

César Fernández de las Peñas  
Alberto Melián Ortiz



Incluye  
**CONTENIDO  
DIGITAL**



Propiedad de Elsevier  
Prohibida su reproducción y venta

3.<sup>a</sup> edición

# Cinesiterapia

Bases fisiológicas  
y aplicación práctica



# *Cinesiterapia*

BASES FISIOLÓGICAS

Y APLICACIÓN PRÁCTICA

Propiedad de Elsevier  
Prohibida su reproducción y venta

Propiedad de Elsevier  
Prohibida su reproducción y venta

# *Cinesiterapia*

## BASES FISIOLÓGICAS Y APLICACIÓN PRÁCTICA

3.<sup>a</sup> edición

### **CÉSAR FERNÁNDEZ DE LAS PEÑAS**

Fisioterapeuta, Doctor. Departamento de Fisioterapia,  
Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física,  
Universidad Rey Juan Carlos, Alcorcón, Madrid (España)

### **ALBERTO MELIÁN ORTIZ**

Fisioterapeuta, Doctor. Facultad de Enfermería y Fisioterapia «Salus Infirmorum»,  
Universidad Pontificia de Salamanca, Madrid (España)  
Clínica Universitaria de Fisioterapia «Salus Infirmorum», Madrid (España)





ELSEVIER

Avda. Josep Tarradellas, 20-30, 1.º 08029 Barcelona, España

*Cinesiterapia. Bases fisiológicas y aplicación práctica*, 3.ª ed., de César Fernández de las Peñas y Alberto Melián Ortiz  
© 2024 Elsevier España, S.L.U., 2013, 2019.

ISBN: 978-84-1382-438-3  
eISBN: 978-84-1382-725-4

Todos los derechos reservados, incluidos los de extracción de textos y datos, entrenamiento de IA y tecnologías similares.

### Reserva de derechos de libros

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra ([www.conlicencia.com](http://www.conlicencia.com); 91 702 19 70/ 93 272 04 45).

### Advertencia

Los profesionales de la salud e investigadores deben siempre contrastar con su propia experiencia y conocimientos la evaluación y el uso de cualquier información, método, compuesto o experimento descrito en esta obra. Los rápidos avances en el conocimiento científico requieren que los diagnósticos y las dosis de fármacos recomendadas sean siempre verificados de manera independiente. Conforme al alcance máximo permitido por la ley, ni Elsevier, ni los autores, editores o colaboradores asumen responsabilidad alguna por cualquier reclamación por daños que pudieran ocasionarse a personas o propiedades por el uso de productos o por negligencia, o como consecuencia de la aplicación de cualesquiera métodos, productos, instrucciones o ideas contenidos en esta obra. Con el único fin de hacer la lectura más ágil y en ningún caso con una intención discriminatoria, en esta obra se ha podido utilizar el género gramatical masculino como genérico, remitiéndose con él a cualquier género y no solo al masculino.

Servicios editoriales: DRK Edición  
Depósito legal: B. 958 - 2024  
Impreso en España

# Colaboradores

## **JORGE ALARCÓN JIMÉNEZ**

Fisioterapeuta. Facultad de Ciencias de la Salud.  
Departamento de Fisioterapia,  
Universidad Europea de Valencia, Valencia (España)

## **MANUEL APARICIO RUIZ**

Fisioterapeuta. Facultad de Enfermería  
y Fisioterapia «Salus Infirmorum»,  
Universidad Pontificia de Salamanca,  
Madrid (España). Clínica Universitaria  
de Fisioterapia «Salus Infirmorum», Madrid (España)

## **JOSÉ LUIS ARIAS BURÍA**

Fisioterapeuta, Doctor. Departamento de Fisioterapia,  
Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física,  
Universidad Rey Juan Carlos, Alcorcón,  
Madrid (España)

## **MANUEL ARROYO MORALES**

Fisioterapeuta, Doctor. Departamento de Fisioterapia,  
Universidad de Granada, Granada (España)

## **FRANCISCO TOMÁS BEAS PEDRAZA**

Fisioterapeuta. Unidad de Fisioterapia de FREMAP

## **M.<sup>a</sup> ELENA BENITO GONZÁLEZ**

Fisioterapeuta, Máster. Departamento de Fisioterapia,  
Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física,  
Universidad Rey Juan Carlos, Alcorcón, Madrid (España).  
Departamento de Fisioterapia, Universidad Alfonso X  
el Sabio, Madrid (España)

## **PILAR BORONDO VICENTE**

Fisioterapeuta. Departamento de Fisioterapia,  
Facultad de Medicina, Universidad San Pablo CEU,  
Montepríncipe, Madrid (España)

## **CARME CAMPOY GUERRERO**

Fisioterapeuta. Grado en Fisioterapia.  
Departamento de Enfermería, Universidad de Lleida,  
Lleida (España)

## **ROMINA CARBONI**

Licenciada en Kinesiología y Fisiatría. Profesora  
adjunta de Técnicas Kinésicas I de la Licenciatura  
en Kinesiología y Fisiatría. IUGR, Rosario (Argentina)

## **CARLES CASANOVA GONZALVO**

Fisioterapeuta. Grado en Fisioterapia.  
Departamento de Enfermería, Universidad de Lleida,  
Lleida (España)

## **GABRIEL CONVERSO**

Licenciado en Kinesiología y Fisiatría. Coordinador  
académico de la Licenciatura en Kinesiología  
y Fisiatría. Profesor titular de Metodología  
de la Investigación e Investigador Principal.  
IUGR, Rosario (Argentina)

## **NIEVES DE BERNARDO TEJEDOR**

Fisioterapeuta. Facultad de Ciencias de la Salud.  
Departamento de Fisioterapia, Universidad Europea  
de Valencia, Valencia (España)

## **ANA ISABEL DE LA LLAVE RINCÓN**

Fisioterapeuta, Doctor. Departamento de Fisioterapia,  
Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física,  
Universidad Rey Juan Carlos, Alcorcón, Madrid (España)

## **JUAN DEL RIEGO CUESTA**

Fisioterapeuta. Departamento de Fisioterapia,  
Escuela de Ciencias de la Salud,  
Universidad Europea de Madrid,  
Villaviciosa de Odón, Madrid (España)

## **CÉSAR FERNÁNDEZ DE LAS PEÑAS**

Fisioterapeuta, Doctor. Departamento de Fisioterapia,  
Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física,  
Universidad Rey Juan Carlos, Alcorcón,  
Madrid (España)

## **MARTA FERNÁNDEZ GARCÍA**

Unidad de Fisioterapia, Hospital FREMAP-Majadahonda,  
Madrid (España)

## **MARÍA JESÚS FIDALGO BENAYAS**

Médico Especialista en Rehabilitación, Madrid (España)

## **ANTONIO MANUEL GARCÍA GODINO**

Fisioterapeuta. Clínica FisoPuntura, Madrid (España)

## **MÓNICA GARCÍA GONZÁLEZ**

Fisioterapeuta. Unidad de Fisioterapia,  
Hospital FREMAP-Majadahonda, Madrid (España)

## **PABLO CÉSAR GARCÍA SÁNCHEZ**

Fisioterapeuta. Departamento de Fisioterapia,  
Escuela de Ciencias de la Salud, Universidad Europea  
de Madrid, Villaviciosa de Odón, Madrid (España)

## **FERNANDO GARCÍA SANZ**

Fisioterapeuta. Departamento de Fisioterapia,  
Clínica CEMTRO, Madrid (España)

**ALICIA HERNANDO ROSADO**

Fisioterapeuta. Profesora asociada. Departamento de Fisioterapia, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Alfonso X El Sabio, Madrid (España)

**SOFÍA LAGUARTA VAL**

Fisioterapeuta, Doctor. Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física, Universidad Rey Juan Carlos, Alcorcón, Madrid (España)

**JOSÉ LUIS LARA CABRERO**

Fisioterapeuta. Departamento de Fisioterapia, Clínica CEMTRO, Madrid (España)

**EDITZA MACHADO ZAVARCE**

Fisioterapeuta. Colegio Universitario de Rehabilitación «May Hamilton», Caracas. Escuela de Fisioterapia, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Arturo Michelena, Valencia (Venezuela)

**ROSA MARÍA MASET ROIG**

Fisioterapeuta. Departamento de Fisioterapia, Universidad Católica de Valencia «San Vicente Mártir», Valencia (España)

**ALBERTO MELIÁN ORTIZ**

Fisioterapeuta, Doctor. Facultad de Enfermería y Fisioterapia «Salus Infirmorum», Universidad Pontificia de Salamanca, Madrid (España). Clínica Universitaria de Fisioterapia «Salus Infirmorum», Madrid (España)

**SERGIO MANUEL MUELA FERNÁNDEZ**

Fisioterapeuta. Clínica Sergio Muela. Readaptación Integral Terapéutica, León (España)

**CRISTINA ORTEGA OREJÓN**

Fisioterapeuta. Unidad de Fisioterapia, Hospital FREMAP-Majadahonda, Madrid (España)

**RICARDO ORTEGA SANTIAGO**

Fisioterapeuta, Doctor. Departamento de Fisioterapia, Terapia Ocupacional, Rehabilitación y Medicina Física, Universidad Rey Juan Carlos, Alcorcón, Madrid (España)

**LUIS PALOMEQUE DEL CERRO**

Fisioterapeuta, Doctor. Facultad de Enfermería y Fisioterapia «Salus Infirmorum», Universidad Pontificia de Salamanca, Madrid (España)

**RAQUEL PANIAGUA DE LA CALLE**

Fisioterapeuta. Departamento de Fisioterapia, Facultad de Enfermería y Fisioterapia, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, Madrid (España)

**ANA RAMÍREZ ADRADOS**

Fisioterapeuta. Departamento de Fisioterapia, Escuela de Ciencias de la Salud, Universidad Europea de Madrid, Villaviciosa de Odón, Madrid (España)

**SILVIA RECHE CABALLERO**

Médico Especialista en Rehabilitación. Hospital FREMAP-Majadahonda, Madrid (España)

**DIANA RENOVELL ROMERO**

Fisioterapeuta. Grado en Fisioterapia. Departamento de Enfermería, Universidad de Lleida, Lleida (España)

**IVÁN RODRÍGUEZ APARICIO**

Fisioterapeuta. Unidad de Fisioterapia, Hospital FREMAP-Majadahonda, Madrid (España)

**FRANCESC JOSEP RUBÍ CARNACEA**

Fisioterapeuta. Grado en Fisioterapia. Departamento de Enfermería, Universidad de Lleida, Lleida (España)

**PEDRO MIGUEL SAAVEDRA HERNÁNDEZ**

Fisioterapeuta. Facultad de Enfermería y Fisioterapia «Salus Infirmorum», Universidad Pontificia de Salamanca, Madrid (España). Unidad de Fisioterapia, Hospital FREMAP-Majadahonda, Madrid (España)

**JAIME SALOM MORENO**

Fisioterapeuta, Madrid (España)

**AMPARO SÁNCHEZ CAMPOS**

Fisioterapeuta. Facultad de Enfermería y Fisioterapia «Salus Infirmorum», Universidad Pontificia de Salamanca, Madrid (España). Unidad de Fisioterapia, Hospital FREMAP-Majadahonda, Madrid (España)

**ISMAEL SANZ ESTEBAN**

Fisioterapeuta, Doctor. Universidad Europea de Madrid, Villaviciosa de Odón, Madrid (España)

**NURIA SENENT SANSEGUNDO**

Fisioterapeuta. Facultad de Enfermería y Fisioterapia «Salus Infirmorum», Universidad Pontificia de Salamanca, Madrid (España). Unidad de Fisioterapia, Hospital FREMAP-Majadahonda, Madrid (España)

**CARLOS VILLARÓN CASALES**

Fisioterapeuta. Facultad de Ciencias de la Salud. Departamento de Fisioterapia, Universidad Europea de Valencia, Valencia (España)

# Agradecimientos

El momento de agradecer a todas y cada una de las personas que han hecho posible la tercera edición de esta obra y que han participado de forma directa o indirecta es uno de los más difíciles de escribir, bien por miedo a olvidarte de alguien o bien por no saber qué decir. Queremos agradecer profundamente a todos los colegas que a lo largo de nuestra carrera profesional nos han permitido crecer en el conocimiento de nuestra profesión: profesores, alumnos, compañeros de clase, compañeros de trabajo, jefes, pacientes, etc. En especial a nuestros amigos y familiares, los cuales han sabido renunciar a momentos de nuestra compañía con tal de que esta obra viera la luz.

Hacer una lista de ellos supondría rellenar un largo número de hojas, por eso, a todos ellos, gracias de todo corazón. En particular a aquellas personas más cercanas, nuestras mujeres e hijos: esto no hubiese sido posible sin vuestra comprensión y apoyo. Y también a los lectores que sepan valorar el esfuerzo realizado, gracias. Finalmente, nuestro agradecimiento a Elsevier España, que ha confiado en este proyecto desde el principio, más en los tiempos que corren.

CÉSAR FERNÁNDEZ DE LAS PEÑAS  
ALBERTO MELIÁN ORTIZ

Propiedad de Elsevier  
Prohibida su reproducción y venta

Propiedad de Elsevier  
Prohibida su reproducción y venta

# Prefacio

El propósito de toda obra escrita es ofrecer al lector una herramienta de consulta y de estudio, aportando novedades y facilitando la adquisición de conocimientos que enriquezcan sus actividades personales o profesionales. En el caso de la presente obra que tenemos el placer de editar, dirigida a fisioterapeutas y realizada con la aportación de profesionales de las ciencias de la salud que comparten como denominador común su cercana presencia en el área de conocimiento de la Fisioterapia, todos los objetivos anteriores no solo se cumplen, sino que se amplían con la intención de ofrecer al profesional una guía de actuación en el campo de la cinesiterapia.

La obra consta de diversos capítulos que siguen un orden lógico en la correcta aplicación de las diversas técnicas de cinesiterapia. Se ha concedido gran importancia a la claridad expositiva, y sobre todo a la fijación visual de los conceptos clave relativos a las técnicas de cinesiterapia. Se realiza un resumen de la historia de la cinesiterapia y de sus principios físicos, para ahondar a continuación en temas más profundos como son el razonamiento clínico y su aplicación en el contexto de las ciencias de la salud. Se habla de la sala de cinesiterapia, y se comienza con la aplicación de las distintas técnicas de movilización pasiva y activa de las que dispone la cinesiterapia.

Esta tercera edición del libro se dirige tanto al estudiante de Fisioterapia que desea profundizar en los conocimientos que cada día obtiene de sus profesores, como al profesional titulado que necesita una obra de consulta comprensiva y global que le ofrezca una visión amplia de las distintas herramientas terapéuticas cinesiterápicas que tiene a su disposición. En esta tercera edición de la obra se han incluido dos nuevos capítulos que abordan temas muy de actualidad en el ámbito de la práctica clínica del fisioterapeuta. Nos referimos al razonamiento clínico y al ejercicio terapéutico, dos ramas del conocimiento cuyas competencias debe adquirir el fisioterapeuta para mejorar la calidad de la asistencia al paciente.

La realización de este libro ha sido posible gracias al enorme esfuerzo de todos los fisioterapeutas autores de los capítulos que lo componen, los cuales han plasmado en estas hojas las situaciones clínicas que ellos observan en sus pacientes. Por ello, esta obra da vida escrita a la realidad clínica de la fisioterapia, más en concreto a los pacientes que reciben nuestra atención diaria.

CÉSAR FERNÁNDEZ DE LAS PEÑAS  
ALBERTO MELIÁN ORTIZ

Propiedad de Elsevier  
Prohibida su reproducción y venta

Propiedad de Elsevier  
Prohibida su reproducción y venta

# Índice de capítulos

## Capítulo 1

*Introducción a la cinesiterapia* 1  
M.ª ELENA BENITO GONZÁLEZ • EDITZA MACHADO ZAVARCE

## Capítulo 2

*Bases físicas de la cinesiterapia* 11  
CARLES CASANOVA GONZALVO • FRANCESC JOSEP RUBÍ CARNACEA •  
CARME CAMPOY GUERRERO • DIANA RENOVELL ROMERO

## Capítulo 3

*Fundamentos de la cinesiterapia* 19  
PABLO CÉSAR GARCÍA SÁNCHEZ • ALICIA HERNANDO ROSADO

## Capítulo 4

*Razonamiento clínico* 33  
ALBERTO MELIÁN ORTIZ • MANUEL APARICIO RUIZ

## Capítulo 5

*Efectos de la inmovilización prolongada* 41  
GABRIEL CONVERSO • ROMINA CARBONI

## Capítulo 6

*La sala de fisioterapia* 47  
EDITZA MACHADO ZAVARCE • M.ª ELENA BENITO GONZÁLEZ

## Capítulo 7

*Terapia manual como cinesiterapia pasiva* 53  
RICARDO ORTEGA SANTIAGO • SOFÍA LAGUARTA VAL •  
LUIS PALOMEQUE DEL CERRO • ANA ISABEL DE LA LLAVE RINCÓN

## Capítulo 8

*Terapia manual articular pasiva de la extremidad superior* 59  
ANA ISABEL DE LA LLAVE RINCÓN • SOFÍA LAGUARTA VAL •  
LUIS PALOMEQUE DEL CERRO • CÉSAR FERNÁNDEZ DE LAS PEÑAS

## Capítulo 9

*Terapia manual articular pasiva de la extremidad inferior* 77  
SOFÍA LAGUARTA VAL • LUIS PALOMEQUE DEL CERRO •  
RICARDO ORTEGA SANTIAGO • ANA ISABEL DE LA LLAVE RINCÓN

## Capítulo 10

*Terapia manual articular de la columna vertebral y de la articulación temporomandibular* 89  
ANTONIO MANUEL GARCÍA GODINO • PEDRO MIGUEL SAAVEDRA  
HERNÁNDEZ • IVÁN RODRÍGUEZ APARICIO

## Capítulo 11

*Otras formas de cinesiterapia pasiva* 101  
ROSA MARÍA MASET ROIG • JORGE ALARCÓN JIMÉNEZ •  
CARLOS VILLARÓN CASALES • NIEVES DE BERNARDO TEJEDOR

## Capítulo 12

*Coordinación motora* 105  
PILAR BORONDO VICENTE

## Capítulo 13

*Cinesiterapia activa* 113  
CRISTINA ORTEGA OREJÓN • MÓNICA GARCÍA GONZÁLEZ •  
AMPARO SÁNCHEZ CAMPOS

## Capítulo 14

*Suspensionterapia y poleoterapia* 121  
MARTA FERNÁNDEZ GARCÍA • ALBERTO MELIÁN ORTIZ

## Capítulo 15

*Tracciones y elongaciones terapéuticas* 135  
ROSA MARÍA MASET ROIG • JORGE ALARCÓN JIMÉNEZ •  
CARLOS VILLARÓN CASALES • NIEVES DE BERNARDO TEJEDOR

## Capítulo 16

*El fortalecimiento muscular como cinesiterapia activa resistida* 141  
JOSÉ LUIS LARA CABRERO • FERNANDO GARCÍA SANZ

## Capítulo 17

*Ejercicio isocinético* 151  
MARÍA JESÚS FIDALGO BENAYAS • SILVIA RECHE CABALLERO

## Capítulo 18

*Las cadenas cinéticas musculares. Propiocepción* 157  
JAIME SALOM MORENO • JOSE LUIS ARIAS BURÍA •  
ANA ISABEL DE LA LLAVE RINCÓN

## Capítulo 19

*Estiramientos musculotendinosos* 167  
RICARDO ORTEGA SANTIAGO • MANUEL ARROYO MORALES •  
JAIME SALOM MORENO • CÉSAR FERNÁNDEZ DE LAS PEÑAS

## Capítulo 20

*Inmovilizaciones terapéuticas* 181  
PABLO CÉSAR GARCÍA SÁNCHEZ • JUAN DEL RIEGO CUESTA •  
ANA RAMÍREZ ADRADOS • RAQUEL PANIAGUA DE LA CALLE

## Capítulo 21

*Hidrocinesiterapia* 193  
FRANCISCO TOMÁS BEAS PEDRAZA • ISMAEL SANZ ESTEBAN •  
NURIA SENENT SANSEGUNDO

## Capítulo 22

*Bases del ejercicio terapéutico* 207  
SERGIO MANUEL MUELA FERNÁNDEZ • JOSÉ LUIS ARIAS BURÍA •  
CÉSAR FERNÁNDEZ DE LAS PEÑAS

*Índice alfabético* 215

Propiedad de Elsevier  
Prohibida su reproducción y venta

# Capítulo 2

## Bases físicas de la cinesiterapia

CARLES CASANOVA GONZALVO • FRANCESC JOSEP RUBÍ CARNACEA •  
CARME CAMPOY GUERRERO • DIANA RENOVELL ROMERO

### ÍNDICE DEL CAPÍTULO

2.1 INTRODUCCIÓN	2.5 TRABAJO Y ENERGÍA
2.2 MECÁNICA	2.5.1 Trabajo
2.2.1 Estática y dinámica	2.5.2 Energía cinética y teorema del trabajo y la energía
2.2.2 Momento de una fuerza	2.5.3 Potencia
2.3 EQUILIBRIO	2.6 LAS MÁQUINAS SIMPLES
2.3.1 Primera condición de equilibrio	2.6.1 Palancas
2.3.2 Segunda condición de equilibrio	2.6.2 Poleas
2.4 HIDROMECAÁNICA	2.6.3 Plano inclinado
2.4.1 Propiedades físicas del agua	
2.4.2 Hidrostática e hidrodinámica	

### OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

- Conocer los fundamentos mecánicos básicos y su aplicación al análisis del movimiento del cuerpo humano.
- Conocer el comportamiento mecánico del sistema musculoesquelético.
- Adquirir y aplicar los fundamentos mecánicos a las actuaciones de fisioterapia.
- Conocer el comportamiento hidromecánico del agua, como fluido, y de los cuerpos inmersos en ella.
- Conocer los principios de las máquinas simples y su aplicación en cinesiterapia.

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo estudiaremos en profundidad la mecánica y la hidromecánica desde el enfoque de las leyes físicas y fórmulas matemáticas en las cuales están basadas. La *mecánica* es la rama de la física que estudia el movimiento de los cuerpos bajo la acción de las fuerzas que lo producen. Entendemos por movimiento el cambio de lugar o posición de un cuerpo. Por ello, cuando nos refiramos a la mecánica del cuerpo humano, por tanto, hablaremos de biomecánica. La *biomecánica* se sustenta en aspectos y conceptos de otras ciencias tales como la ingeniería, la anatomía, la fisiología, etc. Con el conocimiento de las características físicas y térmicas del agua pretendemos contextualizar el medio donde se realiza la hidrocinesiterapia (v. cap. 21), y con el conocimiento de la hidromecánica, contextualizar el comportamiento de los fluidos en reposo y en movimiento, así como el comportamiento de un cuerpo sumergido.

Con las máquinas simples comprobaremos cómo las características de las fuerzas pueden variar si incorporamos máquinas simples como las palancas y poleas, o qué sucede si incorporamos en la cinesiterapia superficies planas con cierto ángulo respecto del suelo, como son los planos inclinados.

#### 2.2 MECÁNICA

Podemos clasificar la mecánica en dos ramas importantes<sup>1</sup>:

- La *estática*, que estudia las fuerzas que actúan sobre un cuerpo cuando el movimiento es nulo, y
- La *dinámica*, que estudia los cuerpos que se encuentran en movimiento y las fuerzas que actúan sobre ellos.

Dentro de la dinámica, podemos encontrar dos ramas que la definen:

- La *cinemática*, que es la ciencia que describe el movimiento estudiando las relaciones entre sus diferentes parámetros (desplazamiento, velocidad, aceleración, etc.), ya sea traslacional o rotacional<sup>2</sup>.
- La *cinética*, que es la ciencia que estudia las fuerzas que participan en el movimiento (fuerza muscular, gravedad, fricción, peso del cuerpo, etc.).

Existen diversas clasificaciones para la mecánica, aunque esta es la de elección porque es la que mejor descompone y define la cinesiterapia en sus diferentes bases físicas.

## 2.2.1 ESTÁTICA Y DINÁMICA

### 2.2.1.1 Principios de la estática

1. Un cuerpo no puede mantenerse en reposo si sobre él actúa una única fuerza.
2. Dos fuerzas de igual magnitud y de sentido opuesto aplicadas sobre un cuerpo no alteran su estado de reposo.

### 2.2.1.2 Principios de la dinámica (leyes de Newton)

1. *Primera ley de Newton o ley de la inercia.* Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza o la suma de las fuerzas que actúan sobre él es nula, este se mantendrá en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme (velocidad constante)<sup>2</sup>. Así, entendemos por inercia la tendencia de un cuerpo en reposo a continuar en reposo, igual que la tendencia de un cuerpo en movimiento a continuar en movimiento<sup>1</sup>.
2. *Segunda ley de Newton o ley de la aceleración.* La fuerza que actúa sobre un cuerpo es directamente proporcional al producto de su masa y su aceleración ( $F = m \times a$ ).
3. *Tercera ley de Newton o ley de acción y reacción.* Cuando sobre un cuerpo actúa una fuerza (acción), este responde con una fuerza igual y de sentido contrario (reacción). Esta ley es la responsable del equilibrio.

### 2.2.1.3 Tipos de movimiento

1. *Movimiento de traslación.* Todas las partes del cuerpo se mueven describiendo una misma trayectoria, ya sea rectilínea o curvilínea.
2. *Movimiento de rotación.* Todas las partes del cuerpo se mueven siguiendo un arco de circunferencia alrededor de un eje fijo.

En la [tabla 2-1](#) observamos cómo el análisis de estos tipos de movimiento requiere de la utilización de ecuaciones cinemáticas<sup>1</sup>. Esta serie de fórmulas tienen una gran aplicabilidad en biomecánica, ya que junto con el análisis del momento de las fuerzas permiten definir el nivel de carga que soporta una articulación. Estas fórmulas constatan si la articulación trabaja más o menos, y como consecuencia, si es capaz de adaptarse a la realización de un determinado ejercicio o si por el contrario sufre en exceso y comporta un riesgo de lesión.

## 2.2.2 MOMENTO DE UNA FUERZA

Se debe tener en cuenta la influencia del momento de una fuerza, sobre todo en el movimiento rotacional. El momen-

to de una fuerza con respecto a un punto de referencia es la tendencia de esta fuerza a producir la rotación del objeto sobre el cual es aplicada, en relación a dicho punto. Podemos definir, por tanto:

$$M = F \times d \times \text{sen}\alpha$$

donde  $M$  es el momento,  $F$  la fuerza,  $d$  (denominado brazo de palanca o brazo del momento) la distancia en metros entre el punto de aplicación de la fuerza y el punto de giro, y  $\alpha$  el ángulo entre la fuerza y la línea  $d$ .

El momento máximo se producirá cuando la fuerza de aplicación sea perpendicular ( $\alpha = 90^\circ$ ;  $\text{sen}90 = 1$ ) a la distancia y esta distancia sea máxima<sup>1</sup>.

*Aplicación clínica.* El momento de fuerza se puede utilizar para calcular la fuerza que debe realizar un músculo, conociendo la distancia a la que se inserta su tendón en la articulación sobre la que actúa, para mantener el segmento inferior en equilibrio estático con un balance articular de  $\alpha$  grados, siempre que conozcamos el peso y la situación del centro de gravedad de dicho segmento<sup>3</sup>. También se utiliza de manera importante en ergonomía. Por ejemplo: los músculos extensores cervicales efectúan 20 N menos de fuerza para mantener la cabeza en equilibrio cuando el sujeto mira la pantalla de un ordenador en posición correcta, suponiendo que esta pese 30 N, respecto a una posición de la cabeza en flexión de  $45^\circ$ , como consecuencia de una mala regulación de la pantalla.

## 2.3 EQUILIBRIO

Decimos que un cuerpo está en equilibrio cuando está en reposo (equilibrio estático) o moviéndose a una velocidad rectilínea uniforme (equilibrio dinámico).

Para determinar el equilibrio de un cuerpo, existen dos condiciones fundamentales.

### 2.3.1 PRIMERA CONDICIÓN DE EQUILIBRIO

Que la suma de todas las fuerzas que actúan sobre dicho cuerpo sea igual a cero ( $\Sigma F = 0$ ).

Cuando la suma de estas fuerzas es cero, decimos que está en equilibrio traslacional.

*Caso 1.* Si sobre un cuerpo actúan dos fuerzas coplanares (en el mismo plano) y colineales (en la misma línea), para mantener el equilibrio deberán tener la misma magnitud y sentido opuesto. *Ejemplo clínico:* en un paciente que va a realizar ejercicios de potenciación de los músculos flexores de codo con una mancuerna, los ligamentos del codo soportarán una fuerza igual a la suma del peso del antebrazo y de la mano, más el peso de la mancuerna. Por tanto, los ligamentos deberán ofrecer una mayor resistencia para mantener el equilibrio.

*Caso 2.* Si sobre un cuerpo actúan dos fuerzas concurrentes (con el mismo punto de aplicación) y no colineales, para mantener el equilibrio será necesaria una tercera fuerza llamada fuerza equilibrante, que será coplanar y colineal a la resultante de las fuerzas inicialmente aplicadas. Si esta fuerza no es coplanar con dicha resultante, existirá equilibrio traslacional, pero no rotacional. *Ejemplo clínico:* cálculo del peso necesario para mantener una tracción cervical de  $x$  N, con una angulación de la cuerda de  $30^\circ$ .

**TABLA 2-1 ECUACIONES CINEMÁTICAS EN EL ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS TRASLACIONALES Y ROTACIONALES**

$a = \Delta v / \Delta t$	$\alpha = \Delta \omega / \Delta t$
$v = v_0 + at$	$\omega = \omega_0 + \alpha t$
$s = s_0 + vt$	$s = s_0 + \omega t$
$s = v_0 t + at^2$	$s = \omega_0 t + \alpha t^2$
$a$ : aceleración	$\alpha$ : aceleración angular
$v$ : velocidad	$\omega$ : velocidad angular
$v_0$ : velocidad inicial	$\omega_0$ : velocidad angular inicial
$s$ : desplazamiento	$s$ : desplazamiento
$s_0$ : desplazamiento inicial	$s_0$ : desplazamiento inicial
$t$ : tiempo	$t$ : tiempo

### 2.3.2 SEGUNDA CONDICIÓN DE EQUILIBRIO

Que la suma de los momentos con respecto a un eje arbitrario sea igual a cero ( $\sum M = 0$ ).

Cuando la suma de estos momentos es cero, decimos que está en equilibrio rotacional. En la determinación del equilibrio rotacional, el punto de aplicación de las fuerzas es básico y no puede ser ignorado.

## 2.4 HIDROMECAÍNICA

Podríamos clasificar la hidromecánica en dos ramas importantes:

- *Hidroestática*. Ciencia que estudia las fuerzas y presiones que afectan a los fluidos en reposo.
- *Hidrodinámica*. Ciencia que estudia las causas y los efectos de los fluidos en movimiento.

Dentro de la hidrodinámica, podríamos encontrar dos ramas que la definen:

- La *hidrocinemática*, que estudia el movimiento de los fluidos sin considerar las causas que lo producen.
- La *hidrocinética*, que nos dará a conocer las fuerzas ejercidas por los fluidos en movimiento sobre un cuerpo.

### 2.4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA

Como paso previo al conocimiento de las bases físicas de la hidrocinesiterapia (v. cap. 21), consideramos necesario incidir en las siguientes propiedades físicas y térmicas que caracterizan al agua.

#### 2.4.1.1 Flujo

Se trata de la relación que existe entre el volumen de líquido que atraviesa una determinada área de sección transversal en un tiempo dado<sup>4</sup>.

#### 2.4.1.2 Densidad

Es la masa por unidad de volumen ( $\rho = m/v$ ), siendo la densidad del agua dulce de 1.000 kg/m<sup>3</sup>. Las variables que influyen en su comportamiento son la temperatura (al incrementarse la temperatura, disminuye la densidad) y la salinidad (al incrementarse la salinidad, aumenta la densidad)<sup>5</sup>.

#### 2.4.1.3 Viscosidad

Se define como la resistencia a fluir y también como la intensidad de fricción interna, dependiendo dicha característica de las fuerzas de atracción entre las partículas del fluido, es decir, de la *fuerza de cohesión*, que en el agua es débil. La temperatura también influye en la viscosidad: a mayor temperatura, menor viscosidad.

Su expresión viene dada mediante el coeficiente de viscosidad ( $\eta$ ) y se determina mediante el poise (P) (1g/s·cm) o centipoise (cP); el agua tiene una viscosidad a 20 °C de 1,005 cP. Según Yushimito: «La energía necesaria para superar la viscosidad se degrada en calor, y cuanto mayor es el coeficiente de viscosidad, mayor es la fuerza necesaria para hacer fluir el líquido»<sup>4</sup>.

#### 2.4.1.4 Presión

Los fluidos ejercen una presión en todas las direcciones, y la fuerza de su presión es perpendicular a la superficie

de contacto con el fluido. La presión es la fuerza que se ejerce por unidad de área ( $P = F/A$ ). La unidad de presión en el Sistema Internacional de Unidades es el Pascal (Pa), siendo su equivalencia de 1 N/m<sup>2</sup>. Como equivalencia, se debe tener en cuenta que 1 atmósfera (1 atm) equivale a 1,013 × 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>, o lo que es lo mismo, a 101,3 kPa<sup>4,5</sup>.

La presión hidrostática que ejerce un fluido en reposo tiene relación con su profundidad y con su peso, es decir, con su densidad, y se calcula con la altura de la cantidad de fluido ( $h$ ), la densidad del fluido ( $d$ ) y la aceleración de la gravedad ( $g$ ).

$$P = h \times d \times g$$

#### 2.4.1.5 Tensión superficial

Es la fuerza existente en la zona denominada interfase, la zona de contacto entre el agua y el aire, donde la fuerza de cohesión del agua es mayor que la del aire, ejercida sobre las moléculas de la superficie<sup>4</sup>. Se define como «la fuerza por unidad de longitud ( $L$ ) que actúa a través de cualquier línea en una superficie, y que tiende a mantener cerrada cualquier superficie» ( $\gamma = F/L$ )<sup>5</sup>.

Es una característica a tener en cuenta en el planteamiento de la hidrocinesiterapia en la superficie o en la profundidad del agua. Igual que en las características físicas anteriores, la temperatura también afecta a la tensión superficial, siendo su relación inversa, es decir, al incrementarse la temperatura del agua disminuye su tensión superficial.

#### 2.4.1.6 Calor específico

En la actividad terapéutica acuática es posible que el paciente se encuentre inmerso en el agua durante toda la sesión, lo que hace necesario que la temperatura del fluido se mantenga en todo momento en el nivel deseado para lograr los objetivos marcados en el tratamiento. Aparte de los mecanismos externos para mantener dicha temperatura, el agua presenta un alto calor específico, característica fisicotérmica definida por Rodríguez<sup>6</sup> como: «la cantidad de calor que es necesario aportar para que un gramo de masa de un cuerpo eleve un grado su temperatura».

Siguiendo con estas características, debemos tener presente el elevado grado de conductividad térmica del agua, ya que cuando el cuerpo humano se encuentre inmerso en ella, existirá un intercambio de energía térmica que vendrá dada básicamente por el mecanismo de conducción y, con el movimiento del cuerpo, con el de convección. Conociendo los mecanismos de termorregulación del paciente, se debe tener presente la temperatura indiferente del agua.

### 2.4.2 HIDROSTÁTICA E HIDRODINÁMICA

#### 2.4.2.1 Principios de la hidrostática

1. *Principio de Pascal*. La fuerza de compresión de un fluido se define mediante este principio, el cual establece que «la presión aplicada a un fluido confinado aumenta la presión en todos los puntos del fluido en la misma cantidad»<sup>7</sup>.
2. *Principio de Arquímedes*. Fuerza de flotación o empuje sobre un cuerpo sumergido en un fluido. Según este principio, «la fuerza de empuje es igual al peso del fluido desplazado por el objeto», es decir, la pérdida de peso

de un objeto sumergido en un fluido es igual al peso del fluido desplazado. Se debe a la diferencia de densidades, cuando el cuerpo pasa de una zona de menor densidad (aire) a otra de mayor densidad (agua).

Como se ha comentado en el apartado anterior, la presión de un fluido aumenta con la profundidad, dando lugar a la fuerza de flotación o de empuje, donde la presión hacia arriba ( $F_2$ ) que se ejerce sobre la superficie inferior de un objeto sumergido es mayor que la presión hacia abajo ( $F_1$ ) sobre su superficie superior, definiéndose la flotabilidad  $F_B = F_2 - F_1$ , y consecuentemente, el peso aparente. En la figura 2-1 se reflejan los valores en porcentaje en un cuerpo sumergido según el nivel de profundidad<sup>5</sup>.

#### 2.4.2.2 Principios de la hidrodinámica

La hidrodinámica estudia la física de los fluidos en movimiento, por lo que en la hidrocinesiterapia, donde prevalecen los líquidos en reposo, el movimiento del cuerpo dentro del agua provocará que el fluido líquido se ponga en movimiento. La hidrodinámica estudia las causas y los efectos del fluido en movimiento, influyendo dichas bases físicas en la actividad terapéutica. Deben tenerse en cuenta, también, los mecanismos externos que pueden poner el agua en movimiento.

1. **Hidrocineética.** Clasificamos las fuerzas ejercidas por fluidos en movimiento sobre un cuerpo en:
  - a. **Fuerzas de resistencia:** se producen en la dirección del movimiento y provienen de la fuerza que ejerce el fluido en oposición al avance del cuerpo. Los factores de los que dependen dichas fuerzas son:  $R$ , como resistencia hidrodinámica;  $K$ , como constante que depende de la naturaleza del medio;  $S$ , que representa

la superficie del cuerpo;  $\alpha$ , el ángulo de ataque, y  $V$ , la velocidad ( $R = K \times S \times \text{sen} \alpha \times V^2$ ).

- b. **Fuerzas de sustentación:** se producen por el movimiento relativo del fluido y del cuerpo y van en dirección perpendicular a la dirección del movimiento.
- c. **Turbulencias:** el agua, como fluido, traslada su masa desde una zona de mayor presión a otra de menor presión, y el movimiento que realiza el cuerpo inmerso en el agua provoca una diferencia de presiones, las cuales son máxima en la parte anterior del movimiento y mínima en la parte posterior. Esta creación de un flujo de agua hacia atrás provoca un fenómeno de depresión y aspiración, y de esta forma se forman turbulencias con una incidencia directa sobre la resistencia al movimiento del cuerpo inmerso en el agua. El flujo de agua con sus turbulencias, además de poder ser creado por el propio movimiento del cuerpo del paciente, también puede crearse mediante mecanismos externos, como chorros de aire o agua.

2. **Hidrocineumática.** En su estudio incorporamos la función de la velocidad.

- a. **Principio de Bernoulli:** la relación anterior se plasma en este principio, el cual establece que donde la velocidad de un fluido es alta, su presión es baja, y donde la velocidad es baja, la presión es alta<sup>5</sup>. Este principio tiene especial aplicación en las fuerzas comentadas al inicio de la hidrodinámica, como son las fuerzas de resistencia y las fuerzas de sustentación.
- b. **Número de Reynolds:** para el análisis del movimiento de los cuerpos en los fluidos es muy útil el conocimiento del número de Reynolds ( $Re$ ), cuyo valor determina el régimen de movimiento de un cuerpo en un fluido, relacionando la fuerza inercial con la fuerza viscosa ( $Re = \text{fuerza de inercia}/\text{fuerza viscosa}$ )<sup>7</sup>.

Resulta, entonces, un nivel de movimiento donde un cuerpo se moverá casi sin inercia, en el cual los efectos viscosos son más elevados que los inerciales (bajo número de Reynolds), y un nivel de movimiento donde el factor elevado es la inercia (alto número de Reynolds). En la hidrocinesiterapia, la inercia domina sobre la viscosidad, por lo que un mismo movimiento produce un efecto distinto si se hace más rápido que si se hace más lento.

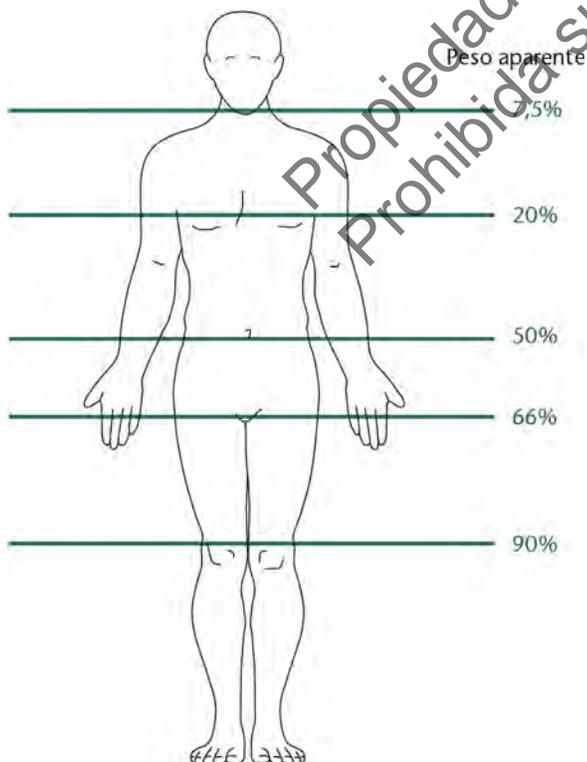


Figura 2-1. Valores del peso aparente en un cuerpo sumergido.

## 2.5 TRABAJO Y ENERGÍA

En este apartado nos ocuparemos de las fuerzas que varían en función de la posición del cuerpo en el espacio. Tal sería el caso de las fuerzas gravitacionales entre cuerpos como el Sol y la Tierra, o la fuerza ejercida por un resorte estirado sobre un cuerpo al cual va fijo<sup>8</sup>.

### 2.5.1 TRABAJO

#### 2.5.1.1 Trabajo realizado por una fuerza constante

Cuando la fuerza es constante, el movimiento del cuerpo tiene lugar en línea recta. En este caso, definimos el trabajo realizado por la fuerza sobre este cuerpo como el producto de la magnitud de la fuerza  $F$  por la distancia  $d$  que recorre tal cuerpo ( $W = F \times d$ ).

Si esta fuerza no actúa en la misma dirección en la que se mueve el cuerpo, consideramos que el trabajo realizado por la fuerza es el producto del componente de esta en la dirección del movimiento por la distancia recorrida por el cuerpo a lo largo de esa línea ( $W = [F \times \cos\alpha] \times d$ ).

Puede ocurrir que una fuerza aplicada sobre un cuerpo no realice ningún trabajo, como sería el caso, por ejemplo, de un cuerpo suspendido de una cuerda: ni la fuerza de tracción de la cuerda ( $T$ ) ni el peso del cuerpo ( $W$ ) realizan ningún trabajo, dado que el cuerpo permanece fijo.

Si sobre un cuerpo actúan diferentes fuerzas, debe calcularse por separado el trabajo que realiza cada una de ellas; el trabajo total será la suma de todos los trabajos resultado de las diferentes fuerzas.

Un trabajo puede ser positivo o negativo; este último sería el caso de la contracción excéntrica de un músculo, dado que la fuerza de contracción tiene dirección contraria al movimiento resultante. En la **figura 2-2** se puede observar el trabajo del músculo cuádriceps de la extremidad inferior de apoyo durante el movimiento de descenso de un escalón: el ángulo existente entre  $F$  y  $d$  será de  $180^\circ$ .

La unidad de trabajo es el joule, y se trata del trabajo realizado para desplazar un cuerpo una unidad de distancia en la dirección y sentido de la fuerza.

### 2.5.1.2 Trabajo realizado por una fuerza variable. Una dimensión

Consideremos una fuerza variable en una dirección constante<sup>9</sup>  $x$ . Para calcular el trabajo total, dividiremos el desplazamiento total en un gran número de intervalos  $\Delta x$ ; el trabajo total será la suma de estos intervalos, de manera que  $\Delta W = F \times \Delta x$ ;  $W = \sum F \times \Delta x$ .

### 2.5.1.3 Trabajo realizado por una fuerza variable. Dos dimensiones

En este caso, no solo la fuerza que opera sobre el cuerpo es inconstante, sino que la dirección del desplazamiento



**Figura 2-2.** Trabajo negativo en concentración excéntrica del músculo cuádriceps.

también se modifica. Igual que en el caso anterior, dividiremos la trayectoria en pequeños intervalos, de lo cual resulta la fórmula siguiente:

$$dW = F \times \Delta r \times F \times \cos\alpha \times \Delta r$$

## 2.5.2 ENERGÍA CINÉTICA Y TEOREMA DEL TRABAJO Y LA ENERGÍA

Hasta el momento nos hemos ocupado de cuerpos no acelerados, lo que significa que la fuerza resultante que opera sobre el cuerpo es cero, pero si esta fuerza no es cero, el objeto está acelerado. Recordemos la fórmula de la aceleración:

$$a = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$$

Y la fórmula del desplazamiento:  $x = v + v_0/2 \cdot t$ .

En este caso,  $v_0$  es la velocidad con que se desplaza el cuerpo en un tiempo  $t_0$ , y  $v$  es la velocidad que alcanza en el tiempo  $t$ . Entonces, el trabajo realizado es:  $W = F \times x = m \times a \times x$ .

La mitad del producto de la masa del cuerpo por el cuadrado de su velocidad se conoce como energía cinética del cuerpo, y se representa como  $K$  ( $K = 1/2 \times m \times v \times 2$ ).

Dicho de otro modo, el trabajo efectuado por la fuerza resultante que opera sobre un cuerpo es igual al cambio de energía cinética en este. Si la energía cinética de un cuerpo disminuye, el trabajo realizado sobre él es negativo, y si el desplazamiento y el componente de la fuerza tienen sentidos opuestos dentro de la misma dirección, el trabajo será negativo.

Se entiende que el cuerpo tiene energía almacenada debido a su movimiento; conforme hace trabajo, se mueve más lentamente y pierde algo de esa energía; por tanto, la energía cinética de un cuerpo en movimiento es igual al trabajo que puede realizar un cuerpo al quedar en reposo. Por esta razón, las unidades de energía cinética y de trabajo son las mismas.

### 2.5.3 POTENCIA

Un último concepto que es interesante tener en cuenta es el de potencia: el tiempo que tarda un cuerpo en realizar un trabajo, o dicho de otro modo, la rapidez con que se realiza el trabajo y que se representa<sup>8</sup> como  $P = W/t$ .

## 2.6 LAS MÁQUINAS SIMPLES

Las máquinas simples son aparatos mecánicos destinados a cambiar la magnitud o el punto de aplicación de una fuerza. Mantienen el trabajo mecánico, pero cambian algunas de sus características con el fin de conseguir una fuerza mayor de la que una persona podría aplicar con su musculatura, o aplicarla de una forma más eficaz. En toda máquina simple intervienen dos fuerzas:

1. **Resistencia:** que es la fuerza que ofrece el cuerpo que se quiere mover y que actúa en contra del movimiento.
2. **Potencia:** que representa a la fuerza responsable de la acción o movimiento, que actúa en contra de la resistencia.

## 2.6.1 PALANCAS

Una palanca es una máquina simple compuesta por una barra rígida, con dos fuerzas que actúan sobre ella, y un fulcro o punto de apoyo sobre el cual gira libremente. Las fuerzas que intervienen son, como hemos visto, la carga o resistencia que hay que vencer, y el esfuerzo o potencia que se genera para vencer dicha resistencia. La función de la palanca es transmitir una fuerza, y puede utilizarse para amplificar la fuerza mecánica aplicada a un cuerpo, o para incrementar la distancia recorrida o su velocidad, en respuesta a dicha aplicación.

La distancia entre el punto de aplicación de la potencia y el fulcro se denomina *brazo de potencia*, y la distancia entre el punto de aplicación de la resistencia y el fulcro se denomina *brazo de resistencia*.

La relación entre el momento de la resistencia (*resistencia*  $\times$  *brazo de resistencia*) y el momento de la potencia (*potencia*  $\times$  *brazo de potencia*) se denomina ventaja mecánica (VM). Si la palanca está en equilibrio, ambos son iguales y  $VM = 1$ . La VM depende del punto de aplicación de las fuerzas: una VM alta implicará poco esfuerzo para vencer una gran resistencia.

### 2.6.1.1 Tipos de palanca en el cuerpo humano

En el aparato locomotor, los huesos actúan como palancas: el fulcro corresponde a la articulación; la potencia está representada por el músculo que mueve el hueso y que actúa de brazo de palanca, y la resistencia es la fuerza que ha de vencer, ya sea el propio peso del cuerpo o un peso añadido. En la [figura 2-3](#) se refleja la existencia de tres tipos de palancas, y todas ellas aparecen en el sistema musculoesquelético<sup>1,10</sup>.

#### 2.6.1.1.1 PALANCA DE PRIMER GÉNERO, INTERFIJA O DE EQUILIBRIO

- Fulcro situado entre resistencia y potencia.
- Resistencia y potencia tienen sentidos opuestos.
- VM puede tener cualquier valor positivo.

*Ejemplo clínico:* extensión de codo.

#### 2.6.1.1.2 PALANCA DE SEGUNDO GÉNERO, INTERRESISTENTE O DE FUERZA

- Resistencia situada entre potencia y fulcro.
- Resistencia y potencia tienen el mismo sentido.
- $VM > 1$ .

*Ejemplo clínico:* flexión plantar de tobillo.

#### 2.6.1.1.3 PALANCA DE TERCER GÉNERO, INTERPOTENTE O DE VELOCIDAD

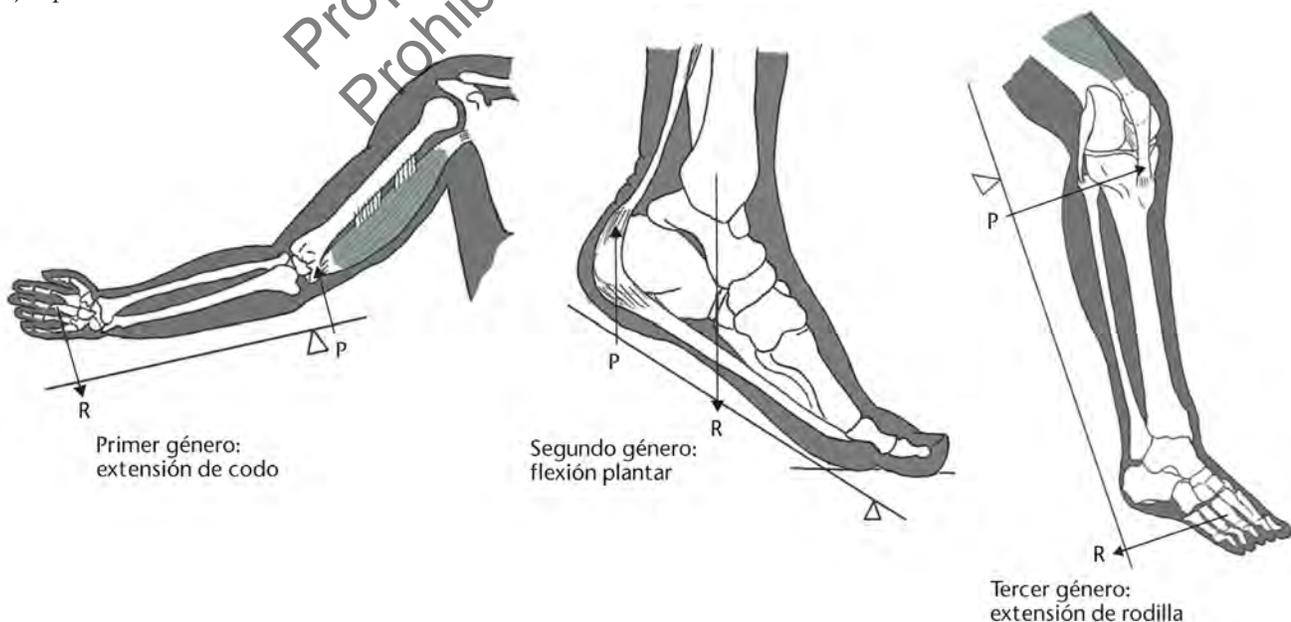
- Potencia situada entre fulcro y resistencia.
- Resistencia y potencia tienen sentidos opuestos.
- $VM < 1$ .

*Ejemplo clínico:* esta es, con diferencia, el tipo de palanca más frecuente en el organismo: flexión de codo, extensión de rodilla, pinza, articulación de la cadera, muñeca, etc.

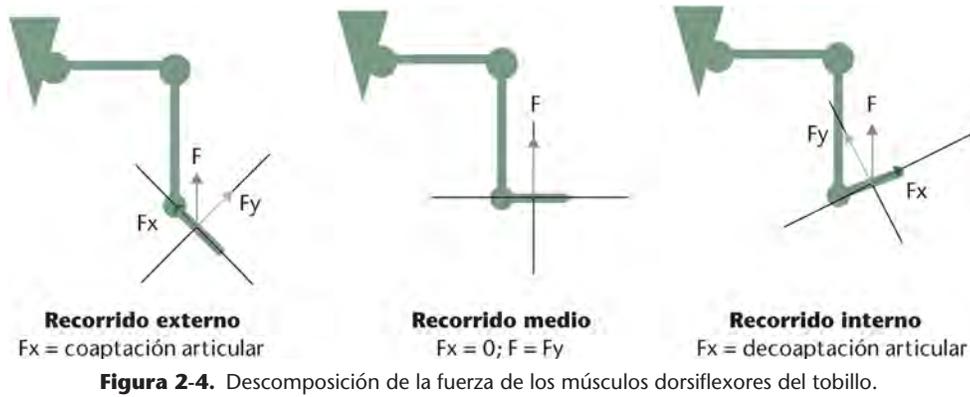
### 2.6.1.2 Aplicaciones clínicas de las palancas

Conociendo la distancia de inserción de los distintos músculos en los segmentos óseos seremos capaces de cuantificar la fuerza muscular necesaria para vencer el peso de dichos segmentos. Los músculos poliarticulares pueden actuar sobre una de las articulaciones estando la otra fija, o sobre ambas al mismo tiempo. En estos, las relaciones entre los desplazamientos lineales y angulares son más complejos.

Cuanto mayor sea la distancia entre el eje de movimiento articular y el punto de inserción de un tendón, menor esfuerzo requerirá el vientre muscular para movilizar el segmento correspondiente. Los músculos con origen lejano a la articulación e inserción próxima a ella tienen una función eminentemente movilizadora, mientras que los músculos con parámetros inversos tienen una función más estabilizadora<sup>1</sup>. La mayoría de los músculos del ser humano son, por tanto, movilizadores, conforman palancas de tercer grado. En estas, el brazo de potencia es menor que el brazo de resistencia, lo que se traduce en que deben generar mayor potencia para vencer la resistencia. A cambio de ello, un pequeño movimiento en el punto de aplicación



**Figura 2-3.** Ejemplos de palancas de primer, segundo y tercer género.



de la potencia implica un gran movimiento a nivel de la resistencia.

La efectividad de una fuerza para movilizar un segmento aumenta al acercarse su ángulo de aplicación al segmento a  $90^\circ$ . Toda fuerza muscular puede ser descompuesta en un sistema de coordenadas formado por un eje  $x$ , que sigue el eje longitudinal del hueso movilizado, y un eje  $y$  perpendicular a este que pasa por el punto de aplicación de la fuerza muscular (la inserción del tendón). Como fruto de ello obtenemos un componente en el eje  $y$  que tenderá a movilizar el segmento, y un componente en el eje  $x$  que tenderá a coaptar o decoaptar la articulación según su sentido. En la [figura 2-4](#) se muestra un diagrama de cuerpo libre que representa la descomposición de la fuerza de los músculos dorsiflexores del tobillo.

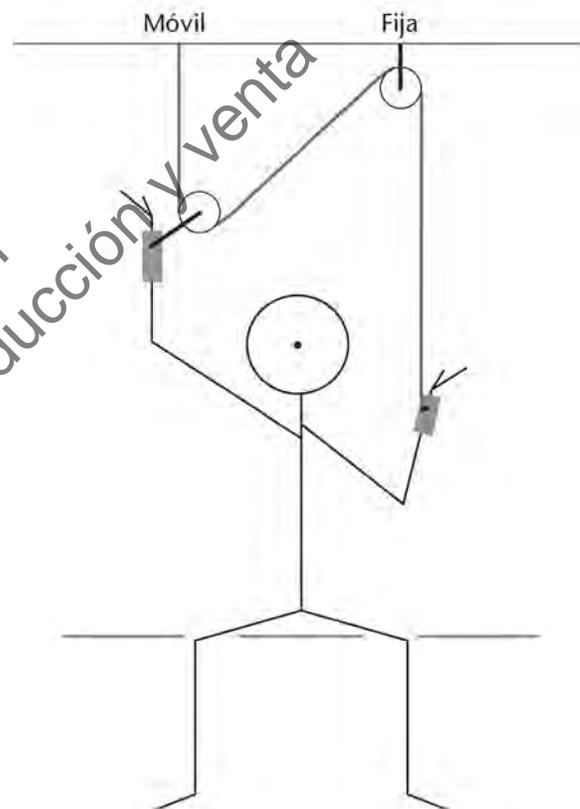
### 2.6.2 POLEAS

La polea es un tipo de máquina simple compuesta por una rueda con una ranura en su perfil por donde se desliza una cuerda que transmite las fuerzas que se ejercen sobre ella. Así, existen dos tipos de poleas:

1. **Polea fija:** es aquella que no cambia de posición. La resistencia se encuentra en un extremo de la cuerda y la potencia en el otro extremo. Su utilidad en cinesiterapia es poder variar la dirección de la fuerza o potencia que se aplica, dejando la resistencia suspendida<sup>10</sup>. En este caso,  $VM = 1$ .
2. **Polea móvil:** es aquella que puede subir o bajar. Un extremo de la cuerda se fija a un punto y la resistencia se fija a la misma polea. Si despreciamos el rozamiento, su utilidad en cinesiterapia es reducir el esfuerzo a la mitad. Por tanto,  $VM = 2$ . A medida que añadimos más poleas móviles obtendremos mayor ventaja mecánica.

En cinesiterapia pueden utilizarse diferentes montajes de poleas en función de la musculatura que se precise trabajar y del tipo de trabajo que se requiera (v. cap. 14).

En la [figura 2-5](#) se muestra un ejemplo de trabajo autoasistido, en el que la polea fija sirve para cambiar la dirección de la fuerza, y la polea móvil unida al miembro afectado sirve para disminuir el esfuerzo del lado sano. Aunque es cierto que dentro del sistema musculoesquelético poseemos elementos que se comportan como poleas, en



**Figura 2-5.** Ejemplo de trabajo autoasistido con polea fija y móvil.

este caso nos centraremos en las poleas como herramienta para la cinesiterapia.

### 2.6.3 PLANO INCLINADO

El plano inclinado es una superficie plana que forma un ángulo agudo con el suelo, y por tanto permite elevar cuerpos desde la posición horizontal a la vertical. En cinesiterapia es útil para regular la progresión de un ejercicio. Permite elevar cargas pesadas empleando un esfuerzo relativamente pequeño, y por tanto la  $VM$  es siempre mayor que 1.

El momento de la fuerza de gravedad variará en función del ángulo de inclinación en el que coloquemos al

paciente. Entre la horizontal y los primeros 30° de inclinación tendremos la progresión más importante, puesto que  $\text{sen } 30 = 1/2$ , lo cual reducirá a la mitad la fuerza gravitatoria del segmento movilizado y será donde existirá mayor fricción con la camilla<sup>11</sup>.

## BIBLIOGRAFÍA

1. López Román A, López Beltrán E. Biofísica aplicada a la biomecánica del cuerpo humano. 2.ª ed. Madrid: Bellisco; 2007.
2. Benedek GB, Villars FMH. Physics with illustrative examples from Medicine and Biology. 2.ª ed. Nueva York: Springer-Verlag; 2000.
3. De Pedraza Velasco ML, Miangolarra Page JC, Dias Soares OD, Rodríguez Rodríguez LP. Física aplicada a las ciencias de la salud. Barcelona: Masson; 2000.
4. Yushimito L. Biofísica. Bogotá: Manual Moderno; 2007.
5. Giancoli DC. Física, principios con aplicaciones. 4.ª ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana; 1997.
6. Rodríguez G, Iglesias R. Bases físicas de la hidroterapia. Fisioterapia 2002;24(monográfico 2):14-21.
7. Jou D, Llebot JE, Pérez García C. Física para ciencias de la vida. Madrid: McGraw-Hill; 1994.
8. Resnick R, Halliday D. Física, I. México: Patria; 2011.
9. Pérez FA, Martínez A, Azuaje J. Modelo biomecánico de la generación de fuerza muscular en condiciones isométrica y tetánica. Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica 2008;27:27-9.
10. Kane JW, Sternheim MM. Física. 2.ª ed. Barcelona: Reverté; 1996.
11. Génot C, Neiger H, Leroy A, Pierron G, Dufour M, Peninou G. Kinesioterapia. Principios. Miembros inferiores. Evaluaciones. Técnicas pasivas y activas del aparato locomotor. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2000.

Propiedad de Elsevier  
Prohibida su reproducción y venta

**AUTOEVALUACIÓN****PREGUNTAS**

1. **¿Cuál es la ventaja mecánica (VM) de un sistema de poleas con tres poleas fijas?**
  - a.  $VM = 0$
  - b.  $VM = 1$
  - c.  $VM = 2$
  - d.  $VM = 3$
  - e. Depende de la resistencia que se aplique
2. **¿Qué elementos intervienen en cualquier máquina simple?**
  - a. Resistencia y carga
  - b. Fuerza y esfuerzo
  - c. Resistencia y potencia
  - d. Carga y apoyo
  - e. Ninguno de los anteriores
3. **¿Qué tipo de palanca genera el tríceps sural al ponerse de puntillas?**
  - a. De primer género
  - b. De segundo género
  - c. De tercer género
  - d. De equilibrio
  - e. Interpotente
4. **¿Cuánto valdrá el momento alrededor de un codo a  $90^\circ$  de flexión, que sostiene una pesa de 50 N a 15 cm de él, ignorando el peso del antebrazo y la mano?**
  - a.  $M = 3,33$
  - b.  $M = 33,3$
  - c.  $M = 750$
  - d.  $M = 7,5$
  - e.  $M = 0$

Propiedad de Elsevier  
Prohibida su reproducción y venta

**RESPUESTAS**

1. **b.** Las poleas fijas siempre aportan una  $VM = 1$ .
2. **c.** Los elementos que intervienen siempre son las fuerzas de resistencia (que es sinónimo de carga o peso) y potencia (sinónimo de esfuerzo).
3. **b.** De segundo género. Además, la flexión plantar es el único caso de palanca de segundo grado conocido en el cuerpo humano.
4. **d.**  $M = F \cdot d \cdot \text{sen}\alpha$ . En primer lugar, pasamos los centímetros a metros: tenemos  $15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$ , y que  $\text{sen } 90 = 1$ ; por tanto,  $M = 50 \times 0,15 \times 1$ .  
 $M = 7,5$ .

Propiedad de Elsevier  
Prohibida su reproducción y venta