trabajo intermuscular, es decir, la conjugación de agonistas y antagonista para la producción de niveles máximos de una resistencia, además la activación de unidades motoras y un reclutamiento efectivo de fibras musculares involucradas en la generación del movimiento (Rodríguez García, 18 C.E.)

Al ser un factor que evalúa el rendimiento del músculo, el instrumento ideal es el dinamómetro, el mismo que puede ser de dos tipos, isocinético y manual.

El dinamómetro isocinético es un equipo fiable para medir los niveles de fuerza máxima en los grupos musculares, pues determina el nivel de torque producido en un rango de movimiento determinado a una velocidad constante, sin embargo, el costo es alto y el acceso limitado; por lo que, otra opción a considerar es el dinamómetro manual, mismo que es portátil, más simple de bajo costo (Cevallos & Pastor, 2024).

En el deporte los gestos como correr, ponerse de cuclillas, saltar, patear, entre otros, aumentan el torque del músculo extensor de la rodilla a expensas del flexor, produciendo un desequilibrio muscular entre cuádriceps que facilita la movilidad e isquiotibiales que dan estabilidad y acción de freno a la rodilla, por lo que es necesario evaluar este grupo muscular, sobre todo en aquellos deportes donde el miembro inferior intervenga como actividad principal y en los pacientes previo a la intervención fisioterapéutica para tener un diagnóstico inicial y evaluar posibles progresiones.

## **DISPOSITIVO**

El Dispositivo permite medir la fuerza muscular humana durante movimientos dinámicos, en este caso, para la flexión y extensión de rodilla, donde los músculos isquiotibiales y cuádriceps tienen su accionar agónico respectivamente, fue diseñado e implementado por la carrera de Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte.

### **CDIO del dispositivo**

#### **Conceptualización**

Durante esta fase, se realizó un proceso de entrevistas y levantamiento de requerimientos técnicos junto a profesionales en fisioterapia, lo que permitió establecer requisitos funcionales obligatorios (medición de fuerza en miembros inferiores, portabilidad, autonomía del sistema) y requisitos deseables (funcionalidad inalámbrica, aplicación móvil).

Estos requerimientos orientaron la conceptualización del dinamómetro como un dispositivo portátil de medición de fuerza muscular en la articulación de la rodilla, centrado en cuádriceps e isquiotibiales, y con capacidad para registrar y analizar datos de forma remota.

dos A partir de los datos obtenidos se identifican los siguientes requerimiento:

#### **Obligatorios**

- Medir la fuerza de extremidades
- Fácil de usar y transportar
- Que no requiera de anclajes fijos

## **Deseables**

- Sea inalámbrico
- Posea una aplicación que permita ejecutar las pruebas

A partir de estos requerimientos se propone diferentes soluciones basadas que permitan obtener un dispositivo adecuado, aplicando el método de criterios ponderados se selecciona la mejor opción para el dispositivo.

## **Diseño**

En esta fase se materializó la solución conceptual mediante el uso de metodologías de diseño de ingeniería y herramientas específicas tanto en el ámbito electrónico, mecánico como de interfaz y control, articulando criterios funcionales, ergonómicos y clínicos.

Se utilizó un enfoque de diseño centrado en el usuario (UCD), considerando las necesidades del fisioterapeuta y del paciente como ejes principales del proceso.

Este enfoque permitió:

- Diseñar una estructura que no requiera fijaciones permanentes.
- Optimizar la interacción entre el usuario y el dispositivo.
- Garantizar la facilidad de transporte, uso e interpretación de resultados.

Además, se aplicó la metodología de criterios ponderados para toma de decisiones, donde se evaluaron diferentes alternativas de diseño mecánico y electrónico en función de parámetros como costo, precisión, portabilidad, y facilidad de fabricación.

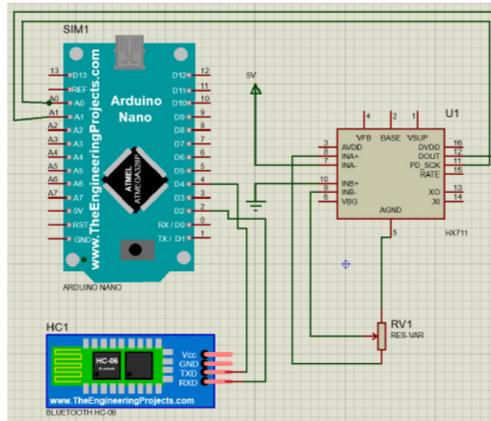
Se utilizó en el diseño electrónico herramientas de diseño de circuitos electrónicos que permitieron esquematizar y simular el circuito; una vez simulado se procedió a ensamblar en protoboard la propuesta del circuito donde se realizó pruebas y verificación de la correcta alimentación de los módulos mediante un multímetro digital.

En el diseño mecánico se utilizó SolidWorks para modelar la estructura de la carcasa del dinamómetro y la estructura de soporte en donde se pudo analizar la resistencia mecánica de los puntos de sujeción, y el acople de las diferentes piezas.

Para la aplicación se utilizó el entorno de desarrollo de Android Studio, donde se estableció un entorno que permita visualizar la fuerza en tiempo real, registrar la duración de las pruebas, generar gráficos de evolución por paciente y exportar los datos tabulados todo mediante conexión bluetooth

Se presenta a continuación esquemas principales de las fases de diseño y simulación de estos:

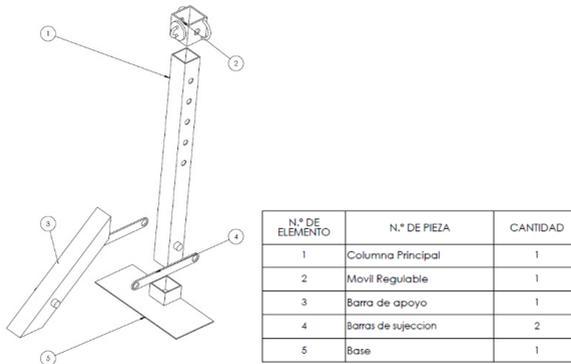
Imagen 24.- Esquema de control y transmisión



Todo el dispositivo estará controlado por un Arduino nano con módulo bluetooth que permita la transmisión de la información. La placa será la encargada de filtrar la señal de la celda de carga y transmitir la información a una aplicación de dispositivo móvil.

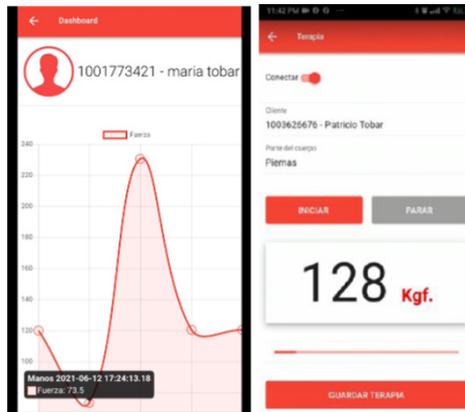
Se plantea el diseño mecánico de una estructura portátil para el dinamómetro la misma que se muestra en el siguiente esquema:

Imagen 25.- Vista explosionada de base portátil



Para finalizar, se diseña una aplicación que permita observar y grabar la fuerza ejercida por el paciente. Además, que permita obtener los tiempos de prueba y una gráfica de la evolución del paciente.

Imagen 26.- Aplicación en proceso de obtención de medición

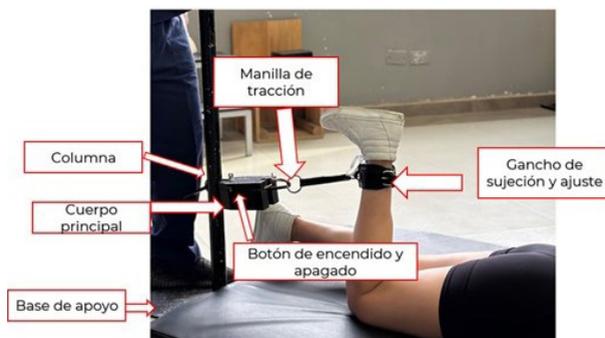


## Implementación

Se procede a especificar las partes y vista general del dispositivo implementado

1. **Cuerpo principal:** estructura de plástico reforzado que contiene la batería y el sistema para la medición.
2. **Manilla de tracción:** permite aplicar fuerza de tracción de manera máxima e isométrica.
3. **Gancho de sujeción y ajuste:** permite sujetar el segmento del usuario al tobillo y con tiene un gancho de sujeción para que se ajuste y fije la articulación del mismo.
4. Botón de encendido y apagado
5. **Columna:** de metal con orificios para ajustar el dinamómetro a la altura que el usuario requiera.
6. **Base de apoyo:** de metal plana, va contra el piso donde el evaluador apoya sus pies para dar mayor fijación durante la evaluación.
7. El registro de los valores de fuerza se realiza en kilogramos.

*Imagen 27.- Partes de dispositivo implementado*



## Técnica de utilización

Evaluación del cuádriceps (extensión de rodilla)

## Posición del paciente :

Sentado en un banco o silla sin espaldar con las rodillas flexionadas a 90°.

Espalda apoyada en la columna y recta para evitar compensaciones.

## Ajuste del dinamómetro en los orificios de la columna

Colocar el gancho de sujeción en el tobillo del miembro a evaluar por encima de la articulación y se ajusta.

*Imagen 28.- Dinamometría en Rodilla*



## Procedimiento:

Se le pide al paciente que intente extender la pierna con la máxima fuerza contra el dinamómetro durante 3-5 segundos.

Se registran los valores de fuerza en kilogramos (kg).

*Imagen 29.- Dinamometría en Rodilla (fuerza excéntrica de isquiotibiales)*



### **Evaluación de isquiotibiales (flexión de rodilla)**

#### **Posición del paciente:**

Tumbado en decúbito prono (boca abajo) sobre una camilla.

Rodilla flexionada a 90°.

Colocación del dinamómetro:

Ajuste del dinamómetro en los orificios de la columna

Se coloca el gancho de sujeción la correa en la parte posterior del tobillo (tendón de Aquiles).

*Imagen 30.- Dinamometría en Rodilla (fuerza concéntrica de isquiotibiales)*



## Procedimiento:

Se le indica al paciente que flexione la rodilla con la máxima fuerza contra el dinamómetro durante 3-5 segundos.

*Imagen 31.- Dinamometría en Rodilla (fuerza excéntrica de isquiotibiales 3-5 seg)*



## Ventajas

- Portátil y fácil de usar
- Medición objetiva de la fuerza muscular.
- Bajo costo comparado.
- Aplicación de utilización sencilla
- Útil para rehabilitación y seguimiento de lesiones musculares.

Puede utilizarse en diferentes posiciones para evaluar múltiples grupos musculares en este caso se enfocó a los músculos de cuádriceps e isquiotibiales.

## Limitaciones

Registra solo el valor de fuerza isométrica o máxima, más no la fuerza dinámica o velocidad de contracción.

Es importante la correcta fijación del dispositivo, en la misma postura pues si se cambia la sujeción puede generar variabilidad en los resultados.

No proporciona datos de torque ni velocidad angular, como los dispositivos isocinéticos.

## **Indicaciones**

Seguimiento para las evaluaciones y seguimiento de rehabilitación en lesiones musculares

Valora el equilibrio muscular entre cuádriceps e isquiotibiales

Monitoreo de la fuerza en deportistas en procesos iniciales y monitoreo del entrenamiento

Investigación biomecánica en fisioterapia y medicina deportiva.

## **Contraindicaciones**

Pacientes con lesiones recientes tipo fracturas quirúrgicas donde se puede ejecutar acciones de fuerza máxima

Personas con dolor intenso o síntomas inflamatorios en miembros inferiores.

Trastornos neuromusculares avanzados donde el esfuerzo y el tipo de movimiento no se pueda ejecutar por su condición

Condiciones físicas donde no se pueda fijar correctamente el dinamómetro como en el caso de amputaciones o segmentos muy pequeños que no facilite el ajuste.

## **RESULTADOS DE LA APLICACIÓN**

### **Metodología**

Se realizó una convocatoria durante el 2023 a los deportistas de la Universidad Técnica del Norte de las diferentes disciplinas deportivas, mismos que cumplían los siguientes criterios: 1. Deportistas que estén registrados en la universidad; 2. Que lleven inmersos en la disciplina deportiva por lo menos 6 meses en cualquier gimnasio, club

o federación de la provincia de Imbabura; 3. Que estén entre los 18 y 30 años; 4. Que no estén en etapa competitiva según su macrociclo de entrenamiento por cada disciplina; 6. Que no presenten patologías, lesiones respiratorias o musculoesqueléticas. Se obtuvo 83 deportistas elegibles.

La población elegible se conformó por 82 deportistas y se dividió en dos grupos, el grupo A que fue evaluado con el dinamómetro habitual marca Carp Spirit Water Queen, un grupo B que fueron evaluados con el dinamómetro desarrollado en la carrera de Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte.

Se procedió a realizar un sorteo aleatorio en los en la población donde 41 deportistas fueron al grupo A y 41 al grupo B.

Se evaluó tres veces a cada participante con el protocolo detallado anteriormente y se tomó el valor más alto.

#### Análisis estadístico:

Se elaboró una base de datos y en un paquete estadístico se procesó la información: las variables edad, experiencia en años de práctica en su disciplina deportiva, fuerza máxima de cuádriceps e isquiotibiales en valores medios y desviación estándar.

Para evaluar la fiabilidad o confiabilidad del dinamómetro creado por los estudiantes de mecatrónica en comparación con el aparato registrado, utilizaremos dos pruebas estadísticas: Análisis de Bland Altman y el coeficiente de correlación intraclase (ICC).

## Resultados

Tabla 1.- Nivel de concordancia y fiabilidad del dinamómetro UTN

Variable	Grupo A	Grupo B	d	DE <sub>d</sub>	Limite de concordancia		ICC
					Lim Sup	Lim Inf	
Edad	18,59 ±3,4	18,15 ±3,18	-	-	-	-	
Experiencia							
(años)	3,7 ±3,89	3,6 ±4,11	-	-	-	-	
Fuerza absoluta							
cuádriceps	14,6 ± 0,50	14,3 ± 0,31	0,3	0,41	1,12	-0,52	
Fuerza absoluta							
isquiotibiales	12,5 ± 0,48	12,4 ± 0,51	0,1	0,49	1,07	-0,87	>90

*d: diferencia media; DE<sub>d</sub>: desviación estándar de la diferencia de medias; ICC: Coef. de*

*Correlación Intraclass*

El dispositivo de fuerza desarrollado arrojó un valor promedio de 14,3 kg en cuádriceps a comparación del 14,6 kg del dispositivo A; el 95% de las diferencias entre las mediciones de los dos métodos estarán en el rango de -0,52 a 1,12, con diferencia media de tipo baja (0,30 ) y los límites de acuerdo son estrechos, los métodos tienen buena concordancia y una fiabilidad  $\geq$  a 90.

Para la fuerza máxima de isquiotibiales, con el dinamómetro fabricado por la UTN se obtiene una media de 12,4 kg, el 95% de las diferencias entre las mediciones de los dos dinamómetros A y B están en el rango de -0,87 a 1,07; con una diferencia media de 0,1; los límites de acuerdo no son muy amplios, por lo que ambos dispositivos tienen una buena concordancia y una fiabilidad  $\geq$  a 90.

Por lo tanto, el dispositivo de fuerza desarrollado muestra mediciones similares al aparato registrado, lo que indica que podría ser una alternativa confiable para la evaluación de fuerza máxima de cuádriceps e isquiotibiales.

*Cuando valoramos la fuerza no solo registramos un número, el fisioterapeuta debe comprender el estado funcional del cuerpo. Estas herramientas objetivas nos permiten transformar el esfuerzo en información útil para guiar la rehabilitación y el rendimiento.*



# **CAPÍTULO V**

## **MÁQUINA ISOINERCIAL**



# INTRODUCCIÓN

El entrenamiento con ejercicios excéntricos con un enfoque isoinercial, ha demostrado ser fundamental en el ámbito deportivo, este implica una carga supra máxima que genera una contracción muscular en fase distal del músculo. Este tipo de entrenamiento puede favorecer un incremento significativo en la fuerza y la hipertrofia muscular, optimizando la coordinación neuromuscular en comparación con las contracciones concéntricas en las cuales se activan menos unidades motoras, lo que resulta en una mayor tensión mecánica por cada unidad motora reclutada (Schärer et al., 2022).

El desarrollo y mantenimiento de la fuerza y la potencia muscular son objetivos fundamentales en los programas de entrenamiento, estos atributos influyen en el rendimiento deportivo, la prevención de lesiones y la funcionalidad en la vida diaria; dentro de las estrategias de acondicionamiento físico, el entrenamiento de resistencia se ha consolidado como el método más utilizado para lograr mejoras significativas, se han propuesto múltiples enfoques para optimizar la fuerza muscular, incluyendo el uso de pesas libres, pilas de pesas, bandas de resistencia, y otros, en cada uno se observan beneficios específicos en la activación muscular y la mejora del rendimiento, sin embargo la evidencia no es clara y solicita más estudios (Hu et al., 2024). Estos entrenamientos buscan aumentos en la hipertrofia muscular, mejoras en la activación neuromuscular y un incremento en la eficiencia en la producción de fuerza, lo que lo convierte en un pilar esencial en la preparación física (Ratamess et al., 2009). El entrenamiento excéntrico isoinercial ha demostrado ser más efectivo que el entrenamiento tradicional en fútbol, mejorando significativamente la precisión del tiro. Además, el uso de dispositivos isoinerciales permite sobrecargar movimientos multidireccionales, adaptándose a las demandas específicas del deporte. Esto no solo optimiza la fuerza excéntrica, sino que también contribuye a la prevención de lesiones y una mayor eficiencia en los patrones de movimiento (Fiorilli et al., 2020).

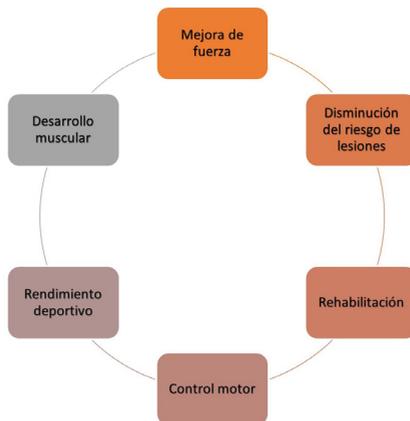
Estudios realizados a nivel internacional sobre la percepción y aplicación del entrenamiento isoinercial en futbolistas profesionales, señala que este tipo de entrenamiento, con una frecuencia de por lo menos dos veces por semana, es percibido como beneficio para mejorar el rendimiento deportivo, aumentar la fuerza y contribuir a la prevención de lesiones, lo que explica la necesidad de estudiar este tipo de entrenamientos (de Keijzer et al., 2022).

## Objetivos del dispositivo

El desarrollo de instrumentos para la mejora del rendimiento, la potenciación muscular y la rehabilitación deportiva ha sido ampliamente estudiado. En este contexto, el dispositivo isoinercial se ha convertido en una de las herramientas más utilizadas en la actualidad, esto apoyado de sus múltiples beneficios y su capacidad para generar estímulos variables y multidireccionales. Su aplicación abarca desde el entrenamiento de fuerza y la optimización del rendimiento deportivo hasta las fases finales de reintegración al deporte, permitiendo una integración eficaz con gestos específicos y facilitando una readaptación deportiva progresiva.

Los beneficios del entrenamiento deportivo, mejora del performance y la fisioterapia con un instrumento isoinercial son varios, algunos de estos son:

*Imagen 32.- Beneficios del Entrenamiento*



**Mejora en la fuerza:** El entrenamiento isoinercial permite trabajar la fuerza en un rango de movimiento completo, facilitando y generando mejoras en la fuerza muscular tanto excéntrica como concéntrica.

**Prevención de lesiones :** El entrenamiento excéntrico con el dispositivo isoinercial al igual que un entrenamiento de fuerza, según algunos autores pueden ayudar en la disminución del riesgo de lesiones, fortaleciendo los músculos en fases de alargamiento, donde es más común que ocurran desgarros o esguinces, especialmente en deportes de alta intensidad.

**Rehabilitación :** En fisioterapia, el dispositivo isoinercial es útil para la rehabilitación de lesiones permitiendo la progresión gradual en la carga, facilitando la recuperación funcional del sistema osteomioarticular.

**Control del motor:** Los movimientos multidireccionales y variables que pueden generar el sistema isoinercial contribuyen a mejorar la estabilidad y control motor, lo cual es crucial para la ejecución de movimientos más eficientes y seguros beneficiando también al tendón y las fuerzas tensil.

**Rendimiento deportivo :** Al introducir los gestos deportivos y estimular el sistema muscular en condiciones similares a las del deporte, se favorece el rendimiento deportivo, Estos sistemas isoinercial permiten al fisioterapeuta controlar de forma más específica la velocidad de los movimientos, optimizando la calidad del entrenamiento y adaptándolo a las necesidades terapéuticas o deportivas.

**Desarrollo muscular :** El dispositivo isoinercial ayuda a trabajar los músculos de manera equilibrada, lo que favorece un desarrollo y evita desequilibrios musculares que puedan derivar en lesiones.

## **Efectos fisiológicos**

El entrenamiento con instrumentos de fuerza isoinercial ha demostrado ser una herramienta eficaz para la mejora del rendimiento deportivo y la rehabilitación, debido a su capacidad para generar sobrecarga excéntrica controlada y estimular adaptaciones neuromusculares específicas (Maroto Izquierdo, 2019). Este tipo de entrenamiento se diferencia del convencional al proporcionar una resistencia variable que se adapta a la fuerza generada por el deportista o paciente, permitiendo una mayor eficiencia en la activación y reclutamiento muscular.

Uno de los principales efectos fisiológicos del entrenamiento isoinercial es la optimización y acumulo de las fibras musculares, especialmente en la fase excéntrica del movimiento. La evidencia

actual indica que la activación muscular en fase excéntrica favorece un mayor reclutamiento de unidades motoras y una mejora en la eficiencia neuromuscular, lo que contribuye al aumento de la fuerza máxima y la potencia muscular (Tous-Fajardo et al., 2006). Esta adaptación es fundamental para la prevención de lesiones y la mejora del rendimiento en deportes que requieren movimientos explosivos y cambios de dirección.

Por otra parte, el entrenamiento isoinercial favorece la hipertrofia muscular a través de una mayor tensión mecánica y daño muscular controlado. Comparado con otros entrenamientos habituales como el de pesas, los ejercicios isoinerciales generan una mayor activación de fibras musculares tipo II, promoviendo un crecimiento muscular más eficiente (Buonsenso et al., 2023). Esta respuesta adaptativa es clave en programas de readaptación funcional y en el desarrollo de fuerza en atletas de alto rendimiento.

Otro efecto importante es la mejora en la coordinación inter e intramuscular, lo que optimiza la eficiencia en la contracción muscular y reduce los riesgos de anomalías o asimetrías musculares; el entrenamiento excéntrico isoinercial ha demostrado ser beneficioso para la estabilidad articular, al fortalecer la musculatura estabilizadora y mejorar la absorción de cargas en articulaciones como la rodilla y el tobillo (Raya-González et al., 2017).

En la rehabilitación, los dispositivos isoinerciales se han empezado a utilizar en la recuperación de lesiones musculoesqueléticas, destacándose su efectividad en la prevención y tratamiento de lesiones de isquiotibiales y ligamento cruzado anterior (LCA) y generando un buen punto de partida para la rehabilitación de lesiones tendinosas al favorecer el estímulo excéntrico (Álvarez Ponce & Guzmán Muñoz, 2019).

Por último, se ha observado un impacto positivo en la capacidad metabólica y cardiovascular, puesto que la exigencia del entrenamiento isoinercial genera un aumento en el consumo de oxígeno y la activación del metabolismo anaeróbico. Estas adaptaciones no solo favorecen la resistencia muscular, sino que también contribuyen a mejorar el rendimiento aeróbico y anaeróbico de los deportistas (Beato et al., 2019).

## Dispositivo

Este dispositivo, fue desarrollado en el área de mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte, se elaboró siguiendo guías internacionales basadas en otros instrumentos ya comercializados y ajustó a parámetros rigurosos para someterse a pruebas en el laboratorio. Es relevante destacar que, debido a su carácter innovador, estos dispositivos suelen tener altos costos. El desarrollo del dispositivo se ajustó a parámetros rigurosos y fue sometido a pruebas en laboratorio.

El Dispositivo permite medir la fuerza muscular humana durante movimientos dinámicos, en este caso para la flexión y extensión de rodilla, donde los músculos isquiotibiales y cuádriceps tienen su accionar agónico respectivamente, fue diseñado e implementado por la carrera de Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte.

## CDIO del dispositivo

El desarrollo del dispositivo se ejecutó conforme al modelo CDIO (Conceptualizar – Diseñar – Implementar – Operar), con un enfoque multidisciplinario orientado a necesidades reales de fisioterapia y alto rendimiento deportivo. Cada fase del diseño estuvo estrechamente ligada a la construcción de un sistema funcional, seguro, portátil y de bajo costo, cuyo objetivo es facilitar el entrenamiento excéntrico de miembros inferiores mediante resistencia variable y multidireccional.

### Conceptualización

Esta fase se centró en comprender las necesidades específicas de los usuarios a través de:

- Revisión de literatura científica y patentes internacionales
- Encuestas y entrevistas estructuradas con fisioterapeutas y entrenadores
- Análisis de dispositivos comerciales (VersaPulley, YoYo-Tech, Kbox, etc.)

A partir de este levantamiento, se definieron los requerimientos obligatorios y deseables listados a continuación. Con esta información se generó una matriz morfológi-

ca y un análisis de funciones técnicas, que permitieron idear diversas configuraciones para los subsistemas mecánicos e inerciales

### **Obligatorios**

- Que sea seguro
- Fácil de transportar
- No genere mucho ruido
- Que sea ligero

### **Deseables**

- Que guarde los datos de entrenamiento o terapia
- Carga mínima 60 Kg.

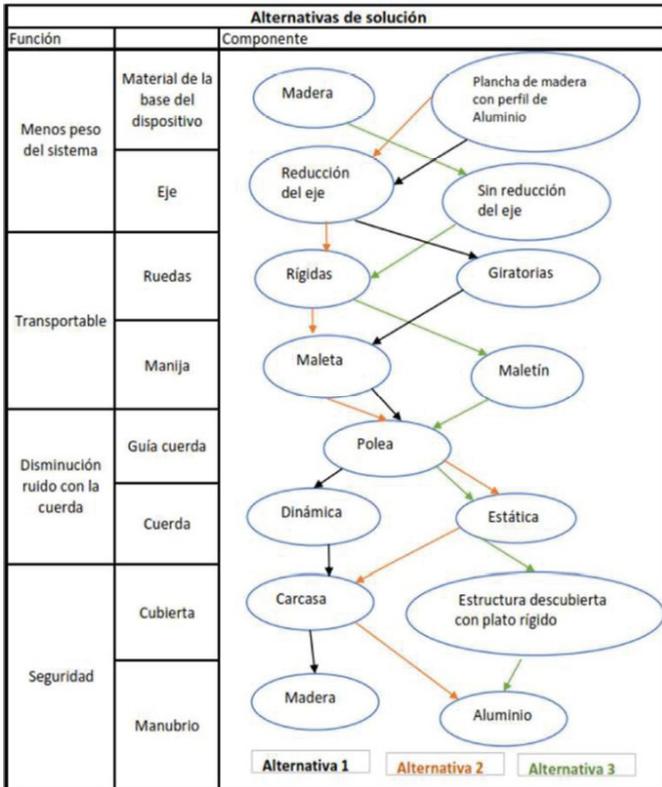
Mediante una matriz morfológica y el desglose funcional se establecen las diferentes variantes de posibles soluciones, las mismas que se evalúan con criterios ponderados para seleccionar la opción que se acerque de mejor manera a cumplir los lineamientos establecidos en el levantamiento de la información.

Se utilizó un enfoque de diseño funcional con herramientas de ingeniería concurrente. La propuesta seleccionada fue evaluada mediante:

- Matriz de ponderación de criterios: Para seleccionar la mejor alternativa entre configuraciones de disco, superficie de tracción y chasis.
- Simulación estructural FEM: Para validar esfuerzos en el disco inercial.
- Diseño CAD-CAE (SolidWorks): Para modelado y simulación del conjunto mecánico completo.
- Análisis cinemático: Para calcular la transferencia de energía cinética a través de la cuerda.
- Disco inercial: Optimizado mediante simulación de cargas con software SolidWorks, garantizando su integridad

estructural bajo aceleraciones excéntricas superiores a 60 kg de carga efectiva.

Imagen 33.- Matriz morfológica del dispositivo



## Diseño

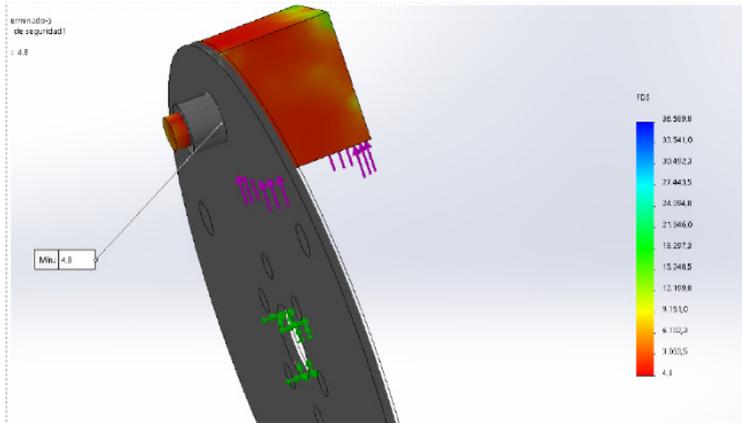
A partir de la propuesta seleccionada, se procede a realizar los cálculos respectivos, para el diseño del disco que soportará las masas específicas mediante simulación asistida por computador. Se realiza un proceso similar para la superficie, cubierta y cono de absorción de la inercia.

Se utilizó un enfoque de diseño funcional con herramientas de ingeniería concurrente. La propuesta seleccionada fue evaluada mediante:

- **Matriz de ponderación de criterios:** Para seleccionar la mejor alternativa entre configuraciones de disco, superficie de tracción y chasis.

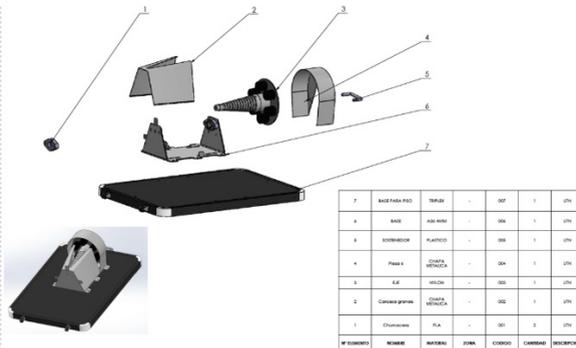
- **Simulación estructural FEM:** Para validar esfuerzos en el disco inercial.
- **Diseño CAD-CAE (SolidWorks):** Para modelado y simulación del conjunto mecánico completo.
- **Análisis cinemático:** Para calcular la transferencia de energía cinética a través de la cuerda.
- **Disco inercial:** Optimizado mediante simulación de cargas con software SolidWorks, garantizando su integridad estructural bajo aceleraciones excéntricas superiores a 60 kg de carga efectiva.

Imagen 34.- Simulación de cargas en disco inercial.



Se plantea el diseño mecánico de una estructura portátil para el dispositivo como se muestra en la figura

Imagen 35.- Vista explosionada de dispositivo isoinercial



## Implementación

Aplicando técnicas de Manufactura tradicionales, se procede a implementar un dispositivo, que cumple con las características especificadas por el usuario

### Componentes diseñados y herramientas utilizadas

- **Disco inercial:** Fabricado en acero.
- **Eje de transmisión:** Cilindro de acero con ranurados y moleteado mecanizado para garantizar tracción y evitar deslizamiento. Se dimensionó bajo normativa de torsión (ASME).
- **Cuerda estática y polea libre de fricción:** Se seleccionó cuerda tipo Dyneema, resistente a tracción y bajo alargamiento. Las poleas fueron ajustadas con rodamientos de bolas para maximizar la eficiencia del sistema isoinercial.
- **Chasis estructural portátil:** Construido en tubo rectangular de acero y protegido con pintura electrostática. Incluye ruedas giratorias con freno y manija retráctil, lo cual facilita su transporte.
- **Sistema de carcasa protectora:** Fabricada con impresión 3D mejora la seguridad del usuario y otorga una estética profesional al equipo.

Con el diseño validado, se procedió a la fabricación del prototipo funcional utilizando técnicas combinadas:

- Manufactura tradicional (torno, fresadora, soldadura) para las piezas metálicas estructurales.
- Mecanizado CNC para el disco inercial y eje.
- Impresión 3D FDM para las carcasas externas y soportes accesorios.
- Ensamblaje modular con herramientas manuales, usando tornillería estandarizada.

Se realizaron pruebas de campo y validaciones en laboratorio, comprobando parámetros como:

- Peso total ( $\leq 15$  kg)
- Nivel de ruido durante el uso ( $\leq 50$  dB)
- Estabilidad y seguridad estructural en pruebas dinámicas
- Tolerancia del disco a esfuerzos repetitivos

Tabla 2. Resultados de características alcanzadas

Valoración	Requerimientos	Comparación
Obligatorios	Que sea ligero	El dispositivo final tuvo un peso máximo de 15kg.
	Que sea transportable	Se colocó ruedas y se posicionó una manija para su transportabilidad
	Que genere poco ruido	Se ubicó cuerda estática y se dimensionó el eje, con ranurados y moleteado para aumentar la rugosidad y evitar el deslizamiento de la cuerda.
	Que sea llamativo y brinde confianza al utilizarlo (carcasa)	Se colocó carcasas de protección

Imagen 36.- Dispositivo ensamblado



## Técnicas de aplicación

Se desarrolló un protocolo de intervención con una duración recomendada de mínimo 10 semanas, se enfocó en mejorar las capacidades físicas de velocidad, agilidad y altura del salto. El proceso que se dividió en tres etapas: Evaluación inicial (1 semana), Entrenamiento (8 semanas) y Evaluación final (1 semana).

*Imagen 37.- Entrenamiento isoinercial (fase concéntrica-carga)*



### Evaluación Inicial

La primera semana está destinada a las evaluaciones iniciales, se recomienda emplear instrumentos o test de evaluación que le permita comparar un antes y un después. En este caso se utilizó el test de Sprint recto (10mSS) para la velocidad, Prueba T para la agilidad, test de salto vertical para la altura del salto y el test de BORG-CR10 para el nivel de fatiga referido, el tiempo estimado de la ejecución de las pruebas, es de aproximadamente de 30 minutos de duración.

### Instrumentos de evaluación:

**Sprint recto (10mSS):** Se recorre una distancia de 10m lo más rápido posible desde una posición de inicio estacionaria, donde los participantes colocan su pie preferido hacia delante tras una línea marcada en el suelo previamente, dando un resultado en segundos (Bravin et al., 2024).

**Prueba T de agilidad:** En el terreno se disponen cuatro conos en forma de T, de los cuales tres se disponen en línea recta a una distancia de 4,57m, mientras que el otro cono se dispone en forma perpendicular al cono de la mitad a una distancia de 9,14m, siendo el punto de salida.

Los participantes aceleran desde el punto de inicio hacia el cono de la mitad, enseguida corren lateralmente al cono de la izquierda, después al cono del extremo derecho, regresan al cono de la mitad, finalmente realizan una carrera de espaldas hacia el punto de salida, finalizando la prueba y dando un valor numérico en segundos (Chang et al., 2020).

**Test de salto vertical:** Se utiliza el dispositivo VERT, que se coloca en el elástico del pantalón, se indica a los participantes que al momento de realizar el salto, las manos se encuentran en la cintura iniciando desde una posición erguida, rápidamente se realiza una semisentadilla para realizar un salto vertical con las rodillas extendidas lo más alto posible, se registra la altura de salto en centímetros (Stojanović et al., 2023).

**BORG-CR10:** Se basa en la escala nivel de esfuerzo percibido (RPE) de relación de categorías (0-10) desarrollada por Borg, utilizado para monitorear la intensidad del ejercicio del protocolo aplicado (Arney et al., 2019).

### **Entrenamiento**

La intervención tiene una duración de 8 semanas, que inicia después de la semana 2.

### **Postura del deportista para la ejecución**

- Colocar los pies en la base a la altura de los hombros
- Ajustar el arnés en la zona lumbar
- Mantener la espalda recta con la mirada al frente
- Flexionar las rodillas y las caderas para descender en una sentadilla.
- Desciende hasta que los muslos estén paralelos al suelo
- Desde esa posición, realiza una extensión rápida de las piernas para subir de forma explosiva.

Tabla 3.- Protocolo de Entrenamiento

Protocolo sobrecarga excéntrica con máquina isoinercial		
<b>Duración</b>	10 semanas	
<b>Número de sesiones</b>	16 sesiones	
<b>Frecuencia a la semana</b>	2 veces por semana	
<b>Tiempo por sesión</b>	15 minutos	
<b>Método</b>	Calentamiento dinámico Movilidad articular	
<b>Modalidad</b>	Estiramientos y gestos propios del deporte  Carrera alrededor del terreno	
<b>Método</b>	Sobrecarga excéntrica	
<b>Modalidad</b>	Sentadilla profunda con máquina isoinercial	
<b>Prescripción</b>	Aumento de número de series y repeticiones para aumentar la tasa de esfuerzo percibido con descansos de 120 -180 segundos entre serie, dos veces por semana, durante 8 semanas del entrenamiento	
<b>SEMANA 2</b>		
<b>Intensidad</b>	<b>Series</b>	<b># repeticiones</b>
RPE 6	3	7
<b>SEMANA 3</b>		
<b>Intensidad</b>	<b>Series</b>	<b># repeticiones</b>
RPE 7	3	8
<b>SEMANA 4</b>		
<b>Intensidad</b>	<b>Series</b>	<b># repeticiones</b>
RPE 8	3	9
<b>SEMANA 5</b>		
<b>Intensidad</b>	<b>Series</b>	<b># repeticiones</b>
RPE 7	4	8
<b>SEMANA 6</b>		
<b>Intensidad</b>	<b>Series</b>	<b># repeticiones</b>
RPE 8	4	9
<b>SEMANA 7</b>		
<b>Intensidad</b>	<b>Series</b>	<b># repeticiones</b>
RPE 9	4	10
<b>SEMANA 8</b>		
<b>Intensidad</b>	<b>Series</b>	<b># repeticiones</b>
RPE 9	4	10
<b>SEMANA 9</b>		
<b>Intensidad</b>	<b>Series</b>	<b>9</b>
RPE 9	4	10

## Evaluación final

En la semana 10 se realizan las evaluaciones post, con los test: Sprint recto (10mSS) para la velocidad, Prueba T para la agilidad, test de salto vertical para la altura del salto y el test de BORG-CR10 para el nivel de fatiga referido, el tiempo estimado de la ejecución de las pruebas, es de aproximadamente 30 minutos de duración.

*Imagen 38.- Entrenamiento isoinercial (fase excéntrica)*



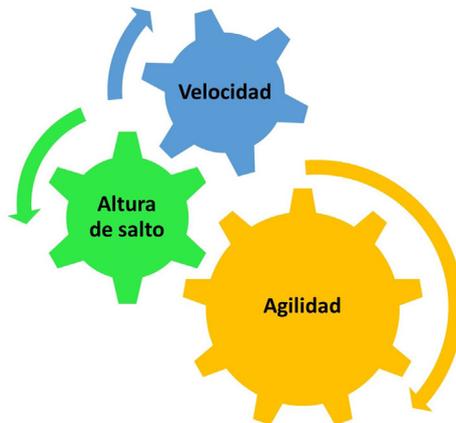
## Ventajas y limitaciones

### Ventajas

El entrenamiento con dispositivos de fuerza isoinercial ofrece múltiples ventajas, desde el aumento de la fuerza y la hipertrofia muscular hasta la prevención de lesiones y la optimización del control neuromuscular. Su implementación en programas de entrenamiento y rehabilitación ha demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar el rendimiento funcional deportivo y la recuperación de los atletas.

Dentro del proceso investigativo, hemos identificado tres cualidades interrelacionadas que han mostrado mejoras tras la aplicación de un protocolo de entrenamiento inercial. Si bien, los beneficios y limitaciones de este tipo de intervención pueden ser iversos y se requieren más estudios para optimizar su aplicación en la práctica clínica, los resultados obtenidos sugieren efectos positivos en ciertas capacidades físicas. Estas cualidades podrían considerarse una ventaja competitiva si se integran estratégicamente en los entrenamientos (Paredes-Gómez et al., 2024b).

Imagen 39.- Cualidades deportivas.



## **Agilidad**

La agilidad, definida como la capacidad de cambiar de dirección de manera rápida y eficiente, es un componente esencial en el rendimiento deportivo. El entrenamiento isoinercial mejora esta cualidad al optimizar la capacidad de desaceleración, gracias a la resistencia variable que genera el sistema isoinercial, al enfatizar tanto la fase concéntrica como la excéntrica del movimiento, se logra un mayor control neuromuscular, favoreciendo la estabilidad articular y la capacidad de respuesta

## **Altura de Salto**

El desarrollo de la potencia explosiva es crucial para la mejora en la altura del salto, y el entrenamiento isoinercial ha demostrado ser eficaz en este aspecto. La carga excéntrica adaptativa permite un mayor reclutamiento de unidades motoras y una mejora en la rigidez muscular y tendinosa, lo que se traduce en un aumento en la eficiencia del ciclo de estiramiento-acortamiento.

## **Velocidad**

La velocidad, entendida como la capacidad de desplazarse rápidamente en una dirección específica, se ve favorecida por el entrenamiento isoinercial a través del desarrollo de la fuerza excéntrica y la capacidad de aceleración. Al mejorar la producción de fuerza en cada zancada y optimizar la absorción de impacto durante la fase de contacto, se incrementa la eficiencia mecánica del movimiento.

Además, la exposición a cargas excéntricas controladas potencia la coordinación intermuscular, favoreciendo una mayor velocidad máxima y una mejor capacidad de aceleración y desaceleración. Este enfoque isoinercial proporciona ventajas en el rendimiento deportivo debido a la optimización del control motor, cualidades físicas y la reducción del riesgo de lesiones.

### Limitaciones y contraindicaciones

Si bien el entrenamiento con dispositivos isoinercial ha demostrado múltiples beneficios en la mejora del rendimiento y la rehabilitación, también se debe considerar algunas limitaciones al momento de aplicarlo y de manera necesaria entender su efecto fisiológico para una buena utilización de sus efectos, los cuales distinguimos 4:

*Imagen 40.- Limitaciones entrenamiento isoinercial.*



**Factor económico:** Una de las principales limitaciones es el costo elevado de estos dispositivos en comparación con otros métodos de entrenamiento de fuerza. Debido a su tecnología innovadora y la mecánica avanzada de resistencia inercial, los equipos rodean un valor alto y son más costosos que las pesas tradicionales o poleas convencionales. Esto puede dificultar su accesibilidad en centros de fisioterapia, clubes deportivos con presupuestos limitados y programas de entrenamiento de menor escala.

**Educación sobre el instrumento:** La poca información acorde a la utilización de este implemento, que a diferencia del entrenamiento con pesas convencionales, los dispositivos isoinercial generan una resistencia variable que se ajusta a la fuerza aplicada por el paciente o deportista. Esto implica que los deportistas y pacientes deben recibir una instrucción adecuada para optimizar su técnica y evitar compensaciones que puedan derivar en sobrecargas musculares o lesiones por

mala ejecución. Además, el entrenamiento isoinercial genera una mayor demanda excéntrica, lo que puede incrementar el riesgo de dolor muscular de aparición tardía (DOMS) , especialmente en personal no adaptados a este tipo de estímulo. La alta activación de fibras musculares en la fase excéntrica conlleva un mayor daño muscular inicial, lo que puede provocar molestias post entrenamiento y afectar el rendimiento en sesiones posteriores si no se regula correctamente la carga y progresión.

**Rehabilitación en fases iniciales:** Una de sus limitaciones es que no siempre es recomendable en etapas agudas de recuperación. Aunque el entrenamiento isoinercial ha demostrado ser eficaz en la readaptación de lesiones musculares y ligamentosas, su aplicación en fases iniciales debe ser cuidadosa para evitar una carga excesiva sobre tejidos en proceso de reparación. Se ha observado que, en pacientes con debilidad muscular significativa o poca estabilidad articular, la resistencia isoinercial puede generar compensaciones no deseadas .

**Prescripción:** Por otro lado, la falta de estandarización en la prescripción del entrenamiento isoinercial representa un desafío en su aplicación clínica y deportiva. A diferencia de los métodos tradicionales, donde existen referencias bien establecidas sobre cargas, repeticiones y volúmenes de trabajo, los protocolos de entrenamiento con dispositivos isoinercial aún no están completamente definidos en todos los contextos. Esto puede generar variabilidad en los resultados y dificultades en la comparación de estudios científicos sobre su eficacia.



# CAPÍTULO VI

## LASER TERAPÉUTICO

*“Lo que conocemos, lo que abordamos y hacia dónde nos dirigimos.”*



# INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico enfocado en la rama de la fisioterapia vinculada ha abierto nuevas posibilidades para el tratamiento de diversas condiciones musculoesqueléticas, especialmente en pacientes con dolor crónico o kinesiofobia. El dispositivo que se presenta en este capítulo, basado en un láser visual terapéutico, se ha diseñado junto con el área de mecatrónica con el propósito de ofrecer una alternativa para mejorar el control motor en personas que enfrentan afecciones de carácter musculoesquelético.

El dolor es un fenómeno complejo y multifactorial, con una etiología que involucra múltiples factores y focos. Aunque existen diversas causas subyacentes, se asocia frecuentemente con disfunciones musculares, puesto que el cuerpo tiende a generar mecanismos de protección, incluso cuando no hay un daño tisular real. Esto es particularmente evidente en el dolor nociceptivo, donde aproximadamente el 25% de las personas continúan experimentando síntomas persistentes, a pesar de que la causa inicial haya sido resuelta (Borisovskaya et al., 2020).

El dolor no solo tiene un impacto físico, sino que también representa una carga económica y personal significativa. Es una de las principales causas de discapacidad y la razón más común por la que las personas buscan atención médica, siendo las lesiones musculoesqueléticas la causa predominante (Borisovskaya et al., 2020; Cohen et al., 2021). De hecho, según la Encuesta Nacional de Entrevistas de Salud en EE. UU., el 50.2% de los adultos, es decir, más de 50 millones de personas, reportan dolor diario (Yong et al., 2022).

En el ámbito de la fisioterapia, los enfoques de tratamiento se basan en el modelo biopsicosocial, que permite una comprensión más holística del dolor, facilitando su evaluación, prevención y manejo efectivo. Un enfoque con sólida evidencia en la práctica clínica

es la “educación sobre el dolor”, en la que se proporciona al paciente un conocimiento detallado de los mecanismos neurofisiológicos y biomecánicos involucrados. Esto conduce a una reducción de la percepción del dolor y mejora las expectativas de recuperación (Mittinty et al., 2018). Además, la interdisciplinariedad es un pilar esencial en el tratamiento del dolor, con la colaboración entre profesionales como factor clave para la toma de decisiones informadas y la implementación de estrategias terapéuticas efectivas (Cohen et al., 2021).

La rehabilitación de lesiones musculoesqueléticas se fundamenta en la plasticidad de los tejidos, es decir, en la capacidad fisiológica de los mismos para recuperarse de manera espontánea. El ejercicio terapéutico es una de las herramientas más respaldadas por la evidencia para estimular este proceso de recuperación en las estructuras afectadas. Un ejercicio bien dosificado actúa como un estresor fisiológico que mejora las capacidades del cuerpo. Por ejemplo, tras realizar actividad aeróbica, se desencadena la mejora en el funcionamiento de transcriptores, algunos de los cuales están involucrados en la optimización del metabolismo, la vascularización general y la liberación de calcio durante la contracción muscular. Esto contribuye a una mayor capacidad oxidativa en los músculos, lo que a su vez incrementa la resistencia a la fatiga (Greising et al., 2020).

Actualmente, el interés en el entrenamiento del control motor ha crecido significativamente, con el objetivo de mejorar los programas de rehabilitación (Levin & Piscitelli, 2022). El control motor se refiere a la capacidad del sistema nervioso para planificar y ejecutar movimientos en sinergia con las estructuras corporales, generando la fuerza necesaria en función de factores ambientales, estímulos sensoriales y restricciones biomecánicas del segmento en movimiento. Para entrenar el control motor, se utilizan los sistemas de “feedback” y “feedforward”, donde los circuitos sensoriales de la motoneurona inferior se conectan con niveles superiores de procesamiento, distribuidos entre la corteza motora primaria, la corteza premotora, el área motora suplementaria, el surco intraparietal y las áreas visuales. Estos circuitos permiten tomar decisiones y proporcionar información sobre el entorno y la acción a realizar (Levin & Piscitelli, 2022).

La rehabilitación del sistema vestibular también ha ganado relevancia como una opción eficaz, puesto que contribuye significativamente a la mejora de la propiocepción, el control postural y la calidad de vida del paciente (Zhang et al., 2022)

## EFFECTOS FISIOLÓGICOS

El sistema vestibular-propioceptivo, ubicado en el oído interno, se encarga de la percepción de la posición, el equilibrio y el movimiento de la cabeza, influyendo en el control motor y la postura del cuerpo. Un déficit propioceptivo afecta el sentido de la posición articular, el control neuromuscular y aumenta la recurrencia de lesiones musculoesqueléticas, especialmente en deportistas (Takasaki et al., 2019).

La evidencia demuestra que, en la relación entre el control motor y el sistema vestibular, un alto estímulo sensorial mejora el entrenamiento, mientras que un estímulo bajo disminuye el control motor y la propiocepción, especialmente en pacientes con dolor (Van Dieën & Kistemaker, 2024)

La propiocepción y el control motor son fundamentales en la rehabilitación, puesto que contribuyen al fortalecimiento muscular, la protección articular, la corrección de patrones de movimiento y la prevención de lesiones (Kaya et al., 2019). Además, estímulos visuales y somatosensoriales confiables reducen la carga sobre el sistema vestibular, mejorando el equilibrio y la locomoción (Appiah-Kubi & Wright, 2019).

La retroalimentación visual juega un papel clave en la activación de músculos Sinergistas para un movimiento correcto (Huang et al., 2019). En este sentido, el láser visual terapéutico no solo actúa como herramienta de retroalimentación, sino también, como un medio para restaurar la confianza motora, esencial en el tratamiento del dolor crónico y la disfunción del control motor.

## DISPOSITIVO

### Objetivos del dispositivo

Este enfoque de rehabilitación tiene como objetivo principal mejorar la capacidad de los pacientes para realizar movimientos controlados sin la interferencia del dolor o del miedo al movimiento, características comunes en aquellos que padecen dolor crónico o kinesiophobia. Al promover un mayor control motor, especialmente en músculos estabilizadores clave, el dispositivo busca contribuir a la recuperación funcional y a la mejora de la calidad de vida de los pacientes, facilitando su reintegración en actividades cotidianas sin limitaciones.

El láser emite una luz dirigida hacia una pared frente al paciente, donde se han colocado formas o dibujos que el paciente debe seguir con el haz de luz mientras realiza los movimientos. Este ejercicio no solo requiere que el paciente mantenga el control motor, sino que también, lo ayuda a centrar su atención en las formas proyectadas, desviándola del dolor o la incomodidad que pudiera estar experimentando. Al realizar este tipo de ejercicios, se activa la musculatura estabilizadora, promoviendo la conciencia corporal y mejorando la precisión del movimiento, lo que, a su vez, contribuye a reducir la kinesiophobia y a mejorar la propiocepción.

## **CDIO del dispositivo**

El desarrollo del dispositivo de láser terapéutico para rehabilitación neuromusculoesquelética fue realizado por el área de Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte, y responde a la necesidad clínica de mejorar el control motor en pacientes con dolor crónico y kinesiophobia. El enfoque metodológico CDIO (Concebir – Diseñar – Implementar – Operar) guió el proceso de ingeniería, integrando criterios clínicos, ergonómicos y tecnológicos en un sistema portátil, seguro, adaptable y sin cables.

### **Conceptualización**

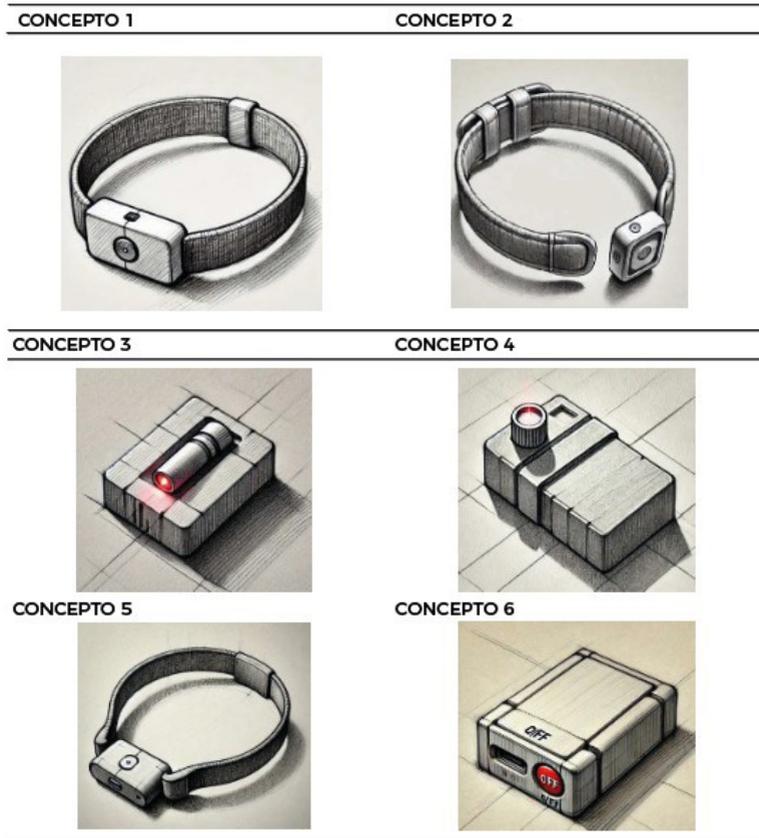
Durante esta fase se realizó una exploración de literatura científica, entrevistas con fisioterapeutas, y observaciones en campo para entender los requerimientos reales del entorno terapéutico. Se definieron las siguientes necesidades:

- Dispositivo ligero, inalámbrico y ergonómico.
- Capaz de adaptarse a distintos segmentos corporales (muñeca o cabeza).
- Que proporcione una retroalimentación visual clara y continua.
- Con bajo costo de producción, adecuado para ser replicado en entornos clínicos de recursos limitados.

Se generaron múltiples conceptos de diseño preliminares, evaluando alternativas mediante análisis morfológico, ponderación de criterios funcionales y simulaciones de uso clínico.

De los seis conceptos propuestos, se seleccionó el que mejor integraba adaptabilidad anatómica, durabilidad, estética profesional y viabilidad de manufactura.

Tabla 4.- Conceptos de diseño



Luego de identificar las ventajas y desventajas de cada concepto, se ensambla una propuesta funcional que cumpla las características especificadas por el usuario.

## Diseño

La fase de diseño se abordó con enfoque de ingeniería centrado en el usuario, combinando metodologías de diseño conceptual, ingeniería de detalle y simulación computacional.

Se integraron tres dominios: mecánico, electrónico y ergonómico, utilizando herramientas avanzadas y criterios normativos.

Se empleó SolidWorks para diseñar la carcasa del dispositivo, modelar el canal de anclaje para diadema/manilla, y garantizar la disposición interna de componentes.

Se realizó un análisis de ergonomía digital para validar el confort de uso en la muñeca (área dorsal) y en la cabeza (frontal o parietal), asegurando el alineamiento visual del haz láser con el campo proyectado.

Se diseñaron superficies curvas compatibles con la biomecánica del usuario, minimizando presión focal y maximizando el acople sin necesidad de elementos invasivos.

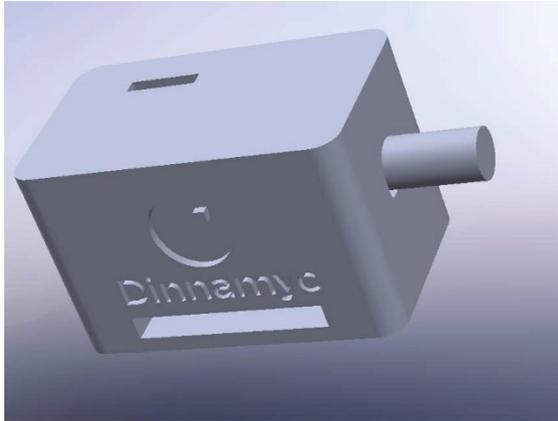
Se seleccionó un Arduino Nano como microcontrolador por su bajo consumo energético y tamaño compacto. El láser terapéutico tipo punto rojo de baja potencia ( $<5$  mW) fue integrado con circuito de alimentación regulado mediante un módulo step-down (buck converter).

Se diseñó el sistema eléctrico con protección contra inversión de polaridad y punto de carga USB tipo C, con una batería Li-Ion de 3.7 V recargable. El conjunto electrónico fue simulado, testeado y luego montado sobre placa PCB perforada para validación funcional.

Se incorporó un switch mecánico de bajo perfil, con retroalimentación táctil, para facilitar el encendido/apagado sin afectar la postura. Se validó la dirección del haz láser con respecto al campo visual del paciente, aplicando un diseño de ventana láser orientable mediante ranura ajustable.

La carcasa fue impresa en PLA (ácido poliláctico) mediante manufactura aditiva (impresora 3D FDM), permitiendo iteraciones rápidas y detección de conflictos de ensamble. Se realizaron pruebas de tolerancia, encaje y sellado para garantizar el ensamblaje sin herramientas especiales.

*Imagen 41.-Diseño del dispositivo propuesto*



El diseño planteado permite albergar una batería de larga duración, la placa Arduino nano, switch de encendido y apagado, láser, punto de carga de batería y canal de anclaje a diadema o manilla.

### **Implementación**

Aplicando técnicas de Manufactura aditiva, se procede a imprimir en Ácido Poliláctico (PLA) la carcasa del dispositivo, esta técnica permite identificar posibles puntos de conflicto en el ensamblaje. Al ser un proceso de manufactura rápido, se pueden ejecutar correcciones al modelo, y establecer el modelo final para sus pruebas.

Este dispositivo tiene dos variables para su aplicación: un láser colocado a nivel de la muñeca y otro a nivel de la cabeza en forma de diadema. Su funcionamiento se centra en utilizar la retroalimentación visual para redirigir el foco atencional del paciente, alejándolo del dolor o de la sensación de falta de control motor. A través de la estimulación visual generada por la luz del láser, el paciente puede concentrarse en la ejecución de movimientos, favoreciendo la activación de la musculatura estabilizadora de las articulaciones y promoviendo la conciencia corporal junto con el trabajo específico que el fisioterapeuta busque.

*Imagen 42.-Diseño final e impresión*



### **Técnica de aplicación**

Actualmente, estos aparatos pueden aplicarse en dos ubicaciones principales. Una de ellas es a nivel de las muñecas, donde el fisioterapeuta evaluará y determinará en qué mano colocarlos, considerando el objetivo terapéutico. En este nivel, es posible implementar ejercicios dirigidos al tratamiento de patologías como epicondilopatía medial y lateral, síndrome del túnel carpiano, disquinesias o desequilibrios musculares que afecten la mano, el codo, el hombro o la región superior de la espalda; Una vez colocado el dispositivo, se posiciona al paciente en una postura que favorezca el objetivo terapéutico. Si el paciente demuestra un buen control motor, se puede optar por ejercicios en posición bípeda para fomentar un desafío postural y funcional. Por otro lado, si el control motor del paciente es limitado o se encuentra en las etapas iniciales del tratamiento, será preferible emplear una posición sedente, lo que proporcionará mayor estabilidad y permitirá un enfoque más seguro y progresivo en el desarrollo del control motor.

*Imagen 43.- Aplicación y puesta en marcha*



El fisioterapeuta se posiciona detrás del paciente para supervisar y guiar la activación muscular específica a nivel de los aductores de la escápula. Inicialmente, el terapeuta adopta un rol activo, proporcionando retroalimentación táctil y verbal para garantizar una correcta ejecución del movimiento. Una vez que el paciente logra dominar el patrón motor, el fisioterapeuta transita hacia un rol más pasivo, limitándose a supervisar y ajustar el ejercicio según sea necesario.

Además, el tratamiento puede enriquecerse mediante la incorporación de estímulos visuales, como imágenes, gráficos o formas, que refuercen el aprendizaje motor. Este enfoque no solo permite trabajar en el desarrollo de la resistencia muscular, sino también en el perfeccionamiento del control motor, asegurando un dominio eficiente y funcional del movimiento.

*Imagen 44.- Control motor de hombro (músculos estabilizadores)*



Otro uso de este dispositivo es a nivel de la cabeza, colocándolo como una diadema. En esta aplicación, el objetivo principal es activar y fortalecer la musculatura estabilizadora, con un enfoque particular en los flexores profundos del cuello, esenciales para mantener la estabilidad cervical y una correcta alineación postural.

*Imagen 45.- Colocación de diadema incorporada con láser terapéutico (control cervical)*



El proceso comienza con la búsqueda de una posición neutral, asegurando que el cuello se encuentre en alineación biomecánica óptima. Esta postura neutra no solo minimiza el riesgo de compensaciones musculares, sino que además, facilita el trabajo específico y eficaz de los músculos.

*Imagen 46.- Fijación de diadema incorporada con láser terapéutico y feedback fisioterapéutico (control cervical)*



Una vez establecido este punto neutro, se puede progresar en el tratamiento mediante la introducción de ejercicios graduales que desafíen el control motor. Estos ejercicios pueden incluir movimientos de flexión y extensión controlados, rotaciones suaves o incluso la integración de estímulos externos como cambios en la base de apoyo o resistencia ligera aplicada al dispositivo.

*Imagen 47.- Ejercicio de estabilidad motora lumbar guiado por fisioterapeuta (control motor)*



Además, esta técnica permite abordar disfunciones comunes como el síndrome de cabeza adelantada, inestabilidad y dolor cervicales crónico, promoviendo la reeducación neuromuscular y el restablecimiento del control motor fino. La progresión terapéutica se adapta a las necesidades del paciente, priorizando siempre la calidad del movimiento sobre la cantidad, para garantizar resultados efectivos y sostenibles en el tiempo; de este modo, es posible incorporar el uso de focos atencionales externos, superficies inestables como platos o dispositivos tipo BOSU, tal como se observa en la imagen. Estas herramientas se emplean con el objetivo de aumentar la inestabilidad, promoviendo una respuesta fisiológica más intensa y favoreciendo la adaptabilidad neuromuscular (Krucoff et al., 2022b).

*Imagen 48.- Ejercicio de estabilidad motora lumbar en bossu guiado*

*por fisioterapeuta (control motor)*

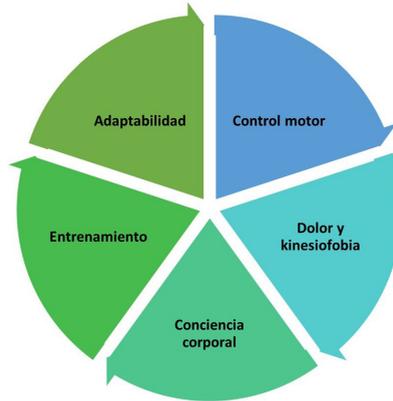


## **Ventajas y limitaciones**

Es fundamental destacar que, como con cualquier dispositivo terapéutico, es crucial comprender su función, su base fisiológica y los objetivos que se buscan alcanzar. No se trata de una herramienta que pueda utilizarse de manera empírica o indiscriminada; su implementación debe estar cuidadosamente guiada por un fisioterapeuta capacitado. Este enfoque debe ser personalizado, teniendo en cuenta las necesidades y características específicas de cada paciente. Solo así se garantizarán resultados efectivos y seguros, especialmente en el tratamiento de condiciones como el dolor crónico y la kinesiophobia, donde se busca mejorar el control motor y reducir el temor al movimiento.

## Ventajas

Imagen 49.- Ventajas láser terapéutico



**Mejora del control motor:** El uso del láser como herramienta de retroalimentación visual, permite que el paciente se concentre en el movimiento y la precisión, lo que contribuye a la mejora del control motor, especialmente en músculos estabilizadores clave. Reducción del dolor y kinesiofobia: Al desviar la atención del paciente del dolor o del miedo al movimiento, el dispositivo facilita la realización de ejercicios sin que el dolor sea un factor limitante, lo que ayuda a reducir la kinesiofobia.

**Estímulo a la conciencia corporal:** La retroalimentación visual proporcionada por el láser y las figuras en la pared favorecen la conciencia del cuerpo en el espacio, mejorando la propiocepción y la coordinación motora.

**Entrenamiento:** El sistema basado en láser ofrece un enfoque más interactivo y dinámico que puede ser más motivador para los pacientes, en comparación con otros métodos terapéuticos tradicionales. Las formas o dibujos en la pared permiten que el ejercicio sea personalizado y variado.

**Adaptabilidad a diferentes condiciones:** Este dispositi-

vo puede adaptarse a diversos niveles de capacidad del paciente, lo que lo hace adecuado tanto para aquellos en fases tempranas de recuperación como para pacientes con condiciones crónicas.

## Limitaciones

Es importante tener en cuenta que, aunque esta terapia es innovadora y de bajo costo, su aplicación requiere ciertas consideraciones y precauciones para garantizar su efectividad y seguridad.

*Imagen 50.- Limitaciones*



**Requiere un espacio adecuado:** El dispositivo depende de un espacio donde pueda proyectarse la luz del láser de manera efectiva hacia una pared o superficie. La falta de un entorno adecuado o el espacio limitado podrían reducir la efectividad del tratamiento.

**Dependencia de la calidad del láser y la tecnología:** El funcionamiento adecuado del dispositivo depende de la calidad de los láseres utilizados y de la tecnología que los respalda. Un mal funcionamiento técnico podría interferir con la efectividad de la terapia.

**Limitación en pacientes con deficiencias visuales:** Para pacientes con problemas visuales severos, el uso de retroalimentación visual podría ser menos efectivo o incluso inaplicable, lo que limitaría su potencial terapéutico.

## Contraindicaciones

En ciertos pacientes, especialmente aquellos con dificultades cognitivas o de concentración, la sobrecarga de estímulos visuales puede resultar incómoda. Además, quienes no están familiarizados con la retroalimentación visual pueden tener dificultades para adaptarse a esta terapia.

En los siguientes casos no estaría recomendada su utilización:

- **Trastornos visuales graves:** Pacientes con ceguera parcial o total, degeneración macular, glaucoma o retinopatías no pueden beneficiarse de la retroalimentación visual del láser.
- **Epilepsia fotosensible:** Estímulos visuales del láser pueden inducir crisis en personas con epilepsia fotosensible.
- **Enfermedades cutáneas o heridas abiertas:** Condiciones dermatológicas activas o heridas en la zona de aplicación pueden empeorar con el uso del láser.
- **Trastornos neurológicos graves:** En daño neurológico severo, la retroalimentación visual puede ser insuficiente para mejorar el control motor.
- **Enfermedades oculares activas:** Infecciones oculares, como conjuntivitis, pueden agravarse con la exposición al láser.
- **Trastornos cognitivos graves:** Pacientes con demencia avanzada o problemas de concentración pueden tener dificultades para seguir la terapia.
- **Sensibilidad extrema a la luz:** Pacientes con fotofobia pueden experimentar incomodidad o dolor debido a la exposición al láser.



**REFERENCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS**



- Adans-Dester, C., Hankov, N., O'brien, A., Vergara-Diaz, G., Black-Schaffer, R., Zafonte, R., Dy, J., Lee, S. I., & Bonato, P. (n.d.). ARTICLE Enabling precision rehabilitation interventions using wearable sensors and machine learning to track motor recovery. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-00328-w>
- Álvarez Ponce, D., & Guzmán Muñoz, E. E. (2019). Efectos de un programa de ejercicios excéntricos sobre la musculatura isquiotibial en futbolistas jóvenes. *Archivos de Medicina Del Deporte: Revista de La Federación Española de Medicina Del Deporte y de La Confederación Iberoamericana de Medicina Del Deporte*, ISSN 0212-8799, Vol. 36, No. 189 (Enero / Febrero), 2019, Págs. 19-24, 36(189), 19–24. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6885969&info=resumen&idioma=SPA>
- Anderson, D. J. (2011). *Kanban: Successful Evolutionary Change for Your Technology Business* (Blue Hold press, Ed.; 1st ed., Vol. 1).
- Appiah-Kubi, K. O., & Wright, W. G. (2019). Vestibular training promotes adaptation of multisensory integration in postural control. *Gait and Posture*, 73, 215–220. <https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2019.07.197>
- APTA. (2014). *Clinical Practice Guidelines* | APTA. <https://www.apta.org/patient-care/evidence-based-practice-resources/cpgs>

- Araya-Quintanilla, F., Polanco-Cornejo, N., Cassis-Mahaluf, A., Ramírez Smith, V., Gutiérrez-Espinoza, H., Araya-Quintanilla, F., Polanco Cornejo, N., Cassis-Mahaluf, A., Ramírez-Smith, V., & Gutiérrez Espinoza, H. (2018). Efectividad de la movilización neurodinámica en el dolor y funcionalidad en sujetos con síndrome del túnel carpiano: revisión sistemática. *Revista de La Sociedad Española Del Dolor*, 25(1), 26–36. <https://doi.org/10.20986/RESED.2017.3567/2017>
- Arney, B. E., Glover, R., Fusco, A., Cortis, C., de Koning, J. J., Erp, T. van, Jaime, S., Mikat, R. P., Porcari, J. P., & Foster, C. (2019). Comparison of RPE (Rating of Perceived Exertion) Scales for Session RPE. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(7), 994–996. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2018-0637>
- Atención primaria de salud - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. (n.d.). Retrieved September 30, 2024, from <https://www.paho.org/es/temas/atencion-primaria-salud>
- Baier, A. L., Kline, A. C., & Feeny, N. C. (2020). Therapeutic alliance as a mediator of change: A systematic review and evaluation of research. *Clinical Psychology Review*, 82, 101921. <https://doi.org/10.1016/J.CPR.2020.101921>
- Barker, K., & Eickmeyer, S. (2020). Therapeutic Exercise. *The Medical Clinics of North America*, <https://doi.org/10.1016/JMC-NA.2019.10.003>
- Barker, K., Holland, A. E., Skinner, E. H., & Lee, A. L. (2023). Clinical Outcomes Following Exercise Rehabilitation in People with Multimorbidity: A Systematic Review. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 55. <https://doi.org/10.2340/JRM.V55.2551>
- Bashshur, R. L., Howell, J. D., Krupinski, E. A., Harms, K. M., Bashshur, N., & Doarn, C. R. (2016). The Empirical Foundations of Telemedicine Interventions in Primary Care. *Telemedicine Journal and E-Health : The Official Journal of the American Telemedicine Association*, 22(5), 342–375. <https://doi.org/10.1089/TMJ.2016.0045>

- Beato, M., Bigby, A. E. J., De Keijzer, K. L., Nakamura, F. Y., Coratella, G., & McErlain-Naylor, S. A. (2019). Post-activation potentiation effect of eccentric overload and traditional weightlifting exercise on jumping and sprinting performance in male athletes. *PLOS ONE*, 14(9), e0222466. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0222466>
- Beck, kent. (2000). *Extreme programming eXplained: embrace change* (Addison-Wesley Professional, Ed.; Vol. 1).
- Bielecki, J. E., & Tadi, P. (2023). *Therapeutic Exercise*. StatPearls. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK555914/>
- Bier, J. D., Scholten-Peeters, W. G. M., Staal, J. B., Pool, J., van Tulder, M. W., Beekman, E., Knoop, J., Meerhoff, G., & Verhagen, A. P. (2018). Clinical Practice Guideline for Physical Therapy Assessment and Treatment in Patients With Nonspecific Neck Pain. *Physical Therapy*, 98(3), 162–171. <https://doi.org/10.1093/PTJ/PZX118>
- Bloom, D. E., Chen, S., Kuhn, M., McGovern, M. E., Oxley, L., & Prettner, K. (2020). The economic burden of chronic diseases: Estimates and projections for China, Japan, and South Korea. *The Journal of the Economics of* 17, 100163. *Ageing*, <https://doi.org/10.1016/J.JEOA.2018.09.002>
- Borges, J. P., Duarte, D. T. de B., Saad, M. C., & Riberto, M. (2023). Functional tests and isokinetic knee assessment in street runner athletes correlation. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 30, e2021\_0547. [https://doi.org/10.1590/15178692202430022021\\_0547I](https://doi.org/10.1590/15178692202430022021_0547I)
- Borisovskaya, A., Chmelik, E., & Karnik, A. (2020). Exercise and Chronic Pain. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1228, 233253. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-1792-1\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-15-1792-1_16)
- Bravin, L. F., Sagrillo, L. G., Machado, A. F., Reis, C. H., Paiva, R., Miranda, J. M., Rica, R. L., & Bocalini, D. S. (2024). Confiabilidad de pruebas de sprint de 10 metros, prueba de spider run beach test y capacidad anaeróbica de jugadores de beach tenistas (Reliability of 10-meter sprint tests, spider run

beach test and anaerobic capacity of beach tennis players). *Retos*, 52, 358–365. <https://doi.org/10.47197/RETOS.V52.101328>

Brown, T. (2009). *Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation* (HarperCollins, Ed.; Vol. 1).

Buonsenso, A., Centorbi, M., Iuliano, E., Di Martino, G., Della Valle, C., Fiorilli, G., Calcagno, G., & di Cagno, A. (2023). A Systematic Review of Flywheel Training Effectiveness and Application on Sport Specific Performances. *Sports* 2023, Vol. 11, Page 76, 11(4), 76. <https://doi.org/10.3390/SPORTS11040076>

Calvo-Paniagua, J., Díaz-Arribas, M. J., Valera-Calero, J. A., Ramos Sánchez, M., Fernández-De-las-Peñas, C., Navarro-Santana, M. J., del Corral, T., & Plaza-Manzano, G. (2024). Educational, Exercise, and Occupational Therapy-Based Telerehabilitation Program Versus “Wait-and-See” for Improving Self-perceived Exertion in Patients With Post-COVID Fatigue and Dyspnea: A Randomized Clinical Trial. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 103(9), 797–804. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000002441>

Castillos Aldás, E. J., & Mejía-Echeverría, C. D. (2023). Dispositivo inercial para adquisición de datos de la marcha humana [Universidad Técnica del <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15326>

Cevallos, A. Nicole., & Pastor, V. Estefanía. (2024). Métodos de evaluación de la fuerza del cuádriceps: revisión sistemática. *Sinergia Académica*, 7(Especial 3), 413–422. <https://doi.org/10.51736/RACENM52>

Chang, W. D., Chou, L. W., Chang, N. J., & Chen, S. (2020). Comparison of Functional Movement Screen, Star Excursion Balance Test, and Physical Fitness in Junior Athletes with Different Sports Injury Risk. *BioMed Research International*, 2020(1), 8690540. <https://doi.org/10.1155/2020/8690540>

Ciaccia, M., Mejía, C., Vásquez, C., & Ortega, F. (2019). Caracterización de las cargas actuantes sobre la columna vertebral durante labores agrícolas: avances y perspectivas. In *utn* (ed.), *Avances en bioingeniería y sistemas inteligentes de rehabilitación en latinoa-*

mérica 2019 (1st ed., Vol. 1, pp. 164–167). Editorial Universitario

- Ciaccia, M., Mejía, C., Vásquez, C., & San Antonio, T. (2020). Ergonomic Evaluation of Agriculture-Related Activities Performed by Ecuadorian Indigenous Women. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1215 AISC, 348–353. [https://doi.org/10.1007/978-3030-51549-2\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3030-51549-2_46)
- Cohen, S. P., Vase, L., & Hooten, W. M. (2021). Chronic pain: an update on burden, best practices, and new advances. *The Lancet*, 397(10289), 2082–2097. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00393-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00393-7)
- Colimba Moreno, F. D., & Mejía-Echeverría, C. D. (2021). Diseño de una prótesis para una mano con amputación metacarpofalángica [Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11910>
- Concha-Cisternas, Y., Petermann-Rocha, F., Castro-Piñero, J., Parra, S., Albala, C., Wyngard, V. Van De, Vásquez, J., Cigarroa, I., Celis-Morales, C., Concha-Cisternas, Y., Petermann-Rocha, F., Castro-Piñero, J., Parra, S., Albala, C., Wyngard, V. Van De, Vásquez, J., Cigarroa, I., & Celis-Morales, C. (2022). Fuerza de presión manual. Un sencillo, pero fuerte predictor de salud en población adulta y personas mayores. *Revista Médica de Chile*, 150(8), 1075–1086. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872022000801075>
- Conroy, V. ;, Murray, B. ;, Alexopulos, Q. ;, & McCreary, J. (2024). Kendalla. Músculos: función y pruebas mediante posturas y dolor. OVID TECHNOLOGIES.
- Cross, N. (2021). *Engineering design methods : strategies for product design* (J. Wiley, Ed.; 5th ed., Vol. 1). J. Wiley.
- de Keijzer, K. L., Gonzalez, J. R., & Beato, M. (2022). The effect of flywheel training on strength and physical capacities in sporting and healthy populations: An umbrella review. *PLOS ONE*, 17(2), e0264375. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0264375>

De Murieta, E. S., & Cisneros, M. T. (2022). Rehabilitación y capacidad funcional en la salud del siglo XXI. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, 45(3). <https://doi.org/10.23938/ASSN.1028>

Díaz Mohedo, E. (2015a). *Manual de Fisioterapia en Traumatología*.

Díaz Mohedo, E. (2015b). *Manual de Fisioterapia en Traumatología* (Vol. 1). Elsevier.

Dollar, A. M., & Herr, H. (2008). Lower extremity exoskeletons and active orthoses: Challenges and state-of-the-art. *IEEE Transactions on Robotics*, 24(1), 144–158. <https://doi.org/10.1109/TRO.2008.915453>

Dorado Sánchez, K. L., & Mejía-Echeverría, C. D. (2021). Prototipo de plantilla baropodométrica personalizada con manufactura aditiva [Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10960>

Dreeben-Irimia, O. (2011). *Introduction to Physical Therapy for Physical Therapist Assistants* (2da ed.). Jones & Bartlett Learning. <https://outlook.office.com/mail/inbox/id/AQkAD-cwMDdlODczLTJiNjItNGFiOC04YTg3LTlkOTJjNDN-hYTBkYwAQAAmJuneBu6pCmRckx6q7U40%3D/sxs/AAMkADcwMDdlODczLTJiNjItNGFiOC04YTg3LTlkOTJjND-NhYTBkYwBGAAAAAABdfWTiwdwCRIJOfVk0F%2BdLBwBHzk0nHEoCSZxpPFsuRZlgAAAAAENAABHzk0nHEoCSZxpPFsuRZlgAAqKZkzVAAABEGAQANI8HjWwC6RFvTCFtL63Vy8%3D>

Erazo Arteaga, V., Mejía Echeverría, C., Valencia Aguirre, F., & Lima Trujillo, X. (2019). Construcción de una prótesis de rodilla de tipo transfemoral mediante la aplicación de una metodología basada en la técnica DFMA. *I+ T+ C- Research, Technology and Science*, 1(13), 16–23. <https://revistas.unicomfauca.edu.co/ojs/index.php/itc/article/view/232>

Erazo, V., Valencia, F., Lima, X., & Mejía, C. (2019). Prótesis de rodilla de tipo transfemoral mediante la metodología basada en la técnica DFMA. In UTN (Ed.), *Avances en Bioingeniería y Sistemas Inteligentes de Rehabilitación en Latino América 2019* (1st ed., Vol. 1, pp. 9–12). Editorial Universitario.

- Fan, J., Gu, F., Lv, L., Zhang, Z., Zhu, C., Qi, J., Wang, H., Liu, X., Yang, J., & Zhu, Q. (2022). Reliability of a human pose tracking algorithm for measuring upper limb joints: comparison with photography-based goniometry. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 23(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/S12891-022-05826-4/FIGURES/3>
- Fiorilli, G., Mariano, I., Iuliano, E., Giombini, A., Ciccarelli, A., Buon-senso, A., Calcagno, G., & Di Cagno, A. (2020). Isoinertial Eccentric-Overload Training in Young Soccer Players: Effects on Strength, Sprint, Change of Direction, Agility and Soccer Shooting Precision. *Journal of Sports Science & Medicine*, 19(1), 213 <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7039027/>
- Fornasier, R. (2017). A century-long struggle towards professionalism. Key factors in the growth of the physiotherapists' role in the United States, from subordinated practitioners to autonomous professionals. *Management & Organizational History*, 12(2), 142–162. <https://doi.org/10.1080/17449359.2017.1329090>
- Gallardo Vidal, M. I., Calleja Delgado, L., Tenezaca Marcatoma, J. C., Calleja Guadix, I., Daimiel Yllera, A., & Morales Tejera, D. (2022). [Physiotherapy and health education protocol in chronic musculoskeletal shoulder pain. Experience in Primary Care]. *Atencion Primaria*, 54(5). <https://doi.org/10.1016/J.APRIM.2022.102284>
- Garcia, K., Mejía-Echeverría, C. D., Verdezoto, G., & Gámez, B. (2020). Diseño de una caminadora para la rehabilitación de miembros inferiores. In UTN (Ed.), *Memorias III Jornadas Internacionales de Investigación Científica* (Vol. 2, pp. 581–593). Editorail Universitario. [https://issuu.com/utnuniversity/docs/iii\\_jornadas\\_internacinales\\_d\\_e\\_inve\\_64e9dabb8596fe](https://issuu.com/utnuniversity/docs/iii_jornadas_internacinales_d_e_inve_64e9dabb8596fe)
- Gay, C., Chabaud, A., Guilley, E., & Coudeyre, E. (2016). Educating patients about the benefits of physical activity and exercise for their hip and knee osteoarthritis. Systematic literature review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 59(3), 174–183. <https://doi.org/10.1016/J.REHAB.2016.02.005>

- Gervais-Hupé, J., Filleul, A., Perreault, K., & Hudon, A. (2023). Implementation of a biopsychosocial approach into physiotherapists' practice: a review of systematic reviews to map barriers and facilitators and identify specific behavior change techniques. *Disability and Rehabilitation*, 45(14), 2263–2272. <https://doi.org/10.1080/09638288.2022.2094479>
- Giuffre, S., Domholdt, E., & Keehan, J. (2020). Beyond the individual: population health and physical therapy. *Physiotherapy Theory and Practice*, 36(5), 564–571. <https://doi.org/10.1080/09593985.2018.1490364>
- Greising, S. M., Corona, B. T., & Call, J. A. (2020). Musculoskeletal Regeneration, Rehabilitation, and Plasticity Following Traumatic Injury. *International Journal of Sports Medicine*, 41(8), 495–504. <https://doi.org/10.1055/A-1128-7128>
- Hernández Orobio, O. M., Hernández, N. L., González Cabanach, R., & González Doníz, L. (2024). Implementación de telerrehabilitación en Latinoamérica: revisión sistemática exploratoria. *Fisioterapia*, 46(5), 282–291. <https://doi.org/10.1016/J.FT.2024.05.001>
- Hernández Sampieri, R., Feránadez Collado, C., & Baptista Lucio, M. D. P. (2014). Metodología de la investigación. In McGraw Hill España (Ed.), *Metodología de la investigación* (6th ed.). McGraw Hill España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008&info=resumen&idioma=SPA>
- Hu, Z., Liu, Y., Huang, K., Huang, H., Li, F., & Yuan, X. (2024). 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*, 14(7), 908. <https://doi.org/10.3390/LIFE14070908>
- Huang, Y., Song, R., Chen, W., Yu, H., Argha, A., Celler, B. G., & Su, S. (2019). The effects of different tracking tasks on muscle synergy through visual feedback. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference, 2019*, 417–420. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8856967>

- Hutchins, J., Lagerstrand, K., Hebelka, H., Palmér, E., & Brisby, H. (2024). Evaluation of Cervical Vertebral Motion and Foraminal Changes During the Spurling Test Using Zero Echo Time Magnetic Resonance Imaging and Computed Tomography-Based Micromotion Analysis. *Spine*, 49(14), E221–E228. <https://doi.org/10.1097/BRS.00000000000005010>
- Iosa, M., Verrelli, C. M., Gentile, A. E., Ruggieri, M., & Polizzi, A. (2022). Gaming Technology for Pediatric Neurorehabilitation: A Systematic Review. *Frontiers in Pediatrics*, <https://doi.org/10.3389/FPED.2022.775356/BIBTEX>
- Iza Yugsi, P. G., & Mejía-Echeverría, Co. D. (2016). Diseño e implementación del sistema de control de un rehabilitador pasivo de dedos de la mano [Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5605>
- Jewell DV. (2018). Guide to evidence-based physical therapist practice (4th ed.). Jones&Bartlett Learning. [https://books.google.com/books/about/Guide\\_to\\_Evidence\\_Based\\_Physical\\_Therapy.html?hl=es&id=HZAwDwAAQBAJ](https://books.google.com/books/about/Guide_to_Evidence_Based_Physical_Therapy.html?hl=es&id=HZAwDwAAQBAJ)
- Jiménez Tordoya, j. (2016). Guía metodológica para elaborar el diagnóstico fisioterapéutico según la Clasificación Internacional del Funcionamiento (CIF), de la discapacidad y de la salud: Guía metodológica para el diagnóstico fisioterapéutico | Gaceta Médica Boliviana. *Gaceta Médica Bolivariana*, 39(1), 4252. <https://www.gacetamedicaboliviana.com/index.php/gmb/article/view/266>
- Jones, S. J., & Miller, J.-M. M. (2023). Spurling Test. *Radiopaedia.Org*. <https://doi.org/10.53347/rid-71741>
- Kaya, D., Guney-Deniz, H., Sayaca, C., Calik, M., & Doral, M. N. (2019). Effects on Lower Extremity Neuromuscular Control Exercises on Knee Proprioception, Muscle Strength, and Functional Level in Patients with ACL Reconstruction. *BioMed Research International*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/1694695>

- Kinney, M., Seider, J., Beaty, A. F., Coughlin, K., Dyal, M., & Clewley, D. (2020). The impact of therapeutic alliance in physical therapy for chronic musculoskeletal pain: A systematic review of the literature. *Physiotherapy Theory and Practice*, 36(8), 886–898. <https://doi.org/10.1080/09593985.2018.1516015>
- Krucoff, M. O., Cajigas, I., & Lavrov, I. (2022a). Editorial: Neuroplasticity in Rehabilitation. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 3, 916174. <https://doi.org/10.3389/FRESC.2022.916174/BIBTEX>
- Krucoff, M. O., Cajigas, I., & Lavrov, I. (2022b). Editorial: Neuroplasticity in Rehabilitation. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 3, 916174. <https://doi.org/10.3389/FRESC.2022.916174/BIBTEX>
- Kushner, S. C., Quilty, L. C., Uliaszek, A. A., McBride, C., & Bagby, R. M. (2016). Therapeutic alliance mediates the association between personality and treatment outcome in patients with major depressive disorder. *Journal of Affective Disorders*, 201, 137–144. <https://doi.org/10.1016/J.JAD.2016.05.016>
- La Touche, R., Paris-Aleman, A., & La Salle Dirección postal, C. (2023). Sobre el Concepto de Ejercicio Terapéutico. La identidad profesional y la organización de la Fisioterapia. *Journal of MOVE and Therapeutic Science*, 5(1), 504–515. <https://doi.org/10.37382/JOMTS.V5I1.1056>
- Labastida Espinoza, E. (2021). Lesiones deportivas en la selección mexicana de clavados entre los Juegos Centroamericanos y del Caribe 2018, y los Juegos Panamericanos 2019. *Revista Digital: Actividad Física y Deporte*, ISSN 2462-8948, Vol. 7, No. 2, 2021 (Ejemplar Dedicado a: Revista Digital: Actividad Física y Deporte. July-December), 7(2), 6. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8670942&info=resumen&idioma=SPA>
- Laffleur, F., & Keckeis, V. (2020). Advances in drug delivery systems: Work in progress still needed? *International Journal of Pharmaceutics*, 590, 119912. <https://doi.org/10.1016/J.IJPHARM.2020.119912>

- Lanfranco, A. R., Castellanos, A. E., Desai, J. P., & Meyers, W. C. (2004). Robotic surgery: a current perspective. *Annals of Surgery*, 239(1), 14–21. <https://doi.org/10.1097/01.SLA.0000103020.19595.7D>
- Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., & Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2017(11). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>
- Lee, K. E., Choi, M., & Jeoung, B. (2022). Effectiveness of Rehabilitation Exercise in Improving Physical Function of Stroke Patients: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19). <https://doi.org/10.3390/IJERPH191912739>
- Levin, M. F., & Piscitelli, D. (2022). Motor Control: A Conceptual Framework for Rehabilitation. *Motor Control*, 26(4), 497–517. <https://doi.org/10.1123/MC.2022-0026>
- Liaghat, B., Pedersen, J. R., Husted, R. S., Pedersen, L. L., Thorborg, K., & Juhl, C. B. (2023). Diagnosis, prevention and treatment of common shoulder injuries in sport: grading the evidence – a statement paper commissioned by the Danish Society of Sports Physical Therapy (DSSF). *British Journal of Sports Medicine*, 57(7), 408–416. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2022-105674>
- Lipson, H., & Kurman, M. (2013). Fabricated: The new world of 3D printing. In *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/enus/Fabricated%3A+The+New+World+of+3D+Printing-p9781118350638>
- Lista-Paz, A., González-Doniz, L., & Souto-Camba, S. (2020). ¿Qué papel desempeña la Fisioterapia en la pandemia mundial por COVID-19? *Fisioterapia*, 42(4), 167. <https://doi.org/10.1016/J.FT.2020.04.002>
- Llamas Ramos, R., & Llamas Ramos, I. (2022). Neurodinamia Ms: aplicación práctica para fisioterapeutas (Vol. 1). <https://gredos.usal.es/handle/10366/153314> (Vol. 1).

- Mahmoud, H., Aljaldi, F., El-Fiky, A., Battecha, K., Thabet, A., Alayyat, M., Abd Elkafy, E., Ebid, A., & Ibrahim, A. (2023). Artificial Intelligence machine learning and conventional physical therapy for upper limb outcome in patients with stroke: a systematic review and metaanalysis. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 27(11), 4812–4827. [https://doi.org/10.26355/EURREV\\_202306\\_32598](https://doi.org/10.26355/EURREV_202306_32598)
- Malanga, G. A., Andrus, S., Nadler, S. F., & McLean, J. (2003). Physical examination of the knee: a review of the original test description and scientific validity of common orthopedic tests. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(4), 592–603. <https://doi.org/10.1053/APMR.2003.50026>
- Maroto Izquierdo, S. (2019). Functional and structural effects of eccentric-overload resistance training in athletes and physical active people. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=231355&info=resumen&idioma=SPA>
- Márquez, J. S., Ferraro, F., Colque, R., Salcedo, N. N., Quaino, F. D., & Serafini, N. G. (2024). Rehabilitación cardiovascular en pacientes oncológicos, recomendaciones conjuntas de los Comités de Cardio Oncología y Cardiología del Ejercicio de la Federación Argentina de Cardiología. *Revista de La Federación Argentina de Cardiología*, 53(2), 96–101. <https://revistafac.org.ar/ojs/index.php/revistafac/article/view/557>
- Mehrholtz, J., Thomas, S., Werner, C., Kugler, J., Pohl, M., & Elsner, B. (2017). Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 5(5). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006185.PUB4>
- Mendonça, L. D. M., Bittencourt, N. F. N., Alves, L. E. M., Resende, R. A., & Serrão, F. V. (2020). Interventions used for Rehabilitation and Prevention of Patellar Tendinopathy in athletes: a survey of Brazilian Sports Physical Therapists. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 24(1), 46–53. <https://doi.org/10.1016/J.BJPT.2018.12.001>
- Mittinty, M. M., Vanlint, S., Stocks, N., Mittinty, M. N., & Moseley, G. L. (2018). Exploring effect of pain education on chronic pain

patients' expectation of recovery and pain intensity. *Scandinavian Journal of Pain*, 18(2), 211–219. <https://doi.org/10.1515/SJPAIN-20180023/MACHINEREADABLECITATION/RIS>

- Moore, A. J., Holden, M. A., Foster, N. E., & Jinks, C. (2020). Therapeutic alliance facilitates adherence to physiotherapy-led exercise and physical activity for older adults with knee pain: a longitudinal qualitative study. *Journal of Physiotherapy*, 66(1), 45–53. <https://doi.org/10.1016/J.JPHYS.2019.11.004>
- Mora Fierro, N. S., & Mejía-Echeverría, C. D. (2023). Prototipo de amortiguadores para prótesis de rodilla [Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14755>
- Moroni, L., Burdick, J. A., Highley, C., Lee, S. J., Morimoto, Y., Takeuchi, S., & Yoo, J. J. (2018). Biofabrication strategies for 3D in vitro models and regenerative medicine. *Nature Reviews Materials* 2018 3:5, 3(5), 21–37. <https://doi.org/10.1038/s41578-018-0006-y>
- Muñoz Puenayan, D. M., & Mejía-Echeverría, C. D. (2019). Diseño de un rehabilitador de tobillo interactivo para asistir la recuperación de pacientes posterior a la inmovilización [Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9012>
- Naylor, J., Killingback, C., & Green, A. (2023). What are the views of musculoskeletal physiotherapists on person-centred practice? A review of qualitative studies. *Disability and Rehabilitation*, 45(6), 950–961. <https://doi.org/10.1080/09638288.2022.2055165>
- Negro Prieto, D. P., Cuervo Beltrán, N. A., Ramírez Ramírez, D. A., Rodríguez Sánchez, L. D., Sánchez Cardozo, A. L., & Serrano Gómez, M. E. (2020). Evaluación de la fuerza muscular en niños: una revisión de la literatura. *Arch. Med*, 449–460. <https://doi.org/10.30554/ARCHMED.20.2.3482>
- Organización Mundial de la Salud. (2015). Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud resumen (Vol. 1). [https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/186471/WHO\\_FWC\\_AL\\_C\\_15.01\\_spa.pdf](https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/186471/WHO_FWC_AL_C_15.01_spa.pdf)

- Organización Mundial de la Salud. (2020). Rehabilitación en Los Sistemas de Salud Guía de Acción. World Health Organization. <https://iris.who.int/rest/bitstreams/1270861/retrieve>
- Organización Panamericana de la Salud. (2019). Plan de acción mundial sobre actividad física 2018-2030: personas más activas para un mundo más sano. <https://iris.who.int/handle/10665/327897>
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (2007). Engineering design: A systematic approach. *Engineering Design: A Systematic Approach*, 1–617. <https://doi.org/10.1007/978-1-84628-3192/COVER>
- Pantelopoulos, A., & Bourbakis, N. G. (2010). A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 40(1), 1–12. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2009.2032660>
- Paredes Altamirano, J. D., & Mejía-Echeverría, C. D. (2021). Prototipo de un exoesqueleto para rehabilitación de miembros inferiores [Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11419>
- Paredes-Gómez, R., & Potosí-Moya, V. (2023, March 17). Análisis del protocolo de curl nórdico de isquiotibiales en la flexibilidad de los deportistas . *Revista Retos* , 720–726. <https://recyt.fecyt.es/index.php/retos/article/view/96671/72116>
- Paredes-Gómez, R., Potosí-Moya, V., Solano-Díaz, C., & Mejía-Echeverría, C. (2024a). Optimizando el rendimiento: efecto del entrenamiento isoinercial en futbolistas sub-16 (Optimizing performance: isoinertial training in under-16 soccer players). *Retos*, 59, 24–31. <https://doi.org/10.47197/RETOS.V59.107292>
- Pasuy, P., Sánchez, J., Flores, F., Enríquez, H., Flores, K., Paredes, G., & Mejía, C. (2019). Diseño Mecánico de Exoesqueleto Pasivo para adquisición de datos en marcha humana nivel uno. In UTN (Ed.), *Avances en Bioingeniería y Sistemas Inteligentes de Rehabilitación en Latino América 2019* (1st ed., Vol. 1, pp. 102

105). Editorail Universitario.

- Petty, N. ;, & Ryder, D. (2018). *Musculoskeletal Examination and Assessment E-Book: Musculoskeletal ...* - Google Libros (5ta ed., Vol. 1). Elsevier. <https://books.google.es/books?id=0Xg4DwAAQBAJ&lpg=PP1&ots=CYwavFA0a&dq=musculoskeletal%20examination%20and%20assessment%20fifth%20edition&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=false>
- Pilagatti, A. N., Vecchi, G., Atzeni, E., Iuliano, L., & Salmi, A. (2022). Generative Design and new designers' role in the manufacturing industry. *Procedia CIRP*, 112, 364–369. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2022.09.010>
- Plateaux, R., Choley, J. Y., Penas, O., & Rivière, A. (2009). Towards an integrated mechatronic design process. *IEEE 2009 International Conference on Mechatronics, ICM 2009* <https://doi.org/10.1109/ICMECH.2009.4957237>
- Poppendieck, M., & Poppendieck, T. (2003). *Lean Software Development: An Agile Toolkit* (Addison-Wesley Professional, Ed.; Vol. 1).
- Postolache, O., Monge, J., Alexandre, R., Geman, O., Jin, Y., & Postolache, G. (2021). Virtual Reality and Augmented Reality Technologies for Smart Physical Rehabilitation. *Smart Sensors, Measurement and Instrumentation*, 39, 155–180. [https://doi.org/10.1007/978-3-03071221-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-03071221-1_8)
- Pozo Montenegro, D. A., & Mejía-Echeverría, C. D. (2022). Sistema para monitoreo de patologías neuromusculares en miembros superiores e inferiores [Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13251>
- Rafiq, M. T., Hamid, M. S. A., Hafiz, E., Rashid, K., & Chaudhary, F. A. (2021). The Role of Rehabilitation Exercises on Weight, Functional Strength, and Exercise Adherence in Knee Osteoarthritis Patients. *Current Rheumatology Reviews*, 17(4), 397–403. <https://doi.org/10.2174/1573397117666210719101551>

- Ratamess, N. A., Alvar, B. A., Evetoch, T. K., Housh, T. J., Kibler, W. Ben, Kraemer, W. J., & Triplett, N. T. (2009). Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults POSITION STAND. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
- Raya-González, J., Suárez-Arrones, L., Rísquez Bretones, A., & Sáez de Villarreal, E. (2017). Efectos a corto plazo de un programa de entrenamiento de sobrecarga excéntrica sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol de élite U-16 (Short-term effects of an eccentric-overload training program on the physical performance on U-16 elite soccer. *Retos*, 33, 106–111. <https://doi.org/10.47197/RETOS.V0I33.53547>
- Rebbeck, T. (2017). The Role of Exercise and Patient Education in the Noninvasive Management of Whiplash. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 47(7), 481–491. <https://doi.org/10.2519/JOSPT.2017.7138>
- Rebelo, A., Martinho, D. V., Valente-dos-Santos, J., Coelho-e-Silva, M. J., & Teixeira, D. S. (2023). From data to action: a scoping review of wearable technologies and biomechanical assessments informing injury prevention strategies in sport. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 15(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/S13102-02300783-4/TABLES/3>
- Reubenson, A., & Elkins, M. R. (2022). Clinical education of physiotherapy students. *Journal of Physiotherapy*, 68(3), 153–155. <https://doi.org/10.1016/J.JPHYS.2022.05.012>
- Rodriguez García, P. (18 C.E.). Fuerza, su clasificación y pruebas de valoración. <https://studylib.es/doc/4568750/fuerza--su-clasificacion>
- Romero-Morales, C., López-López, D., Almazán-Polo, J., Mogedano-Cruz, S., Sosa-Reina, M. D., García-Pérez-de-Sevilla, G., Martín-Pérez, S., & González-de-la-Flor, Á. (2024). Prevalence, diagnosis and management of musculoskeletal disorders in elite athletes: A minireview. *Disease-a-Month*, 70(1), 101629. <https://doi.org/10.1016/J.DISAMONTH.2023.101629>

- Ruiz, B., Valencia, F., Mejia-Echeverria, C. D., Ortiz, D., & Terán, D. (2018). Prototipo rehabilitador pasivo de rodilla para asistencia postquirúrgica. In UPS (Ed.), *Memorias del I Congreso Internacional de Bioingeniería y Sistemas Inteligentes de Rehabilitación* (1st ed., Vol. 1, pp. 177–201). Abya Yala.
- Sánchez, S. (2020, September 10). Escala de Daniels: qué es, características, y funciones. *Psicología y Mente*. <https://psicologiymente.com/salud/escala-daniels>
- Schärer, C., Bucher, P., Lüthy, F., & Hübner, K. (2022). Combined Eccentric-Isokinetic and Isoinertial Training Leads to Large Ring Specific Strength Gains in Elite Gymnasts. *Sports*, 10(4), 49. <https://doi.org/10.3390/SPORTS10040049/S1>
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum* (Ken Schwaber and Jeff Sutherland, Ed.).
- Seshadri, D. R., Li, R. T., Voos, J. E., Rowbottom, J. R., Alfes, C. M., Zorman, C. A., & Drummond, C. K. (2019). Wearable sensors for monitoring the internal and external workload of the athlete. *Npj Digital Medicine* 2019 2:1, 2(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41746-0190149-2>
- Stojanović, M. D. M., Andrić, N., Mikić, M., Vukosav, N., Vukosav, B., Zologšchiopea, D. N., Tăbăcar, M., & Melinte, R. M. (2023). Effects of Eccentric-Oriented Strength Training on Return to Sport Criteria in Late-Stage Anterior Cruciate Ligament (ACL)-Reconstructed Professional Team Sport Players. *Medicina* 2023, Vol. 59, Page 1111, 59(6), 1111. <https://doi.org/10.3390/MEDICINA59061111>
- Stubbe, D. E. (2018). The Therapeutic Alliance: The Fundamental Element of Psychotherapy. *Focus: Journal of Life Long Learning in Psychiatry*, 16(4), 402. <https://doi.org/10.1176/APPI.FOCUS.20180022>
- Suárez Dávila, Z. (2023). Vista de Fisioterapia: Promotores de Salud, una labor extensionista desde la Academia. *Compromiso Social, L. Revista de La UNAN-Managua, Extensión Universitaria*, 10, 35. <https://camjol.info/index.php/recoso/article/view/18553/22629>

- Sustentan, E. Y., Jimenez, M. B., Castro, M. L., Sánchez, P. T., & Tones Triana, Y. (2018). El Diagnóstico fisioterapéutico y su aplicación en la práctica profesional ante los modelos que lo sustentan. *Revista Colombiana de Rehabilitación*, 2(1), 65–73. <https://doi.org/10.30788/REVCOLREH.V2.N1.2003.247>
- Szabo, D. A., Neagu, N., Teodorescu, S., Apostu, M., Predescu, C., Pâr-  
vu, C., & Veres, C. (2023). The Role and Importance of Using SensorBased Devices in Medical Rehabilitation: A Literature Review on the New Therapeutic Approaches. *Sensors* 2023, Vol. 23, Page 8950, 23(21), 8950. <https://doi.org/10.3390/S23218950>
- Takasaki, H., Okubo, Y., & Okuyama, S. (2019). The Effect of Proprioceptive Neuromuscular Facilitation on Joint Position Sense: A Systematic Review. *Journal of Sport Rehabilitation*, 29(4), 488497. <https://doi.org/10.1123/JSR.2018-0498>
- Tambaco, O., Quilca, P., Mejía, C., Valencia, F., & Ortíz, D. (2018). Silla de bipedestación para personas con paraplejia. In UPS (Ed.), *Memorias i congreso internacional de bioingeniería y sistemas inteligentes de rehabilitación* (1st ed., Vol. 1, pp. 115–148). Abya Yala.
- Tavazzi, E., Cazzoli, M., Pirastru, A., Blasi, V., Rovaris, M., Bergsland, N., & Baglio, F. (2021). Neuroplasticity and Motor Rehabilitation in Multiple Sclerosis: A Systematic Review on MRI Markers of Functional and Structural Changes. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 707675. <https://doi.org/10.3389/FNINS.2021.707675/BIBTEX>
- Taylor, N. F., Dodd, K. J., Shields, N., & Bruder, A. (2007). Therapeutic exercise in physiotherapy practice is beneficial: a summary of systematic reviews 2002-2005. *The Australian Journal of Physiotherapy*, 53(1), 7–16. [https://doi.org/10.1016/S00049514\(07\)70057-0](https://doi.org/10.1016/S00049514(07)70057-0)
- Terán Flores, B. I., & Mejía-Echeverría, C. D. (2019). Diseño y construcción de un sistema baropodométrico electrónico con interfaz gráfica [Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9361>

- Tillin, N. A., Pain, M. T. G., & Folland, J. P. (2018). Contraction speed and type influences rapid utilisation of available muscle force: Neural and contractile mechanisms. *Journal of Experimental Biology*, 221(24). <https://doi.org/10.1242/JEB.193367/259563/am/contraction-speed-and-type-influences-rapid>
- Tirira Pusda, W. A., & Mejía-Echeverría, C. D. (2023). Sistema de determinación del centro instantáneo de rotación (CIR) de la rodilla mediante visión artificial [Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15120>
- Tondelli, E., Feroldi, A., García, F., Meza, F., & Dingenen, B. (2024). Rehabilitation and return-to-sport after anterior cruciate ligament injury and reconstruction: Exploring physical therapists' approaches in Argentina. *Physical Therapy in Sport*, 67, 131–140. <https://doi.org/10.1016/J.PTSP.2024.04.007>
- Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine* 2019 25:1, 25(1), 44–56. <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7>
- Tous-Fajardo, J., Maldonado, R. A., Quintana, J. M., Pozzo, M., & Tesch, P. A. (2006). The flywheel leg-curl machine: offering eccentric overload for hamstring development. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(3), 293–298. <https://doi.org/10.1123/IJSP.1.3.293>
- Ullman, D. G. (2017). *The Mechanical Design Process* (McGraw-Hill, Ed.; 2nd ed., Vol. 1).
- Universidad Mariana. (2018). APTA ACTUALIZADA II 2018 (1). Resumen de La Guía APTA. <https://www.yumpu.com/es/document/read/63896873/aptaactualizada-ii-2018-1>

- Valencia Aguirre, F. V., Mejía-Echeverría, C. D., & Erazo Arteaga, V. A. (2017). Desarrollo de una prótesis de rodilla para amputaciones transfemorales usando herramientas computacionales. CAD - CAE - CAM. *Revista UIS Ingenierías*, ISSN-e 2145-8456, ISSN 1657-4583, Vol. 16, No. 2, 2017 (Ejemplar Dedicado a: Revista UIS Ingenierías), Págs. 23-34, 16(2), 23–34. <https://doi.org/10.18273/revuin.v16n22017002>
- Van Dieën, J. H., & Kistemaker, D. A. (2024). Increased velocity feedback gains in the presence of sensory noise can explain paradoxical changes in trunk motor control related to back pain. *Journal of Biomechanics*, 162. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOMECH.2023.111876>
- Van Dijk, H., Köke, A. J. A., Elbers, S., Mollema, J., Smeets, R. J. E. M., & Wittink, H. (2023). Physiotherapists Using the Biopsychosocial Model for Chronic Pain: Barriers and Facilitators-A Scoping Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2). <https://doi.org/10.3390/IJERPH20021634>
- Van Eck, C. F., Van den Bekerom, M. P. J., Fu, F. H., Poolman, R. W., & Kerkhoffs, G. M. M. J. (2013). Methods to diagnose acute anterior cruciate ligament rupture: A meta-analysis of physical examinations with and without anaesthesia. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 21(8), 1895–1903. <https://doi.org/10.1007/S00167-012-2250-9/METRICS>
- VDI/VDE 2206 - Development of Mechatronic and Cyber-Physical Systems (2021). <https://www.vdi.de/en/home/vdistandards/details/vdivde-2206-development-of-mechatronic-andcyber-physical-systems>
- Vilchez, E. B. (2023). Desafíos de la rehabilitación y la fisioterapia en el Perú. *Revista Herediana de Rehabilitación*, 6(1), 1–2. <https://doi.org/10.20453/RHR.V2023I1.5029>
- Vinolo-Gil, M. J., Herrera-Sánchez, C., Martín-Vega, F. J., Martín-Vale-ro, R., Gonzalez-Medina, G., & Pérez-Cabezas, V. (2022). Eficacia de la telerehabilitación en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica: una revisión sistemática. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, 45(2). <https://doi.org/10.23938/ASSN.0999>

- Vitiello, N., Cempini, M., Crea, S., Giovacchini, F., Cortese, M., Moisé, M., Posteraro, F., & Carrozza, M. C. (2016). Functional Design of a Powered Elbow Orthosis Toward its Clinical Employment. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 21(4), 1880–1891. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2016.2558646>
- Wang, D., Liu, Y., Lang, J. J., Klug, M. G., McGrath, R., & Tomkinson, G. R. (2024). Handgrip Strength has Declined Among Adults, Particularly Males, from Shanghai Since 2000. *Sports Medicine - Open*, 10(1), 19. <https://doi.org/10.1186/S40798-024-00800-X/FIGURES/1>
- Watson, J. C., & Coker-Cranney, A. M. (2018). Introduction to the Special Issue: Using technology in applied sport psychology. *Journal of Sport Psychology in Action*, 9(4), 213–215. <https://doi.org/10.1080/21520704.2018.1552446>
- Yakubova, G. (2021). Sports Medicine and Therapeutic Physical Education. *Texas Journal of Multidisciplinary Studies*, 2, 135–141. <https://zienjournals.com/index.php/tjm/article/view/210>
- Yaskawa. (2003). Yaskawa technical history | Yaskawa Global Site. <https://www.yaskawa-global.com/technology/history>
- Yong, R. J., Mullins, P. M., & Bhattacharyya, N. (2022). Prevalence of chronic pain among adults in the United States. *Pain*, 163(2), E328E332. <https://doi.org/10.1097/J.PAIN.0000000000002291>
- Zhang, S., Liu, D., Tian, E., Wang, J., Guo, Z., & Kong, W. (2022). Central vestibular dysfunction: don't forget vestibular rehabilitation. *Expert Review of Neurotherapeutics*, 22(8), 669–680. <https://doi.org/10.1080/14737175.2022.2106129>







Este libro está pensado para fisioterapeutas que ven más allá de lo convencional: profesionales que integran la educación, la ciencia, la tecnología y el ejercicio físico para recuperar la funcionalidad, mejorar la calidad de vida y fortalecer la alianza terapéutica con sus pacientes.

Se propone un nuevo paradigma enfocado en rehabilitar con precisión, medir con objetividad, guiar con ejercicio terapéutico basado en evidencia y acompañar con humanidad en todo el proceso.

Ideal para quienes creen que la tecnología no reemplaza al fisioterapeuta, sino que potencia su impacto clínico, educativo y social.