

MÓDULO

BIOMECAÁNICA: DE LA FÍSICA MECAÁNICA AL ANÁLISIS DE GESTOS DEPORTIVOS

Yisel Carolina Estrada Bonilla

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE CULTURA FÍSICA
DEPORTE Y RECREACIÓN
2018



Módulo

**Biomecánica: de la física
mecánica al análisis de
gestos deportivos**

Yisel Carolina Estrada Bonilla



Estrada Bonilla, Yisel Carolina

Biomecánica: De la física mecánica al análisis de gestos deportivos / Yisel Carolina Estrada Bonilla
Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2018.

265 páginas; Cuadros, fotografías a color, gráficas, ilustraciones y tablas

Incluye referencias bibliográficas

ISBN 978-958-782-132-1

1. Mecánica humana 2. Locomoción humana 3. Deportes -- Aspectos fisiológicos 4. Biomecánica
5. Movimientos mecánicos 6. Mecánica humana 7. Fisiología humana I. Universidad Santo Tomás
(Colombia).

CDD 612.76

CO-BoUST



© Yisel Carolina Estrada Bonilla

© Universidad Santo Tomás, 2018

Ediciones USTA

Carrera 9 n.º 51-11

Edificio Luis J. Torres sótano 1

Bogotá D.C., Colombia

Teléfono: (+571) 5878797, ext. 2991

editorial@usantotomas.edu.co

<http://ediciones.usta.edu.co>

Coordinación de libros: Karen Grisales Velosa

Diagramación: Violeta de Oliveira.

Diseño de cubierta: Kilka Diseño Gráfico

Corrección de estilo: Miguel Fernando Niño Roa

Hecho el depósito que establece la ley

E-ISBN: 978-958-782-132-1

Primera edición, 2018

Se prohíbe la reproducción total o parcial de
esta obra, por cualquier medio, sin la autorización
previa por escrito de Ediciones USTA.

Contenido

INTRODUCCIÓN	13
Definición e historia de la biomecánica	17
Evolución histórica de la biomecánica	20
Antigüedad	22
Edad Media	25
Renacimiento	25
Revolución Científica	27
La Ilustración	29
El siglo de la marcha	30
Siglo xx	32
LINEAMIENTOS GENERALES PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE LIBRO	35
Planteamiento del problema. ¿El porqué de este libro?	36
Pregunta de investigación	37
Objetivos	38
Objetivo General	38

Objetivos Específicos	38
Justificación	39
Marco metodológico. ¿Cómo se realizó este libro?	40
Tipo de estudio que rige la realización de este libro	40
Tipos de documentos revisados: clasificación, tiempos de realización y de búsqueda de la información	41
Esquema general (pedagógico) base para el desarrollo del libro	44
PRINCIPIOS BÁSICOS APLICADOS A LA BIOMECÁNICA DEL MOVIMIENTO CORPORAL HUMANO	48
Sistemas de referencia: planos y ejes corporales, tipos de movimientos realizados por el cuerpo humano	50
Planos anatómicos	53
Ejes anatómicos de movimiento	56
Movimientos realizados por el cuerpo humano	58
Tipos de movimiento según la trayectoria: de traslación, rotación, y mixtos	59
Descriptores anatómicos de movimiento	61
Movimientos registrados por cada plano y por cada eje	62
Unidades de medida según el sistema métrico internacional (SI) factores de conversión y tabla de múltiplos y submúltiplos de la unidad	65
Términos clave	66
El Sistema Métrico Internacional (SI)	67
Unidades de base	67

Unidades suplementarias	67
Unidades derivadas o combinadas	67
Unidades nombradas especialmente	68
Unidades estándar nombradas por los científicos	71
Conversión de otras unidades de medida al SI	74
PRINCIPIOS FÍSICOS APLICADOS AL ANÁLISIS DEL MOVIMIENTO CORPORAL HUMANO	76
Concepto de cinética, cinemática y dinámica	77
Algo de historia acerca de la cinemática	79
Elementos básicos de la cinemática	80
Historia de la dinámica	82
Ley de la conservación	83
Inercia y masa inercial	83
Trabajo y energía	84
Fuerza y potencia	84
Concepto de fuerza	84
Algo de historia: origen del concepto de fuerza	88
Fuerzas de contacto y fuerzas a distancia	89
Magnitudes físicas escalares y vectoriales	90
Definición de vector: ¿qué es?, ¿para qué sirve?	92
Operaciones matemáticas con vectores	94
Sumatoria de vectores: método gráfico (o del paralelogramo)	95

Sumatoria de vectores: métodos matemáticos	100
Sumatoria de vectores: método de los componentes (o de seno y coseno)	100
Sumatoria de vectores: método aritmético	105
Sumatoria de vectores: método del teorema de Pitágoras	108
Resolución de sumatoria de vectores: combinación de métodos matemáticos (componentes, aritmético y teorema de Pitágoras)	110
Cinemática lineal: movimiento rectilíneo uniforme (MRU), movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV), movimiento parabólico y movimiento semiparabólico	115
Movimiento rectilíneo uniforme (MRU)	117
Movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV)	121
Movimiento semiparabólico (MSP) y movimiento parabólico (MP)	121
Cinemática rotacional: movimiento circular uniforme, torques, momentos de fuerza	125
Conceptos básicos a tener en cuenta para el MCU	127
Fórmulas que explican el MCU	128
Torque o momento de fuerza	129
Dinámica: leyes de Newton y diagramas de cuerpo libre	131
Primera ley de Newton: inercia	131
Segunda ley de Newton: ley de la fuerza o ley de la dinámica	133
Tercera ley de Newton: ley de la acción y la reacción	135

El peso definitivo desde la fuerza de gravedad	136
Aplicaciones gráficas de las leyes de newton: diagrama de cuerpo libre	137
Dinámica newtoniana: trabajo y energía	140
Concepto de trabajo (realizado por una fuerza)	140
Concepto de energía: tipos de energía (desde la mecánica y la dinámica)	142
Teorema de trabajo y energía	148
Otros elementos desde la física mecánica: centro de gravedad y centro de masa	149
Centro de gravedad	150
Centro de masa	152
Cálculo del centro de gravedad a través del método clúster (o método segmentario)	153
Determinación del centro de masa mediante el método convencional	156
Palanca: concepto y clasificación	157
Algo de historia	157
Fuerzas actuantes en una palanca	158
Leyes físicas de la palanca	159
Tipos de palanca	160
Palancas en el cuerpo humano	162
BIOMECÁNICA DE TEJIDOS CONECTIVOS (BIOMECÁNICA TISULAR)	165

Conceptos básicos relacionados con la biomecánica de tejidos	167
Propiedades biofísicas de los tejidos conectivos	167
Elastancia	167
Capacitancia	169
Contractilidad	170
Viscoelasticidad	171
Anisotropía	174
Bifascicidad	175
Tipos de carga a los que se somete un tejido conectivo: cargas compresivas, tensiles y cizallantes	177
Solicitud normal y de cizalla	178
Deformación normal y de cizalla	179
Deformaciones elásticas y plásticas	180
Componentes microestructurales de los tejidos conectivos: tejido óseo, tejido tendinoso y ligamentario, tejido muscular y cartílago articular	181
HERRAMIENTAS TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS DE MOVIMIENTO	189
Fotograma y videograma: definición y técnicas para su realización	191
Videograma: ¿qué es?, ¿cómo se hace?	191
Algo de historia	192
¿Cómo se hace un videograma?	192
Fotograma ¿qué es?, ¿cómo se hace?	193

Algo de historia	194
¿Cómo se hace un fotograma?	195
Ejemplo de videograma y fotograma	195
ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE GESTOS DEPORTIVOS – ABORDAJE PRÁCTICO	199
Criterios biomecánicos aplicados al análisis de gestos deportivos	201
Ubicación de las fotografías del gesto deportivo a analizar y medición de rangos de movilidad articular	202
Determinación y sumatoria de vectores de acción muscular en el gesto deportivo analizado	204
Determinación del centro de gravedad en el fotograma escogido para el análisis	207
Relación de las leyes de Newton con el gesto deportivo analizado	209
Relación de los conceptos de trabajo y energía con el gesto deportivo analizado	210
Relación de los tejidos conectivos con el gesto deportivo analizado	212
Análisis de palancas en un gesto deportivo de movimiento	213
REFERENCIAS	214
LIBRO DE TRABAJO	217

Agradecimientos

Este libro se originó a partir de la interacción que he mantenido con los estudiantes de la Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación de la Universidad Santo Tomás, en donde se ha tenido en cuenta el intercambio de diversas literaturas relacionadas con las temáticas que se abordan en esta publicación. Temas como planos y ejes corporales, unidades de medida, magnitudes vectoriales y escalares, sumatoria de vectores, palancas, centro de gravedad, centro de masa, trabajo y energía, entre otros, que pretenden dar respuesta a la pregunta ¿cómo nos movemos?, en este caso haciendo énfasis en el desarrollo del movimiento durante la ejecución de praxias de gestos deportivos. La información intercambiada generó un archivo base a partir del cual surgió la idea y el material inicial que dio origen a este texto. La intención es que la recopilación de la información que aquí se hace, constituya un texto guía para los estudiantes.

De esta forma, agradezco en primer lugar, a los estudiantes de la Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación, quienes han estado en las aulas de clase intercambiando información relacionada con los criterios que se han tenido en cuenta hasta el momento: análisis de movimientos dentro de la concepción del “análisis de cadenas cinéticas” o el “análisis de los gesto deportivos”. También quiero agradecer a mis compañeros docentes de la Facultad, quienes han compartido el mismo espacio de trabajo y la misma formación pregradual. Así como a la docente fisioterapeuta Adriana Campos Rodríguez, quien me ha enseñado a ser una persona crítica y analítica con toda la información manejada en las aulas de clase y fuera de ella. Mis agradecimientos van también a mi compañera y docente fisioterapeuta Yohanna Montenegro, quien ha sido una de las principales fuentes de inspiración intelectual y espiritual en mi vida. Asimismo al fisioterapeuta Julián Cuervo Pulido, quien me ha acompañado en este proceso aconsejándome sobre la forma y fondo de esta publicación. A la fisioterapeuta Laura Castro, compañera y docente de la misma Facultad, quien también me ha orientado con opiniones e ideas involucradas en la creación de este libro guía. Agradezco también a los docentes, fisioterapeutas y compañeros de la Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación, Yenny Paola Argüello, Isabel Adriana Sánchez y Pablo Sergio Molina, quienes han realizado aportes a esta propuesta.

Especiales agradecimientos al doctor Jesús Astolfo Romero, decano de la Facultad de Cultura Física, Deporte y Recreación de la Universidad Santo Tomás, quien me ha alentado y me ha dado el tiempo necesario para generar esta publicación, además de haberme dado la oportunidad de ingresar al programa. Finalmente, doy el agradecimiento más importante de todos, a Dios, ya que sin Él, no existiría nada ni nadie, somos y hacemos gracias a su voluntad divina.

Introducción

Teniendo en cuenta que gran parte de la presente obra corresponde a objetivos pedagógicos concretos, resulta útil comenzar este texto hablando del concepto de biomecánica, término que ha sido punto de partida para el estudio del movimiento corporal y que encierra varios campos del conocimiento considerados como herramientas que definen y delimitan el campo de acción de la biomecánica. Dichos campos de conocimiento relativos y delimitantes de la biomecánica son: la anatomía, que tiene en cuenta todos aquellos conceptos relativos a la forma/estructura de los seres vivos y con mayor énfasis en la forma y estructura humana; la fisiología, que trata del estudio de la naturaleza humana y a su vez determina que dicha naturaleza radica en el funcionamiento de los distintos componentes del cuerpo: la física, que de manera más cercana y concreta refiere a la física mecánica, con sus ramas de la dinámica y la cinemática; entre otras.

De todas las ciencias básicas que se han nombrado anteriormente, la física, definida por Aristóteles como “la naturaleza de las cosas” es aquel cuerpo de conocimientos cuyo objeto de estudio es el de describir todos los fenómenos naturales, incluida la naturaleza desde el punto de vista de la biología y la química, es por eso que, la meta principal de la física es la de describir y comprender las leyes básicas de la naturaleza, las cuales obedecen a su vez a todos los fenómenos que ocurren en ella, haciendo explicaciones de estos fenómenos desde su interacción causa–efecto y teniendo en cuenta representaciones matemáticas como tal (a través del uso de gráficos matemáticos que utilizan planos, ejes y vectores, entre otros). Desde el punto de vista del análisis del movimiento, las diversas disciplinas que lo han estudiado buscan una “verdad única” acerca del mundo físico para la búsqueda y aplicación de leyes físicas, a través de explicaciones cada vez más simples e integradas, reafirmandolas en el cuerpo de conocimientos de la física.

Las bases de la biología (que abarca por sí misma la naturaleza de los seres vivos) es explicada en parte por la física y la química, y estas tres áreas de conocimiento a su vez son el fundamento básico de la fisiología y de la anatomía, que a su vez son la base de la biomecánica. Pero se puede afirmar

que todos estos cuerpos de conocimiento parten de la física. Es por esta razón que la primera parte de este libro tendrá en cuenta el desarrollo básico y aplicado de varios conceptos que desde la física ayudan a entender cómo nos movemos.

Del área de conocimiento de la física general, los conceptos y aplicaciones que son base para el análisis de movimiento dentro de la biomecánica, tienen asiento en la física mecánica, esta se define como el campo de estudio que describe el movimiento de los cuerpos y su evolución en el tiempo bajo la acción de diversas fuerzas. En particular, la física mecánica se subdivide en la cinemática, la cual se ocupa del movimiento de los cuerpos sin considerar las causas que lo originan y la dinámica, que describe el movimiento, esta vez teniendo en cuenta las causas que lo originan. Una tercera rama de la física mecánica es la estática, que estudia las condiciones de equilibrio de un cuerpo. El lector encontrará diversos elementos explicados en su forma básica y aplicada en las tres partes que conforman este libro, contempladas para el análisis de movimiento corporal en el desarrollo de gestos deportivos concretos.

De igual forma, parte de la biología y de la fisiología se verán reflejadas en su aplicación en este libro a través del desarrollo de la temática de biomecánica de tejidos (como el tejido muscular esquelético, el tejido tendinoso y ligamentario, el tejido óseo y el cartílago articular), a partir de la descripción de la composición y morfología de los mismos y su capacidad de respuesta ante los diversos tipos de carga (que serán también explicados en este libro) y que se pueden presentar en la ejecución de cualquier tipo de movimiento corporal.

Para la comprensión de los temas tratados en este libro, es necesario tener un conocimiento de los conceptos básicos y fundamentales de la mecánica y la biología; sin embargo, la descripción y aplicación de dichos conocimientos para y en el análisis del movimiento corporal humano se hará no solo de forma magistral sino también de manera aplicada a los conceptos que este libro guía trae consigo, además el abordaje de las temáticas se desarrollarán con la compañía del material de trabajo que el estudiante puede consolidar tanto en forma autónoma como en forma dirigida en el desarrollo de las clases.

Uno de los conceptos teóricos que dan sustento al inicio de este libro guía es el de física, que por definición es una palabra que proviene del griego y que significa “naturaleza”, así pues, la física involucra el estudio de la

naturaleza de los eventos que suceden en nuestro entorno y que incluyen algunos procesos que en la actualidad se estudian desde la biología. Este concepto amplio de la física se mantuvo hasta principios del siglo XIX y por ello se le denominaba como la “filosofía natural”, sin embargo, desde este momento, la física estuvo restringida al estudio de un número limitado de fenómenos físicos que se definieron en su momento y en el que la naturaleza del fenómeno (por lo menos la naturaleza física) no cambiaba. Esta versión que los griegos habían denominado afortunadamente está cambiando y en la actualidad, se habla de otros conceptos más amplios y relacionados con otras ciencias como: biofísica, fisicoquímica, física médica; términos que están apareciendo y están desarrollándose. La meta principal de la física es la de descubrir y comprender las leyes básicas de la naturaleza, las cuales obedecen todos los fenómenos que ocurren en ella. Es decir, la física trata de explicar los fenómenos naturales explicados a partir de una relación causa–efecto con una representación matemática específica.

Los científicos buscan la verdad acerca de los fenómenos físicos que suceden en nuestro entorno e inclusive en nuestros propios cuerpos, pero esta búsqueda de leyes y explicaciones cada vez más simples e integradas se constituyen como un tipo de mentalidad básica utilizada mucho por la física pero a veces es muy olvidada por otros campos de la ciencia como la biología, la química, la fisiología y otras ciencias básicas afines. Algunas de las bases de la química actual se encuentran en la física moderna para explicar procesos y reacciones químicas. Lo mismo se puede decir de otros campos de estudio como las ciencias del movimiento y ciencias de la salud. En definitiva, todas las disciplinas científicas y las ingenierías tienen alguna o gran parte de su base en la Física.

Asimismo, la física es muy importante para sentar precedente o dar bases en los procesos específicos de medición concreta y precisa de muchos de los mismos fenómenos que esta misma ciencia estudia. Es así que, desde la física se pueden encontrar determinados sistemas de medición, que han establecido los estándares de medición de variados fenómenos físicos, incluyendo los relacionados con el movimiento. De igual forma, es relativamente frecuente encontrar libros de biofísica que en realidad son libros con base en la física, con ejemplos aplicados a la biología o a la termodinámica de organismos de seres vivos, incluyendo obviamente al cuerpo humano.

De igual manera, como la química y la biología están relacionados con la física y que mancomunadamente se esfuerzan para explicarnos cómo nos movemos, existe otro término bastante relacionado con el de la física

que también pretende explicar la sucesión de los eventos que se presentan específicamente en el cuerpo humano o en el organismo de los seres vivos, se trata entonces de la fisiología, representada en las funciones de los seres vivos (como comen, respiran, se mueven y de lo que hacen para mantenerse vivos y en equilibrio –homeostasis). Más técnicamente, la fisiología trata sobre la explicación de todos los procesos que suceden en un organismo vivo, como los procesos de respiración, circulación, transporte, excreción y movimiento, entre otros fenómenos.

El problema de muchos de los libros que explican la naturaleza de los seres vivos es que los procesos se explican desde la forma en cómo suceden, mas no dicen desde la base más simple cómo es que estos fenómenos se dan a partir de las reacciones químicas o a partir de una explicación más concreta desde la física y más específicamente desde la mecánica. La mecánica (palabra que proviene del griego, y que significa “herramienta”), es una rama particular de la física y trata sobre la influencia de las fuerzas (incluyendo situaciones de equilibrio estático de un cuerpo en donde la sumatoria de fuerzas que actúan sobre dicho cuerpo es igual a cero) en el movimiento de los cuerpos y de la descripción de dicho movimiento. La mecánica como área de conocimiento es bastante amplia e incluye desde la termodinámica y la física estadística hasta la mecánica de fluidos (hidrodinámica). Gran parte de la temática desarrollada en este libro guía se desarrolla a partir de este concepto involucrado específicamente a partir del concepto de biomecánica con la intención de mostrar las bases para el análisis de movimiento y así poder responder a la pregunta que nos hemos planteado anteriormente: ¿cómo nos movemos?

La biomecánica estudia el movimiento de los seres vivos desde una tendencia apoyada en la mecánica (física mecánica), que busca relaciones entre magnitudes y explicaciones de comportamientos y observaciones. Dentro de la mecánica también se incluye todo lo relacionado con fluidos y la termodinámica.

Para la comprensión de los temas tratados en este libro, es necesario un conocimiento básico de los conceptos que desde la física mecánica se tratan y que serán descritos en la primera sección. También se requerirán conceptos básicos de fisiología y de anatomía, los cuales el estudiante previamente ya ha repasado o ha visto en otros espacios académicos y que en este libro, se mostrarán relacionados al concepto y al objetivo de analizar gestos de movimiento. Sin embargo, todo el libro se basa en el área de conocimiento de la biomecánica.

Definición e historia de la biomecánica

Es preciso que en este apartado del libro se tenga en cuenta los términos respecto al análisis de movimiento corporal. El primero de ellos es el término de biomecánica, que se define más exactamente como el área de conocimiento interdisciplinaria que estudia los modelos, fenómenos y leyes que sean relevantes para la explicación del movimiento (incluyendo situaciones de equilibrio estático de los cuerpos). Es una disciplina científica que tiene por objeto el estudio de las estructuras de carácter mecánico que existen en los seres vivos, fundamentalmente del cuerpo humano. Esta área de conocimiento se apoya en diversas ciencias biomédicas, utilizando los conocimientos de la mecánica, la ingeniería, la anatomía, la fisiología y otras disciplinas, para estudiar el comportamiento del cuerpo humano y resolver los problemas derivados de las diversas condiciones a las que puede verse sometido (Izquierdo, 2008; Aguado, 1993). Así las cosas, se puede afirmar que la biomecánica:

- Estudia las fuerzas y aceleraciones que actúan sobre los organismos vivos. Está relacionada íntimamente con su forma de manera que se puede hablar de una morfología funcional.
- Es un conjunto de conocimientos interdisciplinarios generados a partir de utilizar, con el apoyo de otras ciencias biomédicas, los conocimientos de la mecánica y distintas tecnologías (Aguado, 1993; Gutiérrez, 2005).
- Estudia el comportamiento de los sistemas biológicos y en particular del cuerpo humano.
- Resuelve los problemas que le provocan las distintas condiciones a las que pueden verse sometido los sistemas biológicos.
- Aplica principios mecánicos a los cuerpos humanos y animales en movimiento y en reposo esto es un intento por combinar la ingeniería con la anatomía y la fisiología (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2015).

Además, la biomecánica se ha desarrollado principalmente en tres áreas:

- Área médica, en la que analiza las patologías que aquejan al cuerpo humano cuyo fin consiste en establecer soluciones capaces de resolver dichas patologías.

- Área deportiva, en la que analiza la práctica deportiva para lograr un mejor rendimiento, de igual modo desarrolla técnicas de entrenamiento capaces de imitar a otros organismos que en la naturaleza son superiores al hombre y así poder crear nuevos materiales para que tanto uniformes como equipos sean el sustento para romper nuevos records.
- Área ocupacional, en la que analiza la relación mecánica que el cuerpo humano sostiene con los elementos con que interactúa en distintos ambientes, por ejemplo el laboral, el educativo, el doméstico y el de descanso; con el único fin de adaptarlo a sus necesidades y capacidades para lograr una vida mejor.
- Área aplicada a la rehabilitación, la cual estudia aquellos ejercicios que tienen carácter rehabilitador, teniendo en cuenta la dirección de las fuerzas así como los momentos de movimiento generados en torno a las articulaciones (Muñoz, 2007; Izquierdo, 2008; López, 2014).

Las posibilidades que la biomecánica ofrece al plantear y resolver problemas relacionados con la mejora de la salud y de la calidad de vida, la han consolidado como un campo de conocimientos en continua expansión capaz de aportar soluciones de índole científica y tecnológica. De igual forma, según Aguilar (2010), la biomecánica se define como la disciplina que estudia los modelos, fenómenos y leyes que sean relevantes en el movimiento de un ser vivo. Para estudiar el movimiento corporal humano hay que tener en cuenta tres aspectos, a saber:

- El control del movimiento está relacionado no solo con el aspecto mecánico sino también con el aspecto psicológico y neurofisiológico; que apenas serán mencionados en este libro.
- La estructura del cuerpo que se mueve, y que para el caso de nuestro cuerpo consta de una estructura compleja que conforma variadas cadenas cinéticas conformadas por músculos, huesos, articulaciones, ligamentos y tendones y a su vez conformados por células de tejido conectivo. Esta es la parte de la anatomía, fisiología y biología de tejidos y de órganos—sistemas que se abordan en el contenido de este libro pero concretamente en el apartado de biología de tejidos.
- Las fuerzas (tanto internas como externas) que producen el movimiento de acuerdo con los preceptos provenientes de la física mecánica, aspectos que se tratarán con mucha profundidad en este libro, y que el estudiante podrá también desarrollar a partir de la lectura del libro de trabajo de los autores Izquierdo (2008), López (2014) y Gutiérrez (2015).

Los dos últimos aspectos permiten el estudio de los movimientos de los seres vivos desde un punto de vista fundamentalmente morfofisiológico o estructural. Así pues, los movimientos se deducen sobre todo desde la estructura o la función básica de cada sistema en movimiento (esqueleto, articulaciones, tendones, músculos, etc.), aplicando tanto las leyes o preceptos que provienen de la fisiología como desde la física mecánica. La unión de los conceptos morfofisiológicos con los conceptos físicos en el análisis del movimiento se conoce no solo como biomecánica sino también como kinesiología (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2015).

En el término Biomecánica coexisten dos elementos: el biológico y el mecánico, aspectos que se encuentran en la mayoría de las definiciones de esta palabra. De esta manera, se han acuñado muchos términos para definir esta área como biocinemática, biodinámica, bioestática, biomateriales o biofluidos. Debido a la proliferación de estas denominaciones y a la imprecisión establecida por las pobres fronteras temáticas entre los anteriores conceptos, es una práctica frecuente utilizarlos de forma imprecisa y generalizada. Sin embargo, el término de biomecánica empleado en este libro tendrá en cuenta el análisis de movimiento corporal desde una tendencia biofísica y mecánica, a partir de los conceptos ya antes explicados. Así mismo, todos los conceptos que se han mencionado hasta el momento se enfocarán y se relacionarán, dentro del análisis de movimiento corporal, al análisis concreto de gestos deportivos de movimiento (López, 2014; Muñoz, 2007).

El estudio del movimiento corporal se puede abarcar desde muchos puntos de vista: psicológico, filosófico, sociológico, biológico, físico y anatómico. Tradicionalmente el estudio concerniente a las bases biofísicas y biológicas del movimiento corporal humano se conoce como kinesiología, área de estudio que es ampliamente abordada por profesionales del área de la salud y de las ciencias del deporte. Sin embargo, esta área de conocimiento no solo se ciñe a estos profesionales sino que también se relaciona con otros tantos desde las áreas de estudio en las que se basa la biomecánica y la kinesiología, como los profesionales en ingenierías y en medicina. El conocimiento obtenido del estudio de esta área de conocimiento puede ser de un gran aporte para los profesionales en ciencias del deporte, pues orienta la optimización del rendimiento humano en la realización de gestos deportivos y también ayuda a prevenir lesiones relacionadas con una práctica deportiva mecánicamente no correcta (Izquierdo, 2008; Muñoz, 2007).

Una de las ramas de mayor importancia de la biomecánica es la rama deportiva, la cual tiene como objetivo básico realizar análisis de movimiento

a partir del uso de diferentes principios físicos, mecánicos, anatómicos y fisiológicos para comprender cómo nos movemos, en el contexto de entender cómo se desarrolla una praxia deportiva. La tabla 1 muestra las relaciones de esta rama importante de la biomecánica con tres elementos básicos de interacción: con el deportista, con el medio ambiente y con los materiales deportivos

Evolución histórica de la biomecánica

La historia de la biomecánica como área del conocimiento que se encarga de dar respuesta a la pregunta de ¿cómo nos movemos?, inicia en el último siglo y medio, dando aportes concretos y específicos a una de las ramas de mayor importancia de la biomecánica (rama de la biomecánica deportiva), el cual ha tenido una progresión en las últimas tres décadas. Gran parte de lo que ha sido el desarrollo y la evolución de este término ha estado encadenado al desarrollo y la evolución científica de las áreas de conocimiento que le dan soporte. Las etapas de desarrollo histórico de la biomecánica serán divididas en forma arbitraria por periodos, en los cuales se han denotado grandes cambios o evoluciones de la misma. Los periodos a describir son los siguientes:

- Antigüedad (600–250 a.C.)
- Edad Media (200–1450)
- Renacimiento (1450–1600)
- Revolución Científica (1600–1730)
- Ilustración (1730–1800)
- Siglo de la mancha (1800–1900)
- Siglo xx (1900) (Izquierdo, 2008; Halton, 1993).

Tabla 1. Relaciones entre la rama de la biomecánica deportiva con el deportista, su medio ambiente y los materiales usados para la realización del gesto deportivo

En relación con el deportista	En relación con el medio	En relación con el material deportivo
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Describir las técnicas deportivas. ▶ Ofrecer nuevos aparatos de medida y registro. ▶ Identificar defectos en el desarrollo de las técnicas y ayudar a corregirlos. ▶ Evitar las lesiones aconsejando en cómo ejecutar las mismas en forma segura. ▶ Proponer desarrollo e implementación de técnicas más eficaces y eficientes. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Minimizar las fuerzas externas que ofrecen resistencia al desarrollo de la praxia deportiva. ▶ Optimizar la ayuda ofrecida por los dispositivos externos que el deportista use en el desarrollo del gesto deportivo. ▶ Estudiar todas las fuerzas que están en el medio ambiente que pueden influir positiva o negativamente en el desarrollo del gesto deportivo. ▶ Definir la eficacia del gesto deportivo realizado por el deportista, en función de las fuerzas que están actuando desde el medio ambiente sobre el cuerpo del deportista. ▶ Establecer la relación que puede haber entre las lesiones desarrolladas por el deportista y las fuerzas externas que influyen sobre su cuerpo en el momento en el que ejecuta el gesto deportivo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Reducir el peso de los materiales que se utilizan en los dispositivos deportivos, sin ir en detrimento del desarrollo del gesto deportivo. ▶ Mejorar las cualidades físicas del material en pro de una buena ejecución del gesto deportivo. ▶ Aumentar la durabilidad del material. ▶ Hacer materiales más seguros. ▶ Conseguir materiales que vayan en pro de la eficacia y de la eficiencia del deportista en la ejecución de su gesto deportivo.

Fuente: tomado y modificado de Izquierdo (2008).

Antigüedad

Históricamente, el inicio de la Antigüedad se podría situar en el mundo de los griegos, quienes fueron capaces de desarrollar los elementos de las ciencias básicas que le dan soporte a la biomecánica, como las matemáticas, la mecánica, la física y la medicina. Otras ciencias básicas tuvieron también desarrollo en esta misma etapa así no se relacionen con la biomecánica como la geografía y la astronomía. Los personajes de esta época de evolución histórica que se destacan son los siguientes:

Pitágoras (580–495 a.C.)

Nació en un periodo emergente de la filosofía. Fue uno de los primeros pensadores de la época que afirmaba que todas las cosas tenían una forma y que al mismo tiempo dichas formas podían definirse en números. De este precepto inicial, surge el teorema que lleva su mismo nombre y que es: $a^2 + b^2 = c^2$. El cual posteriormente es base para el procesos de sumatoria de vectores, que se explicará más adelante (Izquierdo, 2008; López, 2014).

Hipócrates (460–370 a.C.)

Basó sus observaciones en percepciones sensoriales. Estableció el principio de causalidad que decía que el azar no existe y que cada cosa que ocurre es por una razón concreta, razones que podían ser objeto de estudio de ciencias como la filosofía o la física (Gutiérrez, 2005; Izquierdo, 2008).

Platón (427–347 a.C.)

Creía que el mundo de los sentidos era una sombra ilusoria de la realidad. Él decía “las ideas son la única realidad y el conocimiento de la verdad no puede conocerse sino a través del estudio de la naturaleza de las cosas (...) la búsqueda de la verdad requiere contemplación y no acción”. Es importante destacar que este autor enfatiza en una de las herramientas que hoy por hoy son bastantes útiles en la realización de los análisis de movimiento, tal como lo son la observación y la contemplación de los fenómenos de movimiento relacionados con la ejecución de praxias deportivas (Izquierdo, 2008; Aguado, 2001).

Aristóteles (384–322 a.C.)

Estudió en Atenas y pasó varios años en la Academia como discípulo de Platón. Su curiosidad intelectual lo llevó a cuestionarse al respecto de la filosofía platónica. Pensaba que el propósito máximo de la ciencia era explicar la naturaleza y que las matemáticas proporcionaban un buen modelo para una ciencia bien organizada. Al contrario de lo que pensaba su maestro Platón, Aristóteles pensaba que los sentidos revelaban la verdad y que las ideas eran meras abstracciones hacia conceptos mentales. Pensaba que la abstracción era superior a la acción mecánica y por tanto sus métodos de observación no incluían ni la experimentación ni la observación. Para él los movimientos naturales como la caída libre, eran en una sola dimensión y se representaban a través de una línea recta. Él pensaba que todo lo que se movía bajo el influjo de las leyes físicas en la superficie terrestre tenía un proponente, es decir, todo lo que se movía, era a su vez movido por otra cosa. El motor responsable de dicho movimiento se debía encontrar dentro del móvil o estar en contacto con él. La acción a distancia para Aristóteles era inconcebible. Para este mismo, el centro de la inteligencia era el corazón y el movimiento generado por la acción muscular se debía a que la respiración pasaba por todo el cuerpo para recibir la fuerza impulsadora del corazón, quien luego impulsaba a la acción muscular (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2010; Halton, 1993).

Su tratado acerca del movimiento de los animales, basado en la observación y contemplación de dicho fenómeno, describía el movimiento corporal y la locomoción. Este pensamiento proporcionaba el primer análisis científico realizado sobre la marcha, así como el primer análisis geométrico sobre la acción muscular. Comparaciones mecánicas mostraban un profundo conocimiento acerca de la acción de huesos y músculos durante la ejecución de la marcha y explicaba en este tratado a las fuerzas de reacción de la siguiente forma: “justo cuando el impulsador empuja, el empujador es impulsado” (Izquierdo, 2008).

Herófilo (335–280 a.C.)

Dio bases a lo que hoy en día se conoce como la anatomía moderna. Fue la persona que dio el primer paso hacia las técnicas de disección identificando de esta forma numerosos órganos. Fue el primero en distinguir entre tendones y nervios, atribuyéndole la sensibilidad a estos últimos. También estableció las diferencias macroscópicas entre arterias y venas, estableciendo que las

arterias son seis veces más gruesas que las venas. Igualmente descubrió a partir de sus disecciones que estos vasos sanguíneos contenían sangre y no aire como se pensaba antes de Aristóteles. No obstante rechazó la teoría que afirmaba que la inteligencia residía en el corazón; atribuyéndosela al cerebro. Finalmente desarrolló varios trabajos que dieron origen a la teoría hoy confirmada del músculo como tejido contráctil (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

Arquímedes (287–212 a.C.)

Su fama se debió a sus inventos, que incluían armas mecánicas como las catapultas, ingeniosos ganchos y espejos cóncavos para asaltar y quemar a los merodeadores barcos romanos. Usando sus palancas y poleas compuestas, llegó a afirmar que sería capaz de mover el peso del mundo si se le daba un punto de apoyo. Fue uno de los primeros pensadores de la época quien habló del concepto de centro de gravedad, e indicó cómo calcularlo para algunas figuras geométricas como en un paralelogramo, en un trapecio y en una hipérbola. El movimiento era una de los objetos de estudio más importantes para Arquímedes desde el punto de vista de cómo mover el peso del cuerpo a través de una fuerza realizada sobre el mismo. Arquímedes es considerado como uno de los padres de la mecánica, porque estableció principios básicos de la hidrodinámica y de la hidrostática que prevalecieron hasta que Galileo Galilei los retomara (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

Galeno (129–201 d.C.)

Aunque se desempeñó concretamente como médico, su formación, en física reconocida por el colegio de gladiadores, se puede desconocer. Llegó a ser el primer “físico deportivo” y “médico de equipo” de la historia. Durante cuatro años de sus prácticas como médico, realizó acciones tendientes a la medicina deportiva, y la nutrición deportiva de los cuales obtuvo substanciales conocimientos del cuerpo humano y de su movimiento. Pensaba que la naturaleza colocaba cada cosa de acuerdo con una función única y distinta para cada órgano, pero con el alma dominando al cuerpo. Su manuscrito *De usu partium* llegó a constituirse como el único texto incontestable durante 1300 años. Enfatiza en la importancia del conocimiento de la estructura y de la función para establecer alternativas de intervención y el diagnóstico. *De*

motu musculorum, encarna la pasión de Galeno por los mecanismos que en el cuerpo humano eran los responsables del movimiento corporal; él creía que el músculo como órgano contenía agrupaciones de redes nerviosas que provenían de un misterioso *spiritus animalis* desde el cerebro hasta el músculo que estimulaba el movimiento. Distinguió entre el músculo agonista y antagonista y entre el nervio motor y el nervio sensorial (Izquierdo, 2008; López, 2014).

Obsesionado con la importancia de las matemáticas en el arte de explicar muchos de los procesos de la naturaleza humana, elevó la medicina al rango de ciencia exacta. Como anatomista, la descripción de los músculos y nervios que realizó, más la correlación con las secciones medulares y la descripción de los pares craneales y espinales, se consideran de las más brillantes de la época.

Edad Media

Durante este periodo, el desarrollo de la espiritualidad y de las tendencias religiosas aumentó siendo su aporte casi nulo a la ciencia. La contribución de la Edad Media al desarrollo de la biomecánica es mínima. En general, el desarrollo científico fue rechazado en este periodo y consecuentemente el interés creado previamente en áreas concretas de conocimiento como la física, la fisiología, la anatomía y la biomecánica, estuvieron en pausa por más de 1200 años. Sin embargo, se encuentran ilustraciones, representaciones y dibujos del movimiento corporal en el arte griego y romano y serían los artistas antes que los científicos quienes posteriormente reavivarían el estudio del movimiento humano (López, 2014; Muñoz, 2007).

Renacimiento

Este periodo que avanzó rápidamente desde el año 1450 hasta el saqueo de Roma en 1527, se caracterizó por la libertad de pensamiento que posibilitó el resurgimiento de la filosofía antigua griega, así como el arte y la literatura. Se establece en esta etapa al hombre como el centro y la medida estándar de todas las cosas. En esta época también surgieron personajes muy importantes con aportes igualmente muy valiosos a las ciencias, como: Leonardo Da Vinci, Miguel Ángel y Maquiavelo (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

Leonardo Da Vinci (1452–1519)

Se le conoció como artista pese a que tenía formación como ingeniero civil y militar. Entre algunas de sus creaciones cuentan: acueductos, fortificaciones, aparatos de destilación, esquíes acuáticos, un helicóptero, un tanque, un paracaídas, un cañón de vapor y un ala delta. Da Vinci contribuyó sustancialmente a la mecánica en este entonces. Entre sus mayores avances se registran: 1) la descripción del paralelogramo de fuerzas, componiendo y descomponiendo fuerzas, 2) estudio la fuerza de fricción o de rozamiento, y cuestionó la relación que Aristóteles había establecido entre fuerza, peso y velocidad en la caída libre, 3) dio inicios de la tercera ley de Newton al explicar el concepto de la misma en su análisis del vuelo de los pájaros afirmando que un objeto ejerce tanta resistencia al aire como el aire lo realiza sobre el objeto. Sin embargo, la mecánica de Da Vinci no obedece a conceptos físicos modernos como el de la inercia, aceleración o masa en comparación con el peso. También fue capaz de realizar representaciones de cada uno de los músculos por aparte, representándolos como hilos y determinando el origen y la inserción de los mismos, más la función en cuanto a movimientos ejecutados por cada uno de estos. También esquematizó la acción mecánica y la representó en sus dibujos con fuerzas actuando a lo largo de los filamentos musculares (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

Vesalio (1514–1564)

En su obra *De humani corporis fábrica* revolucionó la anatomía humana. Este físico había declarado con descaro que la anatomía humana podría aprenderse únicamente a partir de la disección y observación del cuerpo humano, cambiando así la filosofía galena que influyó durante 1300 años. Demostró que el músculo se acortaba y se hacía más grueso durante la contracción. Atribuyó la contracción a propiedades del músculo, ya que este se contrae cuando es cortado en los extremos. Pensaba igualmente que el músculo estaba compuesto por sustancias similares o iguales a las que componen los tendones y los ligamentos y que a su vez, está compuesto por bastantes fibras de un material “carnoso”, que reciben extensiones de arterias, venas y nervios. Fue el fundador de la anatomía moderna y a pesar de su crítica hacía la filosofía galénica, adoptó el *Spiritus Animalis* como causa única que explica el proceso de la contracción muscular y portador de la función cerebro espinal del sistema nervioso central (Izquierdo, 2008; López, 2014).

Revolución científica

El ambiente en el cual se desarrolló la revolución científica fue muy similar al que se llevó a cabo en el Renacimiento. Hombres de ciencia eran apoyados por instituciones privadas y públicas como reyes, nobles, familias acomodadas, universidades y hasta el Vaticano en Roma. La libertad intelectual fue altamente respetada y el interés por las nuevas ideas y los nuevos descubrimientos fue sustancial. Además, las sociedades intelectuales comenzaron a emerger estimulando el cambio de ideas, en efecto tuvo lugar un intenso contacto de diferentes científicos de todos los países europeos. En esta etapa del desarrollo histórico y científico se encuentran importantes nombres que generaron valiosos aportes a las ciencias que fundamentan la biomecánica. Algunos de estos son:

Galileo Galilei (1564–1642)

Fue uno de los principales interesados en la doctrina aristotélica. Estudió, desde estos preceptos, el fenómeno de la caída libre de los cuerpos. Alrededor de 1591, había descubierto la imposibilidad de mantener que la velocidad de la caída está en función del peso del objeto (tal como Aristóteles creía). Un año más tarde, Galileo fue nombrado profesor de matemáticas en la Universidad de Padua. Galileo fue más allá del estudio de la materia inorgánica y propuso publicar un tratado sobre el análisis mecánico del movimiento animal denominado *De animalium motibus*, que en su traducción más estricta significa “el movimiento de los animales”. Los temas de Galileo en este tratado fueron: “la biomecánica del salto humano, el análisis de la marcha de los caballos y de los insectos y una determinación de las condiciones que le permiten al cuerpo humano inmóvil flotar”. Analizó igualmente, la resistencia de algunos materiales como vigas o sólidos ante la fractura y la causa de su cohesión que tuvieron aplicación en la dinámica de la estructura del hueso (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

También comparó los efectos del cambio de estructuras de biomateriales. Demostró el incremento de un fémur normal para adaptarse a soportar un peso tres veces superior y de esta experiencia afirmó “que no se puede someter a una estructura biológica a soportar indefinidamente un peso muy superior a su punto límite, tanto en forma artificial como en forma natural”. Estos estudios reconocen a Galileo Galilei como el padre de la biomecánica. Estructuró el camino de la ciencia para años venideros. Así, sus

teorías sobre el movimiento rectilíneo uniforme, movimiento en proyectil (o semiparabólico) y en plano inclinado, más la definición del movimiento lineal, proporcionaron las bases para las tres leyes de Newton.

René Descartes (1596–1650)

Filósofo y físico que se formó bajo la escuela de Galileo Galilei. Se reconoce por ser el creador del principal sistema de coordenadas cartesiano ahora reconocido como uno de los principales sistemas de referencia bajo los cuales se estudia el movimiento corporal. También se dio cuenta de la posibilidad de representar un movimiento en dicho sistema de referencia reuniendo muchos conceptos que provenían de la física de Galileo, pero mezclando conceptos más de índole matemática y biológica.

Giovanny Borelli (1608–1679)

Es uno de los principales investigadores de la mecánica del movimiento humano. Se considera otro de los padres de la biomecánica moderna, al describir todo su conocimiento sobre la mecánica del movimiento en el tratado “De motus animalium”, describiendo movimientos en praxias simples y complejas como caminar, saltar, correr y nadar, analizando criterios básicos de comportamiento de huesos, articulaciones y de músculos. Fue uno de los primeros en describir la acción de los músculos sobre los huesos y sobre los tendones como una acción de una palanca. Intuyó la acción de las fuerzas en el cuerpo humano en reposo y complementó los conceptos de centro de gravedad y centro de masa (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

Isaac Newton (1642–1727)

Principal autor y descubridor de la ley de la gravitación universal. Concluyó muchos aspectos que si bien habían sido tratados por otros físicos y científicos que le precedían él los reunió y dedujo de una forma más personal, complementando así el cuerpo de conocimientos que componen la física mecánica actual. Fue el creador de las leyes de Newton que hoy en día explican el movimiento en la física mecánica desde la concepción de la dinámica (López, 2014; Gutiérrez, 2015).

La Ilustración

En esta etapa, la antigua filosofía natural quedó atrás y fue sustituida por una nueva mecánica general, desarrollándose a la vez un nuevo grupo de científicos: los filósofos mecánicos. Pero estas épocas suelen venir acompañadas de situaciones en las que algunos de los conceptos no son totalmente comprendidos, lo que requiere de brillantes cerebros para aclarar dichas ideas y obtener resultados más de tendencia experimental.

El concepto de fuerza no estaba claro en ese tiempo y los científicos que la estudiaban no lograban acuerdos en si la materia se movía por fuerzas externas, internas o no se movían gracias a la acción de alguna fuerza. De igual forma, gran parte de las posturas de los mismos científicos estaban muy influenciados por la religión. Algunos de ellos pensaban que sus análisis matemáticos servían para dar respuesta a muchas de las enfermedades que aquejaban a la sociedad (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 2001).

Las leyes de Newton describían el movimiento de masas puntuales y podían aplicarse apropiadamente a cuerpos celestes, pero no podían describir el movimiento de cuerpos rígidos, el movimiento de fluidos o las vibraciones de una cuerda. Para ello, fue necesaria la aparición de matemáticos que dieron soporte a estas cuestiones, entre los más destacados se encuentran:

Leonard Euler (1707–1783)

Considerado uno de los más hábiles, brillantes y productivos matemáticos y científicos de la época del siglo XVIII. Desarrolló teorías matemáticas para describir el movimiento de cuerpos vibrantes, así como la ampliación de las leyes de Newton a cuerpos rígidos y fluidos (ángulos de Euler). Además, estableció las leyes matemáticas para introducir el concepto de conservación de la energía.

James Keill (1674–1719)

Calculó el número de fibras presentes en cada músculo y la cantidad de tensión por fibras que se requiere para levantar un peso dado. Durante esta época se lograron gracias a la integración de estos personajes los siguientes criterios:

- a. El concepto de fuerza se entendió mejor.
- b. Los conceptos de conservación de momento y energía empezaron a desarrollarse.
- c. Tuvo lugar una consolidación matemática de las diferentes leyes mecánicas.
- d. La contracción muscular llegó a ser un evento influenciado por fuerzas eléctricas, bioquímicas y mecánicas.
- e. La relación entre fuerza y movimiento fue muy importante; de aquí surgieron las leyes de la conservación de la energía y el movimiento, que formaban las bases mecánicas de la biomecánica.
- f. Empezaron a estudiarse los biomateriales para crear estructuras (Gutiérrez, 2015; López, 2014).

El siglo de la marcha

El desarrollo de la ciencia en relación con el movimiento humano durante el siglo XIX fue influenciado por tres eventos en la segunda mitad del siglo XVIII:

- a. La novela Emilio de Jean Jacques Rousseau en 1762.
- b. La invención de la máquina de vapor por James Watt en 1777.
- c. La toma de la Bastilla en 1789.

Jean Jacques Rousseau (1712–1778): en su novela Emilio restableció la antigua idea de desarrollar complementariamente cuerpo e intelecto fomentando así una vuelta a la naturaleza y a la actividad física. El invento de la máquina de vapor por James Watt, anunciaba el comienzo de la revolución industrial creando la necesidad de tiempo para el ocio y la recreación. El asalto de la Bastilla, marcaba el comienzo de la revolución francesa y el final del monopolio del ocio, así mismo, los deportes y la actividad física crearon un renovado interés científico por la locomoción humana (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

El siglo XIX se caracterizó por el desarrollo de métodos experimentales e instrumentos para aumentar el conocimiento de cómo nos movemos. El análisis de la marcha humana ocupaba a fisiólogos, ingenieros, matemáticos y aventureros. El estudio de la locomoción empezó más bien como una ciencia observacional, pero al final del siglo XIX la fotografía había revolucionado y

cuantificado el estudio del movimiento humano y animal. Dentro de esta tendencia de análisis utilizando apoyo fotográfico dos de los principales exponentes fueron:

Étienne Jules Marey (1838–1904)

Quien transformó el estudio de la locomoción de una ciencia observacional a una basada en la cuantificación gracias a la cinematografía. Los numerosos inventos de Marey fueron diseñados para proporcionar una descripción cuantitativa del movimiento. Construyó en lo que hoy son las pistas de Roland Garros el Parque de los Príncipes, una estación fisiológica que incluía una pista circular de 500 m equipada con monitores de cine. Analizaba el movimiento de adultos y niños, durante la realización de algún deporte o de algún tipo de movimiento, así como también analizó el movimiento de caballos, pájaros, peces, insectos y hasta medusas. Es reconocido por esta razón como el pionero de la cinematografía, antes que el pionero de la biomécanica.

Marey hizo uso de un dispositivo similar al de un calzado acolchado en una mesa dinamométrica, que se consideró como la primera plataforma de fuerzas seria. Aprovechó rápidamente el potencial de las placas fotográficas para superar el defecto que podía añadirle el ojo humano y desarrolló en consecuencia la tecnología necesaria para la elaboración de secuencias de movimiento a partir de fotogramas (Izquierdo, 2008; Cutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

Eadweard Muybridge (1830–1904)

Empezó sus trabajos estudiando el trote de los caballos a petición de su buen amigo, el señor Stanford, un propietario de caballos y aficionado a las carreras de equinos. El objetivo del estudio del trote de los caballos fue el de comprobar si en algún momento del desarrollo del trote, el caballo quedaba con las cuatro patas en el aire. La contribución de Muybridge a la biomecánica fue la gran cantidad de imágenes que produjo para documentar el movimiento (Izquierdo, 2008; López, 2014).

Siglo xx

Está caracterizado por varios factores para el desarrollo de la biomecánica:

- a. Los desarrollos mecánicos y tecnológicos de las dos guerras mundiales.
- b. La explosión de apoyo financiero para la investigación.
- c. El reconocimiento social y económico del deporte en la sociedad, que abrió camino para que los biomecánicos le prestarán gran atención. Con el transcurso del tiempo, ha emergido una subdisciplina que hoy es conocida como la biomecánica deportiva.

De acuerdo con los criterios anteriores, los científicos más destacados de esta época que generaron aportes a la biomecánica son:

Jules Amar (1879-1935)

Desarrolló un amplio tratado dedicado a la mecánica corporal, orientando sus estudios hacia el mundo del trabajo. En su libro *The human motor*, realizó un análisis de la actividad muscular, la fatiga física y los efectos que tiene sobre la actividad muscular. Puede considerarse como el primer tratado de ergonomía.

Nicolás Bernstein (1896–1966)

Con su formación en física, se encargó de desarrollar un método para la medición del movimiento, basado en el análisis matemático. La biodinámica de Bernstein incluía estudios de:

- a. Útiles como el martillo y la sierra.
- b. Diseño de las cabinas de los tranvías en Moscú.
- c. Análisis de los movimientos de la mujer trabajando.
- d. Coordinación y regulación de movimientos de niños y adultos, proporcionando la base para las teorías de control motor y coordinación.

Estableció que los adultos corren más económicamente que los niños (desde el punto de vista del gasto energético) (Izquierdo, 2008; Gutiérrez, 2005; Halton, 1993; Aguado, 1993).

Archibald Vivian Hill (1888–1977)

Empezó su carrera como matemático, pero también hizo muy importantes aportes a la fisiología. En 1923 recibe el premio Nobel de Fisiología y Medicina. Su principal contribución fue: 1) explicar la función mecánica y estructural de la función muscular, la cual sigue vigente hasta nuestros días, 2) estudiar la locomoción humana; contribuyó especialmente a la eficiencia de la carrera como una de las principales praxias complejas de movimiento, 3) en la década de los treinta tuvieron gran auge las técnicas de registro de la actividad eléctrica de los músculos esqueléticos.

Charles Scott Sherrington (1852–1952)

Estudió fisiología, desde sus inicios su mayor interés fue el de la neurofisiología, con especial atención en la parte de la actividad refleja y la parte de la inervación de las motoneuronas a los músculos esqueléticos. Su principal obra fue: *The integrative action of the nervous system*. Fue Premio Nobel de Medicina y Fisiología en 1932 (Izquierdo, 2008; López, 2014; Gutiérrez-Dávila, 2015).

