

Principios básicos aplicados a la biomecánica del movimiento corporal humano

Objetivos de esta sección

- Que el estudiante adquiera el conocimiento acerca de los sistemas de referencia para el movimiento corporal humano, teniendo en cuenta los principales planos corporales y ejes de movimiento.
- Que el estudiante adquiera el conocimiento al respecto del sistema internacional de medidas (si), con las principales unidades de medidas básicas y derivadas y combinadas, haciendo uso de las unidades de medida correspondientes para cada magnitud física.
- Que el estudiante haga uso de los factores de conversión para hacer conversiones de valores entre unidades de medida en las mismas magnitudes físicas, y que pueda igualmente hacer conversión de números de decimales a números expresados en potencias de 10 y viceversa.
- Que el estudiante reconozca la diferencia entre una magnitud física vectorial y una magnitud física escalar.
- Que el estudiante reconozca las partes de un vector y aplique en contexto los diferentes métodos para la sumatoria de vectores.

- Que el estudiante reconozca las características básicas del método segmentario para el cálculo del centro de gravedad y lo pueda aplicar para determinar el mismo en gestos deportivos de movimiento.
- Que el estudiante reconozca los criterios básicos que desde la rama de la dinámica sirven para el análisis de movimiento: reconocimiento de las leyes de Newton con sus preceptos y que a partir de este reconocimiento, establezca relaciones con los análisis de gestos deportivos.
- Que el estudiante adquiera el conocimiento básico respecto a los conceptos de trabajo y energía y los reconozca como elementos básicos de análisis de movimiento que se pueden analizar desde una perspectiva de la dinámica no newtoniana.

Resumen

El análisis de cualquier praxia de movimiento requiere de la descripción detallada de los cambios de posición del cuerpo (en este caso, de las articulaciones que se encuentran en cada uno de los segmentos del mismo: miembros superiores, miembros inferiores, tronco y raquis), así como el de identificar con claridad las causas que producen dicho movimiento. Para la realización de análisis de movimiento, es necesario tener en cuenta algunos criterios básicos que desde la mecánica (física mecánica) provienen y son necesarios para tal fin. No obstante, algunos otros criterios básicos de análisis provienen como tal de la anatomía.

La mecánica se divide en dos principales ramas: a) la rama de la cinemática, que se encarga de estudiar el movimiento de un cuerpo, (en este caso del cuerpo humano en la realización de gestos deportivos de movimiento), sin tener en cuenta las causas que lo producen y b) la rama de la dinámica, que estudia el movimiento de un cuerpo (el cuerpo humano), en este caso teniendo en cuenta las causas que lo producen. De igual forma, la dinámica se subdivide en dos ramas: a) la rama de la dinámica newtoniana, que tiene en cuenta consideraciones como la ley de la gravitación universal y su influencia sobre los cuerpos en movimiento y las leyes de Newton y b) la dinámica no Newtoniana, que tiene en cuenta la explicación de cómo nos movemos pero desde conceptos como el de trabajo y el de energía. En esta sección del libro se dará desarrollo a todas estas características provenientes de la física mecánica.

Como se ha descrito antes, existen otros criterios que provienen de otras áreas de conocimiento (en este caso de la anatomía), y que son parte fundamental en el análisis de movimiento, ya que permiten ubicar los desplazamientos de los segmentos en sistemas de referencia, como en este caso, en los planos y ejes corporales. En esta sección del libro, se describirán los principales sistemas de referencia relacionados con los más relevantes movimientos de las articulaciones que conforman cada uno de los segmentos corporales.

Sistemas de referencia: planos y ejes corporales, tipos de movimientos realizados por el cuerpo humano

El análisis del movimiento humano requiere de la descripción detallada de los cambios de posición en el cuerpo o de sus segmentos (y más de las articulaciones que componen cada uno de los segmentos corporales). El primer paso para realizar un análisis de movimiento será identificar las articulaciones o segmentos corporales cuyo movimiento se pretende analizar. Es necesario entonces, que a la hora de observar y describir el movimiento se puedan identificar marcos o sistemas de referencia en donde tenga lugar el movimiento. De esta forma, un sistema de referencia será el lugar desde dónde tiene lugar la medición (u observación). Un sistema de referencia será necesario para especificar la posición del cuerpo, de un segmento o de un objeto (el que se pretenda analizar), así como para describir si ocurren cambios en su posición. Los sistemas de referencia que se utilizan, pueden ser fijos, si la figura a analizar se encuentra en estado de equilibrio estático, o pueden ser móviles, si la figura a analizar se encuentra en situación de equilibrio dinámico.

Desde el punto de vista de representación gráfica y matemática de los movimientos realizados por el cuerpo, ubicados en un plano de referencia,

tienen en cuenta la aplicación de los planos cartesianos, que han sido una de las más importantes contribuciones para la conformación subsiguiente de los planos corporales, y a su vez, para la determinación de los ejes de movimiento corporal. Si se asume que un plano corporal es la extrapolación de un plano cartesiano, y si a su vez, se tiene en cuenta que un plano cartesiano está compuesto por lo menos por dos ejes (una coordenada y una abscisa, representadas por las letras X y Y), que en conjunción, determinan un espacio propio en el cual se podrán hacer representaciones gráficas y matemáticas de un cuerpo, ya sea que esté en posición estática o en posición dinámica.

Antes de describir los planos y los ejes corporales, es necesario hacer una ubicación precisa del cuerpo humano en el espacio y a partir de esta misma posición estándar de ubicación del cuerpo en el espacio, hacer todas las aseveraciones al respecto de la determinación de movimientos segmentarios o articulares en los mismos planos y ejes. La figura estándar del cuerpo sobre la cual se harán todas las descripciones del movimiento será la denominada como “posición anatómica”. Extrapolaciones de esta figura o posición estándar se pueden aplicar a la descripción de figuras en movimiento o en situación de equilibrio dinámico, y muchas más aplicaciones de esta misma posición de referencia se tienen para las figuras en estado de reposo o de equilibrio estático.

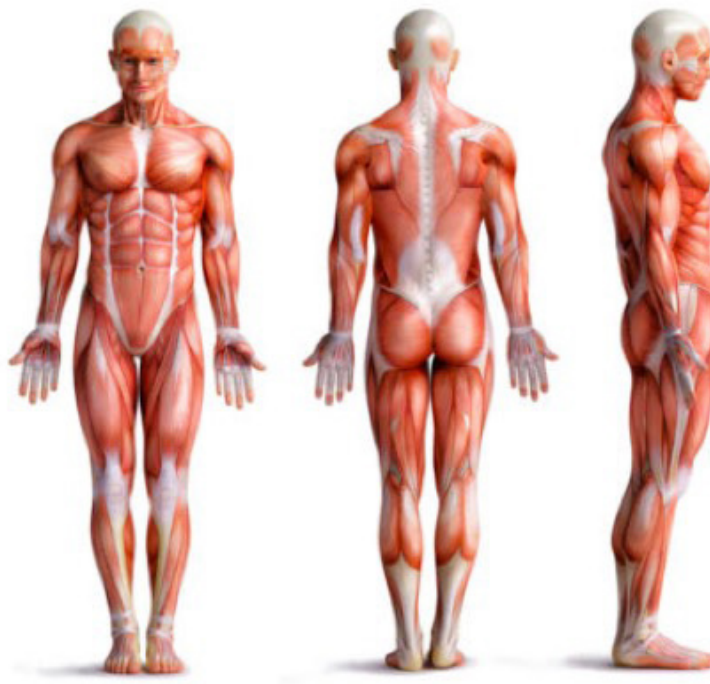
El objetivo de crear una posición de análisis de movimientos estándar como lo es la posición anatómica, es la de generar al igual que con los sistemas de referencia del movimiento, una posición de referencia que no sea ambigua. La posición anatómica hace referencia entonces a la posición del cuerpo en la que se encuentra de pie, independientemente de la posición real, con las siguientes características:

- La cabeza, con la mirada (ojos) hacia adelante.
- Las palmas de las manos estarán ubicadas mirando “hacia arriba” o en posición supina, y los dedos de las manos mirando igualmente hacia adelante.
- Los miembros superiores van adyacentes a los lados del cuerpo.
- Los miembros inferiores se encuentran juntos, con los pies dispuestos en posición paralela, con los dedos de los pies mirando hacia adelante (ver figura 2).

La posición anatómica es la adoptada globalmente para las descripciones anatómicas del movimiento corporal humano. Al describir esta posición con

la terminología apropiada, se pueden relacionar las partes del cuerpo en movimiento entre sí (Moore, 2007; Aguilar, 2000).

Figura 2. Posición anatómica del cuerpo humano (posición de referencia)



En esta figura se pueden observar las características antes descritas, entre ellas, la mirada hacia el frente, las palmas de las manos y los dedos de los pies.

Fuente: tomado y modificado de Moore (2007).

Una vez se ha aclarado el concepto de la posición anatómica, que es la estándar del cuerpo, sobre la cual se aplicarán los criterios provenientes de los planos y los ejes de movimiento. A continuación se describirán los principales sistemas de referencia sobre los cuales se describe el movimiento corporal humano.

Planos anatómicos

Las descripciones anatómicas se basan en cuatro planos imaginarios (medio, sagital, frontal y transversal), que se intersectan en el cuerpo en la posición anatómica. El plano medio, que se toma como el plano vertical que pasa en dirección longitudinal a través del cuerpo y lo divide en una mitad derecha y una izquierda como se ilustra en la figura 3. La línea media es usada erróneamente como sinónimo de plano medio (Aguado, 2001; Moore, 2007; Miralles, 2007).

Figura 3. Plano medio o sagital



Este plano atraviesa al cuerpo en posición anatómica de arriba abajo y lo divide en dos mitades, una derecha y una izquierda.

Fuente: tomado y modificado de Moore (2007).

Los planos parasagitales (también denominados como planos paramedianos) son planos verticales que pasan a través del cuerpo paralelamente al plano medio. Resulta útil dar un punto de referencia nombrando una estructura que se cruza con el plano al que se hace referencia, como el plano sagital a través del punto medio de la clavícula. Los términos plano parasagital y plano medio están relacionados entre sí y tienen en cuenta los mismos puntos de división en el cuerpo en posición anatómica, es decir, tanto el plano medio

como un plano parasagital atraviesan el cuerpo en posición anatómica de arriba a abajo y lo dividen en dos partes, derecha e izquierda.

Los planos frontales también denominados como coroneles (ver figura 4), son planos verticales que atraviesan el cuerpo en ángulo recto respecto al plano medio, de manera que dividen al cuerpo en dos mitades, una anterior (parte delantera) y una posterior (parte trasera).

También en este caso es necesario un punto de referencia para indicar la posición del plano (por ejemplo, un plano frontal, a través de los cóndilos de las ramas de la mandíbula). Al igual que los planos mediales y paramediales o paramedianos, el plano transversal se puede entender como un plano parafrontal o paracoronal si atraviesa al cuerpo de arriba abajo, pero en otros puntos de referencia paralelos al escogido para el plano frontal inicial (Moore, 2007; Aguilar, 2000; Aguado, 1993).

Figura 4. Plano frontal o coronal



En la figura se observa que este plano atraviesa al cuerpo de arriba abajo y lo divide en dos mitades: una anterior y una posterior

Fuente: tomado y modificado de Moore (2007).

Los planos transversales (ver figura 5), son aquellos que cruzan el cuerpo respecto de los planos medio y frontal en forma anteroposterior, lo que divide al cuerpo en dos mitades, una superior y una inferior. Resulta útil dar un punto de referencia para identificar el nivel del plano, como por ejemplo “plano transversal a través del ombligo” o a través de una determinada vértebra. Los clínicos también se refieren a este tipo de plano como transaxial (o plano axial simplemente). Normalmente, las secciones del cuerpo en los planos frontal y transversal son simétricas, y pasan a través de los elementos derecho e izquierdo de las estructuras pares, de modo que permite cierta comparación. El número de planos sagitales, frontales y transversales es ilimitado. El principal uso de los planos es la descripción de secciones. Los clínicos crean secciones anatómicas para la descripción del movimiento de los segmentos corporales (Moore, 2007; Aguilar, 2000).

Figura 5. Plano transverso



Este plano atraviesa al cuerpo de adelante a atrás y divide al cuerpo en dos mitades: una superior y una inferior.

Fuente: tomado y modificado de Moore (2007).

Ejes anatómicos de movimiento

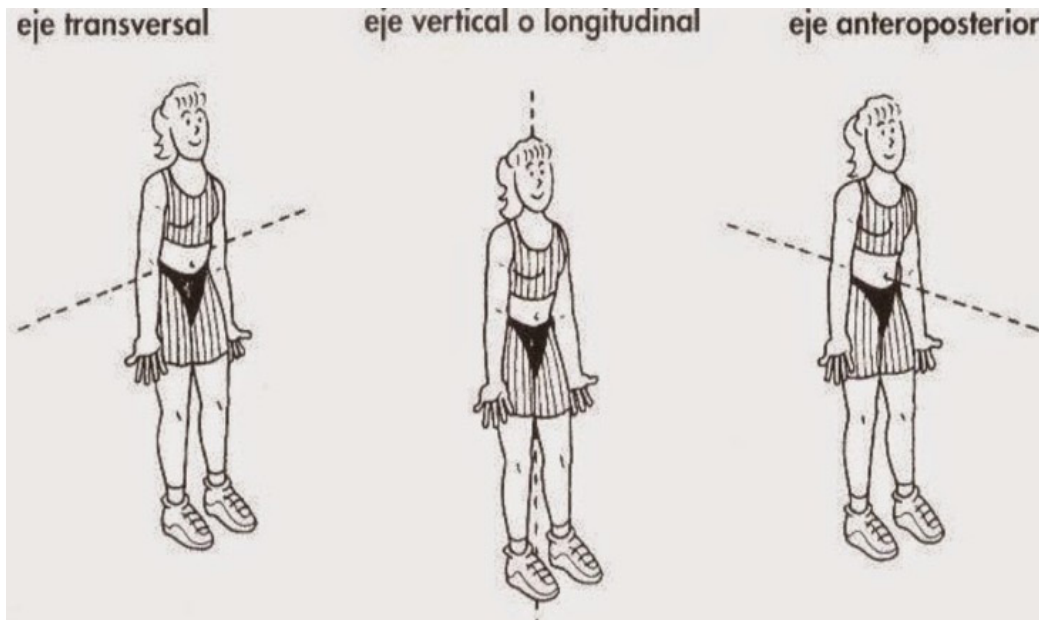
El término *eje*, que tiene sus raíces etimológicas en la palabra proveniente del griego *axis*, posee múltiples usos, definiciones y aplicaciones. En sus orígenes representaba la barra que unía las ruedas de las carretas y, más adelante, la línea imaginaria que cruza el planeta Tierra de polo a polo. En el campo de la mecánica, por ejemplo, un eje considerado como una pieza constructiva que resulta útil a la hora de dirigir el desplazamiento de rotación de un elemento o de un grupo de piezas, como puede ocurrir al trabajar sobre una rueda o un engranaje. En matemáticas, los ejes permiten ubicar una figura en el espacio. Por convención, el eje horizontal se referencia con la letra X, el vertical con la letra Y, y el que representa la profundidad, con la Z (Miralles, 2007; Hamill, 2017).

De acuerdo con lo anterior, un eje como sistema de referencia para el movimiento corporal se define como aquella línea que puede atravesar al cuerpo de varias formas, estableciéndose referencia para las diversas series de movimientos que se pueden desarrollar. La unión de dos o más ejes (X, Y y Z), conforman un plano que puede ser cartesiano o corporal, como los que se han descrito anteriormente.

Como sistema de referencia para el movimiento, existen tres ejes corporales, definidos de la siguiente forma:

- Eje frontal horizontal (también denominado como eje latero–lateral), que atraviesa al cuerpo de un lado a otro (del lado derecho al lado izquierdo). Este eje debe escoger una articulación como punto de referencia para poder atravesar al cuerpo. Por ejemplo: un eje latero–lateral que atraviesa al cuerpo en las dos articulaciones coxofemorales o de las caderas (ver figura 6).
- Eje Longitudinal (también denominado como eje vertical), que atraviesa al cuerpo de arriba a abajo (ver figura 6).
- Eje sagital horizontal (también llamado como eje antero–posterior), que atraviesa al cuerpo de adelante hacia atrás (ver figura 6).

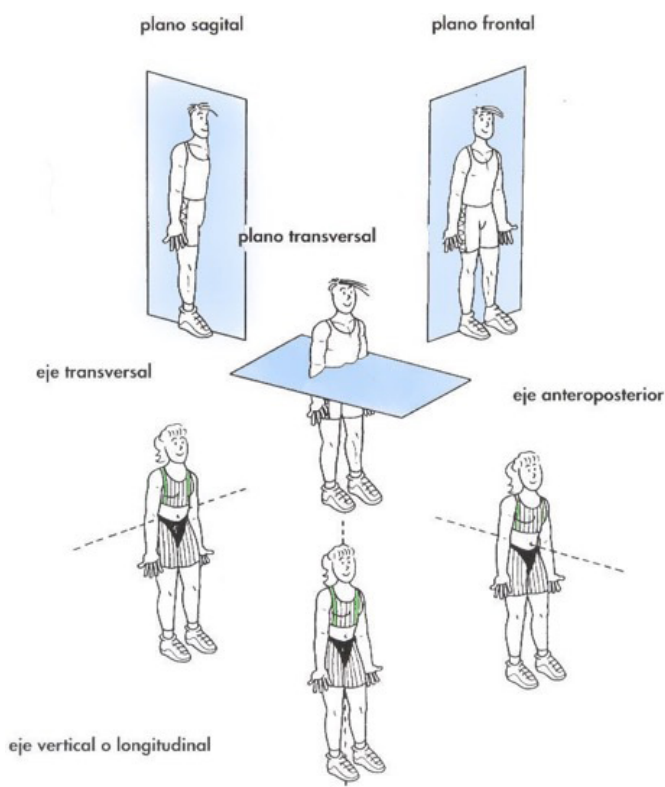
Figura 6. Ejes corporales de movimiento: eje frontal horizontal o latero–lateral, eje longitudinal o vertical y eje sagital horizontal o anteroposterior



Fuente: tomado de Moore (2007).

Los planos y los ejes corporales de movimiento tienen entre ellos una adecuada correspondencia de perpendicularidad, en el que cada eje corresponde perpendicularmente con cada plano, lo que conforma una dupla de plano–eje, responsable de servir como sistema de referencia para los diferentes movimientos registrados por las articulaciones en el cuerpo humano. En la figura 7 se observa la correspondencia de cada eje con cada plano.

Figura 7. Correspondencia (o perpendicularidad) entre ejes y planos



El plano sagital se corresponde con el eje latero–lateral, el plano transversal se corresponde con el eje longitudinal y el plano coronal se corresponde con el eje antero–posterior.

Fuente: tomado y modificado de Moore (2007).

Movimientos realizados por el cuerpo

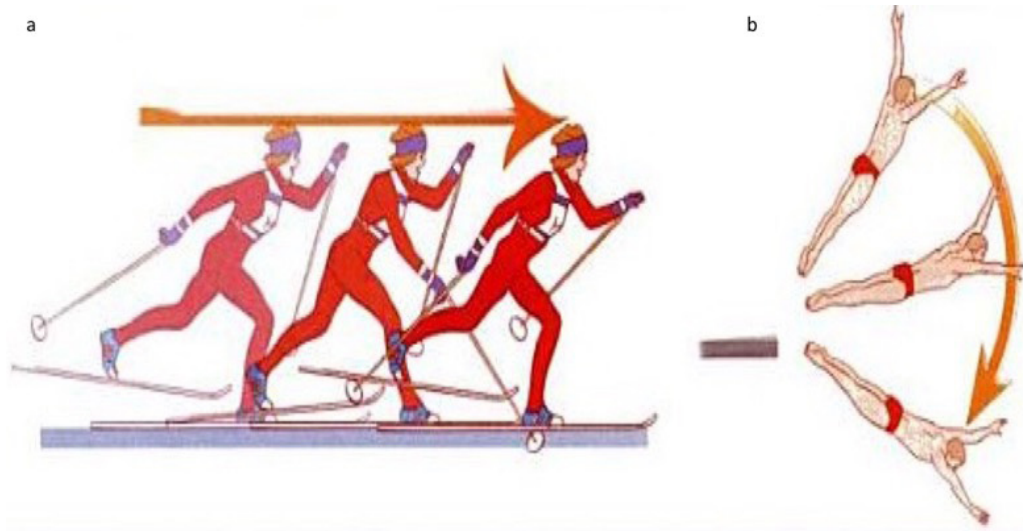
Los movimientos que puede realizar el cuerpo serán descritos en este apartado, de acuerdo a dos criterios básicos: primero, los movimientos realizados por los segmentos y/o articulaciones corporales en cada plano y en cada eje corporal de movimiento y segundo, los movimientos realizados por el cuerpo humano que tienen en cuenta la posibilidad de realizar movimientos de traslación, rotación y mixtos.

Tipos de movimientos según la trayectoria: de traslación, rotación y mixtos

El cambio de posición de un cuerpo puede ser clasificado de acuerdo a la trayectoria que describan en movimientos de traslación, de rotación o combinados. La traslación del cuerpo supone un cambio de posición de un sitio a otro dentro de un sistema de referencia. Si el camino que recorre el cuerpo en movimiento es lineal se considera que está recorriendo una trayectoria rectilínea o lineal, si por el contrario describe una curva, se dice que el cuerpo está recorriendo una trayectoria “curvilínea”. En los dos tipos de traslaciones (rectilíneas y curvilíneas) cada uno de los puntos del cuerpo recorre el mismo espacio en el mismo tiempo. La distancia que un cuerpo desplaza en línea recta es representada en el denominado “sistema de unidades de desplazamiento lineal”, dentro del sistema métrico internacional (SI), en metros y sus submúltiplos correspondientes (centímetros y milas por ejemplo) (ver figura 8).

En el movimiento rotatorio o angular, cada parte del cuerpo en movimiento describe el mismo ángulo en el mismo tiempo. En este tipo de movimientos el cuerpo gira o rota sobre un eje de movimiento. En el cuerpo humano, cada segmento está unido a su adyacente dando forma a las articulaciones, que son puntos fijos sobre los que tienen lugar los cambios de posición (o rotación) de los segmentos. El desplazamiento que recorre un cuerpo durante una rotación se mide en unidades de desplazamiento angular, por ejemplo en revoluciones, en grados o en radianes (según el SI) (Moore, 2007; Hamill, 2017, Aguado, 2001) (ver figura 8).

Figura 8. Ejemplos de movimientos rectilíneos y de movimientos curvilíneos:
a) rectilíneo y b) curvilíneo



Fuente: tomado y modificado de Izquierdo (2007).

De acuerdo con los movimientos que los segmentos corporales pueden realizar, el cuerpo humano puede ser considerado como un sistema formado por segmentos móviles unidos. El esqueleto puede dividirse en tantas partes como huesos que lo conforman (208), incluyendo los huesos del oído medio: (martillo, yunque y estribo). Sin embargo, es frecuente dividir al esqueleto desde una perspectiva mucho más funcional en dos clasificaciones específicas:

Esqueleto axial: el cual está conformado por las vértebras, la caja costal, el esternón, los huesos que conforman el anillo pélvico (ilíon, isquión y pubis), sacro y coxis y, los huesos del cráneo.

Esqueleto apendicular: el cual está conformado por los huesos que conforman las extremidades superiores (escápula, húmero, cúbito, radio, huesos del carpo, metacarpos y falanges de los dedos de la mano) y los huesos de las extremidades inferiores (fémur, tibia, peroné, huesos del tarso, metatarsos y falanges de los dedos del pie).

En conformidad con esta clasificación, es de esperarse que por función sean mucho más móviles las extremidades (tanto las superiores como las inferiores), por lo que los huesos que conforman los miembros superiores (MMSS) y los miembros inferiores (MMII), están unidos a través de articulaciones mucho más móviles que los huesos que conforman el esqueleto axial, el cual tiene una función más tendiente a la estabilidad, protección de órganos

internos de vital importancia y mantenimiento de posturas como la bípeda, la sedente, entre otras. De igual forma, los movimientos que se registren en las articulaciones que unen a los huesos, tanto en el esqueleto apendicular como en el esqueleto axial, son registrados y comentados a partir de los sistemas de referencia anteriormente explicados en este apartado y que serán comentados con mayor detalle más adelante.

Descriptores anatómicos de movimiento

Una correcta descripción del movimiento o localización anatómica está muy relacionada con el uso de una terminología que ya es ampliamente reconocida y válida para tal fin. Esta terminología es la que los profesionales en el movimiento corporal utilizan con el fin de unificar las percepciones que sobre movimiento se hacen, ubicadas todas ellas dentro de los sistemas de referencia ya establecidos para tal fin (planos y ejes corporales).

El término *medial* hace referencia a una posición anatómica relativamente más cercana a la línea media del cuerpo, o a un cambio de posición en dirección a la línea media del cuerpo. Por el contrario, el término *lateral*, describe una posición relativamente más alejada de la línea media del cuerpo o de un objeto que se aleja de esta línea media (ver figura 9).

Los términos proximal y distal se utilizan para describir la posición relativa con respecto a un punto de referencia. El término *proximal* se refiere a la posición más cercana al punto de referencia y el término *distal* se refiere a la más lejana. Por ejemplo, la articulación del codo es proximal al tronco, en tanto que la articulación de la muñeca es distal al mismo (ver figura 9).

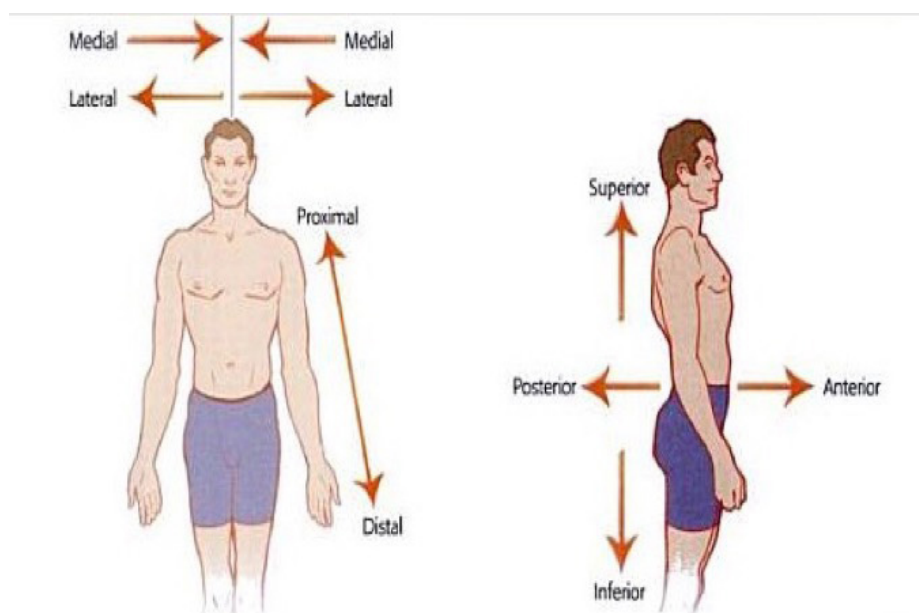
Un segmento o punto anatómico también puede situarse en la parte superior del cuerpo, cercano a la posición de la cabeza, o en la parte inferior, cercano a la posición de los pies. En consecuencia, la cabeza está en una posición superior al tronco y el tronco en una posición superior al muslo. El trocánter mayor del fémur está situado en la parte superior del fémur, mientras que el epicóndilo medial del húmero se sitúa en la parte inferior del húmero (ver figura 9).

La localización de un movimiento relativo al frente o en la espalda se denomina como *anterior* y *posterior* (respectivamente). Así, el bíceps crural se sitúa en la parte anterior del brazo, mientras que el tríceps lo hace en la parte posterior. Cuando se hace una localización en el cuerpo humano, el término

anterior también es sinónimo de *ventral*, mientras que *posterior* se relaciona con la parte *dorsal*.

Para hacer referencia a una actividad motriz o a la posición de un segmento corporal que se sitúa como punto de referencia en la misma parte del cuerpo, se utiliza el término de *ipsolateral*. Los segmentos o movimientos realizados en el lado contrario al punto de referencia, utilizan el término del *contralateral* (Moore, 2007; Aguilar, 2000; Hamill, 2017).

Figura 9. Algunos de los términos de referencia del movimiento generado por los segmentos corporales y las articulaciones



Fuente: tomado de Izquierdo (2007).

Movimientos registrados por cada plano y por cada eje

En este apartado se definirán los movimientos que el cuerpo puede realizar (por segmentos y articulaciones), para posteriormente relacionarlos con su correspondiente plano y eje corporal.

- Flexión: se define como el movimiento de aproximación de dos huesos, gracias a la acción articular y muscular que lo permite.

- Extensión: se define como el movimiento opuesto a la flexión, en donde dos huesos se alejan el uno del otro, debido a la acción muscular y articular que así lo permite.
- Abducción: se define como el movimiento en donde un segmento corporal se aleja de la línea media del mismo.
- Aducción: se define como el movimiento opuesto a la abducción, en donde un segmento del cuerpo se acerca a la línea media.
- Rotación externa: cuando una articulación o segmento gira hacia lateral.
- Rotación interna: cuando una articulación o segmento gira hacia medial.
- Rotación axial: cuando un segmento corporal o una articulación gira sobre su propio eje longitudinal o vertical.
- Pronación: movimiento concreto de rotación del antebrazo, que sitúa la mano con el dorso hacia arriba.
- Supinación: movimiento concreto de rotación del antebrazo que sitúa la mano con la palma de la mano hacia arriba.
- Eversión: movimiento concreto del tobillo con desplazamiento hacia lateral (la punta del pie apunta hacia lateral, con respecto al movimiento del tobillo).
- Inversión: movimiento concreto del tobillo con desplazamiento hacia medial (la punta del pie apunta hacia medial, con respecto al movimiento del tobillo).
- Flexión lateral: movimiento realizado por el tronco o el cuello, en donde, a partir de una posición neutra, se dirige o se inclina hacia un lado (derecho o izquierdo).
- Desviación cubital: movimiento propio de la muñeca, que se desplaza apuntando el quinto dedo de la mano en el sentido ipsilateral de la ubicación del cúbito.
- Desviación radial: movimiento propio de la muñeca, que se desplaza apuntando el primer dedo de la mano en el sentido ipsilateral a la ubicación del radio (Moore, 2007; Hamill, 2017).

En la siguiente tabla se presentan los movimientos registrados por cada plano y eje corporal.

Tabla 4. Movimientos articulares registrados por plano y eje

Movimiento registrado	Plano sistema de referencia del movimiento	Eje sistema de referencia del movimiento
Flexión	Sagital (mediano)	Eje latero-lateral o frontal horizontal
Extensión		
Abducción	Coronal (frontal)	Eje antero-posterior o sagital horizontal
Aducción		
Flexión lateral		
Eversión		
inversión		
Desviación cubital		
Desviación radial		
Rotación externa	Transverso	Eje longitudinal (o vertical)
Rotación interna		
Rotación axial		
Pronación		
Supinación		

Fuente: elaboración propia.

Unidades de medida según el (SI), factores de conversión y tabla de múltiplos y submúltiplos de la unidad

Cuando el objetivo fundamental es el de realizar análisis de gestos de movimiento (en este caso, análisis de gestos deportivos variados), parte del análisis se basa en las mediciones que se hacen previamente de muchas de las características que se observan en el desarrollo de las distintas praxias de movimiento, y que son susceptibles de ser medidas, asignándoles un valor cuantitativo acompañado de la correspondiente unidad de medida.

De acuerdo con el diccionario de la Real Academia del Lengua Española (RAE), *medir* se define como “comparar una cantidad con su correspondiente unidad, con el fin de averiguar cuántas veces la segunda está contenida en la primera (...), tener determinada dimensión, ser de determinada altura, longitud, superficie, volumen o estar contenido en cualquier otra magnitud física ya determinada”. Esta definición brinda criterios a la hora de realizar procesos de medición dentro de los análisis de movimiento, lo cual brinda orientaciones para que dichas mediciones sean realizadas y así obtener resultados acogidos a un sistema estándar o de referencia para las mediciones realizadas, basado en las principales magnitudes físicas que pueden ser medidas y que para este caso en particular, harán parte importante de los procesos de análisis de praxias deportivas.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se describirá el Sistema Internacional de Medidas que universalmente es reconocido y aceptado como aquél sistema estándar para acoger a las diversas magnitudes físicas con sus correspondientes unidades de medida, al hacer una previa descripción de los términos relacionados de magnitud física (más su clasificación, la cual será tratada en apartados posteriores de este libro) y la definición de unidades de medida, cuya clasificación será desarrollada con el Sistema Internacional de Medidas (SI). Asimismo, se hará un breve recuento histórico acerca del origen

del SI, se mostrarán los principales factores de conversión para unidades de medida entre una misma magnitud física y la tabla de múltiplos y submúltiplos de una unidad de medida.

Términos clave

- **Magnitud física:** se define como una propiedad o cualidad medible de un sistema físico a la que se le pueden asignar distintos valores como resultado de una medición. Las magnitudes físicas se miden usando un patrón que tenga bien definida esa magnitud, y tomando como unidad la cantidad de esa propiedad que posea el objeto patrón. Por ejemplo, se considera que el patrón principal de longitud es el metro en el Sistema Internacional de Unidades. Las primeras magnitudes definidas estaban relacionadas con la medición de longitudes, áreas, volúmenes, masas patrón, y la duración de periodos de tiempo. Existen magnitudes básicas y derivadas, y constituyen ejemplos de magnitudes físicas: la masa, la longitud, el tiempo, la carga eléctrica, la densidad, la temperatura, la velocidad, la aceleración, y la energía. En términos generales, es toda propiedad de los cuerpos que puede ser medida. De lo dicho se desprende la importancia fundamental del instrumento de medición en la definición de la magnitud (Douglas, 2007; Mc Donald, 2005; Cromer, 2007).
- **Unidad de medida:** es una cantidad estandarizada de una determinada magnitud física. En general, una unidad de medida toma su valor a partir de un patrón o de una composición de otras unidades definidas previamente. Las primeras unidades se conocen como unidades básicas o de base (fundamentales), mientras que las segundas se llaman unidades derivadas. Un conjunto de unidades de medida en el que ninguna magnitud tenga más de una unidad asociada es denominado sistema de unidades. Todas las unidades denotan cantidades escalares. En el caso de las magnitudes vectoriales, se interpreta que cada uno de los componentes está expresado en la unidad indicada (Douglas, 2007; Mc Donald, 2005; Cromer, 2007).

El Sistema Métrico Internacional (SI)

El Sistema Internacional de las Unidades (SI), el sistema métrico, ha evolucionado hacia el sistema más preciso de las medidas ideado. En este apartado del libro se describirán las unidades de medida del SI que más se utilizan en el análisis del movimiento corporal, relacionadas con la mecánica (más concretamente con la biomecánica):

Unidades de base

Las unidades del SI pueden clasificarse en tres grupos: a) las unidades de base, b) las unidades suplementarias, c) las unidades compuestas o derivadas (ver figura 10). Las unidades de base son un pequeño grupo de medidas estándar que han sido definidas más bien en forma arbitraria. La unidad base para la longitud es el metro (m), y la unidad base para la masa es el kilogramo (kg). La unidad base para el tiempo es el segundo (s) y para la temperatura es el grado Kelvin (K). Las definiciones de las unidades base se han ido perfeccionando a medida que el SI ha ido enriqueciéndose y complementándose, de acuerdo con las necesidades crecientes y a las capacidades de la comunidad científica que propende por los avances del SI.

Unidades suplementarias

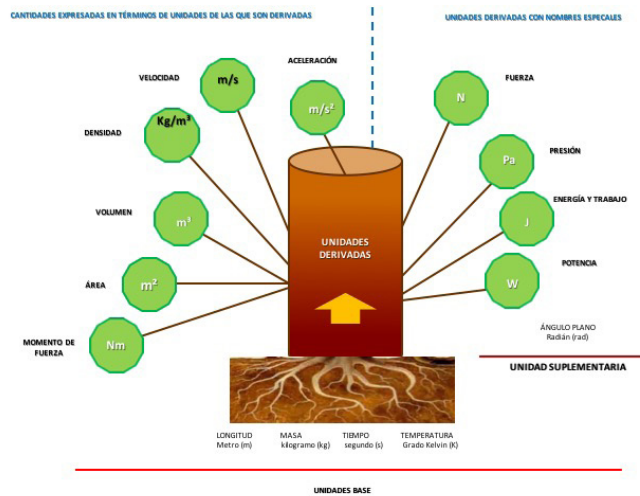
El radián (rad) es una unidad suplementaria para medir ángulos planos. Esta unidad, como las unidades básicas, también ha sido definida en forma arbitraria. Aunque el radian es una unidad SI para el ángulo plano, la unidad del grado ha sido mantenida para el uso más general debido a que está firmemente establecida y se usa ampliamente en todo el mundo. Un grado es equivalente a $\pi/180$ rad.

Unidades derivadas o combinadas

La mayoría de las unidades del sistema SI son unidades derivadas, esto significa que son establecidas a partir de las unidades de base, en relación con los principios físicos fundamentales. Algunas de estas unidades se expresan en términos de unidades base de las que se derivan. Algunos ejemplos concretos de este tipo de unidades son el área de superficie, la velocidad y la aceleración, que se expresan en las unidades SI de metros cuadrados

(m^2), metros por segundo (m/s), y metros por segundo al cuadrado (m/s^2) respectivamente (Douglas, 2007; Mc Donald, 2005; Cromer, 2007).

Figura 10. Árbol que muestra el orden de las unidades de medida: Básicas, suplementarias y derivadas.



Unidades nombradas especialmente

Otras unidades derivadas se establecen de manera similar, a partir de las unidades de base, aunque se les ha dado nombres especiales (tabla 5). Estas unidades se definen a través del uso de ecuaciones fundamentales de leyes físicas, conjuntamente con las unidades de base SI definidas anteriormente en forma arbitraria. Por ejemplo, la segunda ley de Newton del movimiento, establece que cuando un cuerpo que se mueve libremente es sometido a una fuerza, experimentará una aceleración proporcional a esa fuerza e inversamente proporcional a su propia masa. Matemáticamente, este principio puede ser expresado de la siguiente forma:

$$\text{Fuerza} = \text{masa} \times \text{aceleración}$$

La unidad SI de la Fuerza, el Newton (N), se define por lo tanto en términos de las unidades del SI como:

$$1N = 1kg \times 1m/s^2$$

La unidad SI de la presión, es el Pascal (Pa). La presión se define en hidrostática como la fuerza dividida por el área de aplicación de la fuerza. Matemáticamente esto puede ser expresado como:

$$1Pa = 1N/m^2$$

Aunque la unidad base en el SI de la temperatura es el grado Kelvin, la unidad derivada, el grado Celsius (°C), es usado mucho más comúnmente. El grado Celsius es equivalente al grado Kelvin en magnitud, pero el valor absoluto de la escala Celsius difiere del de la escala Kelvin, de modo que °C = °K – 273.15.

Cuando se usa el sistema SI en una amplia variedad de medidas, las cantidades expresadas en términos de unidades base, suplementarias y derivadas, pueden ser o muy grandes o muy pequeñas. Por ejemplo, el área de la cabeza de un alfiler es una cantidad extremadamente pequeña, si se expresa en términos de metros cuadrados. Por el contrario, el peso de un auto genera un resultado bastante grande en número si se expresa en términos de Newton. Para poder generar resultados que se acomoden a resultados más convenientes, y que no queden expresados en la forma tan pequeña o tan grande. De esta forma, con el fin de poder representar las mediciones realizadas a diversas magnitudes físicas, se ha creado lo que se conoce como la tabla de múltiplos y submúltiplos de la unidad de medida (tabla 5). Esta tabla está compuesta por varios criterios básicos, como los prefijos que acompañan a la unidad de medida, expresando si es múltiplo o submúltiplo. De igual forma, cada uno de los múltiplos y submúltiplos está expresado tanto en números decimales como números de potencias de 10. Cuando se usa el nombre de la unidad, el prefijo indica que la cantidad descrita está siendo expresada en algún múltiplo de 10 veces la unidad usada. Por ejemplo, el milímetro (mm) se usa para representar una milésima parte (10^{-3}) de un metro y un Gigapascal (GPa) se usa para expresar un billón (10^9) de pascales (Douglas, 2007; Mc Donald, 2005; Cromer, 2007).

Tabla 5. Definiciones de unidades del SI.

Unidades base del SI	
Metro (m)	El metro es la longitud igual a 1650763.73 longitudes de onda en vacío de la radiación, correspondiente a la transición entre los niveles 2p ₁₀ y 5d ₃ del átomo de criptón – 86.
Kilogramo (kg)	El kilogramo es la unidad de masa y es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo.
Segundo (s)	El segundo es la duración de 9192631.770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado natural del átomo de cesio – 133.
Kelvin (K)	El Kelvin, una unidad de temperatura termodinámica, es la fracción 1/273.16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.
Unidad suplementaria del SI	
Radián (rad)	El radián es la medida de un ángulo plano central comprendido entre dos radios que abarcan un arco de longitud igual al radio con el que ha sido trazado.
Unidades derivadas del SI con nombres especiales	
Newton (N)	El Newton es la fuerza que, aplicada a una masa de 1 kilogramo, proporciona a esta una aceleración de 1 metro por segundo al cuadrado. $1\text{ N} = 1\text{ kg m/s}^2$.
Pascal (Pa)	El pascal es la presión producida por la aplicación de una fuerza de un Newton, con distribución uniforme, sobre un área de un metro cuadrado. $1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$.
Julio (J)	El julio es la medida del trabajo realizado cuando el punto de aplicación de una fuerza de 1 Newton se desplaza a lo largo de una distancia de un metro en la dirección de una fuerza $1\text{ J} = 1\text{ Nm}$.
Vatio (W)	El Vatio es la potencia que en un segundo origina a energía de 1 Julio. $1\text{ W} = 1\text{ J/s}$.
Grado Celsius (°C)	El grado Celsius es una de las unidades de temperatura termodinámica equivalente a $^{\circ}\text{K} = 273.15$.

Fuente: tomado y modificado de Douglas (2007).

Unidades estándar nombradas por los científicos

Uno de los aspectos más interesantes del sistema SI es su uso por los nombres de famosos científicos como unidades estándar. En cada caso, la unidad era nombrada como reconocimiento a la contribución de un científico en el campo en el que esta unidad desempeña un papel fundamental. La tabla 6 muestra las unidades SI y el científico por el que han sido nombradas. Por ejemplo, el Newton se nombró en honor del científico inglés Sir Isaac Newton (1624–1727). Fue educado en el Trinity College en Cambridge, y más tarde retornó a su escuela de formación como profesor de matemáticas. Muy temprano este importante científico realizó importantes contribuciones a las matemáticas, que hicieron parte del cálculo diferencial e integral (Douglas, 2007; Mc Donald, 2005; Cromer, 2007).

Tabla 6. Múltiplos y submúltiplos de la unidad de medida, de acuerdo con el SI

Factor de multiplicación	Prefijo del SI	Símbolo del SI
1.000.000.000 (10^9)	Giga	G
1.000.000 (10^6)	Mega	M
1.000 (10^3)	Kilo	K
100 (10^2)	Hecto	H
10 (10^1)	Deca	D
0.1 (10^{-1})	Centi	C
0,001 (10^{-3})	Mili	m
0.000.001 (10^{-6})	Micro	μ
0.000.000.001 (10^{-9})	Nano	N
0.000.000.000.001 (10^{-12})	Pico	P
0.000.000.000.000.001 (10^{-15})	Femto	F
0.000.000.000.000.000.001 (10^{-18})	Atto	A

Fuente: tomado y modificado de Douglas (2007).

El resto de las principales contribuciones fueron hechas en los campos de la óptica, la astronomía, la gravitación y la mecánica. Su trabajo en la gravitación fue significativamente alentador, por ser golpeado en la cabeza por una manzana cayendo de un árbol. Es, quizás, justicia poética, que la unidad SI de un Newton sea aproximadamente equivalente al peso de una manzana de tamaño medio. Newton fue nombrado caballero en 1705 por la reina María, gracias a sus monumentales contribuciones a la ciencia.

La unidad de presión y sollicitación, el pascal, fue establecida por el físico, matemático y filósofo francés Blaise Pascal (1623–1662), quien dirigió importantes investigaciones sobre las características de los vacíos y barómetros, también inventó una máquina que haría cálculos matemáticos. Su trabajo en el área de la hidrostática ayudó a trazar las bases para el posterior desarrollo de estos campos científicos. Además de los méritos científicos alcanzados, Pascal, estaba apasionadamente interesado en la religión y la filosofía y escribió sobre una amplia gama de temas.

La unidad base de la temperatura, el kelvin, fue nombrado de esta forma en honor de lord William Thomson Kelvin (1824–1907). Fue educado en la universidad de Glasgow y en la Universidad de Cambridge. Pronto en su carrera, Thomson investigó acerca de las propiedades termales del vapor en un laboratorio científico en París. A la edad de 32 años, volvió a Glasgow y aceptó la cátedra de filosofía natural. Su encuentro con James Joule en 1847 estimuló debates interesantes sobre la naturaleza del calor, que finalmente llevaron al establecimiento de la escala absoluta de la temperatura de Thomson, la escala Kelvin. En reconocimiento a las contribuciones de Thomson al campo de la termodinámica, el rey Eduardo VII le confirió el título de lord Kelvin (Douglas, 2007; Mc Donald, 2005; Cromer, 2007).

Tabla 7. Unidades de medida incluidas en el SI , que han sido nombradas por científicos.

Símbolo	Unidad	Cantidad/ magnitud física	Científico	País de nacimiento	Fecha
A	Amperio	Corriente eléctrica	Ampere, André	Francia	1775-1836
C	Culombio	Carga eléctrica	Coulomb, Charles Agustín de	Francia	1736-1806
°C	Grado Celsius	Temperatura	Celsius, Anders	Suecia	1701-1744
F	Faradio	Capacidad eléctrica	Faraday, Michael	Inglaterra	1791-1867
H	Henrio	Resistencia inductiva	Henry, Joseph	Estados Unidos	1797-1878

Hz	Hercio	Frecuencia	Hertz	Alemania	1857-1894
J	Julio	Energía	Joule, James Prescott	Inglaterra	1818-1889
N	Newton	Fuerza	Newton, Sir Isaac	Inglaterra	1643-1727
Ω	Ohm	Resistencia	Ohm, Georg Simon	Inglaterra	1789-1854
Pa	Pascal	Presión/solicitación	Pascal, Blaise	Francia	1623-1662
S	Siemens	Conductancia eléctrica	Siemens, Karl Wilhelm (Sir William)	Alemania e Inglaterra	1823-1883
T	Tesla	Densidad de flujo magnético	Tesla, Nikola	Croacia	1856-1943
V	Voltio	Potencial eléctrico	Volta, Count Alessandro	Italia	1745-1827
W	Vatio	Potencia	Watt, James	Escocia	1736-1819
Wb	Weber	Flujo magnético	Weber, Wilhelm Eduard	Alemania	1804-1891

Fuente: tomado y modificado de Douglas (2007).

La unidad comúnmente usada de temperatura, el grado Celsius, fue nombrado así por el astrónomo e inventor Anders Celsius (1701-1744). Celsius fue designado profesor de astronomía de la Universidad de Uppsala a la edad de 29 años y permaneció en la Universidad hasta su muerte, catorce años después. En 1742 describió el termómetro centígrado en un documento preparado por la Swedish Academy of Sciences. El nombre de la escala centígrada de temperatura fue cambiada oficialmente a Celsius en 1948.

Tabla 8. Algunos de los factores de conversión más utilizados

Conversión de unidades	
LONGITUD ▶ 1 centímetro (cm)= 0,01 metros (m) ▶ 1 pulgada (p)= 0,0254 m ▶ 1 pie (pie)= 0,3048 m ▶ 1 yarda (A)= 10-10 m	MOMENTO (Torque) ▶ 1 din-cm = 10-2 N-m ▶ 1 lb-pie= 1,356 N-m

TIEMPO ▶ 1 minuto (min)= 60 segundos (s) ▶ 1 hora (h)= 3600 s ▶ 1 día (d)= 86400 s	TRABAJO Y ENERGÍA ▶ $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2 = 1 \text{ N}\cdot\text{m} = 1 \text{ Julio (J)}$ ▶ $1 \text{ din}\cdot\text{cm} = 1 \text{ ergio} = 10^{-2} \text{ J}$ ▶ $1 \text{ lb}\cdot\text{pie} = 1,356 \text{ J}$
MASA ▶ 1 libra (1 lb)= 0,4536 kilogramos (kg) ▶ 1 lingote (14,59 kg)	POTENCIA ▶ $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2 = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ Vatio (W)}$ ▶ 1 caballo de potencia (cv) = 550 lb-pie/s = 746W
FUERZA ▶ 1 kilogramo fuerza (kgf)= 9.807 Newton (N) ▶ 1 libra fuerza (lbf)= 4,448 N ▶ 1 dina (din)= 10^{-5} N	ÁNGULO PLANO ▶ $1 \text{ grado (}^\circ\text{)} = \pi/180 \text{ radianes (rad)}$ ▶ 1 revolución (rev) = 360° ▶ $1 \text{ rev} = 2\pi \text{ rad} = 6,283 \text{ rad}$
PRESIÓN Y SOLICITACIÓN ▶ $1 \text{ kg}/\text{m}\cdot\text{s}^2 = 1 \text{ N}/\text{m}^2$ ▶ $1 \text{ lb}/\text{in}^2 \text{ (psi)} = 6896 \text{ Pa}$ ▶ $1 \text{ lb}/\text{ft}^2 \text{ (psf)} = 92966 \text{ Pa}$ ▶ $1 \text{ din}/\text{cm}^2 = 0,1 \text{ Pa}$	TEMPERATURA ▶ $^\circ\text{C} = ^\circ\text{K} - 273,16$ ▶ $^\circ\text{C} = 5 (^\circ\text{F} - 32)/9$

Fuente: tomado y modificado de Douglas (2007).

Conversión de otras unidades de medida al SI

La tabla 8 contiene de los factores de conversión de algunas unidades de medida, para las magnitudes físicas más comunes, la mayor parte de ellas contenidas en el SI. El origen fundamental de la confusión para la conversión de un sistema a otro, es que existen dos tipos básicos de sistemas de medida. En un sistema *físico* (como pasa con el SI), las unidades de longitud, tiempo y masa son arbitrariamente definidas y otras unidades (incluyendo la fuerza), se derivan de estas unidades de base. En los sistemas *técnicos* o *gravitacionales* (como el sistema inglés), las unidades de longitud, tiempo y fuerza se definen arbitrariamente y otras unidades (incluyendo la masa), se derivan de estas unidades base. Debido a que las unidades de fuerza en los sistemas gravitacionales son de hecho los pesos de las masas estándar, la conversión

al si depende de la aceleración de la masa debida a la gravedad de la Tierra (Douglas, 2007; Mc Donald, 2005; Cromer, 2007).

Por convenio internacional, la aceleración debida a la gravedad es igual a $9,806650\text{m/s}^2$. Este valor ha sido utilizado para establecer algunos de los factores de conversión que se han evidenciado en la tabla 8.