

Módulo 1. La ciencia del movimiento, anatomía y psicología

Un científico del deporte exitoso debe comprender los conceptos básicos de la ciencia del movimiento, la anatomía y la fisiología, ya que son fundamentales para obtener un conocimiento más completo de lo que significa ser un atleta. Comencemos respondiendo la pregunta: ¿Qué es un deportista? Podemos pensar en un deportista como una persona que tiene habilidades en un deporte, entrena y posee atributos físicos como fuerza muscular, potencia, resistencia, velocidad y agilidad, por nombrar algunos.

El objetivo de este módulo es ayudarte, como científico del deporte, a comprender el cuerpo humano y cómo funciona su maquinaria durante los eventos deportivos para comprender cómo la fisiología afecta el rendimiento. Este módulo introductorio te abrirá los ojos a nuevas formas de pensar sobre el análisis numérico y la analítica deportiva. Conocer los principales mecanismos fisiológicos te convertirá en un científico del deporte más competitivo e ingenioso.

Repasemos la estructura ósea básica y la información anatómica de la que debes estar consciente. El cuerpo humano está compuesto por 206 huesos y más de 430 músculos esqueléticos. Se necesitarían varios libros para tratar de forma adecuada el tema de la anatomía. Abordaremos la parte de la anatomía y fisiología humanas más relevante para el rendimiento deportivo.

El estudio de los huesos se llama osteología. Los osteólogos dedican sus vidas a comprender cómo funcionan los huesos. Los huesos son responsables de proporcionar una renovación constante de glóbulos rojos y blancos y son vitales no solo para nuestros órganos, sino también para obtener una ventaja competitiva en el rendimiento deportivo. Existen muchos tipos de huesos: huesos largos, huesos cortos, huesos planos, huesos irregulares y huesos sesamoideos. Los huesos largos están asociados con un mayor movimiento debido a su longitud como palanca, en comparación con los huesos cortos que tienen una movilidad limitada, pero se sabe que son más fuertes. Consulta la tabla a continuación para ver ejemplos de cada tipo de hueso.

Tabla 1: Tipos de huesos

Huesos largos	Fémur, Humerus, Tibia
Huesos cortos	Tarsos del pie, carpos de la mano y muñeca huesos planos: escápula, esternón, cráneo
Huesos irregulares	Vértebras, sacro, mandíbula
Huesos sesamoideos	Rótula, hay cuatro huesos sesamoideos en la mano, hay dos huesos sesamoideos en el pie

Fuente: adaptado de Martin et al., 2016.

El sistema musculoesquelético es fundamental para el movimiento humano, ya que consiste en ligamentos que conectan hueso con hueso y tendones que conectan músculos con hueso. En consecuencia, cuando el músculo tira del hueso, se produce el movimiento. Dependiendo del método de clasificación o agrupación, las estimaciones del número de músculos en el cuerpo varían entre 430 y más de 900. De hecho, cada músculo esquelético se considera un órgano que contiene tejido muscular, tejido conectivo, nervios y vasos sanguíneos. Gran parte del debate es una cuestión de definición en términos de cómo se cuantifican los músculos.

Al igual que los huesos, los músculos pueden clasificarse por tipo: el músculo liso se encuentra en los vasos sanguíneos y órganos, el músculo cardíaco se encuentra en el corazón y el músculo esquelético está presente en todo el cuerpo humano y es responsable de nuestros movimientos diarios.

Los músculos y grupos musculares del cuerpo superior con los que deberías familiarizarte incluyen el dorsal ancho, trapecio, deltoides, manguito rotador, pectorales, bíceps, tríceps y braquiorradial. Los músculos de la región media involucrados en el rendimiento deportivo incluyen el recto abdominal, oblicuos externos e internos, y el transverso del abdomen. Los músculos inferiores fundamentales para muchos deportes incluyen los cuádriceps, isquiotibiales, glúteos (máximo, medio, mínimo), gastrocnemio y sóleo. Consulta la tabla a continuación para ver la ubicación de estos músculos y su función en el deporte.



Tabla 2: Músculos en acción en el rendimiento deportivo

Name of Muscle	Location of Muscle	Function in Sport
Upper Body Muscles		
Latissimus dorsi	located in the posterior part of the body, largest muscle group in the upper body, also called the back	involved in extension and adduction of the shoulder as well as pulling motions; relevant for all sports
Rhomboids	located in the upper back underneath the trapezius and consists of two muscles; rhomboid major and minor	involved in retraction of shoulder blades relevant for all sports
Trapezius	located above and superficial to rhomboids extends from shoulders to neck muscles	involved in distributing loads away from the neck and keeping the shoulders stabilized
Deltoids	commonly referred to as the shoulders	involved in throwing motions used extensively in overhead athletes
Rotator Cuff	located in the shoulder area deep under the deltoids, muscles that hold the shoulder in place	involved in throwing motions; quarterbacks, pitchers, and tennis players when serving
Pectorals	commonly referred to as the chest includes pectoralis major and minor	involved in chest press strength, and abduction of the shoulder and pushing movements
Biceps	located in anterior part of the arm and called biceps because of the two heads of the muscle	involved in swinging motion; tennis players forehand and baseball swings; also involved in bending of the elbow and for picking up motions
Triceps	located in posterior part of the arm and called triceps because of the three heads of the muscle	extension of elbow; used to straighten the elbow; used in stiff-arm movement in football players
Brachioradialis and Pronator Teres	forearm muscles	utilized in sports using the wrist
Core and Midsection Muscles		
Rectus Abdominus	located in the anterior part of the body under the abdomen	utilized for flexion of the spine and core stabilization; relevant for all sports
External Obliques	located above and superficial to the internal obliques on each side of the trunk	utilized for sideways bending and rotation of the torso; integral for tennis strokes
Internal Obliques	located underneath the external abdominal oblique on each side of the trunk	utilized for flexion of the spine, sideways bending, trunk rotation and compression of the abdomen; relevant for all sports
Transversus Abdominis	located in the deepest layer of abdominal muscles that wraps around the torso	utilized for respiration and core stabilization; relevant for all sports
Lower Body Muscles		
Quadriceps	located in anterior part of thigh consisting of four muscles	responsible for extension of the knee; major source of strength for soccer players; relevant for all sports
Hamstrings	located in posterior part of thigh consisting of three muscles	responsible for flexion and bending of the knee; relevant for all sports
Gluteus Maximus, Gluteus Medius, and Gluteus Minimus	located in the area usually called the buttocks	utilized in explosive first step movements; integral for lower body strength and power
Gastrocnemius	located in the lower leg area and typically referred to as part of the calf muscle	utilized in jumping and tip-toe motions including being on the ball of your feet
Soleus	located in the lower leg area and typically referred to as part of the calf muscle	utilized in jumping and tip-toe motions including being on the ball of your feet

Fuente: Martin et al. (2016)

Name of Muscle	Nombre del músculo
Location of Muscle	Ubicación del músculo
Upper Body Muscles	Músculos del cuerpo superior



Latissimus dorsi	Latissimus dorsi
Function is Sport	Función en el deporte
located in the posterior part of the body largest muscle group in the upper body, also called the back	ubicado en la parte posterior del cuerpo el grupo muscular más grande del cuerpo superior, también llamado: espalda
located in the upper back underneath the trapezius and consists of two muscles rhomboid major and minor	ubicado en la parte superior de la espalda debajo del trapecio y consta de dos músculos: romboide mayor y menor
located above and superficial to rhomboids extends from shoulders to neck muscles	ubicado por encima y superficial a los romboides se extiende desde los hombros hasta los músculos del cuello
commonly referred to as the shoulders	comúnmente conocido como: los hombros
Rhomboids Trapezius Deltoids Rotator Cuff	Romboideos Trapecio Deltoides Manguito rotador
located in the shoulder area deep under the deltoids muscles that hold the shoulder in place	ubicado en el área del hombro, profundamente debajo de los músculos deltoides que mantienen el hombro en su lugar
commonly referred to as the chest Includes pectoralis major and minor	comúnmente conocido como: el pecho Incluye el pectoral mayor y menor
located in anterior part of the arm and called biceps because of the two heads of the muscle	ubicado en la parte anterior del brazo y llamado Bíceps debido a las dos cabezas del músculo
Pectorals Biceps Triceps Brachioradialis and Pronator Teres	Pectorales Biceps Triceps Brachiorradialis y Pronator Teres
located in posterior part of the arm and called triceps because of the three heads of the muscle	ubicado en la parte posterior del brazo y llamado triceps debido a las tres cabezas del músculo
forearm muscles	Músculos del antebrazo
Function in sport	Función en el deporte:
involved in extension and adduction of the shoulder as well as pulling motions; relevant for all sports	Participan en la extensión y aducción del hombro así como en movimientos de tracción; relevantes para todos los deportes.
involved in retraction of shoulder blades relevant for all sports	Participan en la retracción de las escápulas relevante para todos los deportes
involved in distributing loads away from the neck and keeping the shoulders stabilized	Ayudan a distribuir las cargas lejos del cuello y mantener los hombros estabilizados
involved in throwing motions used extensively in overhead athletes	Participan en movimientos de lanzamiento siendo ampliamente utilizados por atletas que lanzan objetos por encima de la cabeza

involved in throwing motions, quarterbacks pitchers, and tennis players when serving	como lanzadores de béisbol lanzadores de fútbol americano o jugadores de tenis al servir.
involved in chest press strength and abduction of the shoulder and pushing movements	Participan en ejercicios de fuerza para el pecho y en la abducción del hombro y movimientos de empuje.
involved in swinging motion tennis players forehand and baseball swings also involved in bending of the elbow and for picking up motions	Participan en los movimientos de balanceo en tenis como los golpes de derecha, y en los swings de béisbol También participan en la flexión del codo y en movimientos de recogida de objetos
extension of elbow used to straighten the elbow used in stiff-arm movement in football players	Participan en la extensión del codo, usados para enderezar el brazo como en los movimientos de brazo rígido en jugadores de fútbol americano
Utilizen in sports using the wrist	Participan en deportes que requieren de movimiento de muñeca
Core and Midsection Muscles Rectus Abdominus Eternal Obliques Internal Obliques Transversus Abdominis	Músculos del Núcleo y Región Media Recto Abdominal Oblicuos Externos Oblicuos Internos Transverso del Abdomen
located in the anterior part of the body under the abdomen	Se encuentran en la parte anterior del cuerpo bajo el abdomen
located above and superficial to the internal obliques on each side of the trunk	ubicado por encima y superficiales a los oblicuos internos en cada lado del tronco
located underneath the external abdominal oblique on each side of the trunk	y en la capa más profunda de los músculos abdominales En cada lado del tronco
located in the deepest layer of abdominal muscles 4 that wraps around the torso	Ubicado en la capa más profunda de los músculos abdominales rodeando el torso
utilized for flexion of the spine and core stabilization, relevant for all sports	Estos músculos son utilizados para la flexión de la columna vertebral y la estabilización del núcleo, siendo relevantes para todos los deportes
utilized for sideways bending and rotation of the torso, integral for tennis strokes	Los oblicuos externos y los oblicuos internos son fundamentales para la flexión lateral y rotación del torso esenciales para los golpes en el tenis
utilized for flexion of the spine, sideways bending, trunk rotation and compression of the abdomen relevant for all sports	Se utilizan en movimientos de flexión del torso, inclinación lateral y rotación, y en la compresión del abdomen relevante para todos los deportes
utilized for respiration and core stabilization relevant for all sports	Participa en la respiración y estabilización del núcleo relevante para todos los deportes
Lower Body Muscles	Músculos del cuerpo inferior

Quadriceps Hamstrings Gluteus Maximus, Gluteus Medius, and Gluteus Minimus Gastrocnemius Solous	Cuádriceps Isquiotibiales Glúteo Máximo Glúteo Medio y Glúteo Mínimo Gastrocnemio Sóleo
located in anterior part of thigh consisting of four muscles	Se encuentran en la parte anterior del muslo y consisten en cuatro músculos
located in posterior part of thigh consisting of three muscles	Se encuentran en la parte posterior del muslo y consisten en tres músculos
located in the area usually called the buttocks	en la zona comúnmente llamada: las nalgas
located in the lower leg area and typically referred to as part of the calf muscle	Se encuentran en la parte inferior de la pierna y normalmente se refieren como parte del músculo de la pantorrilla
located in the lower leg area and typically referred to as part of the calf muscle	Se encuentran en la parte inferior de la pierna y normalmente se refieren como parte del músculo de la pantorrilla
responsible for extension of the knee, major source of strength for soccer players, relevant for all sports	Son responsables de la extensión de la rodilla y son una fuente importante de fuerza para los jugadores de fútbol, siendo relevantes para todos los deportes
responsible for flexion and bending of the knee relevant for all sports	Son responsables de la flexión y doblado de la rodilla, siendo relevantes para todos los deportes.
utilized in explosive first step movements integral for lower body strength and power	Utilizado en movimientos explosivos del primer paso Son fundamentales para la fuerza y potencia del cuerpo inferior
utilized in jumping and lip-toe motions including being on the ball of your feet	utilizados en saltos y movimientos de punta de pie, incluyendo estar de puntillas.
utilized in jumping and tip-toe motions including being on the ball of your feet.	utilizados en saltos y movimientos de punta de pie, incluyendo estar de puntillas.

Muchos de ustedes han oído hablar de las fibras musculares de contracción rápida y contracción lenta. La mayoría de las personas solo son conscientes de dos tipos de fibras, las rápidas y las lentas, o las blancas y las rojas. Sin embargo, es mucho más preciso decir que existen tipos de fibras híbridas que se encuentran dentro del espectro de las fibras musculares de Tipo I y Tipo II. Más recientemente, el campo científico ha revelado tres categorías distintas de fibras musculares. Estas son las fibras de Tipo I, Tipo IIa y Tipo IIx. Las fibras de Tipo I son comúnmente conocidas como de contracción lenta, mientras que tanto las fibras de Tipo IIa como las de Tipo IIx son reconocidas como fibras de contracción rápida.

Para facilitar la comprensión, nos centraremos en las diferencias entre las fibras de Tipo I y Tipo II, ya que son inherentemente diferentes en relación con las siguientes características: capacidad para utilizar oxígeno y glucógeno determinada por el contenido de enzimas aeróbicas, contenido de mioglobina, densidad capilar y tamaño y densidad de las mitocondrias.



Típicamente, las fibras musculares de contracción lenta tienden a ser altas en todos los criterios mencionados anteriormente. En comparación, las fibras musculares de contracción rápida tienden a ser bajas en estas características, mientras que tienen una mayor velocidad de conducción nerviosa, velocidad de contractilidad muscular, contenido de enzimas anaeróbicas y producción de potencia. Se sabe que las fibras de contracción rápida tienen una alta actividad glucolítica, lo que significa que utilizan el glucógeno (la forma de almacenamiento de glucosa, que muchos llaman azúcar) en niveles elevados, mientras que las fibras musculares de contracción lenta dependen de su capacidad oxidativa. Vea la tabla a continuación para obtener características adicionales de los tipos de fibras musculares.

Tabla 3: Características del tamaño del músculo

Caraterísticas	Tipo I	Tipo IIa	Tipo IIx
Tamaño de la neurona motora	Pequeño	Grande	Grande
Velocidad de conducción nerviosa	Lenta	Rápida	Rápida
Velocidad de contracción	Lenta	Rápida	Rápida
Velocidad de relajación	Lenta	Rápida	Rápida
Resistencia a la fatiga	Alta	Intermedia/ Baja	Baja
Producción de fuerza	Baja	Intermedia	Alta
Producción de potencia	Baja	Intermedia/ Alta	Alta
Resistencia	Alta	Intermedia/ Baja	Baja
Contenido de enzimas aeróbicas	Alta	Intermedia/ Baja	Baja
Contenido de enzimas anaeróbicas	Baja	Alta	Alta
Densidad capilar	Alta	Intermedia	Baja
Contenido de mioglobina	Alta	Baja	Baja
Tamaño/densidad de las mitocondrias	Alta	Intermedia	Baja
Diámetro de la fibra	Pequeño	Intermedia	Grande
Color	Rojo	Blanco	Blanco/ Rojo

Fuente: adaptado de Baechle y Earle, 2008.

Es evidente que la anatomía y la fisiología desempeñan un papel importante en el rendimiento deportivo. Un velocista puede beneficiarse de tener un mayor número de fibras musculares de contracción rápida, mientras que un corredor de larga distancia se beneficiará mucho más de tener una mayor distribución de fibras musculares de



contracción lenta. Consulta la tabla a continuación para ver la contribución de las fibras musculares de Tipo I y Tipo II en una variedad de deportes.

Tabla 4: Tipos de fibras musculares y deportes

Carrera de 100 metros	Baja	Alta
Carrera de 800 metros	Alta	Alta
Maratón	Alta	Baja
Fútbol	Alta	Alta
Receptor abierto y Liniero de Fútbol Americano	Baja	Alta
Baloncesto	Baja	Alta
Lanzador de béisbol	Baja	Alta
Tenis	Alta	Alta

Fuente: adaptado de Baechle y Earle, 2008.

Además de la controversia sobre el número de tipos de fibras musculares, también persiste la pregunta de si uno puede entrenar y modificar su propio tipo de fibra a través de la preparación física. Estudios recientes han demostrado que enzimas que de otro modo estarían inactivas se activan mediante el entrenamiento físico, lo que implica que existe la posibilidad de cambiar el tipo de fibra hasta cierto grado.

Ahora que tenemos las bases del sistema esquelético y muscular, consideremos la fisiología del rendimiento deportivo. En primer lugar, debemos darnos cuenta de que el metabolismo humano incluye procesos anabólicos y catabólicos que están en curso en nuestros cuerpos. Los procesos anabólicos involucran la síntesis de moléculas más grandes a partir de moléculas más pequeñas. Por el contrario, los procesos catabólicos implican la descomposición de moléculas más grandes en moléculas más pequeñas y están asociados con la liberación de energía. La energía liberada en una reacción biológica se cuantifica por la cantidad de calor que se genera. La cantidad de calor necesaria para elevar un grado Celsius un kilogramo de agua se llama kilocaloría. Esto corresponde a la energía que se encuentra en los alimentos que se descomponen dentro de nuestros cuerpos y se almacenan en forma de trifosfato de adenosina (ATP).

En el cuerpo, los sistemas de energía son responsables de proporcionar el ATP (energía) que se utiliza en intensidades y duraciones variables de rendimiento deportivo. Hay tres sistemas principales de energía que entran en juego durante el rendimiento deportivo. Son el sistema fosfágeno (ATP-PCr), el sistema glucolítico y el sistema de fosforilación oxidativa. Los tres sistemas están constantemente en funcionamiento e interactuando entre sí, funcionando en cierto nivel, ya que no son sistemas de "todo o nada". La predominancia de un sistema está determinada en gran medida por la intensidad y duración de la actividad deportiva, así como por el sustrato (fuente de alimento) que ha consumido el deportista. La utilización del sustrato es un término elegante para los



alimentos que está consumiendo el deportista. En consecuencia, estos tres sistemas de energía también se conocen como sistemas bioenergéticos.

La capacidad del deportista para rendir se basa en la capacidad de sus músculos para funcionar y depende de la disponibilidad de oxígeno o glucosa (sustrato). ¿Qué significa esto? Si un deportista está corriendo a toda velocidad, los músculos dentro del cuerpo no siempre tienen el tiempo necesario para poder utilizar el oxígeno, como lo haría un cuerpo en reposo. Esto hace que el cuerpo pase a un estado anaeróbico en el que puede extraer energía en forma de ATP, sin el uso de oxígeno. Sin embargo, cuando la máquina humana está funcionando a un ritmo más lento, los procesos metabólicos estándar que utilizan oxígeno tienen lugar en las mitocondrias (el motor de la célula). Algunos podrían decir que el cuerpo humano es de por sí inteligente y puede compararse con una computadora, en el sentido de que después de que se construye el programa y se establece el algoritmo, sabe qué hacer por sí solo.

Para simplificar, los tres sistemas de energía se denominarán sistemas fosfágeno, glucolítico y oxidativo. Estos sistemas producen ATP y reponen las reservas de ATP dentro del cuerpo. Este almacena de manera natural suficiente ATP para funciones celulares básicas, pero no la cantidad necesaria para el deporte. El sistema fosfágeno utiliza una enzima, la creatina quinasa, para mantener los niveles de ATP durante movimientos intensos y explosivos de corta duración, lo que permite la liberación de un mol de ATP o el equivalente de 0,6 kilocalorías. El sistema fosfágeno está muy involucrado en deportes que consisten en movimientos explosivos de alta intensidad y corta duración. Este sistema se utiliza en todos los deportes en el momento de inicio de la actividad, cuando se pasa de un estado sedentario a un estado activo.

El sistema glucolítico es responsable de controlar la glucólisis (descomposición del glucógeno) para la producción de energía, así como del inicio de la formación de lactato. La glucólisis es el término para los procesos que descomponen el glucógeno almacenado en los músculos en glucosa, lo que finalmente produce ATP. Es sorprendente que la intensidad y duración del deporte también dicten el tipo de glucólisis que ocurre. Hay dos posibles vías: La vía más corta, llamada glucólisis anaeróbica (rápida), consta de menos pasos que conducen a lactato; la otra vía, la glucólisis aeróbica (lenta), tiene una trayectoria más larga y produce dos o tres moles de ATP o el equivalente de 1,2 a 1,8 kilocalorías. La glucólisis aeróbica es un proceso más lento que requiere cantidades suficientes de oxígeno para funcionar, en comparación con la glucólisis anaeróbica, que puede funcionar con cantidades limitadas de oxígeno.

Finalmente, el sistema oxidativo es responsable de descomponer glucógeno, grasa y proteínas. También es responsable de producir ATP cuando el cuerpo está en reposo o durante actividades deportivas de baja intensidad y larga duración. Es una creencia común que, al entrenar con baja intensidad, el cuerpo utiliza más grasa que otras fuentes (carbohidratos o proteínas) de energía. Este concepto es el resultado de una interpretación simplificada de este tercer sistema.



La principal fuente de combustible del sistema oxidativo es la grasa, ya que inicia la liberación de triglicéridos de las células grasas. Esto lleva a la circulación de ácidos grasos libres en la sangre, que son transportados a las fibras musculares para su oxidación (se queman para obtener energía). La descomposición de la grasa en glucosa se llama lipólisis y produce entre 36 y 40 moles de ATP, o el equivalente de 21,6 a 24 kilocalorías.

Además, este sistema también puede oxidar proteínas, aunque, la proteína no es la fuente de combustible más deseada. El mecanismo de descomposición de la proteína en energía es menos eficiente. La proteólisis requiere varios pasos para descomponer la proteína en aminoácidos, y finalmente convierte los productos en glucosa a través de otro proceso llamado gluconeogénesis. Se necesita más tiempo para sintetizar ATP. Por lo tanto, la grasa y los carbohidratos son los combustibles preferidos para el deporte, ya que producen energía a una tasa mucho más rápida durante períodos más largos. Observe la tabla a continuación para ver la tasa y capacidad de producción de ATP para cada sistema de energía

Tabla 5: Tasa/capacidad de trifosfato de adenosina (ATP)

Sistema de energía	Tasa de producción de ATP	Capacidad de producción de ATP
Fosfágeno 1		5
Glucólisis rápida 2		4
Glucólisis lenta 3		3
Oxidación de carbohidratos 4		2
Oxidación de grasas y proteínas 5		1

Nota: 1 = más rápido/mayor; 5 = más lento/menor

Fuente: adaptado de Baechle y Earle, 2008.

El sistema de energía predominante del atleta difiere no solo según el deporte, sino también según la posición del jugador o el estilo de juego dentro de un deporte en particular. Por ejemplo, cuando un jugador de tenis corre rápidamente para golpear un revés, un jugador de baloncesto salta explosivamente para realizar un mate, un jugador de béisbol corre rápidamente para llegar a una base, un mariscal de campo lanza el balón de fútbol o un delantero golpea para anotar un gol, sus cuerpos están utilizando el sistema fosfágeno como mecanismo principal de energía. Por otro lado, si un receptor abierto corre por el campo durante más de seis segundos, su cuerpo ha pasado de utilizar el sistema fosfágeno a un estado híbrido que consiste en ambos, el sistema fosfágeno y el glucolítico (glucólisis anaeróbica).

Un mediocampista de fútbol que corre sin parar, de ida y vuelta a un ritmo rápido durante uno o dos minutos, se encuentra en un verdadero estado de glucólisis anaeróbica. Si el



jugador de fútbol continúa corriendo durante un período de tiempo más largo, de dos a tres minutos, es probable que se encuentre en un estado híbrido de glucólisis rápida y fosforilación oxidativa. Finalmente, un corredor de larga distancia que corre durante períodos prolongados a un ritmo más lento está utilizando el sistema oxidativo como mecanismo principal para producir ATP. En la siguiente tabla se pueden ver los rangos de intensidad y duración típicos de cada sistema de energía.

Tabla 6: Duración e intensidad del sistema de energía principal

Duración	Intensidad	Sistema de Energía Principal
0-6 segundos	Demasiada alta	Fosfágeno
6-30 segundos	Muy alta	Fosfágeno y Glucólisis Rápida
30 segundos a 2 minutos	Alta	Glucólisis Rápida
2-3 minutos	Moderada	Glucólisis Rápida y Sistema Oxidativo
3 minutos	Baja	Sistema Oxidativo

Fuente: adaptado de Baechle y Earle, 2008.

En resumen, el sistema de energía fosfágeno suministra principalmente ATP para actividades de alta intensidad y corta duración. El sistema glucolítico está asociado con actividades de intensidad moderada a alta y de duración corta a media. El sistema oxidativo es el sistema primario en funcionamiento durante actividades de baja intensidad y larga duración.

Tabla 7: Factores limitantes para los sistemas de energía

Grado de Ejercicio	Fosfato de Creatina	Glucógeno Muscular	Glucógeno Hepático	Reservas de Grasa	Bajo pH
	Leve (Maratón)	1	5	4-5	2-3
Moderado (carrera de 1500 m)	1-2	3	2	1-2	2-3
Fuerte (carrera de 400 m)	3	3	1	1	4-5
Muy intenso (disco)	2-3	1	1	1	1
Muy intenso y movimientos repetitivos	4-5	4-5	1-2	1-2	4-5

Fuente: fuente propia.

La tabla anterior describe los factores limitantes de los sistemas bioenergéticos. Muestra cómo los deportistas, según el deporte que practiquen, utilizan involuntariamente los sistemas bioenergéticos. Un lanzador de disco necesita tener suficiente ATP y fosfato de creatina para lanzar el disco de manera poderosa y tener un buen rendimiento. Por otro lado, si observamos a los corredores de maratón, están mucho más limitados por las



cantidades de glucógeno (grandes cantidades de glucosa agrupadas) almacenadas en los músculos e hígado debido a su papel en la glucólisis y la fosforilación oxidativa. Por lo tanto, si tienen un déficit de glucógeno en los músculos o el hígado, su rendimiento se verá muy afectado.

La tabla a continuación describe el sistema principal que se utilizará según el porcentaje de potencia máxima y la duración del ejercicio (deporte). Con esta información, podemos aprender a entrenar nuestros cuerpos para utilizar diferentes sistemas. Por ejemplo, si eres un deportista que desea mejorar la utilización del sistema fosfágeno, entonces entrenarías una vez (sprint) al 90 por ciento de intensidad durante cinco segundos de duración en una relación de trabajo-descanso de uno a veinte, lo que significa que descansarías (5 × 20) 100 segundos, o un minuto cuarenta. Por otro lado, si deseas mejorar tu resistencia cardiorrespiratoria, entrenarías al 20-30 por ciento durante una duración más larga con una relación de trabajo-descanso de uno a tres como máximo.

Tabla 8: Entrenamiento atlético y sistemas de energía

Porcentaje máximo	Sistema principal utilizado	Tiempo promedio de ejercicio	Rango de proporciones entre periodo de trabajo-descanso
90-100	Fosfágeno	5-10 segundos	1:12 a 1:20
75-90	Glucólisis Rápida	15-30 segundos	1:3 a 1:5
30-75	Glucólisis Rápida y Oxidativo	1-3 minutos	1:3 a 1:4
20-30	Oxidativo	> 3 minutos	1:1 a 1:3

Fuente: adaptado de Baechle y Earle, 2008.

La tabla a continuación detalla los marcadores fisiológicos de los resultados del rendimiento. Como lo establece la literatura, la testosterona, la hormona del crecimiento (GH) y el factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-1) están fuertemente relacionados con el desarrollo y mantenimiento de la masa muscular, así como con la densidad ósea. Los niveles de lactato normalmente se utilizan para evaluar si el deportista está fatigado. El entrenamiento que requiere un alto nivel de técnica o habilidad no debe realizarse cuando hay niveles elevados de lactato en la sangre, ya que la coordinación se ve significativamente disminuida y el riesgo de lesiones aumenta. Además, se sabe que la hormona cortisol se eleva cuando un deportista está sobreentrenando, lo que causa inflamación y estrés en el cuerpo, y, a largo plazo, puede generar lesiones.



Tabla 9: Marcadores fisiológicos del rendimiento atlético

Physiological Performance Outcomes	Markers
Muscle mass development and maintenance	Testosterone, growth hormone, IGF-1
Bone density	Testosterone, estrogen
Fatigue	Lactate levels
Overtraining	Cortisol
Cellular aging	Telomere length and Methylome assessment
Heart function	Heart rate, stroke volume, heart rate variability, cardiac output, and blood pressure
Aerobic threshold	Aerobic enzyme content, VO ₂ max
Anaerobic threshold	Respiratory rate

Fuente: adaptado de Martin, 2016.

Physiological Performance Outcomes	Rendimiento Fisiológico Resultados
Muscle mass development and maintenance	Desarrollo y mantenimiento de la masa muscular
Bone density	Densidad ósea
Fatigue	Fatiga
Overtraining	Sobre-entrenamiento
Cellular aging	Envejecimiento celular
Heart function	Función cardíaca
Aerobic threshold	Umbral aeróbico
Anaerobic threshold	Umbral anaeróbico
Markers	Marcadores
Testosterone, growth hormone, IGF-1	Testosterona, hormona del crecimiento, IGF-1
Testosterone, estrogen	Testosterona, estrógeno
Lactate levels	Niveles de lactato
Cortisol	Cortisol
Telomere length and Methylome assessment	Longitud de los telómeros Evaluación del metiloma
Heart rate, stroke volume,	Frecuencia cardíaca, volumen sistólico,



heart rate variability, cardiac output, and blood pressure Aerobic enzyme content, VO2 max Respiratory rate	variabilidad de la frecuencia cardíaca, gasto cardíaco y presión arterial Contenido de enzimas aeróbicas, VO2 máx Frecuencia respiratoria
--	--

En los últimos tiempos se ha investigado sobre el retraso del envejecimiento. Los telómeros se encuentran en el extremo de nuestros cromosomas dentro de nuestro ADN. Te preguntará ¿por qué es relevante esto para el deporte? Los deportistas profesionales están interesados en prolongar sus carreras atléticas. Dado que se ha demostrado que los telómeros están muy relacionados con el envejecimiento físico, este es un marcador relevante para tener una carrera extendida. Muchos estudios ya han demostrado que los telómeros más largos están asociados con una vida más saludable y más larga tanto en animales como humanos. Un método más nuevo de evaluación del envejecimiento es el análisis del metiloma. Se ha demostrado que tiene una correlación aún más fuerte con el envejecimiento físico que la longitud de los telómeros. Ahora se reconoce como una medida de la edad biológica y puede tener importantes implicaciones para la prevención de lesiones y la extensión de carreras atléticas.

La función del corazón es importante para el rendimiento atlético. La capacidad del corazón para distribuir sangre y oxígeno a los músculos es fundamental para un rendimiento óptimo. La frecuencia cardíaca se utiliza comúnmente para evaluar la intensidad. Por ejemplo, muchos expertos en fuerza y acondicionamiento utilizan las zonas de frecuencia cardíaca como indicadores de la intensidad del ejercicio (entrenamiento). Es importante evaluar la funcionalidad del corazón no solo midiendo la frecuencia cardíaca, sino también el volumen sistólico, la variabilidad de la frecuencia cardíaca y el gasto cardíaco.

Los umbrales anaeróbico y aeróbico también son esenciales para evaluar el rendimiento. Según el deporte, se recomienda examinar la frecuencia respiratoria y el VO2 máximo. La evaluación de la frecuencia respiratoria es especialmente relevante para los corredores de velocidad, mientras que el VO2 máximo sería más apropiado para los corredores de maratón.

Para obtener un modelo predictivo preciso del rendimiento deportivo, es importante incluir medidas fisiológicas cardiovasculares, como la frecuencia cardíaca, la frecuencia cardíaca en reposo, la variabilidad de la frecuencia cardíaca, el volumen sistólico, el gasto cardíaco y la presión arterial. También es fundamental incluir medidas del umbral de lactato, niveles de insulina y glucosa, una evaluación de la visión y marcadores del envejecimiento celular. Las variables fisiológicas reflejan el estado interno del cuerpo y ofrecen una imagen del motor del cuerpo y cómo y por qué funciona de la manera en que lo hace.



Ahora, puedes comenzar a ver el panorama completo y realizar análisis exploratorios más relevantes. El conocimiento de la anatomía y fisiología te convertirá en un analista de datos deportivos más comercializable y competitivo en comparación con aquellos que solo ven los números que provienen de un entorno de laboratorio, instalaciones de entrenamiento o tecnología portátil en el campo.

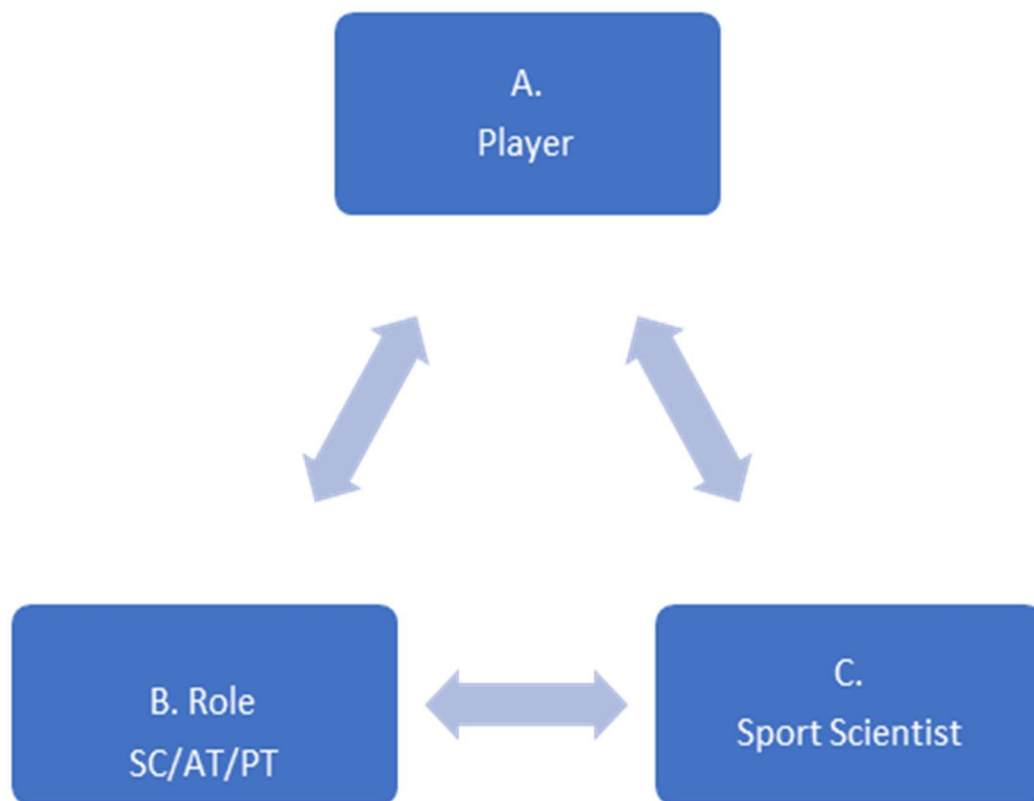
Fundamentos de la recopilación de datos en ciencias del deporte

Los deportistas profesionales siempre buscan obtener una ventaja competitiva. Una mínima mejora en cualquier aspecto del rendimiento deportivo puede conducir a una diferencia significativa en los resultados. Se ha documentado en la literatura que diferentes áreas del rendimiento deportivo, como el entrenamiento atlético, la terapia física, el acondicionamiento físico, la nutrición y la psicología deportiva, funcionan de forma independiente sin compartir recursos e información dentro de las organizaciones profesionales. Aquí es donde entra en juego el papel del científico del deporte, ya que puede ser el enlace de conexión entre estas distintas áreas de especialización. Debe tener una comprensión general de todas las áreas y comprender qué variables de resultado o dependientes deben cuantificarse para proporcionar una métrica significativa y relevante para el rendimiento del deportista.

Para que los datos y análisis sean asimilados por el personal de apoyo, debe haber una relación productiva entre el deportista, el personal de apoyo y el científico del deporte. Además, deben tener una buena comprensión de los Indicadores Clave de Rendimiento (KPI) relevantes para el rendimiento del deportista. El científico del deporte debe comunicarse directamente con los deportistas profesionales y los expertos en rendimiento deportivo de diferentes áreas, como se muestra en la figura a continuación.



Figura 1: Diagrama del rol del científico del deporte



Fuente: Martin, 2019, p. 37

Player	A. Jugador
B. Role SC/AT/PT	B. Rol de EF/EA/FT
C. Sport scientist	C. Científico del Deporte

El rol es un marcador de posición para cualquier experto en rendimiento deportivo, como entrenador de fuerza, entrenador atlético, fisioterapeuta, nutricionista o psicólogo deportivo, para ejemplificar la línea directa de comunicación con a) el jugador, b) el rol y c) el científico del deporte.

En muchas ocasiones, debido a la falta de personal o la ausencia del rol de un científico del deporte, los equipos asignan a uno de los expertos en la materia para intentar llevar a cabo las tareas de un científico del deporte. Sin embargo, lo ideal sería que haya un equipo de científicos del deporte con experiencia que tenga la capacidad de ser innovador, plantear preguntas de investigación relevantes e identificar KPI que puedan ayudar a maximizar el rendimiento atlético.

El rol del científico del deporte consiste en tener conocimientos sobre cómo recopilar, analizar, interpretar, presentar y proteger los datos. Además, los científicos del deporte en equipos deportivos profesionales deben tener la capacidad de producir informes distintos para jugadores, entrenadores y la dirección del equipo (gerente general, subgerente general, personal de análisis).

La primera iniciativa del científico del deporte debería ser plantear las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son los KPI que ayudarían al rendimiento del deportista?
- ¿Qué importantes implicaciones tendrán estos datos?
- ¿Cómo se deben recopilar los datos?
- ¿Qué datos son valiosos y fáciles de medir?
- ¿Cómo elegir una tecnología para medir las variables?
- ¿Cuánto tiempo tomará recopilar estos datos?
- ¿Cómo solicitar el consentimiento del deportista?
- ¿Dónde se almacenarán los datos?
- ¿Quién tendrá acceso a los datos?
- ¿Los datos se almacenan en un lugar seguro?

Identificación de datos e indicadores clave de rendimiento

Luego, el científico del deporte debería concentrarse en identificar KPI y el tipo de carga a ser cuantificada. Los términos **carga** y **carga de entrenamiento** (TL, por sus siglas en inglés) normalmente se aplican de manera intercambiable y se subclasifican como carga interna o carga externa.

La carga interna representa variables psicológicas como la confianza y la ansiedad, y KPI fisiológicos como la variabilidad de la frecuencia cardíaca, el umbral de lactato, los niveles de glucosa e insulina, etc.

La carga externa se caracteriza por KPI físicos, biomecánicos, conductuales y del entorno.

Es fundamental distinguir entre la carga interna y externa y cómo se deben cuantificar. Por ejemplo, muchos de los KPI de cargas externas, como la potencia, la aceleración y la velocidad, se obtienen a través de tecnología portátil como acelerómetros, giroscopios, magnetómetros y sistemas de posicionamiento global (GPS). Mientras que los KPI de cargas internas, como el umbral de lactato y la percepción del esfuerzo (RPE), se obtienen a través de evaluaciones de biomarcadores o cuestionarios de autoinforme.

La implicación práctica de medir la carga de entrenamiento es ayudar al científico del deporte y al personal de entrenamiento a ayudar mejor al deportista al establecer umbrales de carga adecuados. Esto también permitirá obtener información sobre las fortalezas y debilidades del deportista con el fin de reducir el riesgo de lesiones, examinar qué funciona para él y ayudarlo a seguir mejorando su rendimiento.

Según el deporte, la posición y la composición corporal del jugador, algunas variables y KPI pueden ser más relevantes que otras. Consulta la tabla a continuación para ver una lista de variables e indicadores clave de rendimiento relacionados con el rendimiento deportivo.

Tabla 10: Modelo de medición en deportes

Table I. A Measurement Model for Sports				
Physiological	Physical	Psychological	Behavioral	Environmental
Blood pressure	Agility	Anxiety	Nutrition	Built environment
Glucose and insulin	Anaerobic power	Competitiveness	Sleep	Social support groups (Coaches, Parents, Peers)
Heart rate variability	Balance	Confidence	Substance use	Socioeconomic status
Lactate threshold	Body composition	Depression		
Methylome	Cardiorespiratory endurance	Impulsiveness		
Previous injuries	Coordination ability	Intellect of sport		
Respiratory rate	Flexibility	Motivation		
Resting heart rate	Muscular endurance	Narcissism		
Telomere length	Muscular power	Perfectionism		
Vision	Muscular strength	Resiliency		
VO ₂ max	Reaction time	Self-efficacy		
	Sport-specific skills	Self-esteem		
		Vigor		

Source: Martin L.⁶

Fuente: Martin, 2019, p. 37

Table I. A Measurement Model for Sports	Tabla I. Un modelo de medición para deportes
Physiological	Fisiológicas
Blood pressure	Presión arterial
Glucose and insulin	Glucosa e insulina
Heart rate variability	Variabilidad de la frecuencia cardíaca
Lactate threshold	Umbral de lactato
Methylome	Metiloma
Previous injuries	Lesiones previas
Respiratory rate	Frecuencia respiratoria
Resting heart rate	Frecuencia cardíaca en reposo
Telomere length	Longitud de los telómeros
Vision	Visión
VO ₂ max	VO2max
Physical	Físicas
Psychological	Psicológicas
Anxiety	Ansiedad
Agility	Agilidad



Anaerobic power Competitiveness	Potencia anaeróbica Competitividad
Balance Confidence	Equilibrio Confianza
Body composition Depression Cardiorespiratory endurance Impulsiveness Coordination ability Intellect of sport Flexibility Motivation Muscular endurance Narcissism Muscular power Perfectionism Muscular strength Resiliency Reaction time Self-efficacy Sport-specific skills Self-esteem Vigor	Composición corporal Depresión Resistencia cardiorrespiratoria Impulsividad Capacidad de coordinación Intelecto deportivo Flexibilidad Motivación Resistencia muscular Narcisismo Potencia muscular Perfeccionismo Fuerza muscular Resiliencia Tiempo de reacción Autoeficacia Habilidades específicas del deporte Autoestima Vigor
Behavioral Environmental Nutrition Built environment Sleep Social support groups (Coaches, Parents, Peers) Substance use Socioeconomic status	Conductuales Del entorno Nutrición Entorno construido Sueño Grupos de apoyo social (Entrenadores, Padres, Compañeros) Consumo de sustancias Estatus socio-económico

En los siguientes módulos, cubriremos y detallaremos algunos de los KPI más importantes mencionados en la tabla anterior. Sin embargo, es esencial que te familiarices con el deporte en el que estás trabajando, así como con las necesidades de los deportistas, no solo en el deporte en general, sino también en las específicas de su posición, para poder cuantificar los KPI que serán más beneficiosos para su rendimiento y su salud.

Después de elegir los KPI de interés, el científico del deporte es responsable de seleccionar la medida, evaluación y forma adecuada de evaluación. Por lo tanto, es fundamental que los científicos del deporte puedan distinguir entre medición, evaluación y valoración. Los científicos del deporte deben saber que la medición implica asignar números para cuantificar una característica que está siendo evaluada, mientras que una evaluación o prueba es una herramienta para realizar la medición y la valoración es el juicio sobre la calidad de la evaluación de la medición.



Además, se espera que los científicos del deporte sean los evaluadores de las empresas de productos y tecnologías, y como tales, deben saber cómo validar el instrumento de medición y establecer la fiabilidad. La validez es el término utilizado para describir si la tecnología o instrumento mide lo que se propone medir. En la industria del deporte profesional, hay muchos productos de tecnología portátil que se comercializan diariamente al personal de entrenamiento. Por lo tanto, es crucial que el científico del deporte evalúe si la tecnología es válida y mide lo que se supone que debe medir o no. Como tal, es importante poder evaluar cuán válidas son estas tecnologías e instrumentos, validando la tecnología o instrumento frente a un estándar de oro, para establecer la validez de criterio. Una vez que se haya elegido y validado el instrumento o tecnología, nos debemos concentrar en la salida de datos. Es ideal obtener los archivos de datos sin procesar, ya que también pueden ayudar al científico del deporte a comprender el algoritmo subyacente de las métricas comerciales formuladas que ofrecen los fabricantes de equipos. El Curso 2 se ha dedicado a las tecnologías portátiles. De hecho, se discutirán los estándares de oro para la actividad física y el sueño, ya que los aspectos fundamentales del deporte giran en torno a la actividad diaria o la falta de ella.

Referencias

- Baechle, T. R. y Earle, R. W. (2008). *Essentials of Strength Training and Conditioning. Third Edition*. Human Kinetics.
- Martin, L. (2016). Sports performance measurement and analytics: The science of assessing performance, predicting future outcomes, interpreting statistical models, and evaluating the market value of athletes. FT Press.
- Martin, L. (2019). Sports Science Data Protocol. *Sports and Exercise Medicine Open Journal*, 5(2), 36-41. <http://dx.doi.org/10.17140/SEMOJ-5-174>

